1. Demonstre quais médias das áreas devem ser utilizadas em coordenadas planas, cilíndricas e esféricas.
2. Demonstre por que o potencial térmico médio em trocadores de calor é estimado pela Média Logarítmica da Diferença de Temperatura (MLDT).
3. Estime as propriedades termofísicas da batata-doce a 70oC, sabendo que sua composição em massa é 69,9% de água, 26,3% de carboidratos, 1,7% de proteínas, 1% de cinzas, 0,7% de fibras e 0,4% de gorduras.

[**Respostas**: **= 1101 kg.m-3; *k* = 0,580 W.m-1.K-1; *Cp* = 3,44 kJ.kg-1.K-1; **= 0,153.10-6 m2.s-1].

1. Nitrogênio líquido (densidade = 804 kg.m-3) é estocado, à temperatura de saturação de -196oC, em um tanque esférico, não pressurizado, com raio interno igual a 30 cm. A espessura da parede metálica é relativamente pequena, comparada com o raio interno. Para reduzir a perda do produto por evaporação, coloca-se externamente ao tanque uma camada de poliuretano expandido (isolamento térmico) de espessura igual a 14 cm. A temperatura do ar ambiente é em torno de 23oC. O coeficiente de troca térmica por convecção entre o ar e a superfície externa do isolante térmico é de 20 W.m-2.K-1. O calor latente de vaporização do nitrogênio é de 199 kJ.kg-1. Calcule o volume de nitrogênio evaporado por dia.

[**Respostas**: = 69,5 W e *N2* = 37,5 L/dia].

1. Vapor d´água condensado sobre a superfície externa de um tubo circular de parede fina, com diâmetro interno igual a 50 mm e comprimento igual a 6 m, mantém uma temperatura na superfície externa uniforme de 100oC. Água escoa através do tubo a uma vazão de 0,25 kg/s e suas temperaturas na entrada e saída do tubo são 15 e 57oC, respectivamente. Qual é o coeficiente convectivo médio associado ao escoamento da água.

[**Respostas**: *h* = 755,6 W.m-2.K-1].

1. Um trocador de calor bitubular (tubos concêntricos) com configuração em contracorrente é utilizado para resfriar suco de laranja. A vazão da água de resfriamento através da região anular (De = 45mm) é 0,1 kg/s, enquanto a vazão de suco através do tubo interno (Di = 25 mm) é de 0,2 kg/s. O suco e a água entram a temperaturas de 100 e 30 ºC, respectivamente. Qual deve ser o comprimento do trocador se a temperatura de saída da água deve ser de 60 ºC? Desconsiderar resistência térmica por condução e por incrustação.

[**Respostas**: *L* = 7,3 m].

1. Um trocador de calor casco e tubos com área de troca de 2,1 m2 opera resfriando suco de abacaxi, com concentração de sólidos solúveis de 15oBrix. O suco percorre o lado dos tubos fazendo dois passes. Já o casco é atravessado uma vez com água de resfriamento que entra a 5,0oC. As vazões volumétricas de suco e de água são 1,0 m3/h e 1,9 m3/h, respectivamente. Sensores de temperatura nos dutos de entrada e de saída forneceram os seguintes valores médios: *Tqe*=50oC e *Tqs*=23oC. Determine:
2. A carga térmica do trocador
3. A temperatura de saída da água
4. A eficiência térmica
5. O coeficiente global de troca térmica

Propriedades médias do suco de abacaxi com 15oBrix: ** = 1060 kg/m3, *Cp*= 3770 J/(kg K)

Propriedades médias da água de resfriamento: **= 1000 kg/m3*, Cp* = 4200 J/(kg K)

[**Respostas**: = 30,0 W; *Tfs* = 18,5oC; ** = 60,1 % e U= 672 W.m-2.K-1 (usando FMLDT) ou U = 677 W.m-2.K-1 (pelo valor de NUT)].

1. No **exemplo 1 da Aula 5**, foi dimensionado um trocador de casco e tubos para o aquecimento de uma corrente de óleo vegetal. Deseja-se dimensionar também um trocador de calor a placas para as mesmas condições operacionais. Esse trocador terá placas corrugadas com padrão espinha de peixe (** = 45o) e um arranjo de passes 1x50 e 1x50 contracorrente. Considere que a espessura do canal é 3,0 mm, a espessura da placa é de 1,0 mm, a condutividade térmica do metal 16 W/(m.K) e o fator de alargamento da área é 1,17. Adote fatores de incrustação de 3x10-5 (m.K)/W para a água e para o óleo. Para uma largura entre as gaxetas *wg*=25cm, o fabricante dispões de três opções de altura *Lp*= 55 cm, 65 cm, ou 75 cm. Adote as mesmas propriedades médias do fluidos (água e óleo) do exemplo e determine:
2. O coeficiente global de troca térmica *U* e *Us*;
3. A área de troca térmica;
4. O valor mais adequado de *Lp*;
5. Compare os coeficientes convectivos e a área de troca entre os trocadores.

[**Respostas**: *U*= 1656 W.m-2.K-1; *Us*= 1506 W.m-2.K-1; A= 19,2 (*Us*) ou 17,5m2(*U*); *Lp*=65 cm.

1. Leiterecém-pasteurizado é resfriado em um trocador de calor a placas antes da etapa de embalagem. O trocador tem arranjo **2x10** e **1x21** para os fluidos quente e frio, respectivamente. A alimentação do leite é de **3800 kg/h** com **T = 45oC**. Água de resfriamento a **2,0oC** é alimentada no trocador com uma vazão de **6700 kg/h** no canto oposto ao da alimentação do leite.

As propriedades médias do leite são:

- densidade:** = 1010 kg.m-3

- Calor específico: *Cp* = 3643 J.kg-1K-1

- Viscosidade: ** = 1,32 mPa.s

- Condutividade térmica: *k*=0,59 W.K-1.m-1

As propriedades médias da água são:

- densidade:** = 1000 kg m-3

- Calor específico: *Cp* = 4210 J.kg-1K-1

- Viscosidade: ** = 1,48 mPa.s

- Condutividade térmica: *k*=0,58 W.K-1.m-1

As características da placa tipo espinha de peixe (** = 50o) são:

- Largura entre as gaxetas: *wg* = 42 cm;

- Espessura da placa: *ep* = 0,7 mm;

- Espessura do canal: *ec* = 3,5 mm;

- Fator de alargamento da área da placa: *fA*P = 1,15;

- Condutividade térmica do material da placa: *km* = 17 W.K-1.m-1

- Assumir *FMLDT*=0,85;

Organize os cálculos, projete o trocador e responda:

1. Desenhe a distribuição das vazões nesse trocador de calor e determine o número de placas térmicas onde ocorre escoamento em contracorrente e o número de placas térmicas onde ocorre escoamento em concorrente.
2. Determine o coeficiente global de troca térmica (*U*) limpo e sujo, levando em conta um fator de incrustação de 3.10-5 K.m2.W-1 para a água e um valor 10x maior para o leite.
3. Determine a carga térmica, sabendo que a temperatura de saída do leite é 14,6oC. Qual será então a temperatura de saída da água?
4. Determine a área de troca térmica (considerando as incrustações), e o comprimento da parte corrugada da placa (*LP*).

[**Respostas**: Resolvido em sala de aula – Aula 4].

**Algumas tabelas úteis**

**Propriedades termofísicas para solução de sacarose em diferentes concentrações**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Densidade (kg/m³) | | | | | |
| T(°C) | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% |
| 10 | 1077,8 | 1123,4 | 1173,0 | 1227,2 | 1286,7 |
| 20 | 1076,4 | 1121,9 | 1171,4 | 1225,4 | 1284,7 |
| 30 | 1074,4 | 1119,8 | 1169,2 | 1223,1 | 1282,3 |
| 40 | 1071,7 | 1117,0 | 1166,4 | 1220,2 | 1279,3 |
| 50 | 1068,3 | 1113,6 | 1162,9 | 1216,8 | 1275,9 |
| 60 | 1064,2 | 1109,5 | 1158,8 | 1212,7 | 1271,9 |
| 70 | 1059,4 | 1104,7 | 1154,1 | 1208,1 | 1267,5 |
| 80 | 1053,8 | 1099,3 | 1148,8 | 1203,0 | 1262,5 |
| 90 | 1047,6 | 1093,1 | 1142,8 | 1197,2 | 1257,0 |
| 100 | 1040,6 | 1086,3 | 1136,2 | 1190,8 | 1251,0 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Calor específico (kJ/kg.K) | | | | | |
| T(°C) | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% |
| 10 | 3,654 | 3,393 | 3,133 | 2,872 | 2,611 |
| 20 | 3,658 | 3,399 | 3,140 | 2,881 | 2,622 |
| 30 | 3,663 | 3,406 | 3,148 | 2,890 | 2,633 |
| 40 | 3,669 | 3,412 | 3,156 | 2,900 | 2,643 |
| 50 | 3,675 | 3,419 | 3,164 | 2,909 | 2,653 |
| 60 | 3,681 | 3,427 | 3,172 | 2,918 | 2,663 |
| 70 | 3,689 | 3,435 | 3,181 | 2,927 | 2,673 |
| 80 | 3,697 | 3,443 | 3,189 | 2,936 | 2,682 |
| 90 | 3,705 | 3,452 | 3,198 | 2,945 | 2,691 |
| 100 | 3,715 | 3,461 | 3,207 | 2,954 | 2,700 |
| Condutividade térmica (W/m.K) | | | | | |
| T(°C) | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% |
| 10 | 0,538 | 0,509 | 0,478 | 0,445 | 0,408 |
| 20 | 0,553 | 0,524 | 0,493 | 0,459 | 0,422 |
| 30 | 0,567 | 0,538 | 0,506 | 0,472 | 0,435 |
| 40 | 0,579 | 0,550 | 0,519 | 0,484 | 0,447 |
| 50 | 0,591 | 0,562 | 0,530 | 0,496 | 0,458 |
| 60 | 0,601 | 0,572 | 0,540 | 0,506 | 0,467 |
| 70 | 0,610 | 0,581 | 0,549 | 0,514 | 0,476 |
| 80 | 0,618 | 0,589 | 0,557 | 0,522 | 0,484 |
| 90 | 0,624 | 0,595 | 0,564 | 0,529 | 0,491 |
| 100 | 0,629 | 0,601 | 0,569 | 0,535 | 0,497 |

