



DESENVOLVIMENTO DE UMA BOMBA DE DIAFRAGMA ACIONADA À BAIXA ROTAÇÃO

Pedro Ronaldo H. de Holanda

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109 970 Cx. P 10069. e-mail: pronaldo@dem.ufpb.br

Natanael Victor de Oliveira

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109 970 Cx. P 10069. e-mail: natanael@dem.ufpb.br

Antonio Gilson Barbosa de Lima

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109 970 Cx. P 10069. e-mail: gilson@dem.ufpb.br

Resumo. *O uso de energia alternativa de maneira racional é uma forma de economizar energia convencional produzida. A implantação de um sistema de bombeamento d'água usando fontes alternativas tem duas vantagens: economia de energia elétrica e uso como sistema de emergência, na falta de energia elétrica. As bombas de diafragma são geralmente usadas para bombeamento de líquidos limpos ou contendo sólidos, substâncias pastosas, lodos, soluções ácidas, etc. Modernamente existe um grande uso deste tipo de bomba no meio rural. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e teste de uma bomba de diafragma. A bomba é constituída por duas câmaras cilíndricas entre as quais fica preso o diafragma. Para acionamento da bomba utilizou-se uma roda d'água, submetida a cinco níveis de rotação. Utilizou-se a água como fluido de operação. Vários resultados do desempenho da bomba são reportados e analisados. Conclui-se que o rendimento do equipamento diminuiu com o aumento da potência para seu acionamento e que modificações no projeto são requeridas para melhorar sua performance.*

Palavras-chave: *diafragma, fluido, bomba, energia, experimental.*

1. INTRODUÇÃO

Os diversos centros de pesquisas em energia não-convencional têm se dedicado sempre ao desenvolvimento da performance de áreas de captação, sejam elas eólica ou hidráulica, não dando ênfase à parte compreendida entre a área de captação e o uso da energia transformada.

As máquinas acionadas por energia alternativa giram com baixa rotação. Trabalhar com frequências muito baixas, requer um conversor de frequência permitindo que equipamento seja acoplado em máquinas manuais, máquinas acionadas por pedal, ou ainda máquinas impulsionadas pelo vento, por água e outras. Quando o equipamento é uma bomba, a finalidade principal neste caso é a aplicação em pequenas propriedades na zona rural, no abastecimento de residências, nas irrigações de pequeno porte ou em qualquer situação que exija uso d'água em quantidades moderadas.

As bombas de diafragma são usadas para bombeamento de líquidos limpos ou contendo sólidos, substâncias pastosas, drenagens, lodos, soluções ácidas e alcalinas. Um diafragma de material flexível não metálico suporta melhor a ação corrosiva e erosiva que as partes metálicas de uma bomba de pistão. Essas bombas funcionam pela ação de compressão de um diafragma, de lâmina flexível ou membrana de borracha. O movimento alternativo que comprime o diafragma é normalmente fornecido por um sistema excêntrico, pela ação de ar comprimido ou óleo, proveniente de uma fonte exterior.

Apesar das bombas de diafragma serem bastante conhecidas e estudadas, necessita-se ainda de esforços no sentido de se elaborar projetos e construir novas versões de bombas de diafragma, visando sua utilização em determinados processos.(All-Flo Pump Company, 1999 e 2000; Alfa Laval, 1999; Bowan, 1997; Charles Austen Pumps Ltd, 2000; Eckle et al, 1995 e 1996; Timm et al, 1995 e Zengerle et al,1995a-b) O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento e teste de uma bomba de diafragma para uso em baixa rotação.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Na construção da bomba modelo não foram seguidos os fatores referentes à compatibilidade química, grau de abrasão, limitação de temperatura e investimento inicial, definidos por Bowan et al. (1997). Usar materiais resistentes à corrosão seria interessante porém oneraria muito o protótipo, cuja utilização praticamente se limita aos testes. O conjunto conversor-bomba teve sua construção dividida em duas partes principais: a bomba propriamente dita, conforme ilustra a Fig.(1a), e o mecanismo conversor, mostrado na Fig.(1b).

A bomba é constituída por duas câmaras cilíndricas entre as quais fica preso o diafragma, fabricado em borracha apropriada para tal fim. Maiores detalhes podem ser vistos nas Figs.(2a-b) e (3), onde vê-se aspecto final da bomba construída e totalmente pronta é mostrado na Fig.(3.10 a-b), onde vê-se a bomba acoplada ao sistema conversor que por sua vez está ligado ao eixo da roda d'água, com as tubulações de admissão e recalque e o sistema de válvulas de entrada e saída.

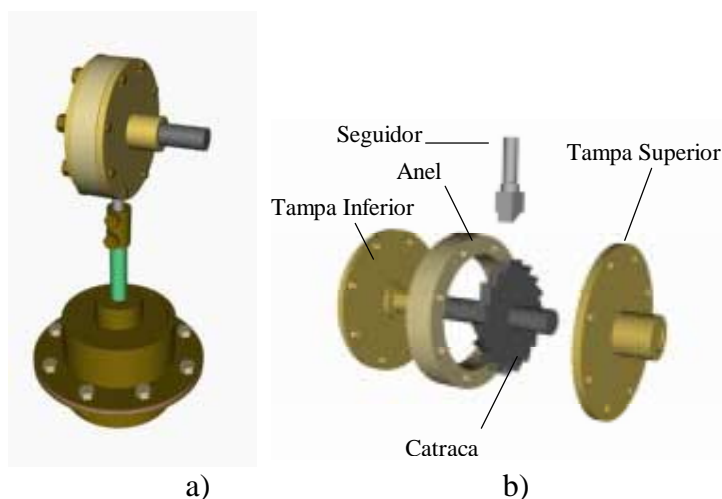


Figura 1. a) Bomba de diafragma. b) Vista explodida do conjunto conversor.

O movimento alternativo imposto ao diafragma através da haste, deve ser fornecido por um eixo com excentricidade igual ao deslocamento do diafragma. Quando o excêntrico estiver no ponto mais alto, a mola e o diafragma estarão em compressão, que por sua vez comprime o fluido contido na câmara molhada forçando as válvulas. A pressão do fluido fecha a válvula de entrada e abre a de saída realizando-se a descarga. No momento seguinte, 180° após, o excêntrico atinge o ponto mais baixo e o diafragma então retorna para posição inicial devido a força da mola, realizando o vácuo na câmara. Com a depressão, a válvula de saída é fechada e a de entrada é aberta e o fluido que

passa pela válvula de entrada preenche a câmara. O ciclo volta a se repetir enquanto houver giro no eixo de acionamento.

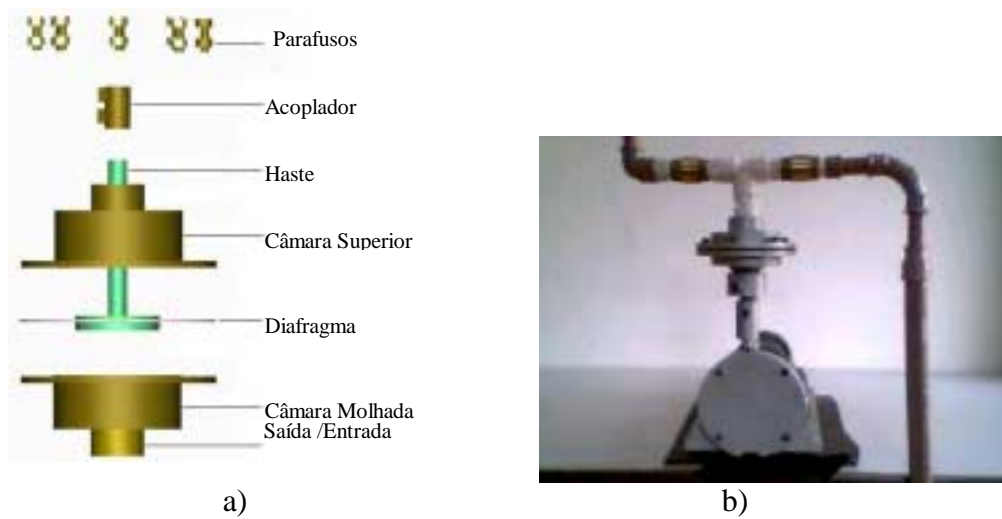


Figura 2. a) Detalhes de uma bomba de diafragma. b) Vista frontal com tubulação e válvulas.

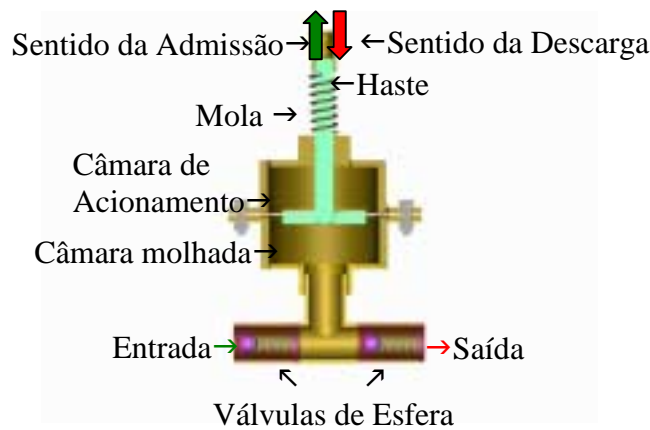


Figura 3. Bomba de diafragma. Vista em corte.

Para testar o desempenho da bomba, foram efetuados vários experimentos. As medidas realizadas foram as seguintes:

- a) Pressão na admissão da água - Usou-se um vacuômetro comercial marca ASTA com escala de 0 a 101,325 kPa (760 mmHg);
- b) Pressão no recalque – Usou-se um manômetro comercial marca ASTA com escala de 0 a 392,266 kPa (4 kgf/cm²).
- c) Temperaturas da água e ambiente – Utilizou-se um termômetro eletrônico digital comercial marca Minimipa, que opera na faixa de -50 à 1000° C, com resolução de 1° C.
- d) Vazão de água da bomba – Devido à intermitência do tipo de bomba, construiu-se um instrumento capaz de realizar com precisão a medida desejada. Este é composto de um vaso coletor com sensores de nível alto e baixo. O comando desse instrumento é feito eletronicamente esvaziando o vaso por meio de uma pequena bomba, quando a água coletada atinge o nível correspondente a um volume previamente determinado.
- e) Vazão de acionamento da roda d'água - A medida em questão é realizada num canal com saída através de um vertedor triangular e usando a fórmula de Thompson quando $\alpha = 90^\circ$ Eq. (1). A altura H do vertedor foi medida com uma régua milimetrada (Macintyre, 1983).

$$Q = 1,4H^{\frac{5}{2}} \quad (1)$$

f) Rotação da roda – Foi construído um tacômetro usando uma calculadora comum, fornecendo uma precisão de 0,5 revolução. A calculadora permanece inalterada em suas funções, apenas foi introduzida uma ligação no teclado que foi conectada a um sensor magnético do tipo relé de lâmina ou “Reed-switch”. No eixo da roda, colado em um disco existem dois imãs que, ao passar em frente ao sensor, acionam um dígito da calculadora. Desta forma acumula-se o número de voltas no tempo, antecipadamente determinado em um temporizador. Terminada a contagem do tempo, o temporizador desliga o sinal do sensor, permanecendo o total de rotações no visor da calculadora.

A Figura (4) ilustra esquematicamente a roda d’água usada nos experimentos.

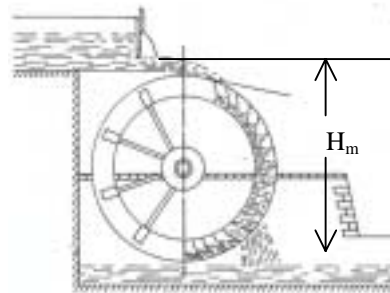


Figura 4. Vista esquemática de uma roda d’água de cima. Fonte: Mialhe (1980).

Os seguintes procedimentos experimentais foram adotados: a) Inicialmente foi controlada a vazão de água para acionamento da roda d’água, pela fixação do nível de água no vertedor. b) Em seguida mediu-se a rotação da roda d’água. c) Posteriormente mediu-se a vazão volumétrica e as pressões da água na entrada e saída da bomba. d) Finalmente, mediu-se as temperaturas da água e a ambiente. As medidas foram repetidas em intervalos regulares de 10 em 10 minutos para valores crescentes de descarga para alimentação da roda d’água.

Tendo obtido os resultados experimentais, determinou-se as potências de acionamento da roda d’água e da bomba e o trabalho por unidade de massa da mesma. A potência motriz no eixo da roda d’água é dada por (Mialhe, 1980 e Macintyre, 1983):

$$\dot{W}_r = \eta\gamma QH_m \quad (2)$$

onde $\gamma = \rho g$ é o peso específico; $\rho = \frac{1}{v}$ é a densidade e v é o volume específico. Considerou-se

$\eta_r = 0,7$. Esta potência compreende a potência fornecida pelo motor ao eixo da bomba.

Assumindo que o processo de bombeamento é permanente, adiabático e reversível, e desprezando-se as variações das energias cinética e potencial, o trabalho por unidade de massa realizado pela bomba pode ser determinado por Van Wylen et al (1993):

$$W_b = (P_s - P_e) \left(\frac{v_e + v_s}{2} \right) \quad (3)$$

onde P é a pressão. Os índices s e e representam as entrada e saída da bomba respectivamente.

A potência necessária para bombear o fluido é obtida por:

$$\dot{W}_b = q(P_s - P_e) \quad (4)$$

onde q é a vazão volumétrica da bomba.

A eficiência total do sistema roda d'água-bomba é dada por:

$$\eta_{br} = \frac{\dot{W}_b}{\dot{W}_r} \quad (5)$$

Maiores detalhes deste trabalho pode ser encontrado em Holanda (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela (1) apresenta os valores das alturas do nível d'água no vertedor, vazão de alimentação e rotação da roda d'água, pressão de entrada e saída da bomba de diafragma, bem como as temperaturas da água e a do ambiente. Estes resultados correspondem aos valores médios obtidos a partir dos dados experimentais. Para estes experimentos utilizou-se uma altura topográfica de recalque de aproximadamente 10 m. Da análise da tabela verifica-se que quanto maior a altura do nível de água no vertedor maior a vazão da água fornecida pela bomba de diafragma, como esperado. Contudo esta afirmação é limitada para certos valores de H_m .

A Tabela (2) apresenta as propriedades termodinâmicas da água de bombeamento para cada teste experimental contido na Tab.(1). Estes resultados foram obtidos supondo um processo isotérmico. Da análise da tabela verifica-se que o processo de bombeamento d' água realizado ocorre a entropia e volume específico praticamente constantes, implicando assim, num processo isotérmico, incompressível e aproximadamente reversível.

Na Tabela 2, observa-se que existe uma pequena diferença entre as entalpias da água nas entrada e saída e o trabalho específico na bomba. Esta diferença pode ser atribuída ao aquecimento da água durante o processo de compressão no interior da bomba, bem como a variação de velocidade do fluido ao passar pela bomba e até mesmo, erros na medição das pressões de entrada e saída da água na bomba.

Tabela 1. Valores médios obtidos durante o funcionamento da roda d'água com a bomba de diafragma.

Testes	H_m (m)	$Q \times 10^3$ (m ³ /s)	N (rpm)	P_b (kPa)				T		$q \times 10^3$ (m ³ /s)
				Man.		Abs.		(°C)		
				Ent.	Saída	Ent.	Saída	Amb.	Água	
1	1,7801	0,78	16,50	-5,33	130,43	95,97	231,73	23,10	22,75	0,020
2	1,785	0,99	21,50	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,10	23,4	0,022
3	1,790	1,23	25,85	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,60	24,95	0,027
4	1,795	1,51	31,00	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,67	25,00	0,027
5	1,800	1,81	33,47	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,17	24,35	0,026

A Tabela 3 mostra os dados de desempenho da bomba de diafragma em operação, referente aos resultados reportados nas Tabs.(1) e (2). Nota-se o decréscimo do rendimento, da bomba de diafragma com o aumento da potência da roda.

A eficiência mecânica determina que parte do trabalho fornecido é convertido em trabalho útil, que pode ser obtido diretamente no eixo do equipamento. Então esta eficiência leva em conta todas as perdas mecânicas causadas por fricção e resistência no equipamento, assim como as perdas relacionadas com o acionamento da bomba, compressão e outras unidades auxiliares requeridas para operação das máquinas. Já o rendimento hidráulico se refere às perdas de carga no interior da

bomba, devido o acabamento interno e restrições de ar (quando for o caso). O rendimento volumétrico por sua vez, decorre das perdas por vazamento interno do sistema da bomba e devido à recirculação de água, a depender do tipo de bomba. Tudo isto está incluso no η_{br} calculado.

Tabela 2. Propriedades termodinâmicas da água para cada experimento da bomba de Diafragma.

Testes	u_e (kJ/kg)	h_e (kJ/kg)	s_e (kJ/kg.K)	v_e (m ³ /kg)	u_s (kJ/kg)	h_s (kJ/kg)	s_s (kJ/kg.K)	v_s (m ³ /kg)
1	95,44	95,54	0,3356	0,0010023	95,43	95,67	0,3356	0,0010023
2	98,16	98,26	0,3448	0,0010025	98,15	98,39	0,3448	0,0010024
3	104,65	104,74	0,3666	0,0010029	104,64	104,87	0,3666	0,0010028
4	104,86	104,95	0,3673	0,0010029	104,85	105,08	0,3673	0,0010028
5	102,14	102,23	0,3582	0,0010027	102,13	102,36	0,3582	0,0010027

Tabela 3. Dados de desempenho da bomba de diafragma.

Testes	\dot{W}_r (W)	W_b (J/kg)	$h_s - h_e$ (J/kg)	\dot{W}_b (W)	η_{br} (%)
1	9,502	136,045	130,00	2,715	28,56
2	12,098	136,072	130,00	2,986	24,687
3	15,061	136,140	130,00	3,665	24,337
4	18,542	136,140	130,00	3,665	19,769
5	22,290	136,126	130,00	3,530	15,836

Da análise da Tab. (1), verifica-se que há inicialmente um aumento da vazão na bomba em função do aumento da vazão do vertedor, em seguida a vazão da bomba permanece constante e finalmente decresce. Isto é esperado visto que, com o aumento da velocidade da roda d'água, o seguidor não trabalha mais em sua amplitude total. Em consequência tem-se uma redução no deslocamento do diafragma. Como a vazão é função da amplitude desse deslocamento, justifica-se a redução da vazão na bomba.

A bomba de diafragma e o mecanismo transformador funcionam bem. O maior problema apresentado e que é o ponto crítico, está nas válvulas de admissão e recalque que não responderam bem ao pequeno volume, proporcionado pelo deslocamento do diafragma. Uma falha em qualquer uma das válvulas faz com que a bomba não faça o vácuo necessário ao auto-escorvamento, impedindo a realização do recalque. A troca das válvulas pode corrigir este defeito na bomba construída. Na falta do vácuo, a bomba respondeu ao recalque muito bem, quando trabalhou afogada, isto é, com a água ao nível da câmara molhada ou superior a esta. Com a troca das válvulas o problema de vedação foi solucionado e o vácuo necessário ao bombeamento foi realizado. No entanto, pesquisas para melhoramento neste sentido devem ser conduzidas.

4. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos com esta pesquisa pode-se observar que:

- A vazão de água fornecida pela bomba de diafragma aumenta com o aumento da potência no eixo da roda d'água. Contudo este comportamento só é verificado para certos níveis de potência da roda d'água;
- O rendimento da bomba de diafragma diminuiu com o aumento da potência da roda d'água.
- A bomba de diafragma e o mecanismo transformador funcionaram bem, no entanto as válvulas de recalque e admissão necessitam de melhoramentos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq (processo nº 476457/2001-7), pelo apoio financeiro concedido e aos pesquisadores referenciados que com suas pesquisas, ajudaram no melhoramento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- All-Flo Pump Co., 1999, “Double-Diaphragm Pumps”. Developments.
- All-Flo Pump Company Inc., 2000, “Interchangeability Among Diaphragm Pumps”. World Pumps. Jun.
- Alfa Laval, 1999, “Understanding and selecting air operated diaphragm pumps”. World Pumps. Nov.
- Bowan, G.J, 1997, “Specifying air-operated double-diaphragm pumps”. World Pumps. Jan.
- Charles Austen Pumps Ltd., 2000, “Rotary Diaphragm Pump” World Pumps. Feb.
- Charles Austen Pumps Ltd., 2000, “Self-priming Rotary Diaphragm Pump”. World Pumps. Jun.
- Eckle, F J; Bickert, P; Lachenmann, R and Wortmann, B., 1966, “Pumping speed of diaphragm pumps for various gases”. Vacuum, Vol. 47, No. 6-8, pp. 799 – 801.
- Eckle, F J; Bickert, P; Lachenmann., 1995, “Rotary vane and roots pumps backed by diaphragm pumps – progress in corrosive applications and clean vacuum requirements” Vacuum. Vol. 46 No. 8-10, pp. 793 – 796.
- Holanda, P.R.H. 2001, “Projeto, Construção e Experimentação de uma Bomba de Diafragma Acionada à Baixa Rotação” Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande, Brasil. 95 p.
- Macintyre, A. J., 1983, “Máquinas Motrizes Hidráulicas”. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, Brasil, 643p.
- Mialhe, L.G., 1980, Máquinas Motoras na Agricultura. EDUSP, São Paulo, Brasil, 289p
- Timm, U., Klein, H.H., Schreck, S., Hafner H.U., Mattern-Klosson, and M., Mundinger, H.J., “Refrigerator cryopumps with a simple oil-free roughing pump”. Vacuum, Vol.46, No.8-10 pp. 879 – 881.
- Van Wylen G., Sontag R. and Borgnakke C., 1993, Fundamentos da Termodinâmica Clássica. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil, pp. 244 –251.
- Zengerle, R., Geiger, W., Richter, M., Ulrich, J., Kluge, S, and Richter, A., 1995 a, “Transient measurements on miniaturized diaphragm pumps in microfluid systems”. Sensors and Actuators A. No. 46-47, pp. 557-561.
- Zengerle, R., Ulrich, J. Kluge, S., Richter, M., and Richter, A. 1995 b, “A bidirectional silicon micropump”. Sensors and Actuators A. No.50 pp. 81-86.

DEVELOPMENTS OF A DIAPHRAGM PUMPS OPERATED TO THE LOW ROTATION

Pedro Ronaldo H. de Holanda

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109 970 Cx. P 10069. e-mail: pronaldo@dem.ufpb.br

Natanael Victor de Oliveira

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109 970 Cx. P 10069. e-mail: natanael@dem.ufpb.br

Antonio Gilson Barbosa de Lima

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109 970 Cx. P 10069. e-mail: gilson@dem.ufpb.br

***Abstract.** The use of alternative energy of economical way is a form to save the conventional energy produced. A pumping system of water using alternative sources of energy has two advantages: economy of electric energy and use as emergency system, when not exist electric energy. The diaphragm pumps are generally used to pumping liquids with or without particles, pasty substances, mud, acid solutions, etc. In actual time exists a great use of this pump in the farms and agricultural regions. In this sense, the objective this work is to present the development and test of a diaphragm pump. Two cylindrical cameras and one diaphragm between these cameras compose the pump. The power of the pump is given by a paddle-wheel submitted at five levels of rotation. The water was used as operation fluid. Several results of the efficiency of the pump are reported and analyzed. It is to conclude that the efficiency of the equipment decreases with the increase of the shaft power and that modifications in the project are necessary to improve its performance.*

Keywords: diaphragm, fluid, pump, energy, experimental.