



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

INSTALAÇÃO DE RECALQUE COM VARIAÇÃO DE POTÊNCIA E VAZÃO UTILIZANDO INVERSOR DE FREQUENCIA

**Carlos Alberto Amaral Moino *¹, Celso Vitalino da Silva ¹, Djanira dos Santos Oliveira ¹,
Marcionilia Maria Silva ¹, Rodrigo Auricchio ¹, Thiago Dario Souza da Cunha ¹, Valmir
Demarchi ¹ e Fernando Marques Fernandes ¹.**

Universidade Santa Cecília.

Rua Oswaldo Cruz, 255/277 – Bairro Boqueirão – Santos – São Paulo – Brasil – CEP 11045-907

fmarques@unisanta.br ; moino@unisanta.br

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo comparativo entre os parâmetros operacionais de uma mesma bomba centrífuga em duas condições de acionamento. Na primeira a bomba é acionada por motor elétrico de indução com rotação constante e na segunda o motor possui controle de rotação através de um inversor de frequência. Durante o estudo verifica-se a rampa de aceleração suave através da configuração dos parâmetros do inversor de frequência. Ainda, em função de ser possível variar local ou remotamente a rotação da bomba após a partida, cálculos serão realizados visando cruzar os dados da curva característica da bomba (CCB) com a curva característica da instalação (CCI), possibilitando a identificação do ponto de operação da bomba que será ajustado através da variação da rotação de acionamento, e não pela variação de uma perda de carga localizada como se faz normalmente quando a bomba opera na primeira condição. Este resultado também poderá ser aplicado para outras bombas e compressores e tem como base as leis de semelhança. Após este estudo concluiu-se que a utilização do inversores de frequência para variação de rotação em bombas reduz o consumo de potência se comparado com a mesma redução de vazão obtida através do fechamento da válvula reguladora na linha de recalque.

Palabras Claves: Bomba centrífuga, variação de vazão, inversores de frequência



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUÇÃO

Um fator primordial na engenharia é o desenvolvimento de tecnologias que permitam a redução de consumo energético. Além da busca de novas fontes de geração, ampliação e adequação da produção de energia, é de grande importância o estudo de soluções mais econômicas e de alcance imediato visando a eficiência energética (Jairo et.al.,1999).

É fundamental que se obtenha o ponto de trabalho o mais próximo possível do resultado, traçando as curvas da bomba (CCB) e da instalação (CCI), cujo cruzamento produz o ponto de funcionamento (Santos,2007).

Considerando um determinado fluido, o diâmetro do impelidor constante, existe uma proporcionalidade entre os valores de vazão e altura manométrica com a rotação. Sempre que a rotação for alterada haverá em consequência alterações nas curvas características da bomba, sendo a correção para a nova rotação (N') feita através das proporções obtidas a partir dos grupos adimensionais.

2. DESENVOLVIMENTO

Desenvolve-se no presente trabalho a elaboração de uma planilha onde os dados de uma instalação são colocados e produzem a curva da instalação para posteriormente serem comparados com uma curva de bomba existente.

Para a demonstração dos cálculos são considerados para o exemplo a gasolina a 200C, com densidade de 750 kg/m³, uma viscosidade de 0,72 centiStokes, uma vazão de projeto de 10 litros por segundo, uma pressão de vaporização de 0,7 bar.

2.1. Dimensionamento da instalação

Para projetar o melhor percurso, devemos considerar a utilização do menor número de singularidades para não aumentar a perda de carga; evitar bolsas na tubulação e utilizar válvulas estrategicamente posicionadas de maneira a controlar o fluxo, evitar golpes de aríete e facilitar a manutenção.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Como exemplo, foi utilizada a instalação apresentada na figura 1.

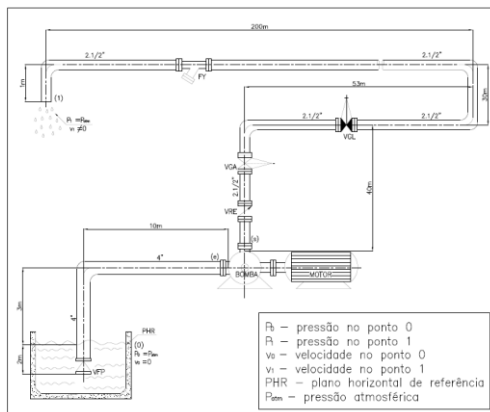


Figura 1 – Desenho da instalação

Definido o traçado aplicamos a equação de Bernoulli para a instalação com o cálculo da perda de carga feita pela equação de Darcy-Weisbach:

$$H_B = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D_{\min}^4 \cdot g} + \frac{8 \cdot f \cdot L_{suc} \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D_{suc}^5 \cdot g} + \frac{8 \cdot f \cdot L_{rec} \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D_{rec}^5 \cdot g} \quad (1)$$

$$H_B = 9,67 + \frac{43611,57 \times Q^2}{10^6} \Rightarrow H_B = 9,67m + 0,0436 \times Q^2 \quad (2)$$

Com estes dados é possível traçar o gráfico da CCI demonstrado na figura 2:

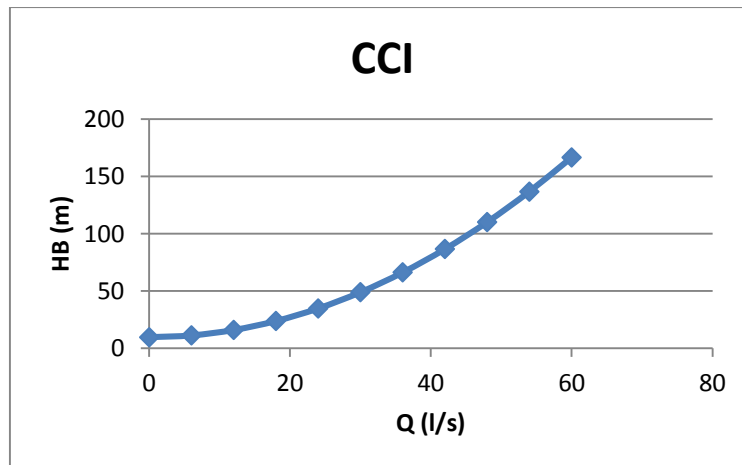


Figura 2 – Gráfico da CCI (Curva Característica da Instalação)



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Com a equação da instalação é possível fazer uma pré-seleção da bomba, utilizando o diagrama de blocos, para uma vazão de 25,92 m³/h e altura manométrica de 46,44m.

Seleciona-se então uma bomba no diagrama de blocos conforme figuras 3 e 4.

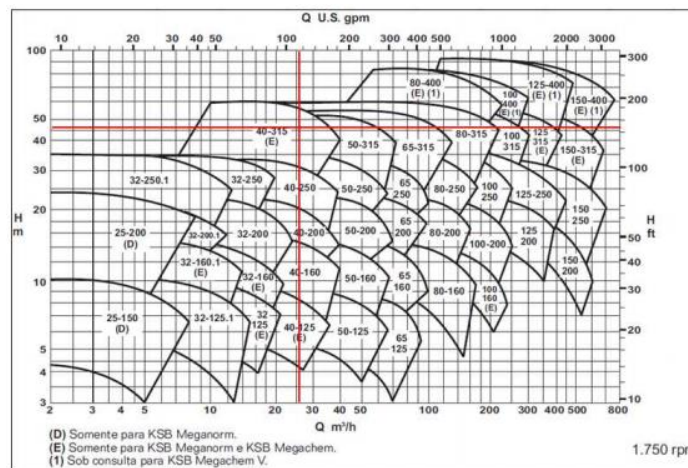


Figura 3 – Diagrama de blocos 1750 rpm [KSB - BRASIL].

Seleção da bomba no diagrama de blocos para 3500 rpm – 32-160.1

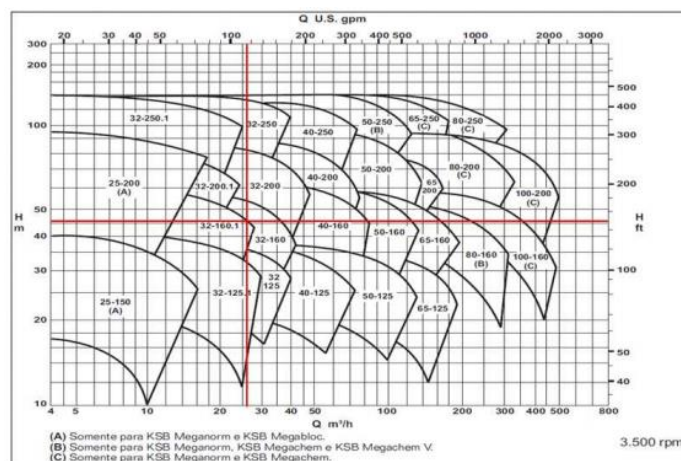


Figura 4 – Diagrama de blocos 3500 rpm [KSB - Brasil].



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

2.2. Grupos adimensionales

A vazão e a altura manométrica deverão ter suas equações adimensionais que permitem o estudo do efeito da variação da rotação sobre a curva da bomba.

$$\Psi_1 = \Psi_2 \Rightarrow \frac{g \times H_{B1}}{n_1^2 \times D_1^2} = \frac{g \times H_{B2}}{n_2^2 \times D_2^2} \quad (3)$$

$$\phi_1 = \phi_2 \Rightarrow \frac{Q_1}{n_1 \times D_1^3} = \frac{Q_2}{n_2 \times D_2^3} \quad (4)$$

2.3. Determinação das curvas das bombas escolhidas

A figura 5 apresenta o gráfico para determinação do ponto de funcionamento bomba KSB- 40-315 (1750 rpm)

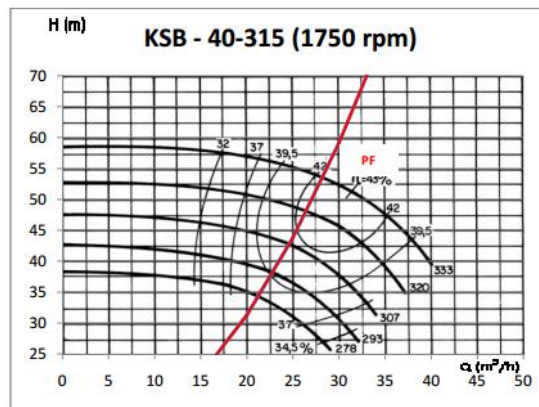


Figura 5 – Gráfico para bomba KSB 40-315 1750 rpm [9].

Ponto de funcionamento conforme demonstrado na figura 6.

Ponto de funcionamento da bomba KSB - 40-315 (1750 rpm)		
Q	(vazão)	28 (m³/h)
HB	(altura manométrica)	53 (m)
η	(rendimento)	42 (%)

Figura 6 – Ponto de funcionamento



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Para o cálculo da potência aplica-se a equação 5

$$NB = \frac{\gamma \times Q \times HB}{\eta_B} = 9,628 \text{ kW} \quad (5)$$

Na figura 7 o cálculo do ponto de funcionamento para bomba KSB-32-160.1 (3500 rpm)

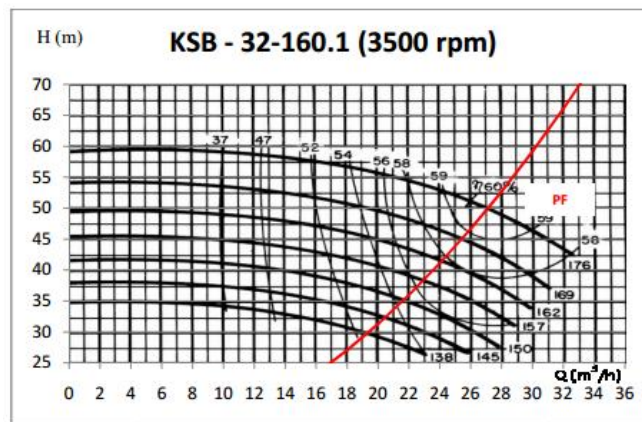


Figura 7 – Gráfico da bomba KSB 32-160.1 3500 rpm [9].

O ponto de funcionamento é apresentado demonstrado na figura 8.

Ponto de funcionamento da bomba KSB - 32-160.1 (3500 rpm)		
Q	(vazão)	27 (m³/h)
HB	(altura manométrica)	50 (m)
η	(rendimento)	59,8 (%)

Figura 8 – Ponto de funcionamento

Para o cálculo da potência aplica-se a equação 6 com os dados do ponto de funcionamento.

$$NB = \frac{\gamma \times Q \times HB}{\eta_B} = 6,151 \text{ kW} \quad (6)$$

Escolhe-se a bomba com menor potência exigida KSB - 32-160.1 (3500 rpm)

Escolha do motor elétrico de acordo com a tabela de características de motores elétricos – WEG		
NME	(potência do motor elétrico)	7500 (W)
η_{ME}	(rendimento do motor elétrico)	89 (%)

Figura 9 – Escolha do motor



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

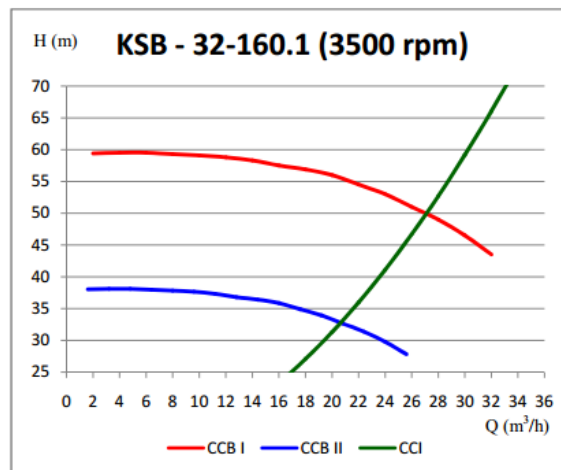
Para o cálculo da CCB2 (curva característica da bomba na situação 2) utiliza-se o método de semelhança de bombas. A situação proposta é de reduzir a rotação em 20% através da utilização de um inversor de frequência para comparação em relação à obtenção da mesma vazão através do método mais comum utilizado, que é o fechamento da válvula globo na linha de recalque.

Na planilha apresentada, esse cálculo é realizado automaticamente como demonstrado nas figuras 45 e 46, assim que identificado o percentual de diminuição da rotação.

$$\phi_1 = \phi_2 \Rightarrow \frac{Q_1}{n_1 \times D_1^3} = \frac{Q_2}{n_2 \times D_2^3} \Rightarrow Q_2 = 0,8 \times Q_1 \quad (7)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 \Rightarrow \frac{g \times HB_1}{n_1^2 \times D_1^2} = \frac{g \times HB_2}{n_2^2 \times D_2^2} \Rightarrow HB_2 = 0,8^2 \times HB_1 \Rightarrow 0,64 \times HB_1 \quad (7)$$

A figura 10 apresenta a curva da instalação plotada no gráfico da bomba KSB-32-160.1 (3500 rpm) e a curva da bomba com a redução da vazão.



Ponto de funcionamento da situação 2	
QB2 (vazão)	20,67 (m³/h)
HB2 (altura manométrica)	32,82 (m)

Figura 10 – Curvas e ponto de funcionamento da situação 2

Para obtenção dos pontos de funcionamento através do excel, foi utilizado o método de identificação das equações das curvas, neste caso a polinomial foi a mais adequada. Em seguida



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

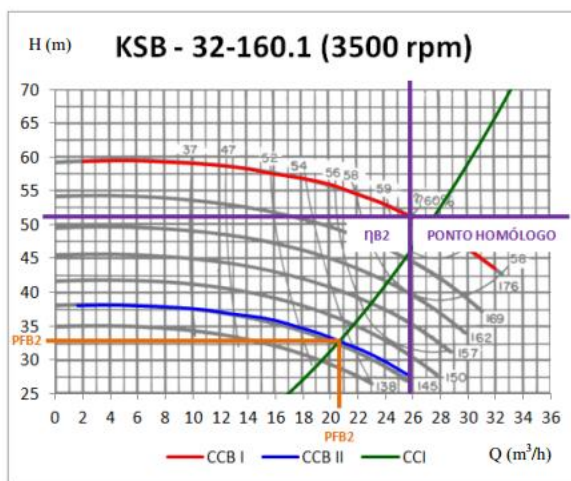
FoDAMI

realizado o teste de hipóteses para identificação da coordenada comum entre as duas curvas. Através do cálculo do ponto homólogo conforme figura 11, foi identificado o rendimento da situação 2 (redução de 20% da rotação com utilização do inversor de frequência).

Cálculo do ponto homólogo		
QB2* (vazão)		25,84 (m ³ /h)
HB2* (altura manométrica)		51,28 (m)

Figura 11 – Cálculo do ponto homólogo

Após o cálculo do ponto homólogo podemos identificar o rendimento da situação 2 através do gráfico conforme figura 12.



Rendimento da situação 2	
η_2 (rendimento) - PONTO HOMÓLOGO	60 (%)

Figura 12 – Rendimento situação 2

Agora com o foco voltado para o tema principal deste trabalho vamos calcular a potência exigida para as duas situações de redução da vazão, sendo:

NB2: Redução da vazão da bomba através da redução da rotação com utilização do inversor de frequência;



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

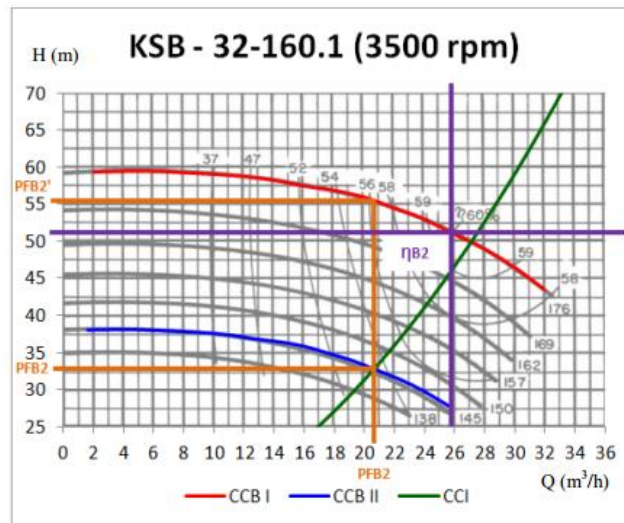
FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

NB2': Redução da vazão da bomba através do fechamento parcial da válvula globo na linha de recalque.

Para melhor comparação das situações acima adota-se o mesmo valor de vazão obtido pela redução.

Para obtenção dos pontos de funcionamento como demonstra a figura 13, através do Excel, foi utilizado o método de identificação das equações das curvas, neste caso a polinomial foi a mais adequada. Em seguida realizado o teste de hipóteses para identificação da coordenada comum entre as duas curvas.



Pontos de funcionamento para o cálculo de NB ₂ e NB ₂ '	
QB2 (vazão) "igual para as duas situações"	20,67 (m ³ /h)
HB2 (altura manométrica)	32,82 (m)
HB2' (altura manométrica)	55,43 (m)

Cálculo do NB ₂ e NB ₂ ' - KSB - 32-160.1 (3500 rpm)	
NB ₂ (potência da bomba)	3081,02 (W)
NB ₂ ' (potência da bomba)	5203,56 (W)

Figura 13 – Cálculo do NB₂ e NB₂'

Para o cálculo do consumo elétrico conforme figura 14, foi considerado que a bomba em questão trabalhe 24 horas por dia.

Cálculo do custo elétrico		
(custo elétrico na condição 2)		22,33 (R\$/dia)
(custo elétrico na condição 2')		37,72 (R\$/dia)

Cálculo do consumo elétrico		
(consumo elétrico na condição 2)		73,94 (kWh/dia)
(consumo elétrico na condição 2')		124,89 (kWh/dia)

Figura 14 – Cálculo do consumo elétrico e custo de energia

Para o cálculo do custo elétrico foi considerado o valor do kWh da empresa ANEEL [10]. Cálculo do percentual de economia conforme figura 15, comparando a utilização do inversor de frequência com o fechamento da válvula globo na linha de recalque para a obtenção da mesma vazão.

Cálculo do percentual de economia comparando o inversor de frequência com o fechamento da válvula globo		
(percentual de economia)		40,79 (%)

Figura 15 – Cálculo do percentual de economia

3. CONCLUSÃO

Efetuosos os cálculos da potência requerida, foi comprovado que a vazão é diretamente proporcional à rotação, e a potência também diretamente proporcional à rotação, ou seja, quando um é reduzido o outro também, e conseqüentemente quando se reduz a potência requerida se reduz o consumo elétrico gerando economia. A conseqüência do fechamento da válvula globo é um aumento significativo na altura manométrica, portanto diminui-se a vazão com a rotação se mantendo praticamente a mesma, e por isso temos essa diferença no consumo elétrico para obter a mesma vazão.

Após este estudo concluiu-se que a utilização do inversor de frequência para variação de rotação em bombas, para redução de vazão no sistema, apresenta menor custo de consumo elétrico em



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

comparação a mesma redução de vazão obtida através do fechamento da válvula globo na linha de recalque.

4. REFERÊNCIAS

- [1] Jairo Torres da Silva, Lucio Antonio Moreira Ivo, Paulo Soares de Oliveira e Sergio Lins Pellegrino, Bombas Centrifugas Passo a Passo, Turbotech, Bahia, 1999.
- [2] Pedro Carlos da Silva Telles e Darcy G. de Paula Barros, Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações, 6ª Ed, Interciência, Rio de Janeiro, 1998.
- [3] SANTOS, Sérgio Lopes dos. Bombas & instalações hidráulicas. São Paulo: LTCE, 2007.

Agradecimientos

Agradecemos o apoio da Universidade Santa Cecília na figura do Eng. Antonio de Salles Penteado, Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura.