

INSTRUMENTAÇÃO, ACIONAMENTO E CONTROLE DE UMA UNIDADE DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO DE DUPLO EFEITO USANDO ÁGUA E BROMETO DE LÍTIO

Weiber Lima de Souza, weiber.lima@hotmail.com¹
Carlos Antonio Cabral dos Santos, carloscabraldosantos@yahoo.com.br¹
Pedro Paulo Cavalcante Neto, ppusco@hotmail.com¹
Felipe Vilar da Silva, felipetaperoa@hotmail.com¹
Vamberto Barbosa Ferreira Filho, branco_jp@hotmail.com¹
Igor Cavalcante da Silvera, Igor.cavalcante@gmail.com¹

¹Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária- João Pessoa CEP: 58059-900

Resumo: *O presente trabalho é baseado na instrumentação, acionamento e controle de queima em uma unidade de refrigeração por absorção de duplo efeito que utiliza o par água – brometo de lítio como fluido de trabalho. O trabalho consiste na implantação da instrumentação, controle do sistema de queima e fornecimento de energia a unidade. A unidade estando em operação é feito o levantamento de dados experimentais, nos pontos de referências onde a solução está em níveis de concentração distintos para a comparação com os dados obtidos em simulações teóricas computacionais, desenvolvidas por pesquisadores do Laboratório de Energia Solar - LES/UFPB. Para esse desenvolvimento experimental se utilizou equipamentos e softwares largamente utilizados na indústria. O controlador utilizado para o acionamento desse sistema é um Clic 01 do fabricante WEG. O sistema de refrigeração por absorção é alimentado inicialmente pela queima direta de gás natural no queimador acionado pelo controlador lógico programável liberando a passagem de gás através de uma válvula solenóide e produzindo a centelha inicial por um eletrodo de alta tensão, simulando resíduos térmicos desperdiçados na indústria. Para segurança da queima se faz necessário um sistema de controle desse processo, sendo utilizados sensores de detecção de chama para que através do programa desenvolvido em linguagem LADDER, ocorra o monitoramento da queima para o acionamento ou não do sistema. Dando prosseguimento ao processo de acionamento da unidade são acionadas as bombas d'água e a bomba de recirculação da solução de brometo de lítio. Os resultados de pressão são obtidos nos estágios do processo através de transdutores de pressão piezoresistivos que converte a pressão aplicada pelo fluido em sinal elétrico, onde é repassado para o indicador de pressão obtendo-se a leitura. Esse sistema tem na sua configuração a possibilidade de comunicação com sistemas supervisórios, podendo dar assim continuidade ao trabalho desenvolvido. Esses resultados darão suporte para a análise e comparação com os dados das simulações teóricas computacionais, bem como os devidos ajustes dos modelos.*

Palavras-chave: *Instrumentação, Controle, Refrigeração por absorção*

Abstract: This work is based on instrumentation, trigger and control of burning in a refrigeration unit of double-effect absorption by using the couple water - lithium bromide as working fluid. The work involves the deployment of instrumentation, control system and the supply of energy for the unit. When in operation is done the survey of experimental data, in the reference points where the solution is in different levels of concentration for the comparison with data obtained in theoretical computer simulations, developed by researchers of the Laboratory of Solar Energy - LES / UFPB .For this experimental development is used equipment and software widely used in industry. The controller used to the trigger of this system is one of the manufacturer WEG Clic 01. The absorption cooling system is powered initially by direct burning of natural gas fired in the burner by a programmable logic controller releasing the passage of gas through a solenoid valve and producing the initial spark for a high voltage electrode, simulating heat wasted in the waste industry. For the safety of burning is request the control of this process, using sensors to detect a flame that through the developed program in LADD language, occurs the monitoring of the burning for the trigger or shut down the system. Continuing the process the water pumps and the solution lithium bromide recirculation pump are trigger. The results of pressure are obtained in stages through the process of pressure transducers piezoresistive that converts the pressure applied by the fluid in electrical signal, which is passed to the indicator of pressure resulting in the reading. The system configuration has the possibility of the communication with

monitoring systems and may thus give continuity to the work. These results give support for the analysis and comparison with the data of theoretical computer simulations, and the appropriate adjustments of the models.

Keywords: Instrumentation, Control, refrigeration by absorption.

1. INTRODUÇÃO

A busca constante pela racionalização de energia tem incentivado a volta da refrigeração por absorção de vapor, que utiliza energia elétrica em pequena quantidade e não utiliza fluidos agressivos ao meio ambiente. A tecnologia de refrigeração por absorção de vapor é alimentada por energia térmica e tem como fluido de trabalho as misturas binárias, as mais usuais são: água - brometo de lítio ou amônia - água; diferentemente da refrigeração por compressão que utiliza energia elétrica, em grande quantidade, e fluidos maléficos à camada de ozônio.

Além dessa preocupação com o consumo de energia, os acordos governamentais entre as nações para a proteção do meio ambiente - Conferência de Viena (1985), Protocolos de Montreal (1988), Londres (1990), Copenhagen (1992) e Kyoto (1997), citados em MCMullan (2002) - reforçaram essa retomada da refrigeração por absorção ao âmbito da indústria e do comércio; tal retomada tem ocorrido devido às metas que buscam tanto a substituição dos refrigerantes (Halogenados, CFC's e HCFC's) - fluidos utilizados pela refrigeração por compressão - quanto ao desenvolvimento de tecnologias alternativas para a *produção de frio*. Dentre as alternativas apresentadas para alcançar tais metas, os sistemas de refrigeração por absorção têm grande relevância na análise do ponto de vista térmico, com a possibilidade de aproveitamento de resíduos térmicos.

Com a necessidade de redução de consumo de energia elétrica e a preocupação com os resíduos térmicos liberados para o meio ambiente, as indústrias cada vez mais vêm aderindo a uma combinação viável para a resolução desses dois grandes problemas. A cogeração tem sido apontada, preferencialmente, como solução para esses problemas, pois os sistemas de cogeração resolvem as questões de geração de energia elétrica e de produção de frio simultaneamente.

O presente trabalho dá continuidade às pesquisas já elaboradas por Paulo Henrique (2005). Ele apresentou uma análise energética e exergética de um sistema de múltiplos efeitos. Neste trabalho é apresentado método usado para instrumentação, o acionamento e o controle da chama, podendo assim formular uma análise experimental de um sistema de refrigeração de duplo efeito em série. Será feita uma análise quanto a configuração do sistema de absorção de duplo efeito em série, para um conhecimento geral do processo como um todo, afim de que se possa automatizar esse processo.

A automatização dos mais diversos processos se faz presente no cotidiano, devido ao alto grau de confiabilidade em que esses dispositivos apresentam após essa automação. A instrumentação é a ciência que desenvolve e aplica técnicas de medição, indicação, registro e controle de processos, visando a otimização e eficiência dos mesmos. Dentre as vantagens que a instrumentação trouxe para os processos como um todo, podemos destacar a obtenção de processos mais seguros, a centralização das informações, uma maior produtividade com o menor custo.

2. SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE DUPLO EFEITO EM SÉRIE

O sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito em série possui eficiência global maior do que o sistema de simples efeito; isso acontece devido ao uso indireto do calor de entrada pela segunda vez no segundo gerador de vapor. O sistema de duplo efeito, como pode ser visto na Figura 1, é constituído por sete trocadores de calor (Trocador de calor I e II, gerador de vapor I e II, condensador, evaporador e absorvedor), uma bomba de recirculação e de bombeamento da solução e outra bomba de recirculação de refrigerante. Ele trabalha com três níveis de pressão, sendo duas abaixo da pressão atmosférica e uma acima da mesma. Possui três níveis de concentração.

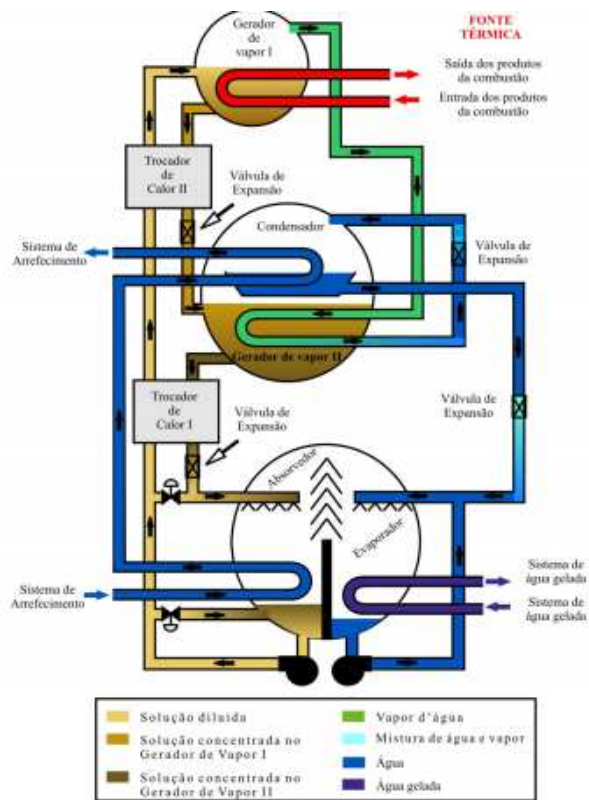


Figura 1 : Sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito em série

O ciclo do sistema de duplo efeito em série se dá pela seguinte forma: o vapor de refrigerante a baixa pressão, vindo do evaporador, é absorvido pela solução de brometo de lítio (nível III de concentração) no absorvedor. A solução de brometo de lítio, ao absorver o vapor de refrigerante, passa do nível III para o nível I de concentração essa solução é, então, recebida pela bomba, que eleva a sua pressão, entregando-a ao gerador de vapor I. No gerador I, a solução (nível I de concentração) recebe calor de uma fonte térmica até que se expulse parte do vapor que tinha sido absorvido pela solução no absorvedor. Logo, do gerador de vapor I saem vapor de refrigerante a alta pressão e solução de brometo de lítio no nível II de concentração.

A solução que sai do gerador I passa por um dispositivo de expansão antes de chegar ao gerador II; isso ocorre para que seja promovida a queda de pressão dessa solução, a fim de atingir a pressão menor do gerador II; dessa forma, é mantida a diferença de pressão entre os dois geradores. O vapor produzido no gerador I migra para o gerador II, onde ele aquece a solução vinda do gerador I e se transforma em líquido saturado. Por outro lado, a solução aquecida por esse vapor irá liberar a parte restante do vapor (este, absorvido por ela no absorvedor), passando, então, do nível II para o nível III de concentração. Dessa forma, do gerador de vapor II saem vapor de refrigerante a alta pressão e solução de brometo de lítio no nível III de concentração.

O refrigerante no estado de líquido saturado (que sai do gerador II) passa por um dispositivo de expansão, tornando-se mistura. Em seguida, une-se com o vapor produzido no gerador II, antes de chegar ao condensador. No condensador, essa união cede calor para o ambiente através do sistema de arrefecimento e se condensa. Tanto o condensado (vindo do condensador) quanto a solução (vinda do gerador de vapor II) passam por dispositivos de expansão até chegarem ao evaporador e ao absorvedor, respectivamente, recomençando o ciclo.

2.1. Análise Energética do Sistema de Refrigeração de Duplo Efeito em Série

A análise energética do ciclo de duplo efeito foi feita com base na primeira lei da termodinâmica aplicada a cada componente conforme mostra a figura 2. Os balanços efetuados são apresentados conforme abaixo:

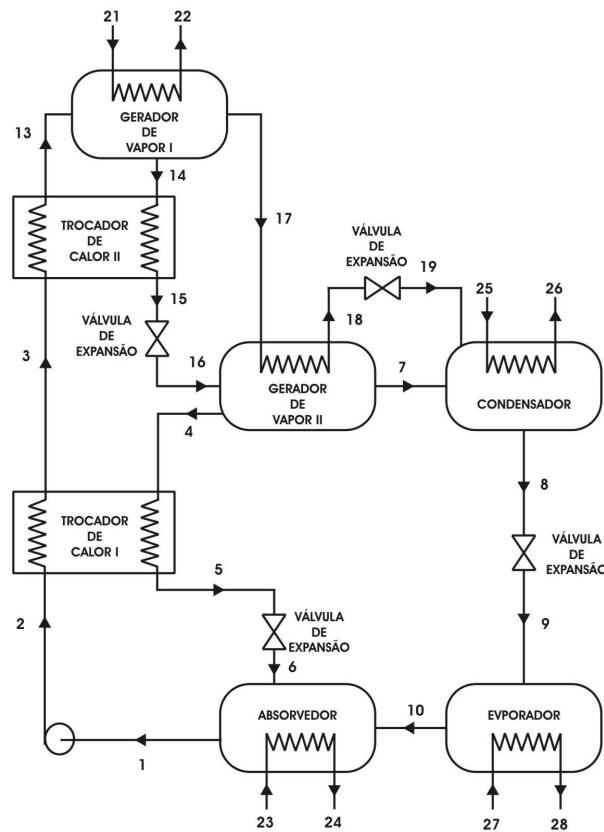


Figura 2: Esquema do sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito em série

A primeira lei da termodinâmica é expressa pela equação abaixo:

$$\frac{dE_{O.E.}}{dt} = \dot{Q}_{O.E.} - \dot{W}_{O.E.} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2} V_e^2 + gZ_e \right) - \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{1}{2} V_s^2 + gZ_s \right)$$

A partir da primeira lei da termodinâmica obtemos os estados termodinâmicos de todo o ciclo possibilitando assim o cálculo da eficiência, que é expressa pela equação a seguir:

$$\eta_S = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_{gI}}$$

Para cada volume de controle estabelecido foram aplicadas as equações da continuidade, quantidade de movimento Conservação da Espécie e Energia. O escoamento foi considerado completamente desenvolvido e em regime laminar e permanente. Com a aplicação de balços foi possível identificar todas as propriedades termodinâmica para a trajetória do fluido na unidade.

Na análise são fornecidos dados de entrada e a partir destes e efetuado a análise termodinâmica, em todos os dispositivos de expansão foram considerados processos adiabáticos e sem realização de trabalho, a bomba foi considerada adiabática e em todos os trocadores de calor foram desprezadas as perdas de calor para o meio exterior.

Os dados de entrada foram

- Calor disponível do Gerador (potencia do queimador multiplicado pelo rendimento do trocador de alta)
- Pressão do Vaso de Alta Pressão
- Temperatura de Condensação
- Temperatura do Evaporador
- Temperaturas de entrada e saída da água de arrefecimento no condensador e absorvedor.
- Temperatura de entrada e saída da água gelada
- Níveis de concentração de Alta, Média e Baixa
- Composição do Gás

A análise termodinâmica foi necessária para prever o comportamento dos pontos estáticos em todo o sistema e assim prever os locais onde haverá as maiores irreversibilidades assim como para se tornar possível a análise do rendimento do ciclo, uma vez que este depende dos pontos de entrada e saída no gerador, condensador e evaporador. De posse dos resultados foi possível identificar os níveis de temperatura e pressão a que o sistema estará sujeito, e assim selecionar e dimensionar os diversos equipamentos necessários para o acionamento e controle do sistema, tais como transdutores, medidores de vazão e sensores de temperatura, permitindo a montagem da unidade controladora.

3. UNIDADE CONTROLADORA

3.1. Descrição do Material

3.1.1. CLP

O CLP utilizado no trabalho foi o Clic 01 do fabricante Weg, caracteriza-se pelo seu tamanho compacto, fácil programação, e excelente custo benefício. Ideal em automação de pequeno porte, em tarefas de intertravamento, temporização, contagem e comandos tradicionais. Características essas que nos fizeram optar por este equipamento, onde se adéqua a nossas condições.



Figura 3: CLP WEG

3.1.2. Transdutores de Pressão

Os sensores de pressão são do fabricante Hytronic e nos permite a comunicação com os indicadores de mesmo fabricante nos indicando o valor de pressão diretamente.

3.1.2.1. TM25

Os Transmissores da família TM25 têm elemento sensor piezo-resistivo que converte a pressão aplicada pelo fluido em sinal elétrico. Este sinal elétrico é amplificado, linearizado e disponibilizado como sinal padronizado por uma eletrônica de alta confiabilidade, construída com componentes em SMD.

Neste trabalho foram usados dois transdutores TM25 para se obter medidas de pressão no gerador de vapor II e no absorvedor. Devido a essas duas medidas de pressão se enquadrarem na faixa do instrumento de medição.



Figura 4: Transdutor de pressão piezo-resistivo TM 25

3.1.2.2. TP 4

Os Transdutores TP têm um elemento sensor que converte a pressão aplicada pelo fluido em sinal elétrico e este sinal elétrico é disponibilizado para leitura remota da pressão, mostrado na figura 9.

Esse dispositivo foi usado para medir a pressão no gerador I onde temos pressão acima de 100 mbar.



Figura 5: Transdutor de pressão piezo-resistivo TP 4

3.1.2.3. Indicador de Pressão HM200

Os Indicadores e controladores da família HM200 possuem entradas para PT 100, termopares, células de carga e sinais analógicos padronizados (4 a 20 mA, 0 a 10 Vcc, outros) configuráveis visando a aquisição de grandezas tais como: pressão, temperatura, vazão, peso, posição, etc.

Os valores das grandezas medidas são apresentadas em display de 4 ou 5 dígitos e o controle do processo é executado pelas suas saídas de controle (relés) utilizando controle ON/OFF.



Figura 6: Indicador de pressão HM 200

3.1.3. Medidor de Vazão Ultrasonico

O medidor de vazão ultrasonico usado é o UFM 170 do fabricante FMS. Este dispositivo mede vazão volumétrica, instantânea e totalizada. Aparelho portátil com bateria recarregável. Aplicável em dutos construídos em aço, ferro, pvc e a maioria dos metais e plásticos. Sensor externo, não intrusivo. Não precisa furar nem cortar a tubulação. Larga faixa de medição. Diâmetros de 25mm a 6.000mm. Compatível com quase todos os tipos de líquidos. Sistema modular com opções para controladores, *datalog* e interfaces de computador.

Esse equipamento foi utilizado para se medir a vazão do brometo de lítio antes da solução entrar no gerador de vapor I, isso se faz necessário, pois precisa se estimar a quantidade de solução que entra a cada segundo.

3.1.4. Sensor de Presença de Chama/ Centelhador

Para o processo de chama são usados um centelhador para dar inicio a queima e um sensor de chama que indica se há a presença da chama ou não. Para esse dois tipos de aplicação usamos o mesmo eletrodo, diferindo apenas o elemento acionador. Esses elementos foram adquiridos do fabricante Selcon.

3.1.4.1. Centelhador

Para se obter a chama é usado um transformador de alta tensão para ignição por centelhamento elétrico



Figura 7: Transformador de alta tensão selcon

3.1.4.2. Sensor de Chama

Para se garantir a presença da chama foi utilizado no projeto, um relé detector de presença de chama.



Figura 8: Relé detector de chama selcon

3.1.4.3. Eletrodo

O centelhamento assim como a detecção da presença da chama só se torna possível devido ao eletrodo usado que é comum nas duas aplicações.

APLICAÇÃO

- Como eletrodo sensor de presença de chama: Por condutividade, quando utiliza-se gás combustível.
- Como eletrodo ignitor para formação de chama: Por centelhamento de alta tensão para a carcaça metálica aterrada do queimador ou ainda entre dois eletrodos.

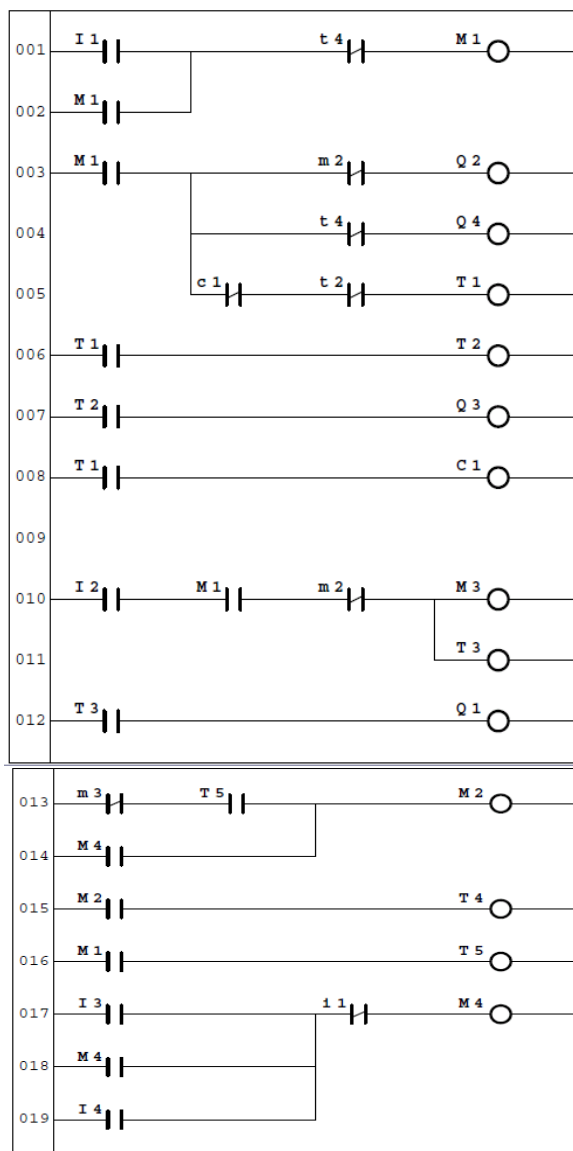
3.2. Seqüencia Lógica

A seqüência de comandos para se programar no controlador lógico programável é extremamente necessário para se garantir a programação correta do sistema.

- Passo (1): Pressiona o botão LIGA;
- Passo (2): Abre-se a VÁLVULA DE GÁS; Aciona o EXAUSTOR e a BOMBA de brometo de lítio;
- Passo (3): Após cinco segundos é acionado o CENTELHADOR, que através do contador é acionado por três vezes;
- Passo (4a): Se o SENSOR DE CHAMA detectar a chama o programa continua acionando as bombas d'água;
- Passo (4b): Se após 10 segundos, o SENSOR DE CHAMA não detectar a chama ele fechará a VÁLVULA de passagem de gás e após 10 segundos, será desacionado o EXAUSTOR, encerrando assim o ciclo;
- Passo (5): Ocorrendo o passo (4a) o programa continuará funcionando até que o operador pressione o botão DESLIGA, será dado o comando de desligar as bombas d'água, fechar a válvula de gás e após 2 minutos desacionar o exaustor;
- Passo (6): Ocorrendo uma sobrecarga no sistema e ocasionando um aumento de temperatura no circuito o relé térmico irá ser acionado seguindo a mesma ordem que a mostrada no passo (5).

3.3. Programação do Controlador Lógico Programável

A programação feita em lógica LADDER é feita no próprio controlador através da interface homem máquina, sendo essa uma boa característica do CLIC 01 da WEG.



Cada controlador possui sua própria linguagem se referindo a denominação de componentes, portanto se faz necessário ter uma tabela onde o programador e o usuário possam entender no que se refere a programação acima.

Tabela 1. Denominação dos componentes no Controlador Lógico Programável.

I1	BOTÃO LIGA
I2	SENSOR DETECTOR DE CHAMA
I3	BOTÃO DESLIGA
I4	SENSOR TÉRMICO
C1	CONTADOR 1
T1	TEMPORIZADOR ON 1
t2	TEMPORIZADOR OFF1
T3	TEMPORIZADOR ON2
T4	TEMPORIZADOR ON3
T5	TEMPORIZADOR ON4
M1	RELÉ 1
M2	RELÉ 2
M3	RELÉ 3

M4	RELÉ 4
Q1	BOMBAS DE ÁGUA
Q2	VALVULA SOLENÓIDE DE GÁS
Q3	CENTELHADOR
Q4	EXAUSTOR/BOMBA DE BROMETO

4. RESULTADOS

Tabela 2. Resultados da Simulação computacional (numeração conforma figura 1).

Ponto	Pressão (Kpa)	Temperatura (C)	Vazão Mássica (Kg/s)
1	0.87	32	0.01821
2	77.52	7.5	0.01821
3	77.52	30	0.01821
4	5.623	75.2	0.01538
5	5.623	81	0.01538
6	0.87	51	0.01538
7	5.623	35	0.001431
8	5.623	30	0.002837
9	0.87	6.9	0.002837
10	0.87	7	0.002837
13	77.52	42.5	0.01821
14	77.52	138.5	0.01681
15	77.52	126.8	0.01681
16	5.623	83	0.01681
17	77.52	97.6	0.0014016
18	77.52	77	0.001406
19	5.623	30	0.001416

Tabela 3. Vazão mássica das bombas de recirculação

Vazão das Bombas de recirculação (Kg/s)	
Condensador	0.2849
Absorvedor	0.1889
Evaporador	0.3239

Através dos resultados acima foi possível selecionar e posicionar os sensores para a instrumentação dos pontos do ciclo.

As medidas de pressão foram feitas através de transdutores de pressão, as de temperatura com termopares e as medidas de vazão foram feitas através de medidores de vazão ultra sônico e medidores do tipo turbina.

5. CONCLUSÃO

Na sociedade atual a automação é empregada com vasta aplicação nos mais diversos setores. A automação se mostra extremamente necessária principalmente na indústria e se estendendo para as mais diversas aplicações.

A instrumentação, assim como o controle se mostrou bastante satisfatórios, pois com testes realizados no sistema, foi verificado a funcionalidade do programa, e o correto emprego dos equipamentos usados, que foram possível estimar a partir dos cálculos e da simulação teórica computacional realizada por alunos da área.

Nas figuras abaixo é possível se ver a unidade experimental de refrigeração por absorção de duplo efeito localizada no laboratório de energia solar (LES/UFPB) e o quadro de comando com a disposição de cada dispositivo mencionado no trabalho.

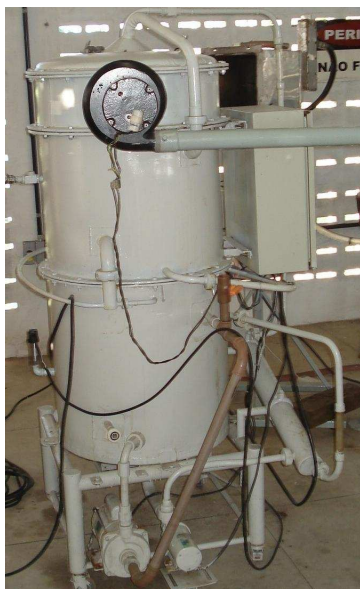


Figura 9: Unidade de refrigeração por absorção por duplo efeito



Figura 10: Quadro de comando da unidade

6. REFERÊNCIAS

- BALBINOT, Alexandre e BRUSAMARELLO, Valner João. Instrumentação e Fundamentos de Medidas vol. 1 e 2. Editora LTC - 1ª Edição, 2006
- MOREIRA, H. L. Análise Termoeconômica de Sistemas de Refrigeração por Absorção com o Par Água-Brometo de Lítio. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Pb, 2004.
- SANTOS, C. M. S. Dissertação de Mestrado, Análise Exergoeconômica de uma Unidade de Cogeração a Gás Natural com Refrigeração por Absorção. João Pessoa – Pb: [s.n.], 2005.
- SANTOS, P. H. D. Dissertação de Mestrado, Análise Energética e Exergética de Sistemas de Refrigeração por Absorção de Múltiplos Efeitos com o par Água-Brometo de Lítio. João Pessoa- PB: [s.n.], 2005.
- SCHNEIDER ELETRIC- Indústrias Ltda., Brasil.
- SILVA, A. Dissertação de Mestrado, Avaliação energética e exergética de uma instalação de refrigeração por absorção (água-amônia) para a produção de gelo a partir de vapor de processo. Campinas – SP: [s.n.], 1994.
- STEPHAN, K. History of absorption heat pumps and working pair developments in europe. International Journal of Refrigeration, v. 6, p. 160–166, 1983.
- SZARGUT, J.; MORRIS, D. R.; STEWARD, F. R. Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes. [S.l.]: Hemisphere Publishing Corporation, 1988. Print edition.
- TORRES, E. A. Avaliação Exergética e Termoeconômica de um Sistema de Cogeração de um Pólo Petroquímico. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1999.
- THOMAZINI, Daniel e ALBUQUERQUE, Pedro U. Braga. Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações. Editora Érica – 1ª Edição, 2007.
- TSATSARONIS, G. Thermoeconomic analysis and optimization of energy systems. Energy Combust, v. 19, p. 227–257, 1993.
- VARANI, C. M. R. Avaliação Energética e Exergética de uma Unidade de Refrigeração por Absorção Água/Brometo de Lítio Utilizando Gás Natural. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Pb, 2001.
- WEG- Indústrias Ltda., “Automação de Processos Industriais”, Brasil
- WYLEN, V.; SONNTAG; BORGNACKE. Fundamentos da Termodinâmica. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1998. 6ª Edição.