

ANÁLISE DO COP DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR COM TUBO CAPILAR E VALVULA ELETRÔNICA COMO ELEMENTO DE EXPANSÃO

Fernando Costa Nascimento – fernandocosta@fem.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, www.fem.unicamp.br

Claudia Rosa do Espirito Santo Nobrega – claudiarosa@fem.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, www.fem.unicamp.br

Luiz Felipe Mendes de Moura – felipe@fem.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, www.fem.unicamp.br

S4- Componentes e Equipamentos de Ar Condicionado

Resumo. O estudo corresponde a uma análise da eficiência termodinâmica e energética de um sistema de refrigeração industrial em regime permanente de compressão a vapor com a utilização de sistema de fluido secundário, sendo circuito principal, composto de uma unidade condensadora hermética, evaporador e elemento de expansão e a unidade secundária por uma bomba para circulação de um fluido secundário (álcool), um trocador de calor e um Fancoil. Avaliou-se o Coeficiente de Desempenho (COP) com a alternância no funcionamento do dispositivo de expansão utilizando o tubo capilar e a válvula de expansão eletrônica que é controlada inicialmente por um potenciômetro que controla sua abertura, na bancada experimental foram utilizados termoresistências e transdutores instalados em pontos estratégicos para a aquisição dos dados do ciclo frigorífico, que tem como aplicação a climatização de ambientes. O estudo busca obter uma melhor eficiência frigorífica e energética e em paralelo avaliar a estabilidade que a válvula eletrônica pode proporcionar ao sistema.

Palavras-chave: Válvula de Expansão Eletrônica, Tubo Capilar, Sistema de Compressão a Vapor, Cop.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de estudar o desempenho do sistema de refrigeração nos dias atuais torna-se mais evidente, tanto no caso das indústrias, como comércio e residências devido a representatividade de tais equipamentos no consumo de energia elétrica. Tendo em vista que o nosso processo de produção de energia ainda em sua grande maioria é processo de energia não renovável e os impactos ambientais são grandes. O custo é outro ponto relevante para aplicabilidade do estudo, pois com a redução de consumo na energia elétrica acarreta na redução dos gastos referentes a este sistema. É evidente que o processo de refrigeração e climatização já faz parte do nosso ambiente, pois a utilização do sistema já estar em quase todas as residências, indústrias e comércio responsável por cerca de 30% do consumo total de energia utilizada, tornando o estudo relevante quando se fala de custo.

Os componentes a serem estudados no referido trabalho foi realizado com intuito de aperfeiçoar o processo sabendo-se que a válvula de expansão provoca a queda de pressão de condensação até a pressão de evaporação e promove a vazão do fluido refrigerante até o evaporador, fazendo que o sistema opere na sua totalidade, ou seja, independente da carga térmica do ambiente o mesmo trabalha em sua capacidade máxima que consequentemente torna o consumo maior, variando-se da válvula convencional por uma eletrônica que poderá promover um controle melhor do fluxo do fluido refrigerante.

Dentre os estudos, Pottker (2006) avaliou o efeito do grau de abertura do dispositivo de expansão, a carga de fluido refrigerante e rotação do compressor simultaneamente. Também comparou o efeito da substituição de um elemento restritor constante por um dispositivo de expansão eletrônico em um sistema dotado de um compressor com rotação variável. O autor mostrou que sistemas dotados com compressor de rotação variável e com válvulas de expansão eletrônica são mais eficientes que sistemas de compressor variável e elemento de expansão constante.

Segundo, Antunes (2011) através de um sistema de refrigeração convencional com fluido refrigerante R-22, automatizou o sistema. Em seguida alterou o fluido para o R1270. O autor concluiu que a válvula de expansão termostática no sistema convencional tem o papel de manter o grau de superaquecimento adequado, enquanto a válvula de expansão eletrônica além de manter o grau de superaquecimento na faixa desejada, garantiu uma capacidade de refrigeração uniforme durante o tempo de serviço dos sistemas automatizados. A válvula de expansão eletrônica mostrou um comportamento típico de controle PID, possibilitando um funcionamento contínuo do compressor.

Neste trabalho tem por objetivo realizar o monitoramento da bancada de testes do sistema de condicionamento de ar com implementação e variação dos dispositivos de expansão avaliando a eficiência tanto energética como do próprio sistema para avaliar qual o melhor componente e o comportamento do sistema com a utilização dos mesmos. Sendo possível a partir dos dados levantados e análise constatar qual o melhor dispositivo de expansão para que o sistema opere com um melhor COP.

2. MATERIAS E METODOS

2.3 Bancada Experimental

Sistemas de refrigeração de pequeno porte operam normalmente com compressores herméticos e tubo capilar como dispositivo de expansão. Para o desenvolvimento do presente trabalho foi construída uma bancada de refrigeração por compressão de vapor dotado dos seguintes componentes: uma unidade condensadora constituída de um compressor hermético monofásico e um condensador, um evaporador e dispositivos de expansão (tubo capilar e válvula de expansão eletrônica) e composta com uma unidade de sistema de fluido secundário constituindo de uma bomba e um Fancoil.

Um esquema da bancada é mostrada na figura 1.

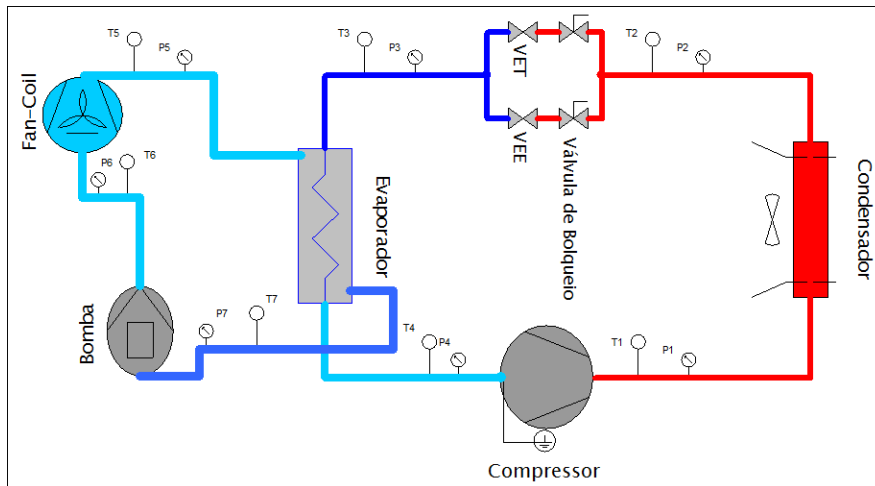


Figura 01. Descrição da bancada experimental

A bancada foi instrumentada com sensores de temperaturas, pressão e vazão em massa simbolizada pelas letras T, P e V, respectivamente, localizados na bancada. O fluido refrigerante utilizado no sistema é o R-22. A bancada é formada por dois subsistemas: subsistema do ciclo de refrigeração por compressão de vapor e subsistema do ciclo de refrigerante secundário.

A válvula utilizada no sistema é micro-processada, que possui algumas vantagens quando comparadas com as válvulas de expansão termostática: promove um controle mais exato da temperatura e do superaquecimento à pressão variável, operam com menores pressões de condensação, não necessita de ajuste e resultam em economia na faixa de 10%. A Figura 02 mostra o esquema de uma válvula de expansão eletrônica e seus respectivos componentes.

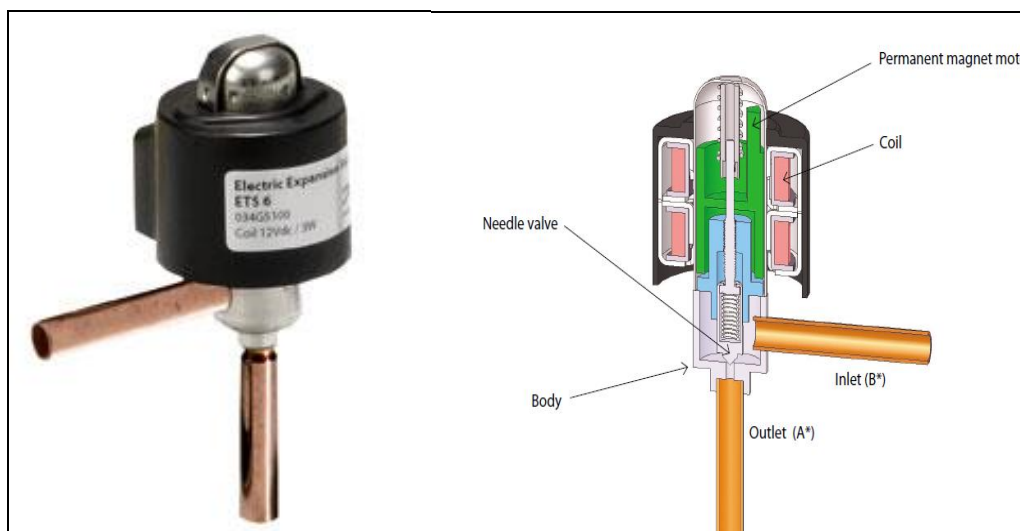


Figura 02-Válvula de expansão eletrônica. Fonte: Danfoss

O sinal para controle das válvulas de expansão eletrônica são gerados através de um termistor, instalado na saída do evaporador, cuja função é detectar a presença de refrigerante líquido. Na ausência de líquido, a temperatura do termistor se eleva reduzindo sua resistência elétrica. A variação da resistência é analisada por um circuito, que envia o sinal digital para o posicionamento da agulha da válvula.

2.4 Metodologia de Avaliação da Válvula Eletrônica e do Tubo Capilar

Foram estudados a válvula de expansão eletrônica e o tubo capilar com o sistema em regime permanente, foi avaliado o grau de superaquecimento e o COP do sistema. Realizando uma bateria de levantamento de dados do sistema com o funcionamento do Tubo Capilar, e posteriormente com a válvula eletrônica variando-se sua abertura.

Transdutores de pressão e termoresistências foram alocados estrategicamente no sistema para a determinação do coeficiente de desempenho de um sistema de refrigeração industrial, disponível no laboratório da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.

Inicialmente o dispositivo de expansão utilizado para promover o diferencial de pressão entre os lados de alta e baixa pressão do sistema foi o tubo capilar, que consiste em um tubo de diâmetro reduzido e comprimento pré-estabelecido, conectado a saída do condensador e entrada do evaporador. O diâmetro interno (D) de um tubo capilar varia de 0,5 a 2,0 milímetros. Seu comprimento (L) varia de 1,0 até 6,0 metros de comprimento. O tubo capilar mostrado utilizado no experimento possui diâmetro interno de 1.35mm e 1.78 m de comprimento. A carga térmica e vazão de fluido refrigerante foi mantida constante.

A verificação de todos os instrumentos e equipamentos foram feitos preliminarmente antes da coleta dos dados para a avaliação do coeficiente de desempenho do equipamento. Os instrumentos usados no experimento são: dois transdutores de pressão, fabricante WIKA e cinco termoresistências (figura 03).



Figura 3 Transdutores de pressão e termoresistência

Os manômetros de alta e baixa estavam localizados, respectivamente na saída do condensador e na entrada do compressor. As termoresistências foram instaladas na entrada (T1) e na saída do compressor (T2) e na entrada (T3) e saída (T4) do dispositivo de expansão. A temperatura ambiente (T5) também foi coletada no experimento.

Ligando-se o equipamento e após um intervalo de tempo de 20 minutos, tempo para alcançar o regime permanente do sistema, as temperaturas e pressões foram coletadas e registradas na tabela 01.

Tabela 01: Dados reais para a obtenção do COP para o tubo capilar

Parâmetro	TUBO CAPILAR	VALOR
Temperatura na saída do compressor (°C)	T1	63.7
Temperatura na saída do condensador (°C)	T2	36.8
Temperatura na entrada do evaporador (°C)	T3	2.6
Temperatura na saída do evaporador (°C)	T4	4.0
Temperatura ambiente (°C)	T5	25.5
Pressão de sucção (bar)	Ps	3.9
Pressão de descarga (bar)	Pd	14.5
Grau de superaquecimento (°C)	S.A	5
Grau de subresfriamento (°C)	S.R	4.2

Os dados para a válvula de expansão eletrônica foram conseguidos seguindo o mesmo critério utilizado no tubo capilar (tabela 02). As variações na abertura da VEE é controlado por potenciômetro e são dadas em termos de porcentagem. Para cada faixa de abertura da válvula, para o regime permanente, coletou-se os parâmetros para a avaliação do COP.

Tabela 02: Dados reais para a obtenção do COP para a válvula de expansão eletrônica

Parâmetro	VEE	30%	40%	50%	60%
Temperatura na saída do compressor (°C)	T1	58.3	58.5	60	51.3
Temperatura na saída do condensador (°C)	T2	36.5	37.4	37.3	37.3
Temperatura na entrada do evaporador (°C)	T3	2.5	2.7	2.4	6
Temperatura na saída do evaporador (°C)	T4	3.9	3.9	3.6	6.9
Temperatura ambiente (°C)	T5	25	25.2	25.3	25.5
Pressão de sucção (bar)	Ps	3.6	3.8	4.3	4.3
Pressão de descarga (bar)	Pd	13.5	13.9	14	14.3
Grau de superaquecimento (°C)	S.A	5.9	4.9	3.5	6.15
Grau de subresfriamento (°C)	S.R	2.5	1.9	2.7	2.7

O superaquecimento no evaporador é um parâmetro que garante o aproveitamento máximo do evaporador verificando se o evaporador possui um bom preenchimento de fluido refrigerante. Para obter o grau de superaquecimento utilizou-se a equação 1.

$$S.A = T_{suc} - T_{evap} \quad (1)$$

Onde S.A é o grau de superaquecimento, T_{suc} é a temperatura na linha de sucção medida a 20 cm da entrada do compressor e T_{evap} é a temperatura de evaporação, obtida através da pressão lida no transdutor de pressão na válvula de serviço de sucção. Essa pressão de sucção corresponde a uma temperatura de evaporação, cuja relação é obtida pela tabela pressão x temperatura do fluido refrigerante R-22.

O sub-resfriamento tem por função garantir que o condensador rejeita o calor do sistema e condensa todo o fluido refrigerante e também garante a carga de fluido refrigerante adequada. É calculado pela diferença da temperatura na linha de líquido e a temperatura de condensação saturada.

Desprezando as perdas de carga no evaporador, condensador, linha de sucção e na linha de líquido e levados em consideração somente os valores do superaquecimento na linha de sucção, subresfriamento na linha de líquido e para uma eficiência de compressão de 67.5%, obteve-se os valores do coeficiente de desempenho do sistema.

3. RESULTADOS E DISCURSÕES

Para a análise do coeficiente de desempenho foram plotados gráficos do ciclo para o tubo capilar e para as aberturas descritas na tabela 02 na válvula de expansão eletrônica. Os dados obtidos foram averiguados no software CoolPack. A tabela 03 mostra os valores do trabalho de condensação (Q_c), o trabalho de compressão (W), o trabalho no evaporador (Q_e) e o COP.

Tabela 03 análise dos ciclos do tubo capilar e válvula de expansão eletrônica

Ciclo	Tubo capilar	VEE (30%)	VEE (40%)	VEE (50%)	VEE (60%)
Q_c (kJ/kg)	214,27	216,72	213,16	209,37	211,85
Q_e (kJ/kg)	159,99	166,11	163,78	164,90	166,77
W_c (kJ/kg)	54,30	50,59	49,38	44,46	45,07
COP	2,95	3,28	3,32	3,71	3,70

Observou-se o aumento contínuo da temperatura de evaporação e na pressão de evaporação. O trabalho de compressão sofreu um decréscimo com as aberturas da válvula, alcançando o valor mínimo na abertura de 60%. O trabalho de evaporação aumentou com as variações na abertura da VEE. A temperatura ambiente manteve-se praticamente constante, com leves oscilações o que acarretou pequenas oscilações nas temperaturas de condensação e no trabalho de condensação. Os graus de superaquecimento variaram proporcionalmente às variações das temperaturas na entrada do compressor e da pressão de evaporação, o mesmo ocorrendo para o grau de subresfriamento, variando em função da temperatura na saída do condensador e da pressão de condensação.

Todos estes parâmetros tiveram papel fundamental no resultado do COP, promovendo o aumento do mesmo. Nota-se pela tabela 03 que embora para a válvula de expansão o trabalho de compressão é menor, a capacidade de absorção no evaporador aumenta contribuindo para seu incremento. A evolução das temperaturas de evaporação, temperatura de condensação, pressão de evaporação, pressão de condensação, grau de superaquecimento e subresfriamento, são

mostrados na figura 04. O trabalho de compressão, trabalho de condensação e trabalho de evaporação e o COP são descritos na figura 05.

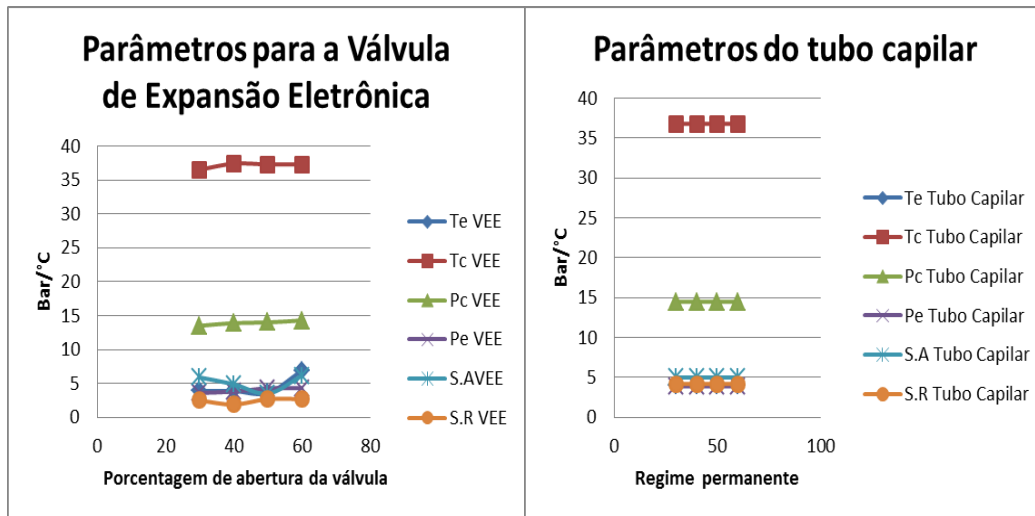


Figura 04: Comparação das temperaturas, pressões, superaquecimento e subresfriamento para o tubo capilar e válvula de expansão eletrônica

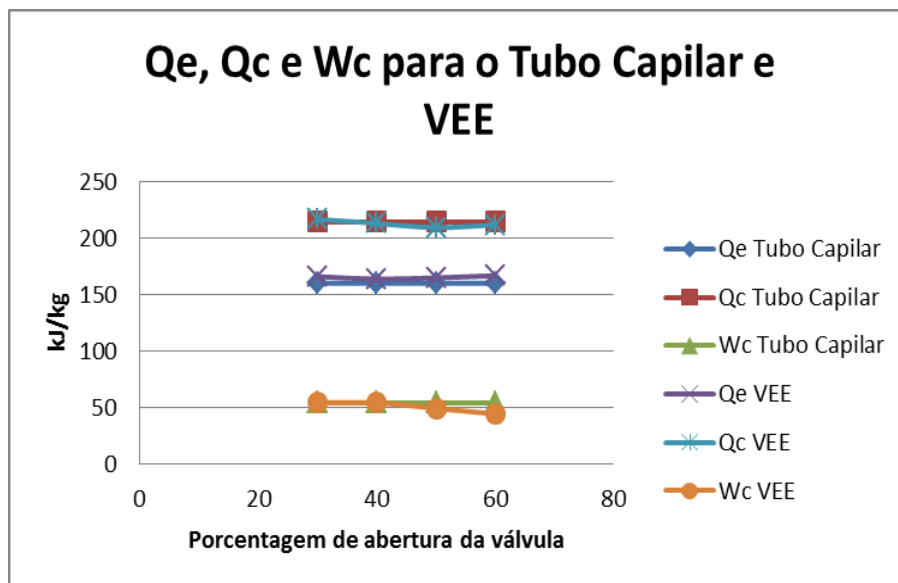


Figura 05: Comparação do trabalho de compressão, evaporação e condensação para o tubo capilar e para a válvula de expansão eletrônica

A evolução do COP é mostrada na figura 05. Nota-se que para as aberturas da válvula de expansão entre 30% e 40%, o coeficiente de performance manteve-se com o valor superior e próximo ao obtido com o tubo capilar. Para as aberturas de 50% e 60%, houve um aumento no COP. Este comportamento é explicado pelo fato de a abertura da válvula proporcionar uma maior vazão de fluido refrigerante e um consequente aumento no trabalho frigorífico. Embora o trabalho de compressão sofre uma leve queda, o aumento do COP.

O superaquecimento garante que na entrada do compressor só exista fluido refrigerante no estado gasoso e o subresfriamento assegura que na válvula de expansão tenha somente líquido. Ambos contribuem fortemente para melhoria da eficiência do ciclo.

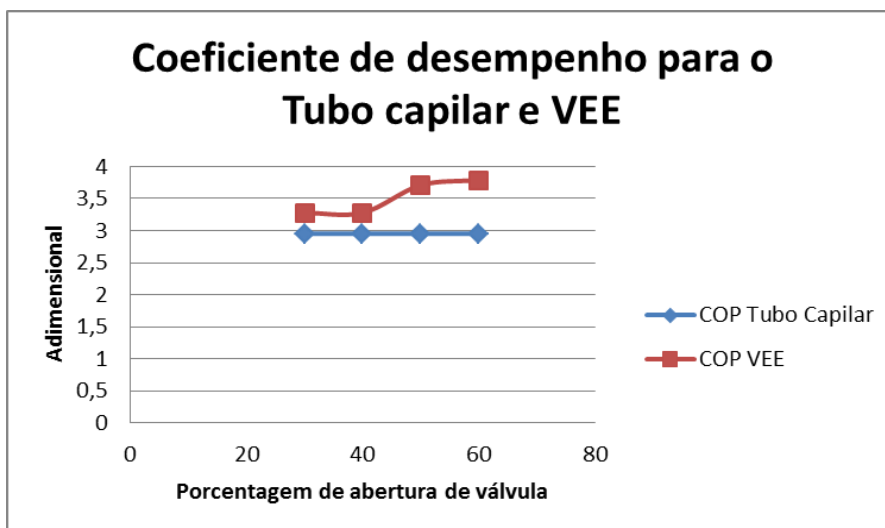


Figura 05: Comparação do COP para o tubo capilar e para a válvula de expansão eletrônica

4. CONCLUSÕES

Diferenças significativas existem com sistemas de refrigeração por compressão de vapor. O tubo capilar embora simples em sua construção demonstra trabalhar bem para algumas condições. Porém quando há uma demanda maior de carga térmica, o tubo capilar não responde adequadamente. A válvula de expansão eletrônica pelo proposto no presente trabalho, demonstrou versatilidade quanto as variações das condições operacionais do equipamento. Para uma faixa constante de carga térmica, grandes variações na abertura da válvula foram executadas, sem no entanto comprometer a eficiência do sistema, o que demonstra que a VEE tem condições de atuar em ciclos frigoríficos com grandes variações de cargas térmicas e outras variáveis.

5. AUTORIZAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Agradecimentos

Ao **INSTITUTO ELDORADO**, pela a doação da placa de controle da Válvula e do sistema de controle.

6. REFERENCIAS

Antunes, A. H. P, Análise experimental da eficiência energética de um sistema de refrigeração automatizado utilizando R-22 e propileno como fluido refrigerante. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia MG, 2011.

Pottker, G, Análise do efeito combinado de compressores e expansores de ação variável sobre o desempenho de sistemas de refrigeração. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina SC, 2006.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO, J. M. Refrigeração Industrial. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

Lauand, A. C, Manual pratico de geladeiras/ Refrigeração comercial e residencial. São Paulo, 2004

ANALYSIS OF COOLING SYSTEM STEAM COMPRESSION IN EVALUATING THE COP AND USES OF CAPILLARY TUBE ELECTRONIC VALVE

Abstract. *The study is a thermodynamic analysis, and energy efficiency of a refrigeration system in steady industrial vapor compression with the use of secondary fluid system and main circuit consisting of a hermetic condensing unit and evaporator element expansion and sub unit by a pump for circulating a secondary fluid (alcohol), a heat exchanger and Fancoil. We evaluated the Coefficient of Performance with alternating operation of the expansion device using the capillary tube and the electronic expansion valve that is initially controlled by a potentiometer that controls its opening on the experimental bench thermoresistances and transducers installed at strategic points were used to data acquisition cycle of the refrigerator , which is the ambient air conditioning application . The study seeks to gain a better cooling efficiency and energy and in parallel to evaluate the stability that the electronic valve can provide to the system.*

Key words: Electronic Expansion Valves, Capillary Tube, Compression System Steam