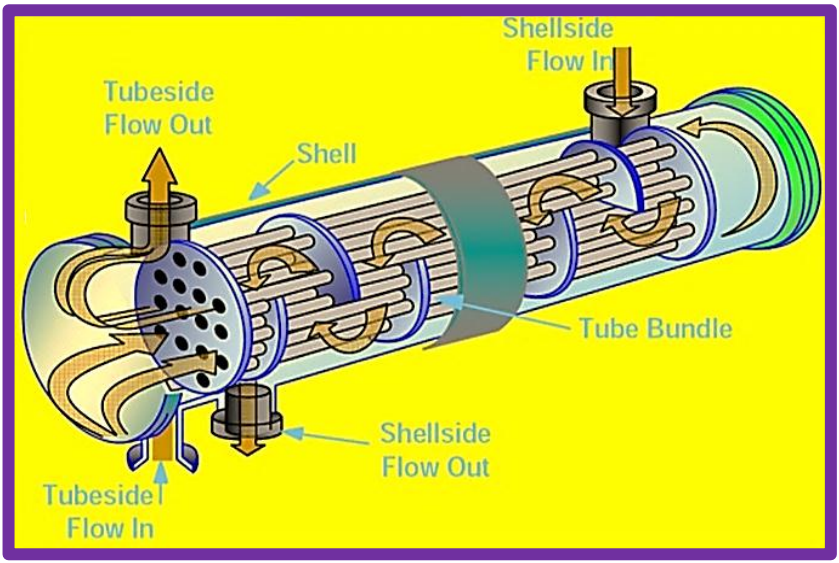
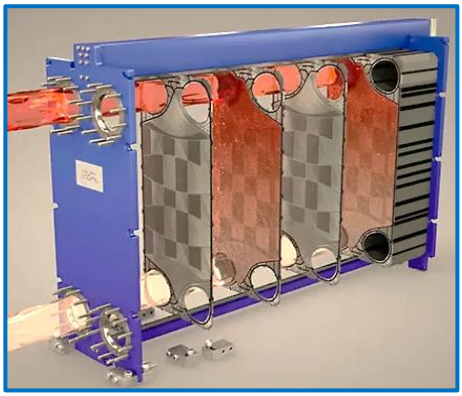
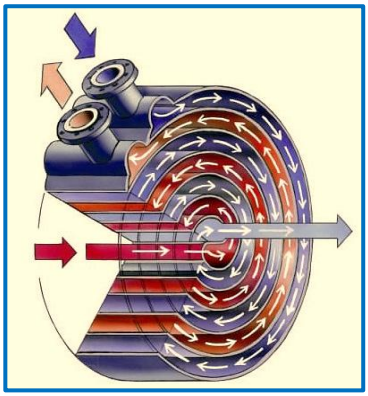
Jurandir Primo

Trocadores de Calor
Cálculos & Aplicação







Trocadores de Calor
Cálculos & Aplicação

Jurandir Primo
Copyright @ 2024
1ª edição – janeiro de 2024

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

Primotech - Engineering Manuals

Primo, Jurandir

Trocadores de Calor,, Sistemas Industriais;

Índice para pesquisas: Trocadores de Calor, Sistemas Industriais

ISBN:

Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

primotechcourses@hotmail.com

INDICE:

1. INTRODUÇÃO:
2. CONCEITOS DE TERMODINÂMICA:
3. CALOR ESPECÍFICO – CONCEITOS BÁSICOS:
4. DIÂMETRO DE TUBOS CONFORME ASME:
5. CÁLCULOS BÁSICOS – TROCADORES DE CALOR:
6. TEMPERATURA CONTROLADA - APLICAÇÕES:
7. REGRAS PARA CÁLCULOS:
8. DEFLETORES, ESPELHOS E TUBOS:
9. CONSTRUÇÕES DE CASCO E TUBOS:
10. DESIGNAÇÕES CONFORME TEMA:
11. CLASSES DE TROCADORES DE CALOR – TEMA:
12. TROCADOR DE CALOR DE PLACAS:
13. TROCADOR DE CALOR DE PLACAS ALETADOS:
14. TROCADOR DE CALOR EM ESPIRAL:

I. INTRODUÇÃO:

Trocadores de calor ou permutadores de calor são dispositivos que regulam a **transferência de calor ou frio** de um fluido para outro. Na indústria, esse meio é um fluido, que pode ser um líquido ou um gás. A transmissão de calor é uma passagem da energia térmica de um local para outro, que pode ocorrer de três formas diferentes: **condução, convecção e irradiação**. A transmissão de calor se faz quando a energia térmica passa de um local para o outro através dos elementos do meio que os separa.

Um trocador de calor troca o calor de algum fluido, que pode ser água, vapor ou gás. Por exemplo, se a água está quente, o trocador de calor faz ela ficar um pouco mais fria, dependendo do tipo de aplicação. Em intercoolers, caldeiras, pré-aquecedores e condensadores dentro de usinas de energia, bem como em outros processos de engenharia, trocadores de calor são utilizados para controlar a energia térmica.

Um exemplo de trocador do nosso cotidiano é o ar condicionado. Outro exemplo comum de trocador de calor é o **radiador** de um carro, no qual a água quente do motor, troca calor nas aletas com ar, resfria, e circula no motor para regular sua temperatura. Os meios são separados por uma parede sólida, já que os fluídos não se misturam ou ficam em contato direto. Os trocadores de calor são amplamente usados em aquecimento, refrigeração, condicionamento de ar, usinas de geração de energia, plantas químicas, plantas petroquímicas, refinarias de petróleo, processamento de gás natural, e tratamento de águas residuais.

Os tipos principais de troca de calor são.

Tipo Recuperativo: O calor é trocado em ambos os lados de uma parede divisória por fluidos;

Tipo Regenerativo: Os fluidos quentes e frios estão no mesmo espaço que contém uma matriz de materiais que funcionam alternadamente como fonte de fluxo de calor.

Formas Construtivas: Os trocadores de calor existem em várias formas construtivas conforme sua aplicação a que se destinam, sendo as principais:

1) **Casco e tubos** (shell and tube heat exchanger);

2) **Placas** (plate heat exchanger);

3) **Placas brasadas e aletas** (brazed plate fin heat exchanger);

Quanto as fases, existem 2 tipos de trocadores de calor:

Monofásico: Onde não há mudança de fase no fluido a ser refrigerado ou aquecido;

Multifase: Onde há mudança de estado físico do fluido.

Exemplos: Trocadores de calor **monofásicos**: Tipo radiador de água e intercooler (ou radiadores a ar). Trocadores de calor **multifase**: Condensadores e evaporadores.

II. CONCEITOS DE TERMODINÂMICA:

Termodinâmica vem do grego "*therme*", **calor**, e "*dynamis*", **potência** - é o ramo da física que estuda as causas e os efeitos de mudanças na temperatura, pressão e volume. O físico, matemático e engenheiro mecânico **francês** Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 –1832), é considerado como o "***pai da termodinâmica***", que em 1824 publicou "*Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo*", sobre o calor, potência e eficiência de máquina. Isto

marcou o início da termodinâmica como ciência moderna. A ciência termodinâmica busca compreender as relações entre **calor, energia e trabalho**, analisando quantidades de calor trocadas e os trabalhos realizados em um processo físico.

Primeira Lei da Termodinâmica: Se baseia no princípio da conservação da energia, isto é, a **energia não** pode ser **destruída nem criada**, somente transformada.

Segunda Lei da Termodinâmica: Transferências de calor ocorrem sempre do corpo mais **quente** para o corpo mais **frio**, isso acontece de forma espontânea. O que significa dizer que os processos de transferência de energia térmica são **irreversíveis**.

Lei Zero da Termodinâmica: Quando dois corpos com temperaturas diferentes estão em contato, o que estiver mais quente irá transferir calor para aquele que estiver mais frio. Assim, as temperaturas se igualam chegando ao **equilíbrio** térmico.

Nota: O maior **problema** da termodinâmica é **aprende**r e reconhecer calor, trabalho, força, energia, potência e outros termos técnicos. Portanto, para facilitar a compreensão básica dos termos utilizados para **cálculos** de trocadores de calor é muito importante lembrar alguns conceitos abaixo:

Unidade	Multiplique por	Para obter
1 Btu	1055.0	J
	1.0550	kJ
	0.2521	kcal
	107.7	Kgf.m
	778.7	ft.lbf
1 cal	4.18	J
	0.00396	Btu
	0.00000116	kW.h
1 kcal	1000	cal
	3.9604	Btu

Unidade	Multiplique por	Para obter
1 J	0.001	kJ
	0.238	cal
	0.0002387	kcal
	0.102	kgf.m
	0.000947	Btu
	0.7375	ft.lbf

Unidade	Multiplique por	Para obter
1 W	0.001	kW
	0.00134	hp
	0.000102	hp (boiler)
	0.0002387	kcal/s
	0.102	kgf.m/s
	0.7375	ft.lbf/s
	44.2	ft.lbf/min
	0.000948	Btu/s
	0.000284	ton (refrig)

Cal: É a unidade métrica de medida de calor. Um **grama caloria**, é a quantidade de **energia** necessária para elevar a temperatura de um **grama de água** de 19,5°C para 20,5°C, sob a pressão atmosférica métrica padrão de **1,033 Kg/cm²** (14,7 psi).

Btu - Unidade Térmica Britânica: O “Btu” é a unidade inglesa e americana de medida de calor. Um **Btu** é a quantidade de **energia** necessária para aumentar a temperatura de **0,5 kg** de água de 58,5°F para 59,5°F, sob a pressão de unidade padrão inglesa ou americana de **30 polegadas de mercúrio** (14,7 psi).

Watt: É a unidade métrica de potência.

Joule: É o trabalho ou energia exercida pela força de 1 Newton para mover um objeto a uma distância de 1 metro.

Temperatura: É a grandeza física que mede o grau de **aumento** ou **diminuição** térmica das moléculas que constituem um corpo. É uma das grandezas fundamentais da física e da termodinâmica. As principais escalas de temperaturas, usadas para representar a agitação molecular**,** com seus pontos de fusão e ebulição são: a escala **Celsius** (ºC), a **Fahrenheit** (ºF), a **Kelvin** (K) e a **Rankine** (R) – um grau R equivale a variação de um grau °F.

Celsius: É uma escala de temperatura (também conhecida como Centígrado) que leva o **nome** do astrônomo sueco Anders Celsius (1701–1744), que desenvolveu uma escala de temperatura semelhante dois anos antes de sua morte. Então, nominalmente, **0°C** foi definido como o ponto de congelamento da água e **100°C** foi definido como o ponto de ebulição da água, ambos à pressão de **1,0 atmosfera** métrica (1,033 Kg/cm²).

Fahrenheit: É a escala de temperatura proposta em 1724 e batizada em **homenagem** ao físico Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736). Na escala Fahrenheit, o ponto de congelamento da água era **32º** Fahrenheit (°F) e o ponto de ebulição **212°**F à pressão de **1,0 atmosfera** padrão imperial (14,7 psi).

Kelvin: É uma escala que recebeu o nome do físico escocês William Thomson (1824 - 1907), 1º **Barão Kelvin**, descreveu sobre a necessidade de uma "*escala termométrica absoluta*". Assim Kelvin e Celsius são frequentemente usados juntos, pois têm o mesmo intervalo, e **0º Kelvin** é = **273,15º Celsius**.

$$\mathbf{C^o} = \frac{5\,(F^o - 32)}{9} =$$

$$\mathbf{F^o} = 1.8C^o\,(F^o + 32) =$$

$$\mathbf{C^o} = K^o - 273 =$$

Pressão (P): É a força por unidade de área aplicada em uma direção perpendicular à superfície de um objeto. A pressão manométrica é a pressão relativa à pressão atmosférica local.

Unit	Pascal (Pa)	bar (bar)	atmosphere (atm)	Torr (Torr)	pound per square inch (psi)
1 Pa	**1 N/m²**	0.00001	0.000009867	0.0075006	0.000145
1 bar	100000	106 dyn/cm2	0.9867	750	14.5
1 at	98066	0.980665	0.968	735.5	14.223
1 atm	101325	1.01325	**1** atm	760	14.7
1 torr	133.322	0.013332	0.0013158	**1 mmHg**	0.0193
1 psi	0.006894	0.068948	0.068046	51.72	**1 lbf/in²**

Nota: A pressão manométrica é a pressão relativa à pressão atmosférica e ambiente local.

Principais Conversões:

Unidade	Multiplicar por	Para obter
1 Btu/s	**0.3002**	Ton (refrig)
	1.056	kW
	1.435	hp
	106.6	kgf.m/s
	778.8	ft.lbf/s
1 joule/kilogram/K = J/(kg.K) =	**1.0**	Joule/kilogram/°C = J/(kg.°C)
	0.001	Joule/gram/°C = J/(g.°C)]
1 joule/kilogram/°C = J/(kg.°C)	**0.001**	kilojoule/kilogram/°C = kJ/(kg.°C)
	0.000239	Calorie /gram/°C = cal/(g.°C)

	0.000239	kilocalorie /kilogram/°C = kcal/(kg.°C)
	0.000239	kilocalorie /kilogram/K = kcal/(kg.K)
	0.102	kilogram-force meter/kilogram/K
	0.000239	Btu/pound/°F = Btu/(lb.°F)
	0.000423	Btu/pound/°C = Btu/(lb.°C)
1 Btu/pound/°F = Btu/(lb°F)	**1.0**	kilocalorie /kilogram/°C = kcal/(kg.°C)
	1.8	Btu/pound/°C = Btu/(lb.°C)
	4186.8	joule/kilogram/K = J/(kg.K)
	4186.8	joule/kilogram/°C = J/(kg.°C)
	4.1868	joule/gram/°C = J/(g.°C)
	4.1868	kilojoule/kilogram/K = kJ/(kg.K)
	4.1868	kilojoule/kilogram/°C = kJ/(kg.°C)
	426.9	kilogram-force.meter/kilogram/K
	778.2	pound-force.foot/pound/°R

Nota: Substâncias com **calor específico** mais **elevado** requerem mais energia para temperaturas mais baixas do que substâncias com **calor específico** mais **baixo**.

Obs.: Para desenvolver cálculos termodinâmicos existem vários softwares disponíveis, como Codeware, Compress, Aspen BJAC e CC-THERM, que permitem ao projetista estudar os efeitos dos parâmetros de projeto s e alcançar um projeto térmico ideal.