

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM TUBO DE CALOR PARA APLICAÇÃO EM RECUPERADORES DE CALOR

Pedro Ivo Gonçalves dos Santos

Thiago Miranda dos Santos

Gabriel Nagib Zina

Paulo Henrique Dias dos Santos

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia Mecânica

Campus Ponta Grossa - Bairro Baraúna - CEP 84016-210 Ponta Grossa–Paraná

E-mail para correspondência: psantos@utfpr.edu.br

1. Introdução

Os tubos de calor são dispositivos para trocas de calor altamente eficientes e operam em um ciclo bifásico fechado utilizando calor latente de vaporização para transferir calor através de pequenas mudanças de temperaturas.

Os sistemas de bombeamento capilar vêm sendo cada vez mais empregados como trocadores de calor em várias aplicações industriais e aeroespaciais devido a sua eficiência térmica. Neste trabalho são expostos resultados experimentais de um tubo de calor que utiliza um elemento poroso de aço inoxidável (tela de Mesh 100) como estrutura capilar. O fluido de trabalho é água deionizada. Foram realizados testes experimentais para avaliação do comportamento térmico do tubo de calor para as potências de 5 e 7,37 W. Através dos resultados, é apresentada uma análise do comportamento do tubo de calor em operação.

1.1. Princípios de funcionamento

Para facilitar o entendimento dos tubos de calor, primeiramente será feita uma breve abordagem dos termosifões, os quais apresentam semelhanças no funcionamento. Os princípios de funcionamento de ambos os dispositivos diferenciam-se apenas na força motriz para movimentação do fluido.

Os termosifões assim como os tubos de calor são dispositivos para trocas de calor altamente eficientes e também operam em um ciclo bifásico fechado. A essência dos termosifões e tubos de calor é a baixa resistência térmica, devido ao transporte de calor que ocorre pela movimentação do vapor.

Por serem dispositivos simples, os termosifões tem grande aplicabilidade nas indústrias. A força motriz que faz a movimentação do fluido de trabalho dentro do termosifão é a gravidade. Com isso, este dispositivo para troca de calor torna-se limitado, visto que o evaporador deve ficar localizado sempre abaixo do condensador. Ao contrário dos termosifões, o tubo de calor (Fig. 1) pode operar em qualquer configuração de posicionamento do condensador e do evaporador.

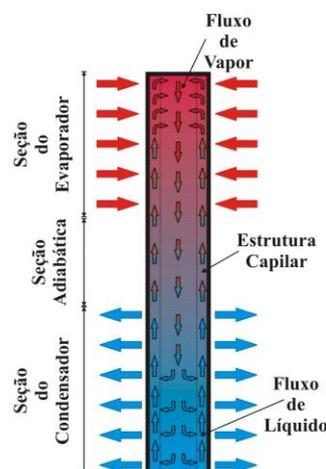


Figura 1 – Esquema de funcionamento do tubo de calor.

Esse dispositivo funciona da seguinte maneira: na região do evaporador, o calor é transferido para o tubo de calor, vaporizando o fluido contido internamente nesta região. O vapor gerado se desloca devido à diferença de pressão e de concentração de vapor para regiões mais frias do tubo, o condensador, onde o calor transportado é rejeitado. No processo de rejeição de calor, o vapor se condensa, e o condensado é transportado de volta para o evaporador, fechando o ciclo. A região adiabática, que pode apresentar dimensão variável (sendo inexistente em alguns casos), está localizada entre o evaporador e o condensador, sendo isolada do meio externo. O retorno do fluido de trabalho do condensador para o evaporador se dá pelo efeito de bombeamento capilar, resultante do escoamento do fluido pelo meio poroso. Portanto, o bombeamento do fluido não necessita de bombeamento mecânico, não possuindo, assim, partes móveis. E fazendo com que o condensador possa estar abaixo do evaporador.

2. Método experimental

Neste trabalho é apresentado os testes e dados experimentais do tubo de calor montado no LabCET/UFSC. A equipe deste laboratório possui experiência em tubos de calor, LHP (Loop Heat Pipe) e CPL (Capillary Pumping Loop) e vêm publicando importantes resultados teóricos e experimentais no cenário nacional e internacional, SANTOS et. al. (2012); SANTOS et. al. (2011); BERTI et. al. (2012); BERTI et. al. (2011).

Na confecção do equipamento testado, utiliza-se um tubo de aço inoxidável sem costura de 4,76 mm (3/16") de diâmetro externo. A estrutura capilar interna consiste em uma tela de aço inoxidável Mesh 100. O fluido de trabalho é água deionizada.

No processo de montagem do tubo de calor as fixações externas para vedação são realizadas com soldagem oxiacetilênica (solda prata).

Inicialmente, corta-se o tubo e a tela metálica (seção retangular) nas suas respectivas dimensões, como mostram as Figs. 2 e 3. A tela é enrolada até completar duas voltas na superfície interna do tubo de calor.



Figura 2 – Tela enrolada (200 mm de comprimento e 21 mm de largura).



Figura 3 – Tubo de aço inox 316-L (200 mm de comprimento e 4,76 mm de diâmetro externo).

Em seguida, solda-se uma tampa na parte inferior do tubo, vide Fig. 3, com o intuito de vedar o recipiente. Pela outra extremidade insere-se a tela, devidamente enrolada, e em seguida solda-se o canal por onde é inserido o fluido de trabalho nessa mesma extremidade. Na sequência, aplica-se a graxa de vácuo e encaixa-se uma mangueira polimérica (Tygon[®]) no canal de alimentação. O conjunto é mostrado a seguir, na Fig. 4.

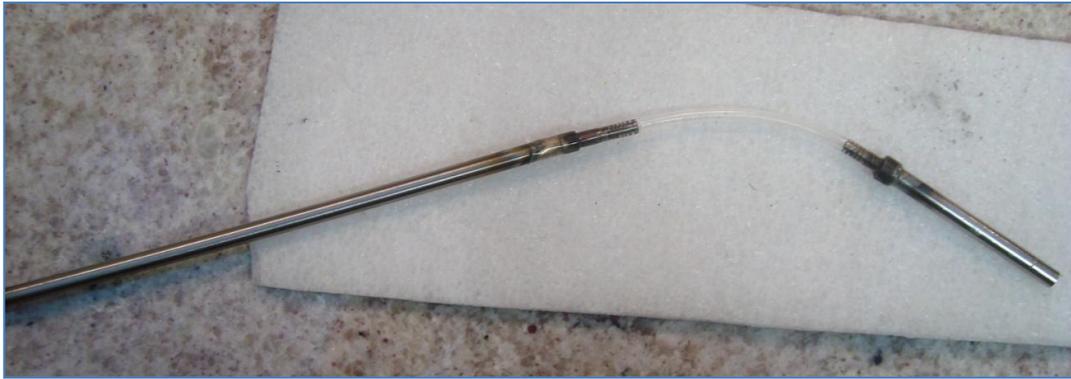


Figura 4 – Conjunto tubo de calor, canal de alimentação e mangueira polimérica.

É de suma importância explicitar que todo este material deve passar por uma limpeza feita através de um aparelho ultra-sônico da Odontobras, modelo 2840D Ultrasonic Cleaner. Todo o material deve ser colocado cuidadosamente em um recipiente com acetona (padrão analítico), adequadamente posicionado no aparelho agitador e posto em funcionamento por cerca de 20 min. Em seguida, é realizado vácuo (até atingir 3.10^{-1} mbar) no tubo de calor utilizando-se a bomba de vácuo Edwards 2M18.

Após todos esses procedimentos, inicia-se o carregamento do tubo com o fluido de trabalho, neste caso a água deionizada. Uma seringa descartável é utilizada para o auxílio dessa etapa, assim como uma bureta. Deve-se ter cuidado com este procedimento, pois a quantidade de fluido a ser carregado é muito pequena (inferior a 1 ml). Deve-se ainda ter atenção especial para que gases não entrem no tubo de calor (eliminar as bolhas na mangueira).

O tubo de calor é dividido em três regiões: condensador, região adiabática e evaporador, porém, em algumas vezes a região adiabática é inexistente. Nove termopares (três em cada região), do tipo T da marca Omega®, são acoplados por meio de duas camadas de fita KAPTON® e espaçados entre si em aproximadamente 16 mm de distância, como mostrado na Fig. 5. Os termopares são responsáveis por medir a temperatura nos diferentes pontos do tubo. Posteriormente, uma resistência elétrica, feita com fio de constantan, é colocada em formato espiral na região de evaporador (ver Fig. 5). Com os termopares e a resistência devidamente instalados, reveste-se as regiões adiabática e de evaporação com um isolante térmico de polipropileno (Polipex), fixado com fita isolante comum.



Figura 5 - Tubo de calor, termopares e resistência elétrica (formato de espiral).

Uma tensão e uma corrente são aplicadas na resistência elétrica através de uma fonte de tensão (Agilent N6700B) para simular o aquecimento do evaporador do tubo de calor por gases de escapamentos. Para o sistema de condensação é utilizada convecção forçada através de um *Cooler* convencional de CPU. Todo este sistema é ligado a um equipamento de aquisição de dados (Agilent DAQ-34970A). Este sistema de aquisição fornece os resultados experimentais através de curvas expressas por temperatura versus.

Dois testes foram realizados no LabCET/UFSC com o tubo de calor produzido. Os testes foram interrompidos na ocorrência de temperaturas acima de 100 °C para manter a segurança do equipamento. No primeiro teste, aplicou-se uma potência de 5 W, mantendo-a constante por 30 min. O segundo teste, aplicou-se em aplicar uma potência de 7,37 W. Em ambos os testes o tubo de calor permaneceu na posição horizontal.

3. Resultados e Discussões

Os dados dos testes experimentais foram coletados e são apresentados a seguir. A Fig. 6 mostra o teste realizado com o tubo de calor para a potência de 5 W. A Fig. 7 mostra o teste realizado para a potência de 7,37 W. Ambos utilizaram um sistema de arrefecimento com convecção forçada na região do condensador. Em ambos os testes, as linhas identificadas $T_{Evap.}$ referem-se a leitura dos termopares posicionados na região do evaporador, bem como aquelas identificadas $T_{Ad.}$ e $T_{Cond.}$ se referem, respectivamente, à leitura dos termopares posicionados nas regiões adiabática e do condensador.

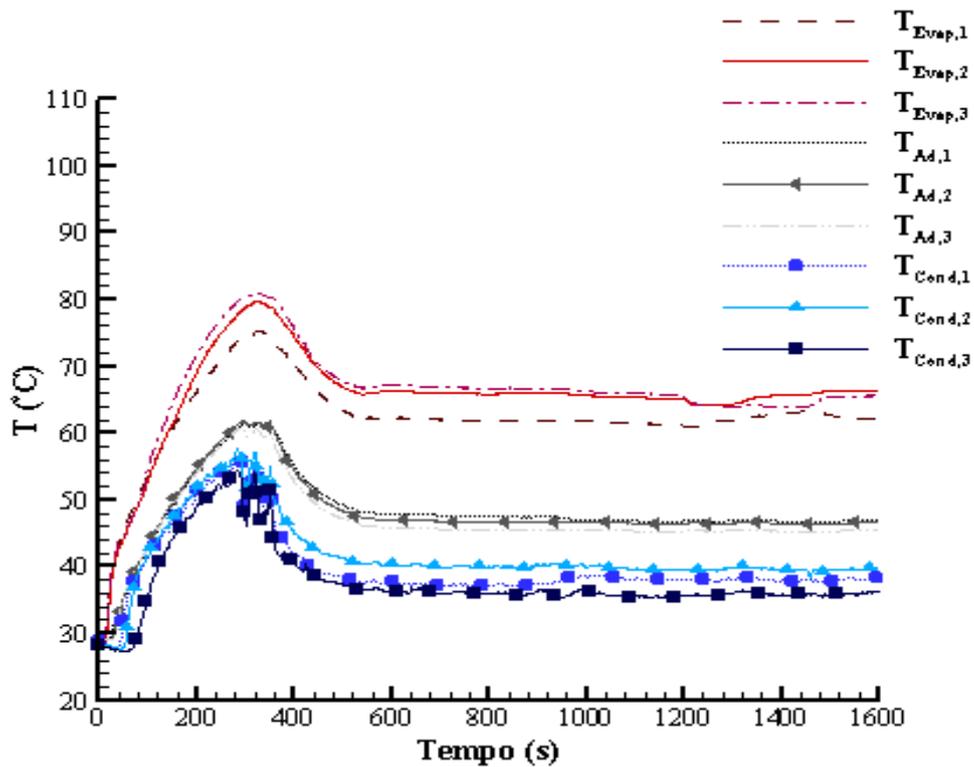


Figura 6 – Temperaturas do tubo de calor para potência de 5 W.

Durante o teste indicado na Fig. 6, as temperaturas dos termopares fixados na região do evaporador aumentam repentinamente após a aplicação da potência ao tubo de calor. Após aproximadamente 350 s, as temperaturas da região do evaporador começam a diminuir devido ao início da formação de vapor no interior do tubo de calor. Percebe-se ainda que as temperaturas das regiões adiabática e do condensador começam também a subir e atingem um pico (em aproximadamente 300s) e em seguida começam a diminuir, mostrando que o tubo de calor partiu (sofreu o *startup*). O tubo de calor atinge o seu regime quase que permanente em aproximadamente 520 s (8,7 min). Neste regime, o tubo de calor atingiu temperaturas abaixo de 70 °C.

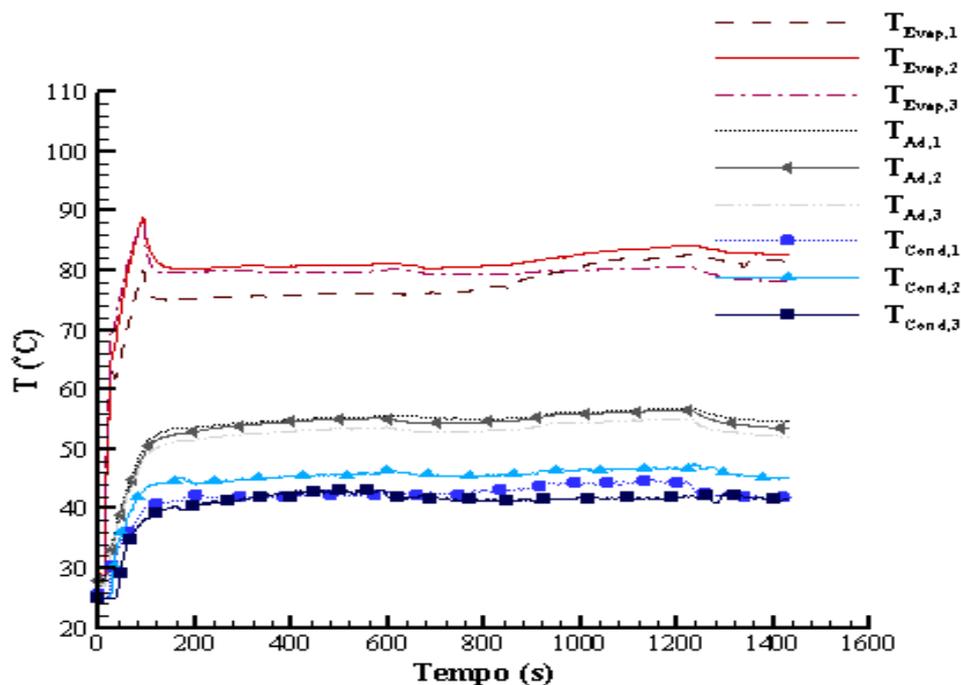


Figura 7 – Temperaturas do tubo de calor para potência de 7,37 W.

Na Fig. 7 nota-se uma rápida estabilização das curvas de temperatura, indicando também o funcionamento correto do tubo de calor. As temperaturas dos termopares fixados na região do evaporador também aumentaram repentinamente após a aplicação da potência ao tubo de calor. Após aproximadamente 80 s, as temperaturas desta região começam a diminuir devido ao início da formação de vapor no interior do tubo de calor. Percebe-se ainda que as temperaturas das regiões adiabática e do condensador começam também a subir e atingem condição de equilíbrio (em aproximadamente 120s), logo, o tubo de calor atingiu o seu regime quase que permanente em aproximadamente 120s (2 min). Através das curvas apresentadas nas Figs. 6 e 7, pode-se afirmar que a temperatura de operação do tubo de calor não excedeu 90 °C para as potências aplicadas, possibilitando a aplicação deste tubo de calor também no controle térmico de equipamentos eletrônicos.

4. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados resultados experimentais de um tubo de calor com um elemento poroso (tela de Mesh 100), ambos feitos de aço inoxidável como estrutura capilar. Este tubo foi testado com água deionizada. Foram realizados testes experimentais para avaliação do comportamento térmico deste tubo de calor na horizontal para as potências de 5 W e 7,37 W.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o tubo de calor foi capaz de dissipar potências de 5 W e de 7,37 W. Para estas condições ele operou normalmente atingindo temperaturas de operação menores do que 90 °C, possibilitando que este tubo de calor possa ser aplicado também no controle térmico de equipamentos eletrônicos.

5. Referências Bibliográficas

BERTI, L.F., SANTOS, P.H.D., BAZZO, E., JANSSEN, R., HOTZA, D., RAMBO, C.R., SANTOS, P. H. D. Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices. *Applied Thermal Engineering*, v.31, p.1076 - 1081, 2011.

BERTI, L. F., SANTOS, P. H. D., BAZZO, E., HOTZA, D., JASSEN, R., RAMBO, C. R. Porous ceramic structures for capillary pumped loops. *Topics in Chemistry and Material Science*, v.1, p.130 - 137, 2010.

KONEV, S.V., WANG, J.L. and TU, C.J., 1995. "Characteristics of a heat exchanger based on a collector heat pipe". *Heat Recovery Systems and CHP*, Vol. 15, pp. 493–502.

PETERSON, G.P., 1994. An Introduction to Heat Pipes: Modeling, Testing, and Applications (Thermal Management of Microelectronic and Electronic System Series). **Wiley-Interscience**.

REAY, D. and KEW, P., 2006. Heat Pipes - Theory, Design and Applications. **Elsevier Science and Technology**.

SANTOS, P. H. D., BAZZO, E., OLIVEIRA, A. A. Thermal performance and capillary limit of a ceramic wick applied to LHP and CPL. **Applied Thermal Engineering** , v.41, p.92 - 103, 2012.

SANTOS, P. H. D., BAZZO, EDSON, BECKER, SUSANNE, KULENOVIC, RUDI, MERTZ, RAINER, Development of LHPs with ceramic wick. **Applied Thermal Engineering** , v.30, p.1784 - 1789, 2010. *Palavras-chave: Ceramic porous wick, LHP, Acetone, Water.*