

TÍTULO: PROPRIEDADES DE ENGENHARIA DOS FLUIDOS TÍPICOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Palavras-chave: propriedades de engenharia, propriedades físicas do licor branco, propriedades físicas do licor preto, propriedades físicas da lama de cal, propriedades físicas dos dregs e licor verde.

RESUMO

Este artigo visa apresentar uma compilação de importantes propriedades de Engenharia dos fluidos típicos do processo de produção de celulose, úteis para o dimensionamento e especificação de equipamentos e instrumentação da indústria de celulose e papel.

INTRODUÇÃO

Nas tabelas, a seguir, estão indicadas as propriedades físicas de vários fluidos típicos do processo de produção de celulose, referências importantes para o dimensionamento de bombas, equipamentos e especificação de instrumentos da indústria de celulose e papel.

Foram destacadas principalmente as seguintes propriedades:

- densidade (em kg/l): propriedade física que expressa a massa por unidade de volume de uma substância.
- calor específico (em kcal/kg °C): Energia fornecida a 1 kg de fluido para aquecer em 1°C a sua temperatura.
- pressão de vapor (em metros de coluna de líquido – mcl abs): pressão exercida pela fração evaporada de um fluido, após atingido equilíbrio de fases, numa dada temperatura.
- Viscosidade (em centipoises - cP): aquela medida em um único ponto, e, através de cisalhamento constante. Viscosímetros usuais: Brookfield e Haake.

DISCUSSÃO

DENSIDADE E CALOR ESPECÍFICO (Tabelas 1 e 2)

Os valores de densidade, calor específico e viscosidade, indicados para licor preto, por exemplo, são utilizados para dimensionamento dos evaporadores de licor preto, assim como para os sistemas de bombeamento da linha de fibra.

De acordo com a tabela 1, o calor específico para licor negro com 16.3 % sólidos é 0,916 kcal/kg°C e de acordo com (2), figura 4, o calor específico para o licor negro com 16.3 % sólidos é 0,87 kcal/kg°C, o que representa uma diferença em torno de 5%. De acordo com a tabela 1, o calor específico para o licor negro com 43,7 % sólidos é 0,78 kcal/kg°C, enquanto que, de acordo com (2), figura 4, o calor específico para licor negro, com 43,7 % de sólidos, é 0,71 kcal/kg°C o que resulta num desvio de 10 %.

De acordo com a tabela 2, a densidade do licor negro, com 10 % de sólidos dissolvidos (a 40°C), é 1,05 kg/l, e de acordo com (1), figura VI. 3, a gravidade específica 77°/60° para licor negro (processo kraft), com 10 % de sólidos, é 1,051. Também de acordo com (9), tabela 3, a densidade do licor negro, com 10% de sólidos (a 40°C), é 1,05, o que representa uma diferença inferior a 0,1 %.

De acordo com a tabela 2, a densidade do licor negro, com 30 % de sólidos dissolvidos (a 85°C), é 1,16 kg/l, e de acordo com (1), figura VI. 3, a gravidade específica 77°/60° para licor negro (processo kraft), com 30 % de sólidos, é 1,16. Também de acordo com (9), tabela 3, a densidade do licor negro, com 30% de sólidos (a 40°C), é 1,158, que representa uma diferença inferior a 0.2 %.

De acordo com a tabela 2, a densidade do licor negro, com 60 % de sólidos dissolvidos (a 115°C), é 1,3 kg/l, e de acordo com (1), figura VI. 3, a gravidade específica 77°/60° para licor negro (processo kraft), com 60 % de sólidos, é 1,3. Também de acordo com (9), tabela 3, a densidade do licor negro, com 60% de sólidos (a 70°C), é 1,34, o que representa uma diferença inferior a 3 %. Se considerarmos a correção de temperatura esta diferença tenderá a zero.

De acordo com a tabela 2, a densidade para lama de cal (lavada, após passagem no filtro de lama), com 40% de sólidos suspensos, é 1,4 kg/l e de acordo com (10), página A-3, a densidade para lama de cal, com 40% de sólidos é 1,37, o que representa uma diferença menor que 3%.

PRESSÃO DE VAPOR – (Tabela 2)

A tabela 2 apresenta, como densidade para licor verde (clarificado) na faixa de temperatura de 83 – 104°C, o valor de 1,1 kg/l (3), enquanto que, na mesma tabela, para licor verde com 13,9 Bé (pinus) está indicado o valor de 1,15 kg/l o que representa um desvio de 4,5 %.

Devemos ressaltar que, apesar de todas as propriedades serem necessárias para dimensionar e especificar equipamentos/instrumentos, temos que a pressão de vapor é essencial para determinação do NPSH disponível de bombas, o qual, em muitos casos, não é calculado **rigorosamente**, ocasionando problemas, principalmente com líquidos trabalhando em altas temperaturas , levando à “cavitação” (que corresponde a uma condição em que ocorre vaporização do líquido na sucção da bomba, gerando problemas de ruído no bombeamento).

O NPSH é calculado pela equação

$$\text{NPSH} = (\text{Pr.suc.} - \text{Pr.vap.}) \times 10 / \text{dens. onde:}$$

NPSH = “Net positive suction head”, em metros de coluna de líquido;

Pr.suc. = pressão de sucção da bomba, em kgf/cm² abs;

Pr. vap. = pressão de vapor do líquido, em kgf/cm² abs;

dens. = densidade do líquido, em kg/l.

SUSPENSÕES DE CELULOSE (DENSIDADE) – (Tabela 2)

Na tabela 2 está indicada uma faixa de variação de densidade para suspensões de celulose de 1,00 até 1,02 kg/l, com consistência variando de 1 a 6 % BD (ou seja, Bone Dry). Para 12 % de consistência a densidade atinge 1,05 kg/l.

A viscosidade (em centipoises) de suspensões de celulose não é uma propriedade usual para o **cálculo de perda de carga**, e, para este caso, estão disponíveis vários métodos específicos, que utilizam apenas densidade e consistência da massa e que levam em conta que este fluido não é Newtoniano.

Alguns fabricantes de bombas de média consistência possuem um sistema interno na bomba que aproxima o tipo de fluxo da suspensão de celulose ao comportamento da água, o que traz uma redução na perda de carga na linha e reduz o consumo de potência na bomba.

TIPOS DE MADEIRA

Deve-se levar em conta que as informações com indicação (3), podem se referir a madeiras diferentes das de eucalipto e pinus, estas últimas muito utilizadas nas fábricas brasileiras.

No caso ser necessário valores de propriedades físicas mais precisos e específicos, para um tipo diferente de madeira, será conveniente confirmar as propriedades experimentalmente.

CONCLUSÕES

A utilização de valores corretos das propriedades de Engenharia dos fluidos do Processo colabora, num sentido mais amplo, para redução de custos, tanto nos investimentos em equipamentos, como, em seu custo operacional.

Geralmente estas propriedades são requisitadas sempre pelos fabricantes de equipamentos, bombas e instrumentos, para poder ser feita uma seleção adequada de seus produtos. As diferenças percentuais encontradas entre as referências denotam que os valores citados têm boa confiabilidade para utilização em Engenharia.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a assistência da BE&K Engineering (Birmingham, Alabama), em particular ao Engº Doug Mathias e, da Kvaerner, para divulgação dos dados, assim como, a colaboração dos colegas da Pec-Tech (Bahia Pulp), em especial ao Engº Geraldo Seixas e à colaboração para apoio em tradução técnica de Ingrid Orglmeister

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1) Assumpção, R.M.V., Apostila de Evaporação, curso de Pós-Graduação Pasta Celulósica I, Depto. de Engenharia Química USP.
- 2) Assumpção, R.M.V.; LIMA, A.F.; Park, S.W.; Jordão, M.C.S. E Yojo, L.M. – Propriedades de Engenharia do licor negro sulfato de eucalyptus SPP - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – São Paulo – Brasil
- 3) BE&K Engineering Company (Alabama – USA), Banco de Dados.
- 4) Bingham, Fluidity and Plasticity, p.340, Nova York, McGraw-Hill Book Company, 1922
- 5) Cameron Hydraulic Data, Thirteenth Edition.
Edited by G. V.Shaw and A.W. Loomis (Ingersoll – Rand Company), pag. 124
- 6) Jaakko Pöyry Engenharia, Normas e Procedimentos.
- 7) Kvaerner do Brasil LTDA, Banco de Dados.
- 8) Schreiber, G. – Ciclo de recuperação, curso Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
- 9) Marcondes, A.; Dálmeida M.L.O. – Densidade do licor negro
- 10) Dorr Oliver, Informações Técnicas Caustificação, 24 de julho de 1986
- 11) A. Araujo SA Engenharia e Montagens – Estudo sobre Caustificação para Manville Produtos Florestais (1986)
- 12) A. Araujo SA Engenharia e Montagens – Banco de dados

Autor: Elie Henri Hayon, Engenheiro Químico graduado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1982, participou, no Brasil e no Exterior da Engenharia Básica e de Detalhamento de projetos para vários produtores de celulose. Atualmente é Engenheiro de Processo da Engevix Engenharia. Membro da Comissão de Automação da ABTCP
e-mail: haione@uol.com.br

TÍTLE: PHYSICAL PROPERTIES OF TYPICAL PULP AND PAPER MILL FLUIDS

Keywords: Black liquor physical properties, physical properties of white and black liquor, physical properties of lime mud, physical properties of dregs and green liquor.

ABSTRACT

The objective of this paper is to present the main properties of process fluid engineering involved in pulp production essential to establish size and specifications for equipment and instruments in the pulp and paper industry.

INTRODUCTION

(Using tables of physical properties)

The attached tables present physical properties for several typical fluids that are important references for determining the size and specifications for pumps, equipment and instruments for a pulp and paper mill.

The study includes especially the following properties:

- density (in kg/l): a physical property that expresses the mass per volume unit of a substance.
- specific heat (kcal/kg °C): energy supplied to 1 kg of fluid to increase its temperature in 1°C.
- vapor pressure (in liquid column meters– mcl abs): pressure created by the fluid's evaporation fraction after phase balance, at a specific temperature.
- viscosity (in centipoises - cP): measured at one single point through constant shearing. Common viscometers used for viscosity measuring: Brookfield and Haake.

DISCUSSION

DENSITY, SPECIFIC HEAT AND VISCOSITY (Tables 1, 2 e 4)

Density, specific heat and viscosity values for black liquor are used for establishing the necessary size for the black liquor evaporation system, fiber line equipment and pumps.

According to Table 1, the specific heat for black liquor, with 16.3 % solids, is 0.916 kcal/kg°C and, according to (2), figure 4, the specific heat for black liquor with 16.3 % solids is 0.87 kcal/kg°C that means a difference about 5%.

According to Table 1, the specific heat for black liquor, with 43.7 % solids content, is 0.78 kcal/kg°C while, according to (2), figure 4, the specific heat for black liquor, with 43.7 % solids, is 0.71 kcal/kg°C. This results in a diversion of about 7.5 %.

According to Table 2, density for black liquor, with 10 % dissolved solids (at 40°C) is 1.048 kg/l, and according to (1), figure VI.3, specific gravity 77°/60° for black liquor (kraft), with 10 % solids, is 1.051. Also according to (9), Table 3, density for black liquor, with 10% solids (at 40°C), is 1.05 that means a difference smaller than 0.3 %.

According to Table 2, density for black liquor, with 30 % dissolved solids, is 1.16 kg/l and, according to (1), figure VI.3, specific gravity 77°/60° for black liquor (kraft), with 30 %, is 1.16. Also according to (9), Table 3, density for black liquor, with 30% solids (at 40°C), is 1.158 which means a difference smaller than 0.2 %.

According to Table 2, density for black liquor, with 60 % dissolved solids (at 115°C), is 1.3 kg/l, and, according to (1), figure VI.3, specific gravity 77°/60° for black liquor (kraft), with 60 %, is 1.3. Also according to (9), Table 3, density of black liquor with 60% solids (at 70°C), is 1.34 that means that this last difference is smaller than 3 %, but also the temperature used is different. Correcting temperature, the difference will probably be reduced to zero.

According to Table 2, density for lime mud (washed from mud filter), with 40% suspended solids, is 1.4 kg/l and according to (10), page A-3, specific gravity for lime mud, with 40% solids, is 1.37 which amounts to a difference of less than 3%.

VAPOR PRESSURE – (Table 2)

Although all properties are important to establish a size and to specify equipment and instruments, the vapor pressure is essential to calculate the pump available NPSH, mainly for hot liquids, which sometimes is not calculated correctly, causing cavitation (a condition in which liquid vaporization takes place at the suction side of the pump).

The NPSH is calculated as follows

$$\text{NPSH} = (\text{suc. press} - \text{vapor press}) \times 10 / \text{density, where:}$$

NPSH = Net positive suction head, in meters of liquid column

Suc. Press. = pump suction pressure (kgf/cm² abs)

Vapor Pressure = liquid vapor pressure (kgf/cm² abs)

Dens. = density of liquid, in kg/l

STOCK SUSPENSION (DENSITY) – (Table 2)

Table 2 shows the density range for stock suspensions from 1.00 to 1.02 kg/l, consistency varying from 1 to 6 % BD (bone dry).

For 12 % consistency, density will get to 1.05 kg/l.

It is not usual and not correct to calculate pressure loss for stock suspensions using viscosity (in centipoises). In this case there are several specific methods which only use stock density and consistency, considering that this fluid is not Newtonian, especially for consistencies higher than 2%.

Some Medium Consistency pump suppliers have a special system on the inside of the pump to get pulp flow closer to water flow, thus reducing pressure loss in the pipe and power consumption in the pump.

TYPE OF WOOD

Please note that information under (3) may refer to a different kind of wood than eucalyptus and pinus, common in Brazil.

In case of having other kinds of wood and being necessary to reach a high precision in calculations, then it would be advisable to confirm the specific properties through laboratory tests.

CONCLUSION

Using correct physical properties generally contributes to cost reduction both in investments made in equipment and in operational costs.

These properties are required by equipment and instrument vendors to be sure the best selection of equipment is made. Should there be any percent difference between several references, it is low enough to ensure good results with physical properties as described.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express his gratitude for the assistance received from BE&K Engineering (specially Mr. Doug Mathias) and Kvaerner for the permission to publish part of the internal data base, as well as from the Pec-Tech Brazil (Bahia Pulp) team, specially Mr. Geraldo Seixas (Pec-Tech) and also to Mrs Ingrid Orglmeister due to technical traduction collaboration.

REFERENCES:

- 1) Assumpção, R.M.V., Evaporation Notes, Undergraduate Course, Pasta Celulósica I, Depto. de Engenharia Química, USP.
- 2) Assumpção, R.M.V.; Lima, A.F.; Park, S.W.; Jordão, M.C.S. E Yojo, L.M. – Physical properties of eucalyptus sulphate black liquor - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – São Paulo – Brasil
- 3) BE&K Engineering Company (Alabama – USA), Data Base.
- 4) Bingham, Fluidity and Plasticity, New York, McGraw-Hill Book Company, 1922

- 5) Cameron Hydraulic Data, Thirteenth Edition.
Edited by G. V. Shaw and A.W. Loomis (Ingersoll – Rand Company)
- 6) Jaakko Pöyry Engenharia, Rules and Internal Proceedings.
- 7) Kvaerner do Brasil LTDA, Data Base.
- 8) Schreiber, G. – Recuperation cycle notes, Brazilian Pulp and Paper Association Training Course
- 9) Marcondes, A.; Dálmeida M.L.O. – Density of black liquor
- 10) Dorr Oliver, Technical Information , July 24, 1986
- 11) A. Araujo SA Engenharia e Montagens – Causticizing study for Manville Produtos Florestais
- 12) A. Araujo SA Engenharia e Montagens – Data base

Author: Elie Henri Hayon, Chemical Engineer, graduated 1982 from São Paulo University's "Escola Politécnica", Brazil. He has worked as Process Engineer in many companies in Brazil and abroad, in Basic and Detailed Engineering for several pulp and paper producers. Member of the Automation Group of ABTCP, the Brazilian Pulp and Paper Technical Association. Presently is working as Process Engineer at Engevix Engenharia.
E-mail: haione@uol.com.br