



Instrumentação de um trocador de calor com objetivo de controle

Gabriel de Moura Costa² – gabriel_m_costa18@hotmail.com

Thiago Tonon¹ – thiago.tonon@ifpr.edu.br

Murilo Silva Colombo² – murilo.sc.sc@gmail.com

Cid Marcos Gonçalves Andrade² – cmgandrade@uem.br

Oswaldo Curty da Motta Lima² – ocmlima@uem.br

1 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

2 – Universidade Estadual de Maringá

Resumo: Este trabalho apresenta o estudo de instrumentação e controle aplicados a um trocador de calor. O trocador de calor é um dos principais equipamentos utilizados em indústrias químicas. O reaproveitamento da energia utilizada em outros processos permite que as unidades industriais sejam mais compactas e tenham menor custo, minimizando a necessidade de caldeiras e fornos. Dessa maneira, desenvolver um sistema automatizado de aquisição de dados e controle para um trocador de calor habilita a planta a aproveitar essa energia de forma mais eficiente e a monitorar o processo remotamente, tornando o processo mais seguro e confiável. Assim, quando se estuda projetos de controle e automação em trocadores de calor é comum a instalação de grande número de sensores e atuadores de diversos tipos. Para a validação da proposta, um protótipo em escala reduzida foi desenvolvido para ser futuramente implementado no trocador de calor presente no laboratório do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.

Palavras-chave: Instrumentação de Trocador de Calor; Arduino; Sensor de Temperatura DS18B20; Sensor de Temperatura YF-B1; Aquisição e Armazenamento de Dados.

1. Introdução

Devido a atual competitividade do mercado, as empresas buscam continuamente melhorar suas plantas industriais. A minimização dos custos operacionais enquanto se mantém a qualidade do produto e a quantidade de produção é o principal desafio que as indústrias buscam solucionar (CAMPOS, et al, 2006) (ENGELL, 2007).

Diversas abordagens foram tomadas de forma a suprir essa necessidade ao longo dos anos, entretanto o método mais eficaz e mais utilizado para atingir este objetivo foi a instrumentação e automação das plantas indústrias atrelada a técnica de controle de processos.

Através do desenvolvimento de estratégias de controle, as indústrias passaram a ser capazes

de controlar as taxas de produção de forma mais precisa, aumentar a qualidade dos produtos, diminuir a necessidade de reprocessamento, aumentar a confiabilidade do processo, entre outras vantagens (CAMPOS, et al, 2006) (DOWNS, et al, 2011).

As indústrias químicas em especial utilizam instrumentação e controle em uma série de equipamentos em suas linhas de produção, cujo propósito é transferir parte da energia gerada em um processo para outro de forma a reduzir os custos de produção, sendo o principal desses equipamentos o trocador de calor.

1.1. Trocadores de calor

Trocadores de calor são equipamentos amplamente utilizados na indústria com o objetivo de recuperar ou reutilizar o calor gerado pelos processos exotérmicos, transferindo o calor das correntes quentes para outros processos que necessitam de aquecimento, minimizando a necessidade de caldeiras e condensadores, assim permitindo que as plantas industriais possam ser mais compactas e baixo custo operacional (CAMPOS, et al, 2006).

A troca de calor nesse equipamento se dá entre dois fluídos, sendo comumente o fluído quente o vapor d'água, utilizado principalmente para aquecer as colunas de destilação e reatores químicos.

A forma mais tradicional de encontrar os trocadores de calor com vapor são os trocadores do tipo casco e tubo, contruídos basicamente por uma série de tubos envoltos por um casco, normalmente em formato cilíndrico, onde um dos fluídos circula pelo interior dos tubos e outro externamente a eles. Estes ainda podem se encontrar em conexões em

série ou em paralelo dependendo do tipo e da aplicação para a qual está sendo utilizado (BICCA, 2006).

2. Modelagem e controle de um trocador de calor

Considerando que as correntes fria e quente não sofrem mudança de fase no trocador, o balanço de energia para o trocador de calor é descrito na Equação 1 (CAMPOS, et al, 2006) (MATHISEN, et al, 1994):

$$\begin{aligned} U * A * \Delta T &= \dot{M}^f * c_p^f * (T_E^f - T_S^f) \\ &= \dot{M}^q * c_p^q * (T_E^q - T_S^q) \end{aligned} \quad (1)$$

Sendo U o coeficiente de troca térmica ($\text{kcal}/\text{hm}^2\text{°C}$), A é a área de troca térmica, ΔT a diferença de temperatura média logarítmica entre o fluido frio e o fluido quente, $\dot{M}$ a vazão mássica em kg/h , c_p o calor específico do fluido em $\text{kcal}/(\text{kg}*\text{°C})$, T_E a temperatura de entrada da corrente no trocador em °C , T_S a temperatura de saída da corrente no trocador em °C , f simboliza o fluido frio e q o fluido quente.

Uma das técnicas de controle mais utilizadas pela indústria para controlar a temperatura de saída do trocador de calor é a manipulação da vazão do fluido quente ou frio. Como a saída do controlador não é proporcional ao calor fornecido, devido a não linearidade da Equação 1, uma solução seria utilizar um controlador PID ou ainda uma válvula proporcional (CAMPOS, et al, 2006).

Outra técnica amplamente utilizada para o controle de trocadores de calor é através da manipulação da vazão, conhecido como sistema *bypass*. Essa técnica é utilizada quando não se pode controlar a vazão do fluido quente ou frio (CAMPOS, et al, 2006) (MATHISEN, et al, 1994).

3. Experimental

Sabendo que fatores como pressão, temperatura e vazão influenciam no controle de um trocador de calor, para o desenvolvimento de estratégias de controle é necessário conhecer a grandeza desses fatores. Para isso utilizamos os instrumentos de medição, e para controlarmos a variável manipulada precisamos de atuadores ou elementos fim de curso. Assim, para o controle de

um trocador de calor, indispensavelmente, precisamos de ao menos sensores de temperatura e de vazão posicionados em pontos estratégicos do trocador, além de válvulas atuadoras para o controle da vazão.

Este projeto objetiva inicialmente apenas a instrumentação e possui o intuito de ser expandido e instalado posteriormente no trocador de calor que se encontra no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá. Foi desenvolvido com equipamentos de baixo custo e fácil implantação, a fim de facilitar a utilização desse equipamentos para pesquisadores e graduandos do departamento.

Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizado a plataforma Arduino UNO. O Arduino é uma plataforma *open-source* que permite fácil prototipagem e desenvolvimento de hardwares e softwares. Este equipamento é capaz de receber e enviar dados a componentes eletrônicos através de suas portas digitais e analógicas. Nele podemos encontrar um processador de dados, uma entrada USB para comunicação e um conector para alimentação externa. Foram conectados ao Arduino um botão do tipo liga/desliga do sistema de aquisição de dados e os sensores.

Com o intuito de medir a temperatura, foram utilizados sensores digitais DS18B20, fabricado pela *Dallas Semiconductor*. Este dispositivo atua como um termômetro medindo temperaturas entre -55°C a 125°C , e pode ser encontrado encapsulado, o que atribui a ele resistência a água, podendo assim operar submerso em fluidos. O mesmo possui um circuito integrado que realiza a conversão do sinal de temperatura medido em sinal digital e o transmite através do protocolo de comunicação *1-Wire*. Este protocolo de comunicação se mostra a principal característica deste sensor, pois permite que cada sensor de temperatura tenha um endereço diferente, possibilitando que inúmeros sensores sejam ligados em um único barramento de comunicação e ocupem apenas 1 porta de comunicação do Arduino UNO.

Com o objetivo de medir a vazão foram utilizados sensores YF-B1, um sensor de efeito *hall* que mede com precisão a vazão de fluidos através da contagem de pulsos eletromagnéticos, que acontecem toda vez que o rotor interno do sensor completa uma volta. Sua escolha se deve ao

seu tamanho compacto, a capacidade de medição de vazão entre 1 e 25 L/min e a resistência a temperaturas de até 120°C. Este sensor não possui um circuito integrado de conversão de sinal nem o protocolo *1-Wire*, necessitando que cada sensor utilizado deva ser ligado a uma porta digital e a contagem dos pulsos deve ser feita através de programação, já que o mesmo envia esses pulsos como um sinal elétrico para o Arduino UNO.

O Armazenamento dos dados obtidos pelo arduino é realizado através de um módulo micro SD, que permite a gravação e leitura de dados em um cartão micro SD pelo Arduino e que pode ser removido e conectado a um computador para a coleta dos dados.

Os dados de leitura de vazão e temperatura também são mostrados em um display de LCD, possibilitando uma IHM de fácil operação. Visando a utilização de poucas portas de comunicação do microprocessados, foi utilizado um módulo de comunicação I²C juntamente com um display.

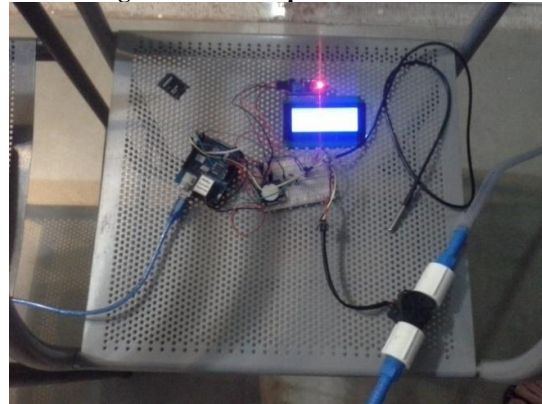
Para maior precisão dos dados e melhor desenvolvimento de estudos futuros, foi implementado um relógio digital RTC DS1307 conectado ao Arduino também via I²C, que realiza a escrita no cartão micro SD dos dados, vinculados a data e hora de coleta da informação.

4. Resultados e discussões

O desenvolvimento da instrumentação de um trocador de calor foi iniciado através da montagem de um protótipo reduzido, como forma de buscar a validação do algoritmo desenvolvido e do funcionamento dos equipamentos que serão futuramente instalados.

Na fase de prototipagem, os testes foram executados à temperatura ambiente e o fluxo dos fluidos foi simulado pela vazão de uma mangueira conectada ao protótipo. Todos os sensores ficaram continuamente transmitindo informações de temperatura e vazão durante o período de operação, e os dados foram coletados pelo Arduino e enviados para o cartão micro SD inserido no módulo, criando um banco de dados. Ao término da simulação, os dados foram extraídos do cartão em um computador, possibilitando o acesso às informações de temperatura e vazão, sempre vinculados a data e hora da operação. A Figura 1 apresenta o módulo experimental desenvolvido.

Figura 1 – Protótipo desenvolvido



Fonte: Autoria Própria

O teste consiste em iniciar a coleta dos dados com os sensores desligados. Após a ativação dos sensores, inicia a transmissão dos dados de temperatura para o Arduino. O período de amostragem foi estabelecido em um segundo. O Arduino efetua o armazenamento das informações no cartão micro SD. Na sequência, a válvula de fluxo de água é aberta, permitindo o fluxo da água pelo sensor de vazão.

No final do processo de simulação de operação do trocador de calor, os dados foram coletados e enviados ao computador.

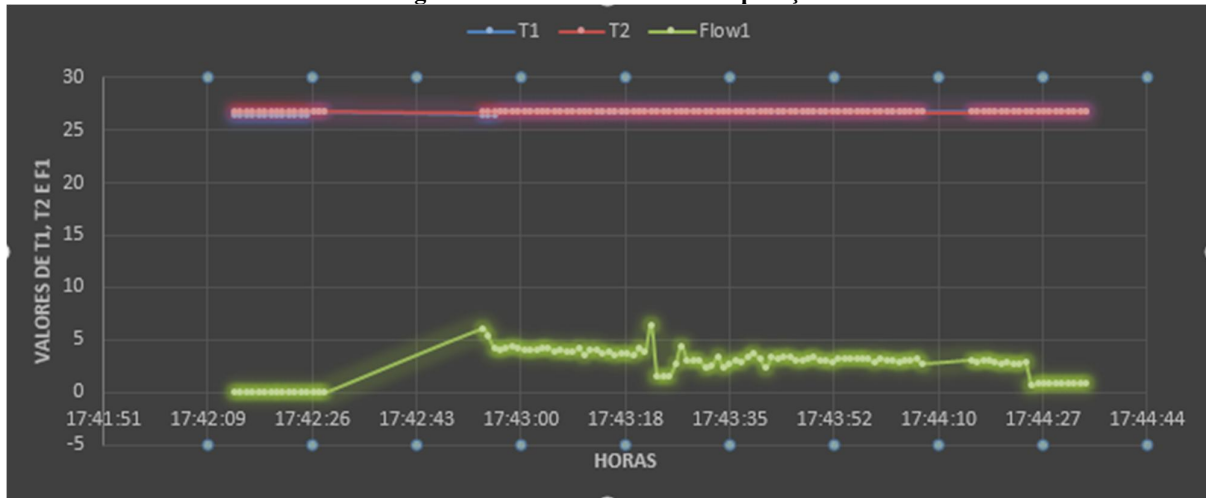
Os dados coletados foram importados para o software Excel®, a fim de desenvolver gráficos capazes de trazer um melhor entendimento para a operação da planta.

A Figura 2 apresenta o gráfico gerado a partir dos dados que foram coletados na operação do protótipo. As linhas vermelha e azul representam a temperatura dos dois sensores que foram utilizados, e a linha verde é a representação do fluxo de água que percorreu o sensor.

Observando o gráfico, percebe-se a existência períodos em que as linhas estão contínuas ao invés de pontos. Esse período representa o tempo em que o sistema estava em pausa na aquisição de dados e monitoramento, criado para poder ajustar as configurações do trocador de calor sem que apareça variações aleatórias da manutenção.

No gráfico, cada ponto representado mostra uma amostragem da informação coletada.

Figura 2 – Gráfico de dados de operação



Fonte: Autoria Própria

Os dados de temperatura permaneceram estáveis pois a operação foi executada em temperatura ambiente. Durante a operação, uma série de variações de fluxo de água foi executada para observar a capacidade de detecção da variação do fluxo. As informações referentes ao fluxo apresentaram variações, exatamente como executadas durante o processo, validando o protótipo e permitindo a conclusão que este sistema é apto para operar na planta real.

5. Conclusões

Esse trabalho apresentou o desenvolvimento do estudo e projeto da instrumentação e aquisição de dados de um trocador de calor.

Para alcançar os objetivos e validar a proposta, foi desenvolvido um protótipo capaz de monitorar a temperatura e a vazão na qual foi submetida. Os dados coletados foram armazenados em uma memória removível, possibilitando a importação em um computador, viabilizando os estudos dos trocadores de calor.

Durante a operação do protótipo, foi possível perceber que ele é sensível para detectar pequenas variações de temperatura e vazão nas quais foi submetido, e que os dados coletados são adequados e condizem com a realidade da operação de plantas com maior dimensão, possibilitando que este protótipo possa ser instalado em uma planta real.

A validação prática do protótipo se dará através da instalação do sistema em um trocador

de calor, existente no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.

Como o sistema apresentou resultados que eram esperados, será possível desenvolver um sistema de controle automático, que possibilitará um melhor aproveitamento da planta.

REFERÊNCIAS

- BICCA, G. B. **Modelagem Hierárquica de Trocadores de Calor Casco e Tubos**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006.
- CAMPOS, M. C. M. M. de.; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**, São Paulo : Edgard Blücher, 2006.
- DOWNS, J. J.; SKOGESTAD, S.. **An industrial and academic perspective on plantwide control**. Annual Reviews In Control, [s.l.], v. 35, n. 1, p.99-110, abr. 2011.
- ENGELL, S. **Feedback control for optimal process operation**. Journal Of Process Control, [s.l.], v. 17, n. 3, p.203-219, mar. 2007.
- MATHISEN, K. W.; MORARI, M.; SKOGESTAD, S. **Dynamic models for heat exchangers and heat exchanger networks**. Computers & Chemical Engineering, [s.l.], v. 18, p.459-463, jan. 1994.