

## EXPERIMENTO 08 – TROCADOR DE CALOR DE CASCO E TUBOS

### 1. OBJETIVO

Deseja-se aplicar conceitos de transferência de calor na análise do processo de troca térmica em um trocador de calor do tipo casco e tubos. Nesse contexto, almeja-se determinar experimentalmente o efeito da variação da vazão, da temperatura e do sentido do escoamento dos fluidos sobre as características do desempenho do trocador de calor.

### 2. BANCADA E EQUIPAMENTO

O equipamento desta experiência é um **trocador de calor de casco e tubos TD360C**, com somente um trajeto no casco e um trajeto nos tubos, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Trocador de calor de casco e tubos TD360C.

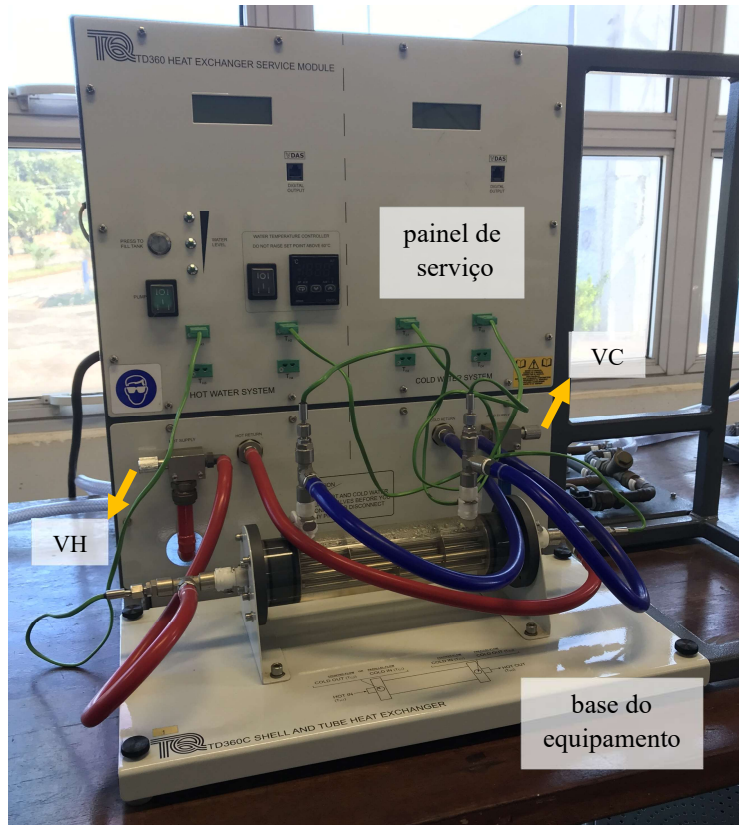
O trocador de calor é constituído de três partes principais:

- Casco externo: 1 tubo de acrílico transparente com diâmetro externo de 60 mm e interno de 50 mm.
- Tubos internos: 6 tubos de aço inoxidável, cada um com diâmetro externo de 6 mm e interno de 4 mm.
- Chicanas: 3 defletores instalados nos tubos internos.

Além disso, o equipamento tem as seguintes especificações:

- Dimensões brutas (comprimento x largura x altura): 500 mm x 260 mm x 150 mm.
- Área média de transferência de calor: 0,020 m<sup>2</sup>.
- Massa: 2,7 kg.

O trocador de calor está instalado em uma bancada experimental composta por uma bomba de água, um reservatório de água quente, um aquecedor com resistência elétrica, um controlador de aquecimento, além de mangueiras, válvulas e sensores, conforme Figura 2 e Figura 3.

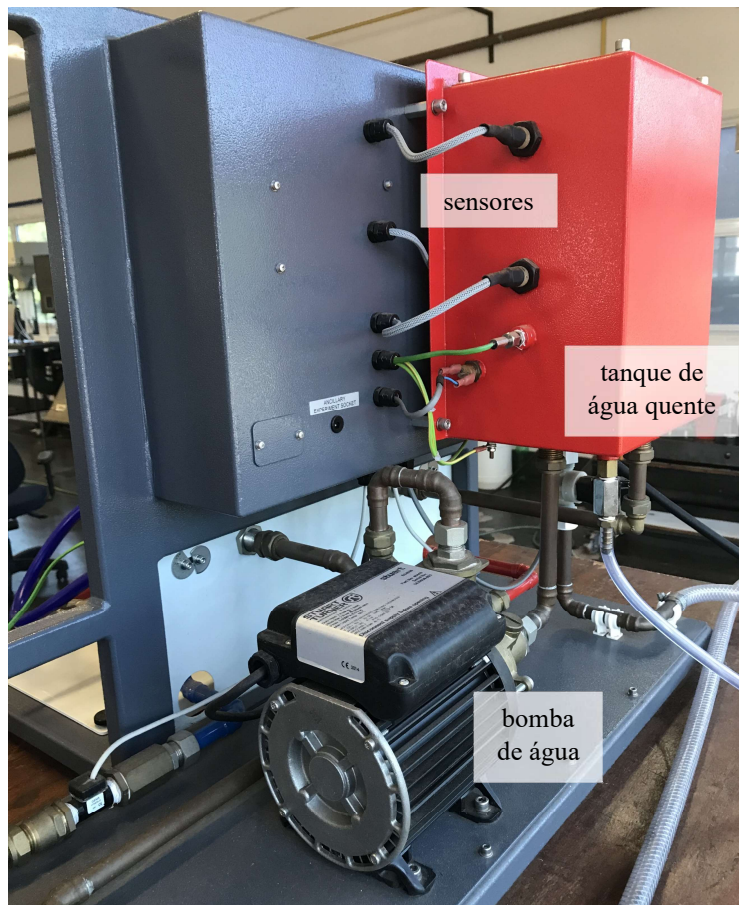


**VÁLVULAS VC e VH:**  
Controlam as vazões de água fria e quente.

**FIAÇÃO VERDE:**  
Ligação dos sensores de temperatura.

**MANGUEIRAS:**  
Cor azul: água fria  
Cor vermelha: água quente

Figura 2. Vista frontal da montagem experimental.



**SENSORES NO TANQUE:**  
Nível e temperatura da água.

**TUBOS E MANGUEIRAS:**  
Para direcionar o escoamento de água fria e água quente.

Figura 3. Vista traseira da montagem experimental.

O controlador de aquecimento é utilizado para ajustar a temperatura do reservatório de água quente, a partir da especificação da temperatura desejada (*set point*). A Figura 4 contém um esquema ilustrativo que explica a o procedimento para utilização do controlador, que fica instalado no painel de serviço.

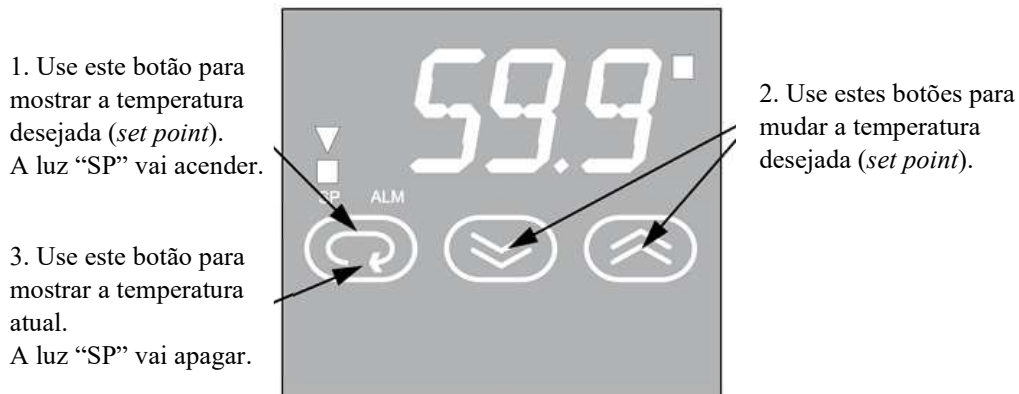


Figura 4. Esquema para demonstrar o uso do controlador.

No painel de serviço, sensores realizam medições de temperatura nas correntes de água quente e fria. Os valores das temperaturas medidas são mostrados em visores no painel de serviço.

- TH1 – Temperatura de entrada do fluido quente.
- TH2 – Temperatura de saída do fluido quente.
- TC1 – Temperatura de entrada do fluido frio.
- TC2 – Temperatura de saída do fluido frio.

De modo semelhante, as vazões de água quente e fria são mensuradas por medidores do tipo turbina e os valores são mostrados no painel de serviço, em visores de LCD. As vazões podem ser modificadas através da atuação de válvulas.

### 3. PROCEDIMENTO DE OPERAÇÃO

#### **Ligando o sistema:**

As siglas **F1**, **F2**, **F3**, **F4**, **F5** estão detalhadas na Figura 5.

- 1) Abra o registro de água de alimentação do trocador de calor.
- 2) Verifique se o equipamento está ligado em uma tomada 220 V.
- 3) Ligue a chave de energia na lateral do painel de serviço (**F1**).
- 4) Verifique o nível do reservatório de água quente. Caso o nível esteja baixo, as luzes do indicador *water level* estarão apagadas (**F2**). Nesse caso, deve-se pressionar o botão *press to fill tank* no painel de serviço e mantê-lo pressionado até que as três luzes verdes fiquem acesas (**F3**).
- 5) Ligue a chave *pump* no painel (**F4**) para acionar a bomba de água.
- 6) Ligue o controlador de aquecimento da resistência elétrica do circuito de água quente, indicado no painel como *water temperature controller* (**F5**).

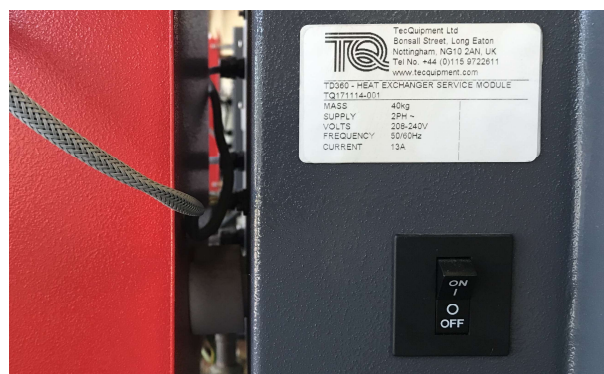
A temperatura mínima da água quente deve ser 5°C acima da temperatura de entrada da água fria. Recomenda-se não configurar um *set point* superior a 60°C.

OBS: Ressalta-se a importância de aguardar em média 5 minutos para o sistema entrar em regime ao modificar a vazão de água fria!

**Mudando o tipo de escoamento:** Para alternar entre escoamento paralelo e contra-corrente, inverta a posição das mangueiras azuis conectadas à entrada e à saída do trocador de calor. Para isso, feche a válvula de água fria e pressione os engates rápidos a fim de soltar as extremidades das mangueiras. Troque a posição das mangueiras e engate-as novamente.

**Desligando o sistema:**

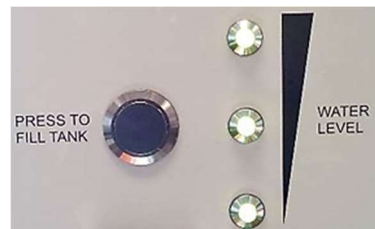
- 1) Desligue a chave do controlador de aquecimento (F5).
- 2) Desligue a chave da bomba de água (F4).
- 3) Desligue a chave de energia na lateral do painel (F1).
- 4) Feche o registro de água de alimentação.
- 5) Retire da energia a tomada do equipamento.



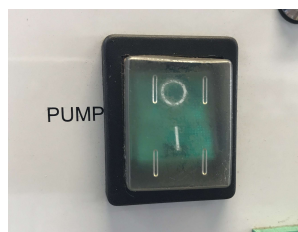
(F1)



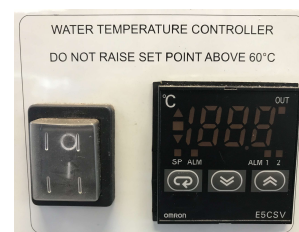
(F2)



(F3)



(F4)



(F5)

Figura 5. Componentes do painel de serviço.

**4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

INCROPERA, F., DEWITT, D., BERGMAN, T., LAVINE, A., *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 6ª ed., Editora LTC, 2011.  
HOLMAN, J., *Heat Transfer*, 10ª ed., McGraw-Hill, 2010.

**Observação:**

Este documento baseia-se no roteiro escrito em 2019 pelos PEDs Me. Leandro Alves Moya e Me. Natan Augusto Vieira Bulgarelli.



**ANEXO: Calor específico e densidade da água em função da temperatura**

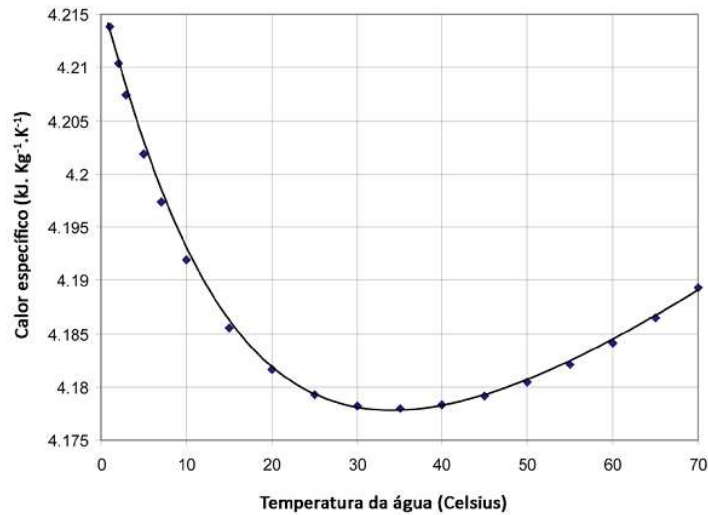


Figura A1. Curva do calor específico da água a pressão constante (guia do usuário, TD360C).

$$\frac{c_p(\text{em } T \text{ } ^\circ\text{C})}{c_p(\text{em } 15^\circ\text{C})} = 0,996185 + 0,0002874 \left( \frac{T + 100}{100} \right)^{5,26} + 0,011160 \times 10^{-0,036T}$$

em que o calor específico da água a 15°C é igual a 4185,5 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

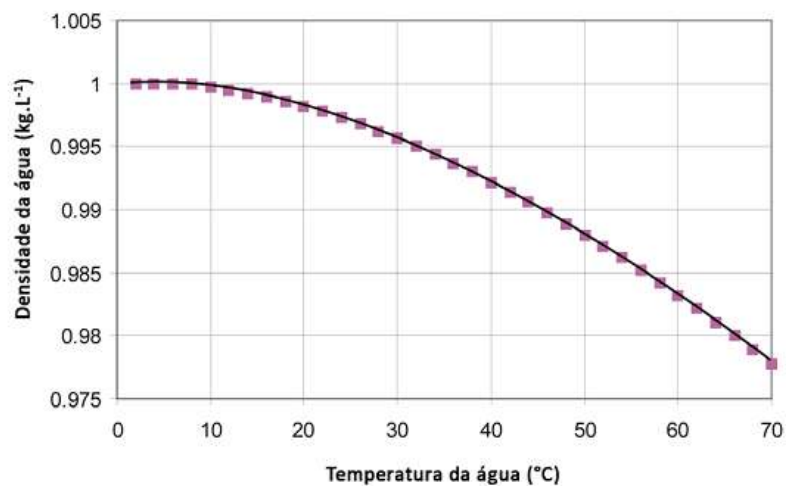


Figura A2. Curva da densidade da água em função da temperatura (guia do usuário, TD360C).

$$\rho = \frac{999,839 + 16,952 T - 7,99 \times 10^{-3} T^2 - 46,241 \times 10^{-6} T^3 + 105,846 \times 10^{-9} T^4 - 281,03 \times 10^{-1} T^5}{1 + 16,887 \times 10^{-3} T}$$