

AUTOMATIZAÇÃO DO BALANÇO TÉRMICO DO CIRCUITO DE CIRCULAÇÃO NATURAL

Thiago A. dos Santos¹, Giovanni Laranjo de Stefanni¹, Thadeu das Neves Conti¹

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
tsantos@ipen.br
gstefanni@ipen.br
tnconti@ipen.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo criar um software para automatizar o cálculo do balanço térmico do Circuito de Circulação Natural (CCN) do Centro de Engenharia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CEN-IPEN). O balanço térmico é utilizado para avaliar as condições de um circuito de circulação natural, que é uma parte importante na segurança de reatores nucleares, sobretudo os mais recentes (3, 3+ e futuramente o 4). Para tanto, foi utilizado o software LabView, que permite a construção de programas não por linhas de comando, mas por construções de blocos lógicos.

1. INTRODUÇÃO

A circulação natural é um fenômeno que consiste na movimentação de um fluido sem nenhum auxílio de qualquer dispositivo mecânico, apenas com a variação de temperatura entre as extremidades mais alta com temperatura mais baixa e extremidade mais baixa com temperatura maior, fazendo assim o fluido circular por convecção.

Esse fenômeno possui diversas utilidades como o aquecimento de água em placas coletoras de energia solar, a dissipação de calor em processos químicos, resfriamento de dispositivos eletrônicos e na redistribuição da temperatura no globo terrestre devido ao movimento por convecção do oceano e da atmosfera (inclusive). Na área de engenharia nuclear é fundamental para a proteção de reatores nucleares, principalmente nos modelos mais recentes (3, 3+ e futuramente o 4). Nestes são usados um circuito de circulação natural que atua na parte de refrigeração destes reatores, o que é fundamental para a segurança destes.

Como esse é um equipamento de segurança do circuito é muito importante que as condições deste equipamento sempre sejam as melhores possíveis. Uma forma de avaliar as condições de um circuito de circulação natural é através de um balanço térmico.

No Centro de Engenharia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CEN/IPEN- SP) existe um circuito como esses que é utilizado apenas para fins acadêmicos. Neste, já foram feitos diversos trabalhos, como o estudo do balanço térmico do circuito.

Neste trabalho, temos como motivação a criação de um software próprio de maneira a otimizar tais cálculos. Para a criação deste isso foi usado o software LABWIEW.

1.1. Circuito de Circulação natural (CCN – IPEN/POLI)

No Centro de engenharia nuclear do Instituto de pesquisas energéticas e nucleares (CEN/IPEN) existe um modelo do circuito de circulação natural que foi originalmente criado pelo departamento de engenharia da escola politécnica da universidade de São Paulo (CCN – IPEN/POLI). Por anos os pesquisadores do IEPN trabalharam com o circuito estando em um galpão da escola politécnica, mas depois de anos o circuito foi cedido pela POLI para o IPEN.

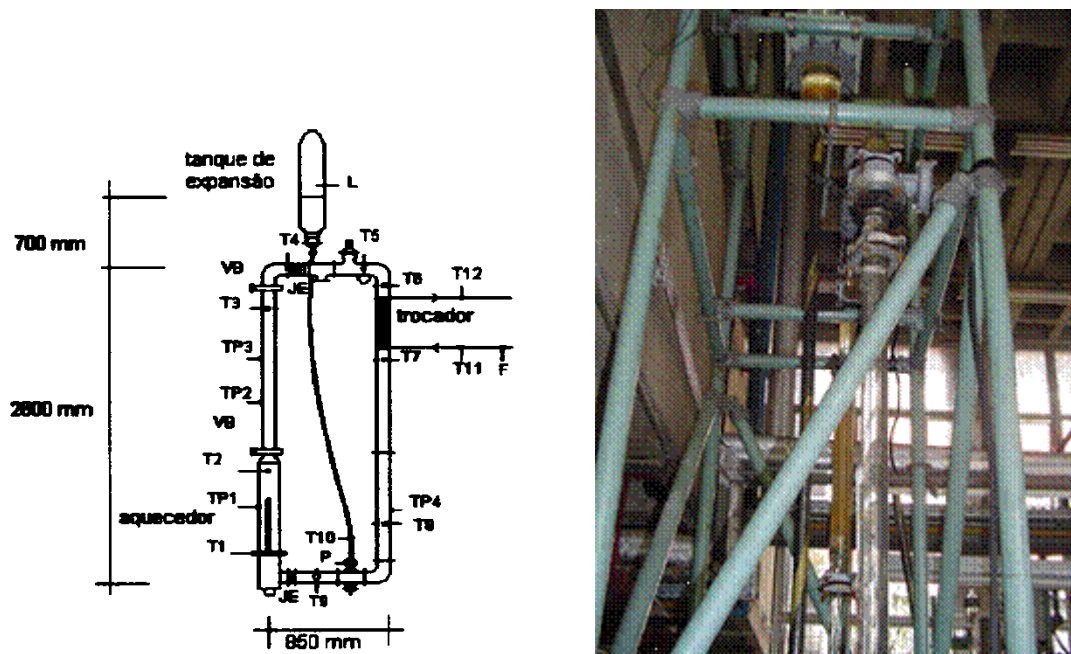


Figura 1. Esquema e foto do Circuito de circulação Natural.

Ele é um retângulo formado por tubos e equipamentos em vidro Pyrex da Corning, com 2,60 m de altura e 0,850 m de largura. A fonte quente é um aquecedor elétrico situado na parte inferior da seção vertical do circuito e a fonte fria é um trocador de calor com espiras helicoidais e encontra-se na parte superior da seção vertical oposta a do aquecedor. O volume

total de água no circuito incluindo tanque de expansão e linha de surto é de aproximadamente 12 litros. O tanque de expansão previsto para absorver as variações de densidade do fluido no circuito é conectado em um ponto intermediário da seção horizontal inferior. O bocal superior do tanque de expansão permanece aberto mantendo o circuito a uma pressão próxima à pressão ambiente (1 atm). O circuito não possui isolamento térmico, a menos da base do aquecedor, possibilitando assim a visualização do escoamento.

1.2. Software LabVIEW

LabVIEW, que é a sigla de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench é uma linguagem de programação gráfica que utiliza ícones em vez de linhas de texto para criar aplicações. Em contraste às linguagens de programação baseadas em texto em que instruções determinam a execução do programa, o LabVIEW utiliza programação baseada em fluxo de dados onde o fluxo dos dados determina a execução.

Nele se constrói uma interface de usuário utilizando um conjunto de ferramentas e objetos. A interface de usuário é conhecida como painel frontal. Então o código é adicionado utilizando representações gráficas de funções para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de bloco contém esse código. Sob certos aspectos o diagrama de bloco assemelha-se a um fluxograma.

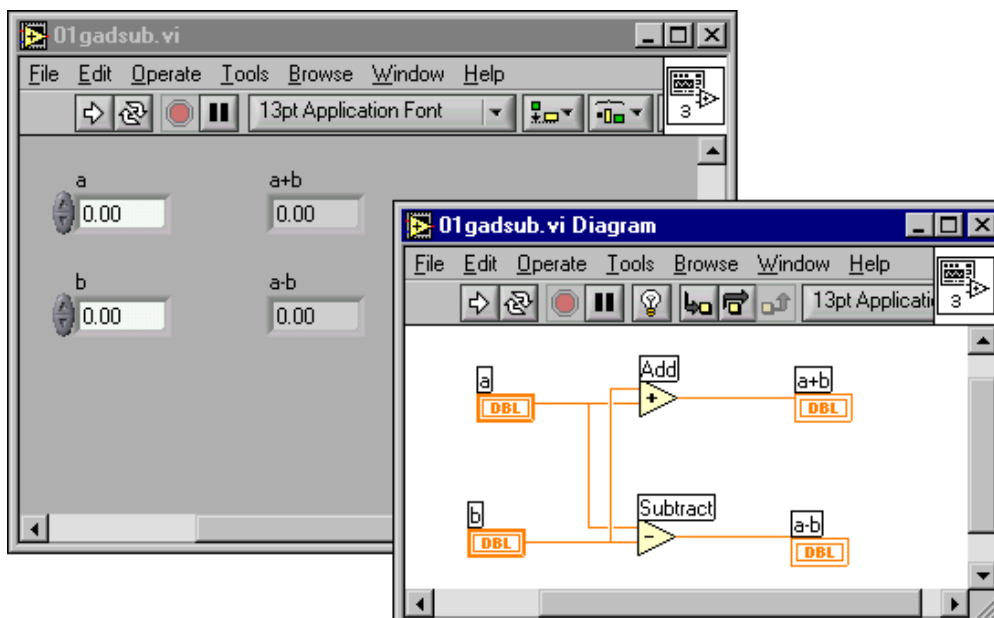


Figura 2. Exemplo do LabVIEW

Utilizando o LabVIEW é possível criar aplicações de teste, medição, aquisição de dados, controle de instrumento, registro de dados, análise de medição e geração de relatório. Também pode criar executáveis e bibliotecas compartilhadas como DLLs já que o LabVIEW é um compilador real de 32 bits.

2. BALANÇO TÉRMICO

O balanço térmico ou balanço energético, é uma forma de se avaliar as condições do circuito. Consiste em verificar se a energia é conservada (considerando as perdas). O balanço é feito tanto no aquecedor quanto no trocador. Neste trabalho foi apenas analisado o funcionamento do circuito no regime monofásico, ou seja, o fluido mantinha-se apenas em um estado físico. Com base na referencia X foi utilizado o calculo do balanço térmico pelo método do calor específico dado por:

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

Todos os valores de constantes obtidas são mostrados no Apêndice I.

O primeiro passo do balanço é fazer a conversão da vazão volumétrica para vazão de massa. Para isso utiliza-se a equação

$$\overline{M} = \overline{V}\rho \quad (2)$$

Onde a densidade (ρ) é determinada através de tabelas termodinâmicas.

Com o valor da vazão volumétrica convertido na vazão em massa do circuito secundário os cálculos para o trocador e o aquecedor são dados respectivamente por:

$$\overline{M}_p = \frac{M_s c_s (T_{22} - T_{21}) + h D_T L_T \pi}{c_p (T_{16} - T_{17})} \quad (3)$$

$$P_A = \overline{M}_p c_p (T_{11} - T_{12}) + h \pi L_A D_A (T_{W1} - T_{AMB}) \quad (4)$$

Da equação (3) é determinada a vazão em massa no circuito primário e a utilizando em (4) determina-se o valor da potência do aquecedor assim finalizando o balanço térmico. O valor

do calor específico para cada parte do circuito (primário e secundário) é retirado de tabelas termodinâmicas com base no valor das temperaturas daquele ponto. Todas as constantes utilizadas são as mesmas de um cálculo teórico sem a utilização deste programa.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

O presente programa visa ser um complemento a um programa também criado em LabVIEW e utilizado no Centro de Engenharia nuclear (CEN- IPEN). Este programa já faz diversas análises sobre o CCN, mas ainda o balanço térmico era feito a parte. Assim, com o balanço térmico feito assim que os valores das temperaturas são medidos a avaliação do circuito torna-se muito mais rápida e eficiente.

Para a construção do programa de automatização do balanço térmico foram utilizados blocos lógicos que simulam operações matemáticas como é mostrado na figura 3.

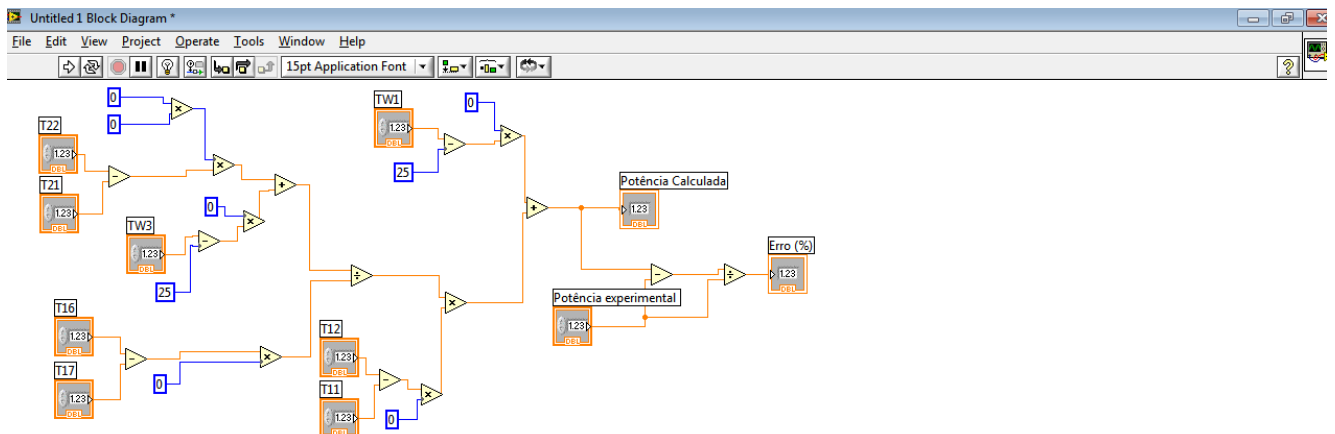


Figura 3. Programa montado com os blocos lógicos.

A estrutura do programa é baseada em três cálculos: as equações (3) e (4) que configuram o cálculo do balanço térmico e o cálculo do erro percentual das potências do aquecedor. Potências estas calculada pelo programa e a medida feita experimentalmente através de um multímetro podendo assim avaliar também a eficácia do programa. A figura 4 mostra através de um simples diagrama de blocos a estrutura do programa.

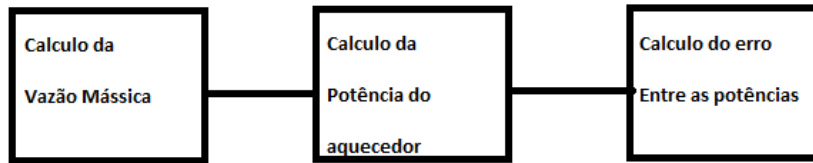


Figura 4. Blocos mostrando as estrutura do programa.

Para o cálculo do erro usou-se a expressão

$$Erro = \frac{P_{Teórico} - P_{Medido}}{P_{Teórico}} \times 100 \quad (5)$$

Já a parte visual do programa consiste em botões de entradas de temperaturas e valores das potências obtidas pelo programa e as medidas pelo multímetro (aqui chamada de potência experimental) e o erro percentual entre elas.

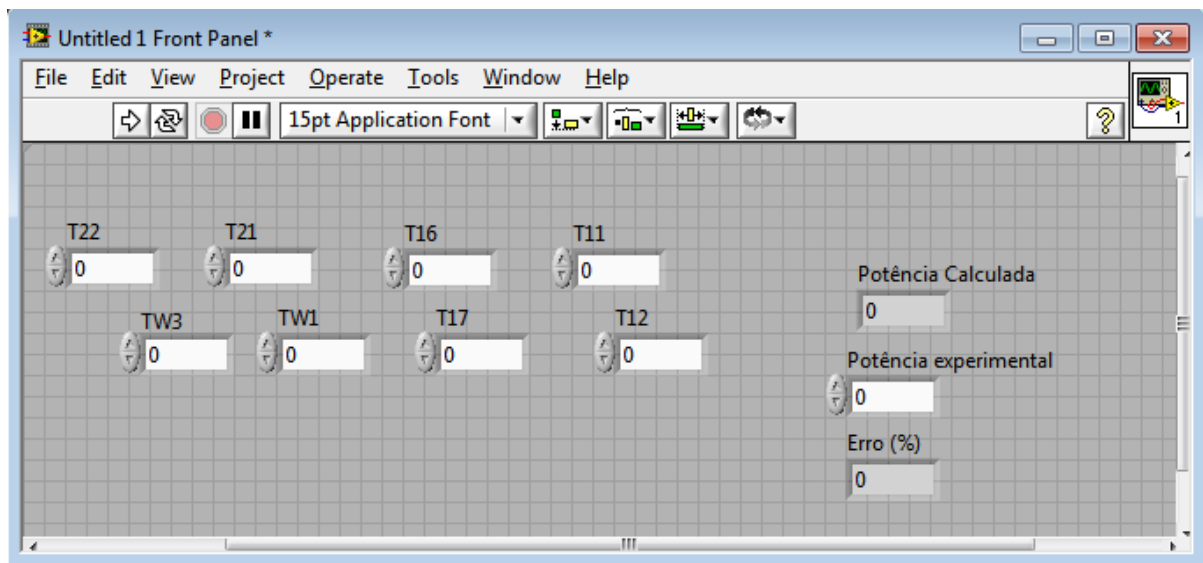


Figura 5. Parte visual do programa.

Testes foram feitos com dados já obtidos do CCN em medições anteriores e o programa efetuou os cálculos mantendo a faixa de erro menor do que 15% que é o limite tolerável.

4. CONCLUSÃO

O programa mostrou-se extremamente eficiente para realizar o balanço térmico o que na verdade era o seu primeiro objetivo. Porém ainda este programa precisa ser integrado ao programa que faz todas as outras análises do CEN. Além disso, como uma segunda etapa, há a pretensão de melhorar a parte visual e também permitir que o programa realize outros cálculos que auxiliem no estudo de fenômenos referentes a circulação natural e a análise do circuito, como o cálculo do coeficiente global de troca e a condutividade térmica.

APENDICE I - NOMENCLATURA E CONSTANTES UTILIZADAS

Símbolos

Q - Quantidade de Calor;

m - Massa;

\bar{V} - Vazão Volumétrica;

\bar{M} - Vazão Mássica;

T - Temperatura;

H - Entalpia;

c - Calor específico;

h - Constante térmica;

D - Diâmetro;

L - Comprimento;

ρ - Densidade;

Subscritos

p - Circuito primário;

s - Circuito secundário;

A - Aquecedor;

T - Trocador;

AMB - Ambiente;

11 – Termostato 11;

12 – Termostato 12;

16 – Termostato 16;

17 – Termostato 17;
21 – Termostato 21;
22 – Termostato 22;
W1 – Termostato W1;
W3 – Termostato W3;

Constantes utilizadas.

$$T_{AMB} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$h = 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

$$D_A = 0,0768 \text{ m}$$

$$L_A = 0,773 \text{ m}$$

$$D_T = 0,0565 \text{ m}$$

$$L_T = 0,61 \text{ m}$$

$$\rho = 90 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

AGRADECIMENTOS

Ao CEN (Centro de Engenharia Nuclear) ao CNEN e ao CNPq cujas colaborações foram vitais para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Bastos, J. L. F. e Rocha, R. T.V, Desenvolvimento de um Programa para a Modelagem do Fenômeno de Circulação Natural em Reatores Nucleares, IV General Congress on Nuclear Energy, p. 107-111, Abril 1992
2. Kern, D. Q., “Processos de Transmissão de Calor”, LTC, 1980
3. Damy, O.L.A, Análise experimental do fenômeno de circulação natural, Relatório Semestral de iniciação científica (IPEN/CNEN-SP) – 2007

4. Department on Energy of U.S.A , Doe Fundamentals Handbook – Thermodynamics, heat transfer and fluid flow – Vol 3
5. Manual de treinamento do LabVIEW, National Instruments Corporation, 2001