



SICIT
Semana de Iniciação
Científica e Tecnológica

25 a 29 de setembro de 2017
Engenharias e Computação

 Universidade de Itaúna

Montagem e análise do desempenho de uma bancada de refrigeração por compressão

Flávio França Vasconcelos¹

Geraldo do Carmo Santos Oliveira²

Héilton Gilmar Coutinho Júnior³

João Pedro Paulino Martins⁴

Letícia Ferreira Teixeira⁵

Matheus Henrique Gonzaga Niterói⁶

Yuri Amaral de Ávila⁷

Ewerton Augusto Souza Nogueira⁸

José Felipe Dias⁹

Juliano Simeão¹⁰

Sabrina Nogueira Rabelo¹¹

Resumo: Devido à crescente procura por sistemas de refrigeração que, são utilizados em diversas áreas do nosso cotidiano, como a climatização de ambientes e conservação de alimentos (refrigeração e congelamento), atualmente existe uma forte tendência mundial para se tentar elaborar estudos e pesquisas que visam otimizar esses sistemas, de forma a melhorar suas eficiências. Assim, com o objetivo de verificar e analisar os diversos fatores que influenciam um sistema de refrigeração, desenvolveu-se uma bancada de refrigeração por compressão, e analisaram-se seus componentes. O R-22 (clorodifluorometano) foi utilizado como fluido de trabalho. Apesar desse refrigerante apresentar um moderado índice de GWP, igual a 1700, possui uma baixa concentração de cloro em sua estrutura com índice de OPD praticamente igual a 0 e ótimas propriedades termodinâmicas, tornando-o um excelente fluido para sistemas de refrigeração. O sistema foi composto por um compressor hermético, um condensador resfriado por convecção forçada do ar, evaporador simples de expansão direta e um tubo capilar. Os resultados obtidos para o COP variaram entre 3,15 a 4,63. Variou-se a velocidade de rotação da hélice responsável pela convecção forçada do condensador a fim de analisar sua influência sobre o COP do sistema.. Dessa forma, conseguiu-se obter uma temperatura de saída do ar de até 0 °C.

Palavras-chave: Sistema de refrigeração por compressão, COP, Energia.

1. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, flaviofv@yahoo.com.br
2. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, geralducajuru@hotmail.com
3. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, helitongcj@hotmail.com
4. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, joaopedromg16@yahoo.com.br
5. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, ferreira-let@hotmail.com
6. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, matheushgn@gmail.com
7. Engenharia Mecânica, Graduando, Universidade de Itaúna, yuriaavila1@gmail.com
8. Engenharia Mecânica, Mestre, Universidade de Itaúna, labmetal@uit.br



9. Engenharia Mecânica, Doutor, Universidade de Itaúna, josefelipedias@gmail.com
10. Engenharia Mecânica, Mestre, Universidade de Itaúna, jdsimeao@gmail.com
11. Engenharia Mecânica, Mestre, Universidade de Itaúna, sasanogueirarab@hotmail.com

1. Introdução

Devido à crescente procura por sistemas de refrigeração, que são utilizados em diversas áreas do cotidiano, como a climatização de ambientes e conservação de alimentos (refrigeração e congelamento), atualmente existe uma forte tendência mundial para na elaboração de estudos e pesquisas que visam a otimizar esses sistemas, de forma a melhorar seus rendimentos. O estudo de Wani, *et al.*, (2016), por exemplo, aumentou o COP em 10,35% do sistema adicionando apenas um ejetor ao ciclo de refrigeração convencional.

Como se sabe, os sistemas de refrigeração podem ser definidos como equipamentos que permitem a movimentação do calor de forma eficiente ao contrário do sentido natural, ou seja, transfere calor de uma fonte a baixa temperatura para uma a alta temperatura (FERREIRA, 2010). As aplicações desses sistemas são inúmeras como a climatização de ambientes, conservação de alimentos associados a unidades de ar condicionado ou refrigeradores, entre outros sistemas que já se tornaram imprescindíveis para a sociedade atual.

O fluido de trabalho para se utilizar nesses sistemas de refrigeração é uma grande problemática da atualidade. Desde do Protocolo de Montreal, Kyoto e recentemente a emenda de Kigagli em 2016, determinou-se que os fluidos CFCs, HCFCs, HFCs, devem ser substituídos em um médio-longo prazo. De acordo com Douglas, *et al.*, (1999), vários critérios devem ser considerados ao selecionar refrigerantes para a substituição, incluindo: estabilidade química, segurança, ambiente e desempenho térmico.

Dessa forma, apesar do R-22, fluido refrigerante empregado no presente trabalho, ser um HCFC com GWP (Global Warming Potencial) igual a 1700, e ODP (Ozone Depletion Potencial) desse fluido é praticamente zero (0,055), além de apresentar grandes vantagens para um sistema de refrigeração, pois é atóxico, não inflamável, possui baixa interação com óleos lubrificantes e ótima capacidade de refrigeração. O estudo de Shirvastava e Choudhari (2016), mostra que o R-22 é o fluido mais utilizado em sistemas de refrigeração de ar condicionado e em diversas aplicações comerciais. Os autores fizeram uma comparação do fluidos R-22 e HC-290. Apesar de muitas propriedades termodinâmicas serem bem similares, o COP do R-22 foi cerca de 15% maior em quase todos os casos comparado com HC-290.

O coeficiente de Performance (COP) é um demonstrativo da eficiência energética do sistema de refrigeração, quanto maior for o COP, maior será sua eficiência energética. Portanto, este trabalho tem como objetivo a montagem e a análise do desempenho energético da máquina desenvolvida, variando a rotação da hélice responsável pela convecção forçada do condensador.



2. Metodologia

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Termodinâmica e Transferência de Calor da Universidade de Itaúna. Iniciou-se a montagem da bancada especificando os componentes e dispositivos térmicos que seriam necessários para composição da bancada, e para a análise do ciclo de refrigeração operando R-22.

Após a aquisição do material, os dispositivos térmicos foram instalados de forma a minimizar a perda de calor. Os componentes foram soldados e interligados por meio de tubos de cobre. Criaram-se plataformas para a fixação dos motores de convecção forçada na bancada. As hélices foram acopladas aos motores por meio de chavetas e pinos elásticos. Os dutos de condução do ar refrigerado foram confeccionados e pintados no laboratório.

Manômetros e termopares foram instalados na saída de cada dispositivo termodinâmico, além de termopares na entrada e saída do duto que conduz o ar resfriado. Foi usado um inversor de frequência para variar a rotação de um eixo motor, solidário a uma hélice que é responsável por fazer a convecção forçada no condensador.

Os dados da bancada foram coletados com o auxílio do software *LabVIEW* e as incertezas de cada dispositivo foram analisadas. Calculou-se o COP e desenvolveu-se os gráficos do ciclo de refrigeração com o auxílio do software *EES (Engineering Equation Solver)* A FIGURA 1 representa o esquema do ciclo de refrigeração básico por compressão da bancada.

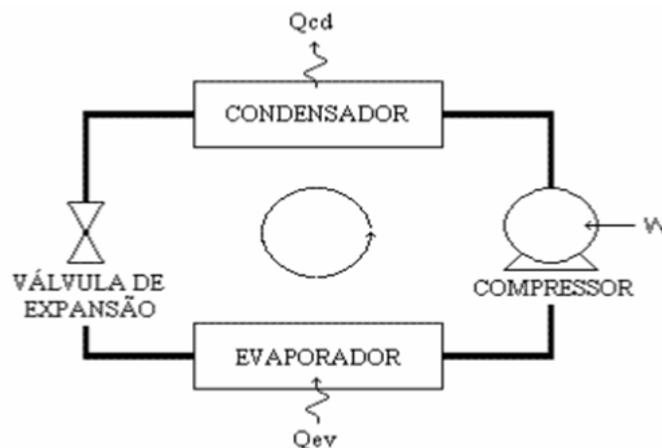


FIGURA 1 -Ciclo de refrigeração.

3. Resultados e Discussão

A FIGURA 2, demonstra a montagem final da bancada de refrigeração já com todos elementos operando.



FIGURA 2 –Montagem da bancada de refrigeração.

Na TABELA 1 nota-se alguns dados que foram coletados durante a operação da máquina em regime permanente, quando a temperatura do ar era de 23°C. Analisou-se as propriedades termodinâmicas para diferentes valores de frequência da rotação da hélice acoplada ao condensador. A rotação da hélice variou de 36hz, que corresponde a 1032 rpm, 48 hz que corresponde a 1376 rpm , até e 60 hz que corresponde a 1720rpm.

TABELA 1 - Dados coletados

Hz	T1(°C)	P1(Mpa)	T2(°C)	P2(Mpa)	T3(°C)	P3(Mpa)	T4(°C)	P4(Mpa)	T saída (ar)
36	88,3±1	2,106±0,145	46±1	2,057±0,145	0±1	0,517±0,116	0±1	0,474±0,116	4±1
48	86±1	1,812±0,145	35,3±1	1,719±0,145	-2±1	0,459±0,116	3,5±1	0,429±0,116	2±1
60	78,3±1	1,616±0,145	31±1	1,534±0,145	-3,7±1	0,435±0,116	7±1	0,4±0,116	0±1

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Nota: Ponto 1 saída do compressor, ponto 2 saída do condensador, ponto 3 saída do tubo capilar, ponto 4 saída do evaporador.

As leituras temperatura foram realizadas pelo software *LabView*, realizando 10 leituras a cada segundo de operação. O programa já foi elaborado para calcular a média e o desvio padrão após a medição de cada condição de operação. A interface do programa pode ser observada na FIGURA 3.

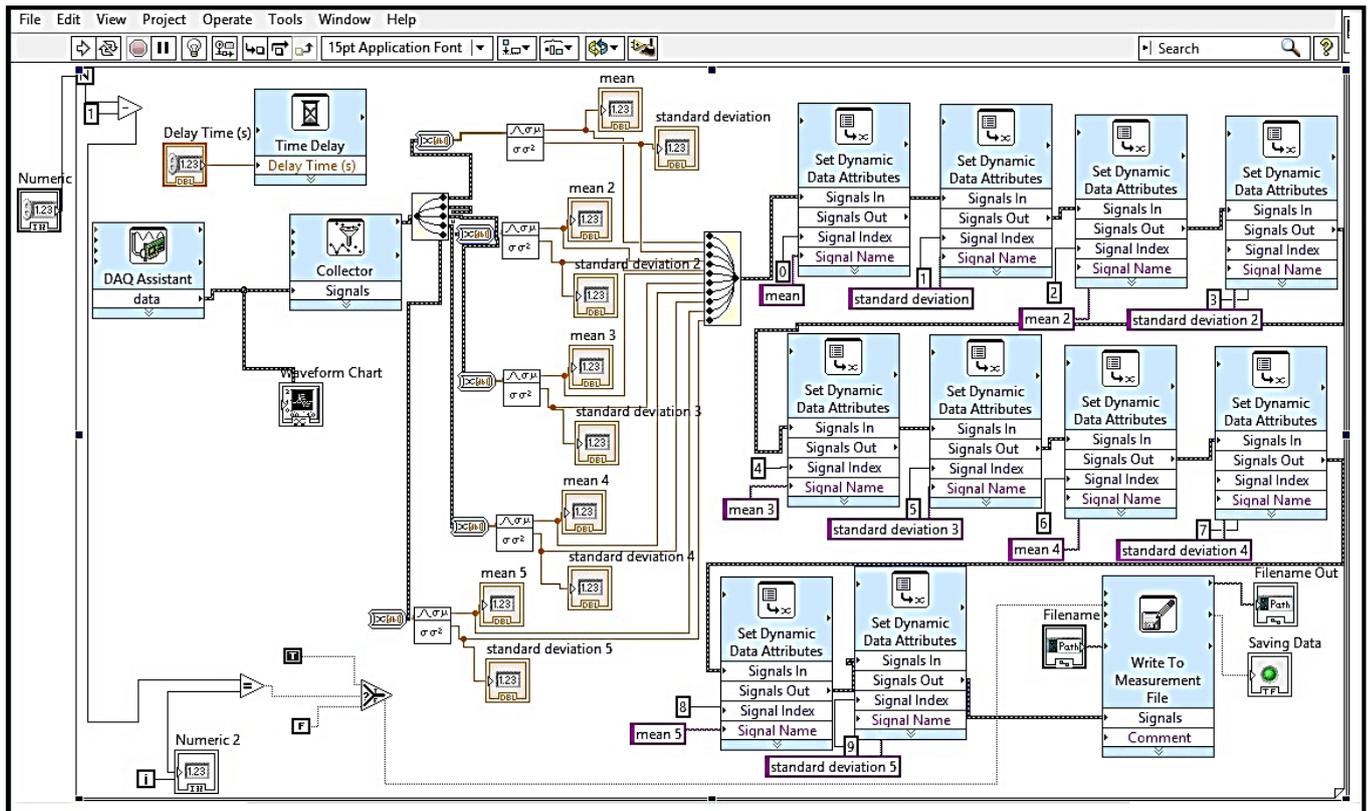


Figura 3 – Programa desenvolvido no LabView para leitura dos dados.

Já as pressões foram obtidas por meio das leituras dos manômetros. Com auxílio do programa EES (*Engineering Equations Solve*) calculou-se as propriedades do refrigerante, o COP e plotou-se os gráficos de pressão versus entalpia (P_xh) para cada frequência de rotação analisada, 36Hz, 48Hz e 60Hz, conforme observa-se nas FIGURAS 4, 5 e 6, respectivamente.

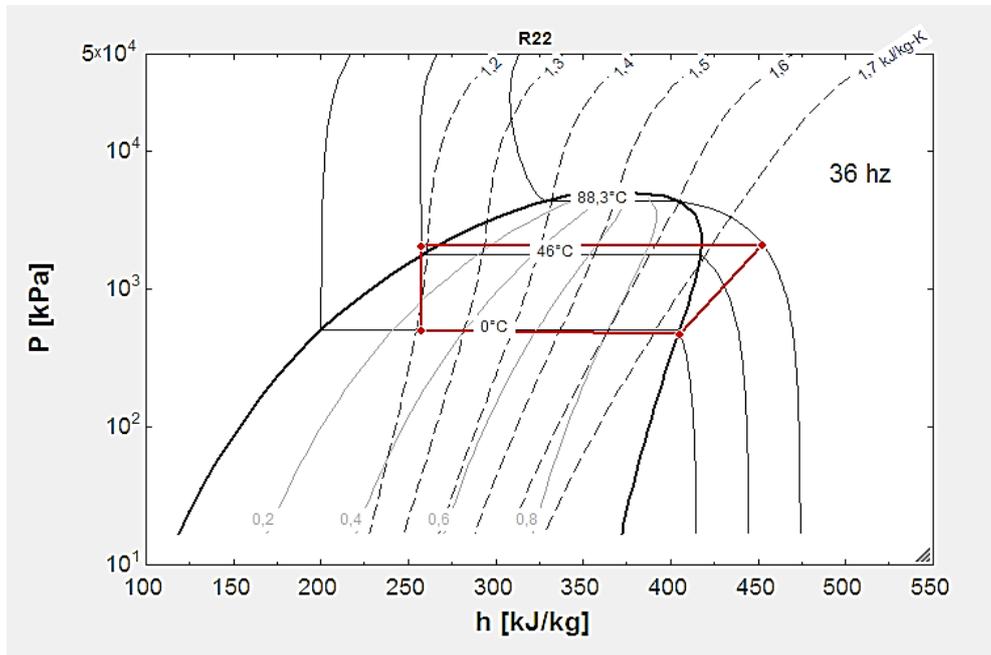


FIGURA 4 -Gráfico P_xh para 36 Hz.

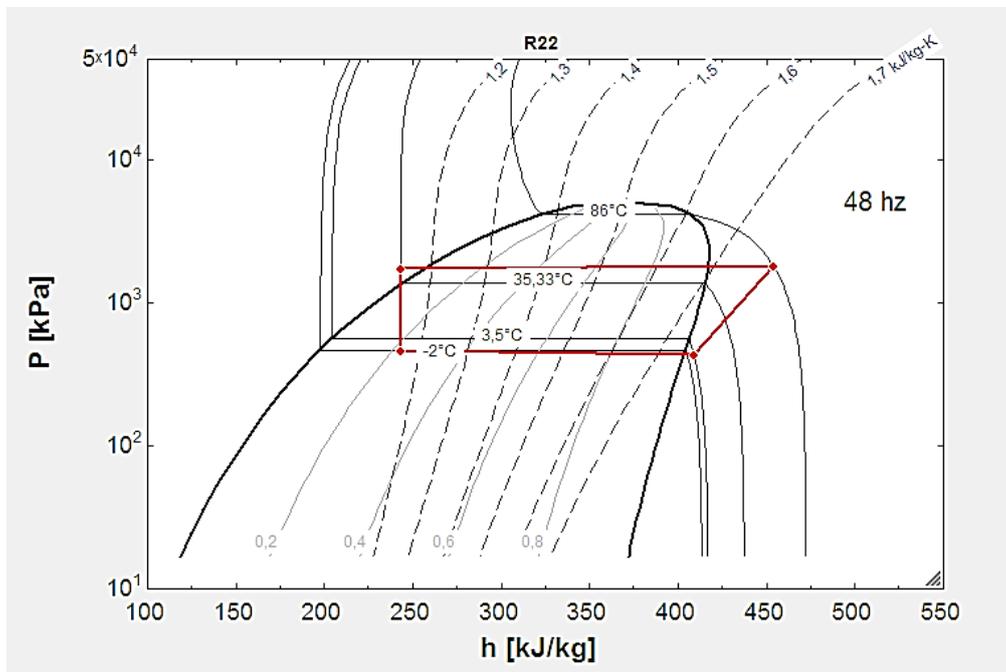


FIGURA 5 -Gráfico P_xh para 48 Hz.

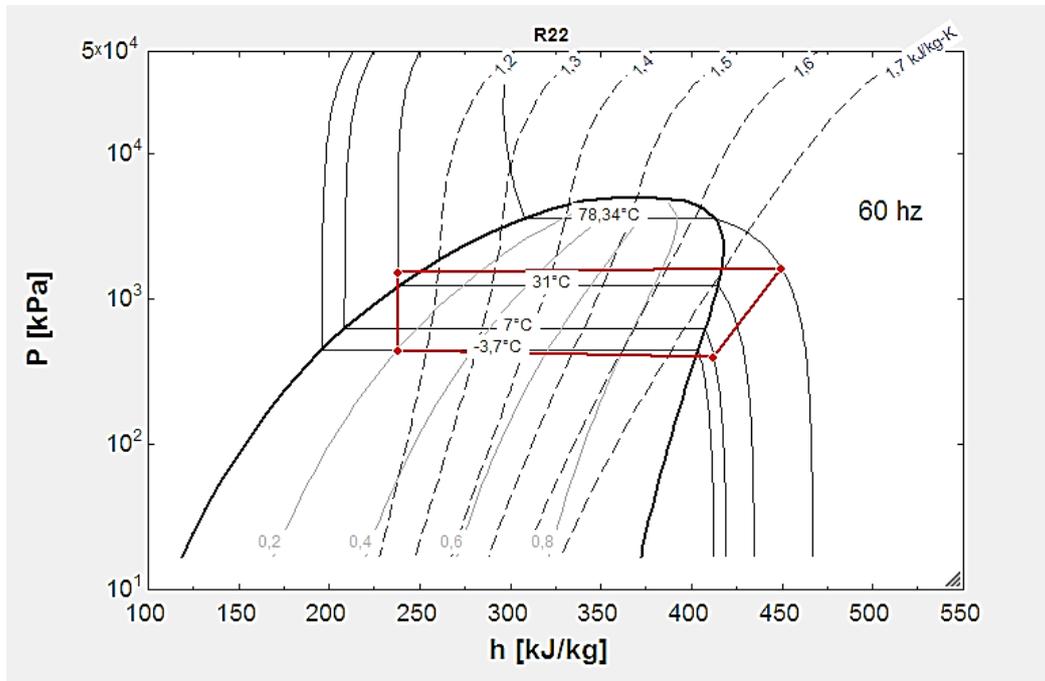


FIGURA 6 -Gráfico P_xh para 60 Hz.

Os valores de COP obtidos são demonstrados na TABELA 2. A incertezas expandidas dos COPs, foram analisadas com o software EES, de acordo com as incertezas dos termopares e dos manômetros.

TABELA 2 – Variação do COP em função da frequência.

Hz	COP
36	3,15±0,094
48	3,689±0,108
60	4,63±0,154

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Os COPs obtidos tiveram valores bem satisfatórios comparado com outros trabalhos na literatura para sistemas de refrigeração similares. O trabalho de Copetti, et al (2006), operando com o mesmo fluido de trabalho, R22, relata que o maior COP obtido foi de 4,11. Deshmukh e Mali (2015), fizeram uma comparação de diversos fluidos, como R22, R134a, R290, R600a, R1270, R290 / R600a, R1270 / R290, R290 / R600a e R1270 / R600a (50/50), e conclui-se que o sistema que apresentou o maior COP, foi o que operou com R-22, valor de COP igual a 3.18.



Os estudos de Reis e Seidel (2015) analisaram os fluidos R11, R12, R22, R134A, R410A e R717, bem como o R22, o qual apresentou um COP muito próximo dos CFCs e da amônia, valor de 3,123.

Observa-se que COP do sistema refrigeração desenvolvido, operando com a frequência de 60Hz, COP de $4,63 \pm 0,154$, foi maior do que os relatados em alguns trabalhos. Em adição, nota-se que na maior rotação ocorreu um melhor rendimento. Isso se deve a uma melhor troca de calor realizada no condensador, fazendo com que o fluido chegasse a uma menor temperatura no evaporador, ocasionando assim uma troca de calor mais eficiente com o ar.

4. Conclusão

A montagem da bancada foi satisfatória, obtendo-se valores de coeficiente desempenho favoráveis. Conforme esperado, observa-se que quanto maior a rotação, maior foi o valor do COP obtido. Futuros trabalhos objetivam melhorar ainda mais o COP do sistema, e devido as questões ambientais, busca-se fluidos alternativos que possam substituir, e até mesmo comparar, com o desempenho do R-22, como por exemplo um estudo com o novo fluido 1234-yf e/ou os fluidos naturais (HCs).

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Programa de Apoio, Fomento e Acompanhamento de Pesquisa da Universidade de Itaúna (PAFAP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

6. Referências

COPETTI, J. B.; BONA, L.; MACAGNAN, M. H.; SCHWEINBERGER, C. *Estudo experimental de um sistema de ar condicionado operando com R-22 e considerações teóricas sobre a substituição do refrigerante por propano (R-290)*. In: Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2006. Curitiba.

DESHMUKH, M. M.; MALI, K.V. Performance comparison of R22 refrigerant with alternative hydrocarbon Refrigerants. *Internation Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, v. 4, p.2319-3182, 2015.

DOUGLAS, J. D.; BRAUN, J. E.; GROLL, E. A.; TREE, D. R. A cost-based method for comparing alternative refrigerants applied to R-22 systems. *Internacional Journal of Refrigeration*, v. 22, p.107-125, 1999.

EPE. *Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)*. Rio de Janeiro: Governo Federal do Brasil: 69 p. 2012.

FERREIRA, R. Projecto de uma bomba de calor com aproveitamento de energia solar. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Departamento em Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, 2010.

REIS, J. P.; SEIDEL, W. *Simulação numérica dos fluidos refrigerantes R11, R12, R22, R134A, R410A E R717 aplicado no ciclo de refrigeração por compressão de vapor convencional*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, XI, 2015. Campinas.



SICIT
Semana de Iniciação
Científica e Tecnológica

25 a 29 de setembro de 2017
Engenharias e Computação

 **Universidade de Itaúna**

SHRIVASTAVA, A. P.; CHOUDHARI, C. S.; Evaluation of refrigerant R290 as a replacement to R22. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*, v.2, n.3, p.739-747, 2016.

WANI, J. R.; AKILILU, T. BAHETA.; WOLDEYOHANNE, A. D.; HASSAN, S. Analysis of Refrigeration Cycle Performance with an Ejector. *Matec Web Conf. International Conference on Mechanical Engineering Research*, v, 74, 2016. DOI: 2017400021.