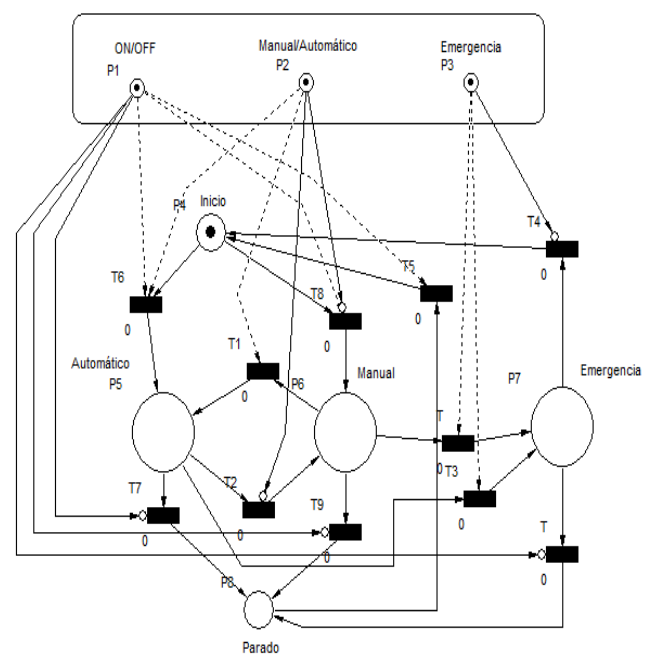




ITEGAM - JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (JETIA)

Editor-in-Chief: J.C. Leite



Available online at www.itegam-jetia.org





ITEGAM

ISSN 2447-0228 Online



Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (JETIA)

O **ITEGAM-JETIA – Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (JETIA)** é uma publicação do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), localizado na cidade de Manaus desde 2008. **ITEGAM-JETIA** publica artigos científicos originais que cobrem todos os aspectos de engenharia. Nosso objetivo é a divulgação da investigação original, útil e relevante apresentando novos conhecimentos sobre aspectos teóricos ou práticos de metodologias e métodos utilizados em engenharia ou que levam a melhorias nas práticas profissionais. Todas as conclusões apresentadas nos artigos deve basear-se no estado-da-arte e apoiada por uma análise rigorosa atual e uma equilibrada avaliação. A revista publica artigos de pesquisa científica e tecnológica, artigos de revisão e estudos de caso.

O **ITEGAM-JETIA** abordará temas das seguintes áreas do conhecimento: Engenharia Mecânica, Engenharia Civil, Materiais e de Mineralogia, Geociências, Meio Ambiente, Sistemas de Informação e Decisão, Processos e Energia, Elétrica e Automação, Mecatrônica, Produção, Biotecnologia e outras áreas relacionadas à Engenharia.

Informações da Publicação:

ITEGAM-JETIA (ISSN 2447-0228), online) é publicado pelo Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), com uma periodicidade bimestral (março, junho, setembro, dezembro).

Informações para Contato:

Página da WEB: www.itegam-jetia.org

E-mail: editor@itegam-jetia.org ou secretaria@itegam-jetia.org

ITEGAM – Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia.

Avenida Joaquim Nabuco, Nº. 1950. Centro. Manaus – Amazonas - Brasil.

CEP: 69020-031. Fone: (92) 3584 – 6145 e 3248 – 2646.

Copyright 2014. Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

A reprodução total ou parcial de textos relacionadas aos artigos é permitida, somente no caso da fonte seja devidamente citada. Os conceitos e opiniões expressas nos artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Aviso prévio

Todas as declarações, métodos, instruções e ideias são apenas responsabilidade dos autores e não representam, necessariamente, a vista do ITEGAM-JETIA. A editora não se responsabiliza por qualquer prejuízo e/ou danos para a utilização dos conteúdos deste periódico. Os conceitos e opiniões expressas nos artigos são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Diretório

Membros do Centro Editorial do ITEGAM – Journal of Engineering and Technology for Industry Applications (ITEGAM-JETIA) do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) – Manaus/Amazonas/Brasil.

Tereza Rodrigues Felipe, Diretor – Presidente

Jandecy Cabral Leite, Coordenador Editorial

Elcimar Souza Correa, Assistente Editorial

Orlewilson Alysson Figueiras da Silva, Diagramador Gráfico Editorial

Vitor Anderson Felipe de Oliveira, Assistente de Tecnologia da Informação



SUMÁRIO

<i>Short fiber Munguba (Pseudobombax Munguba) and sprue (Guarea guidonia)</i>	04
<i>Raimundo Valdan Pereira Lopes e Eleodoro Rodriguez Hermenegildo</i>	
<i>Minimizing the of shell and tube heat exchangers cost using evolutionary algorithms</i>	09
<i>Maida Bárbara Reyes Rodríguez, Jorge Laureano Moya Rodríguez, Eduardo Miguel Fírvida Donéstevez, Lic. Sergio R. Pérez León, Jandecy Cabral Leite</i>	
<i>Design of a plant of obtaining de biodiesel to leave of a residual of the sugar industry (phlegm)</i>	19
<i>Juan Bautista de León Benítez e Lesdier Abreu Rodríguez</i>	
<i>Teaching System of Integrated Automation of Filling Dosage Wagons for Building Materials</i>	25
<i>Israel F. Benítez-Pina, Michel Sanz-Perez, Jose Rogelio Martin-Escalona</i>	
<i>System of indication of directions and warnings against collisions for locomotion of people with impaired vision in structured environments</i>	35
<i>Álvaro José Belota de Oliveira Saraiva e Walter Andrés Vermehren Valenzuela</i>	
<i>Internet of things applied on a supervisory system for modular production system stations</i>	40
<i>Renan Araújo de Lima, Almir Kimura Junior, Israel Francisco Benítez Pina, Walter Andrés Vermehren Valenzuela</i>	
<i>Comparative Analysis of the Mechanical Properties of Matrix Based on Polyester Composites Reinforced with Particulated, Continuous and Aligned Tauari Fiber (Couratariguanensis)</i>	46
<i>Rilmar Pereira Gomes, Jandecy Cabral Leite, Roberto Tetsuo Fujiyama, Raimundo Valdan Pereira Lopes</i>	
<i>Discussion of problems in transport logistics company supermix concrete S/A</i>	53
<i>Alfredo Nogueira Mariano, Emanuel Corrêa Campos e Sandro Oliveira Nunes</i>	
<i>Ecological function according to entransy dissipation applied to the optimization of shell and tube heat exchangers</i>	60
<i>Maida Bárbara Reyes Rodríguez, Jorge Laureano Moya Rodríguez, Oscar Miguel Cruz Fonticiella, Jandecy Cabral Leite</i>	
<i>Treatment and reuse of water by decanting in concrete industries</i>	67
<i>Adryan Moraes Corrêa, Bruna Almeida Alves, Monik Érica Silva de Souza</i>	



Short fiber Munguba (*Pseudobombax Munguba*) and sprue (*Guarea guidonia*)

Raimundo Valdan Pereira Lopes¹ e Eleodoro Rodriguez Hermenegildo¹

¹Universidade Federal do Amazonas - Instituto de Natureza e Cultura-INC/UFAM. Estrada 1º de Maio - S/N, Colônia. Benjamin Constant- Amazonas- Brasil. CEP: CEP: 69.630-000. Fone: +55(92) 99387 8930, +55(97)991987724 e +55(97)3415-5677.

ABSTRACT

This paper aimed to evaluate the mechanical properties in tensile testing, of polyester composites reinforced by short fibers of Munguba (*Pseudobombax Munguba*) and Jitó fibers (*Guarea guidonia*) arranged randomly. The method used was qualitative and quantitative, comparing parameters obtained in tensile mechanical tests of and appearance of the fracture for both types of composites investigated. The results showed that for the investigated composites, the tensile strength increased respectively to the length of the fibers of Munguba (10 mm - 12.16 (MPa) and 15 mm -19.91 (MPa)) and from the Jitó fibers ((10 mm - 18.84 (MPa) and 15 mm -.. 19.20 (MPa)) Besides, as they remained better aligned, uniform and occupying a larger contact area in the array, the tensile strength also increased. The composites reinforced by fibers of Jitó were the ones who have more satisfactory mechanical performance in tensile test for such process, with respect to manufactured by Munguba fibers.

Keywords: Polymeric composites; Munguba fibers (*Pseudobombax Munguba*); Jitó fibers (*Guarea guidonia*); Mechanical properties; Tensile test.

Fibras curtas de munguba (*pseudobombaxmunguba*) e de jitó (*guarea guidonia*)

RESUMO

O artigo em questão objetivou a avaliação das propriedades mecânicas em ensaio de tração de compósitos de poliéster reforçados por fibras curtas dispostas aleatoriamente de Munguba (*Pseudobombax munguba*) e, os reforçados por fibras de Jitó (*Guarea guidonia*). O método utilizado foi o quali-quantitativo, confrontando parâmetros obtidos nos ensaios mecânico de tração e aspecto da fratura para os dois tipos de compósitos investigados. Os resultados revelaram que, para os compósitos investigados, a resistência à tração aumentou respectivamente ao comprimento das fibras de Munguba ((10mm - 12,16(MPa) e 15 mm -19,91(MPa)) e de Jitó ((10 mm - 18,84 (MPa) e 15 mm - 19,08 (MPa)). E, a medida que estas se mantinham melhor alinhadas, uniformes e ocupavam uma área de contato maior na matriz. Sendo os compósitos reforçados por fibras de Jitó, os que apresentaram desempenho mecânico mais satisfatório no ensaio de tração para este tipo processo.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos; Fibras de Munguba (*Pseudobombax munguba*); Fibras de Jitó (*Guarea guidonia*); Propriedade Mecânica; Ensaio de tração.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos muitos esforços vêm sendo empregado por parte da indústria na busca por novos materiais com propriedades ecológicas e tecnológicas capazes de atender a novos requisitos tecnológicos e ambientais, em resposta à ineficiência no uso de materiais ditos

convencionais e da dependência de matérias-primas provenientes de fontes não renováveis, as quais, já sinalizam indícios de escassez para as próximas décadas [1][2]. Estes e outros fatores têm influenciado o aumento da taxa média de crescimento mundial de biocompósito que entre 2003 e 2007 foi de 38% ao ano, nesse mesmo período, a taxa de crescimento anual na Europa foi de 48%. Há, no entanto, uma

previsão de superação da capacidade de produção que era de 0,36 milhões de toneladas ocorrida no ano de 2007, para um aumento de 2,33 milhões de toneladas até 2013, e 3,45 milhões de toneladas até 2020 [3][4].

Este cenário tem contribuído para uma maior participação de fibras provenientes de fontes renováveis na indústria devido: sua baixa densidade, baixo custo, estimula a geração de renda no campo, possuem boas propriedades mecânicas, físicas e químicas, amplamente distribuídas, baixo consumo de energia na produção e no processamento, disponíveis, moldáveis, maciez e abrasão reduzida, porosas, viscoelásticas, biodegradáveis, promove um processo seguro sem risco de contaminação do trabalhador, entre outros [3][5].

Diante dessa perspectiva, no Brasil, a região Amazônica por ser uma região de clima tropical, possui uma diversidade de plantas propícias ao desenvolvimento de novos compósitos, como é o caso da fibra de Munguba (*Pseudobombax munguba*) e Jitó (*Guarea guidonia*). Estas, junto com fibras de outras espécies de plantas são utilizadas no cotidiano por moradores da região amazônica na fabricação de cordas envira, usadas na confecção de cestos, redes, utensílios de pesca e de caça, objetos artesanais e outros. Podendo estas ser mais uma alternativa ao desenvolvimento de novos compósitos poliméricos.

II. METODOLOGIA APLICADA

Resina Poliéster: a resina utilizada foi a poliéster *tereftálica* insaturada e pré-acelerada, fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação comercial de Denverpoly 754. O agente de cura utilizado foi o peróxido de MEK (Butanox M-50), na proporção de 0,33% (v/v). A resina foi adquirida já pré-acelerada com *naftenato de cobalto* (CoNap) na proporção mássica de 0,15%. A proporção de agente de cura/resina de 0,33% (v/v), utilizada tende a melhorar o desempenho mecânico do compósito [6][7][8].

Fibra de Munguba e Jitó: o desfibramento e a separação das fibras foram realizados manualmente, em seguida, cortadas com estiletes e tesouras manuais em que se obtiveram fibras nos comprimentos de 10mm e 15mm, sendo este um procedimento consideravelmente simples, uma vez que as fibras já haviam permanecido submersas em água em um recipiente por 48 horas, cujo intuito era torna-las maleáveis e de fácil manuseio.

Confecção dos copos de prova: a confecção dos corpos de prova dos compósitos consistiu em um processo simplificado, com o uso de moldagem manual, utilizando moldes de silicone sem o uso de desmoldante e sem pressão, utilizando como matriz poliéster reforçada por fibras curtas dispostas aleatoriamente nos comprimentos de 10 e 15 mm, conforme proporções mássicas para os compósitos com fibras de Munguba (10,58% e 5,22%) e os com fibras de Jitó (10mm - 10,58% e 15mm - 5,22% %).

Ensaio de tração do material compósito: Os ensaios de tração ocorreram em conformidade com a norma ASTM D 638M. A confecção dos compósitos para o ensaio de tração ocorreu mediante o uso de moldes de silicone com um número de 24 (vinte e quatro) corpos de prova com matriz reforçada por fibras curtas de Munguba e de Jitó. Os quais foram ensaiados em uma máquina universal modelo KRATOS MKCA-KE, com sistema de aquisição de dados, com célula de carga de 5 KN, adotando velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm.

Análises da superfície da fratura dos corpos de prova: A análise da superfície da fratura dos compósitos ocorreu mediante Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, em que se analisou a morfológica da superfície da fratura e os principais mecanismos de falha de cada compósito ensaiado.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das fibras de Munguba e Jitó: as fibras de Munguba e Jitó *in natura* foram caracterizadas quanto ao comprimento (mm), determinação da massa específica (%) e aspectos superficiais. A análise microestrutural ocorreu mediante Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, em que se verificou o aspecto superficial e a seção transversal das fibras, além de amostras embutidas na matriz de poliéster *tereftálico*.

O valor médio da massa específica das fibras de Munguba e de Jitó ocorreu em concomitância ao comprimento médio das fibras, sendo estas pesadas em balança de precisão modelo Marte, da Marte Balança e Aparelhos de Precisão LTDA. A determinação do teor de umidade/absorção máxima das fibras se deu mediante a secagem destas num período de 15 minutos em forno elétrico modelo Layr Midy Inox, onde se determinou o teor base de umidade em três (3) amostras de fibras, com massa total de 34,50 gramas. As fibras foram inicialmente pesadas e secas até a massa constante.

Características mecânicas e microestrutural dos materiais compósitos: a fabricação, acabamento, dimensionamento e marcação dos compósitos com fibra de Munguba e de Jitó ocorreram conformidade com especificações das normas ASTM D 638.

Materiais compósitos com fibras de Munguba e de Jitó de 10 mm e 15 mm: A Tabela 1 mostra os resultados obtidos no ensaio mecânico de tração para os compósitos de poliéster reforçados por fibras de Munguba e de Jitó nos comprimentos de 10 mm.

Tabela 1. Resultado do ensaio de tração de compósitos poliéster tereftálico reforçados por fibras de Munguba e de Jitó nas proporções de 10mm.

Compósitos	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Tensão Max (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação (mm/mm)
Munguba	0,40	2,69	12,16	0,27	0,04
Jitó	0,91	2,36	18,84	0,48	0,04

A Figura 1 mostra o gráfico Tensão (MPa) versus Deformação (mm) dos corpos de prova após o ensaio de tração

para compósito de poliéster reforçado por fibras de munguba e de Jitó de 10 mm de comprimento, em que se obteve uma diferença de 21% (MPa), em comparação aos com fibras de Jitó de 10mm.

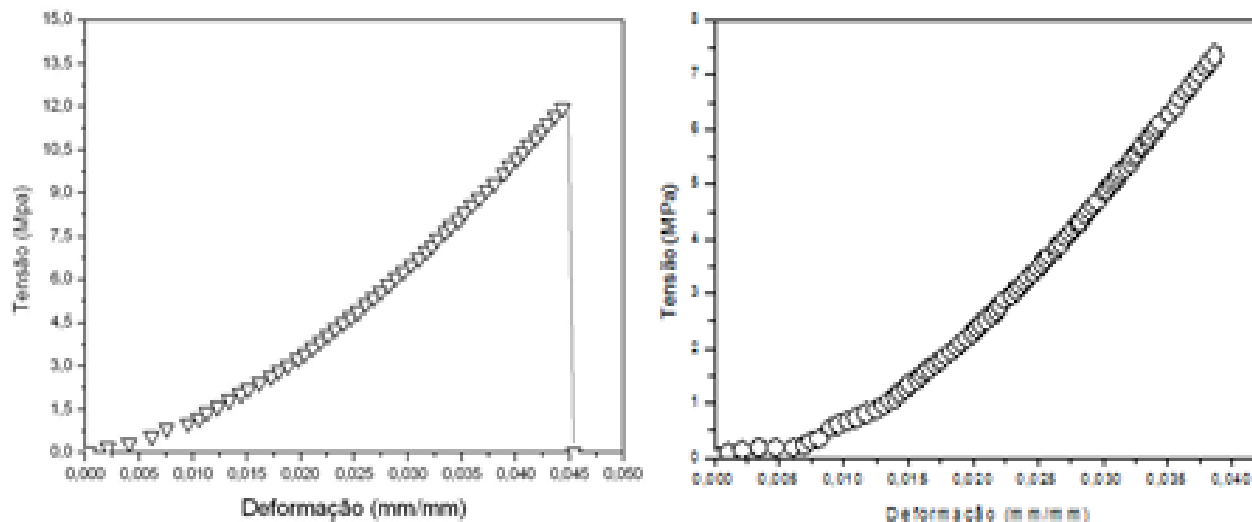


Figura 1: Tensão (MPa) versus Deformação (mm/mm) de corpos de prova de com fibras de 10mm.

Na análise interna da fratura de compósito com fibras de Munguba de 10 mm por meio de MEV foi constatado uma maior resistência mecânica dos compósitos, considerando a integridade das fibras e da superfície do mesmo, em comparação aos com fibras de 5 mm. Constata-se ainda, ocorrência de arrancamento (pull out) de fibras e

Materiais compósitos com fibras de Munguba e de Jitó de 15 mm: A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração mecânica dos compósitos reforçados por fibras de 15 mm. Fornecendo uma melhor compreensão do esforço mecânico aplicado e suas proporcionalidades nos compósitos, em que se obteve uma diferença de 52% (MPa) em comparação com os reforçados por fibras de 5 mm e, 39% (MPa) em comparação com os reforçados por fibras de 10 mm.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de tração dos compósitos de poliéster tereftálico reforçado por fibras de Munguba e de Jitó nas proporções de 15mm.

Compósitos	Força (kN)	Deslocamento (mm)	Tensão Max (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação (mm/mm)
Munguba	0,63	3,03	19,91	0,39	0,05
Jitó	1,07	1,95	19,08	0,60	0,03

A Figura 2 mostra o gráfico Tensão (MPa) versus Deformação (mm) dos corpos de prova após o ensaio de tração para o compósito de Poliéster reforçado por fibras de munguba e de Jitó de 15 mm de comprimento.

Na caracterização microestrutural interna do compósito com fibras de 15 mm foi evidenciado uma drástica redução de crateras e arrancamento de fibras (*pull out*) na matriz, com ocorrência de trincas (resultado da concentração de tensões) com as fibras se mantendo integras durante esforço mecânico aplicado. Tal fato foi influenciado pelo comprimento das fibras, uma vez que estas ocupavam uma área de contato maior na matriz, além de estarem melhor alinhadas e uniformes, o que promoveu, por consequência, melhor interação interfacial fibra-matriz facilitando a transferência de carga da matriz para as fibras, garantindo dessa forma, resultados mecânicos mais satisfatórios para este tipo de compósito [9].

Conforme a determinação do comprimento (mm), massa específica (%) e aspectos superficiais das fibras nas propriedades do compósito com resina poliéster *tereftalico*, reforçado por fibras curtas de mungubas e de Jitó dispostas aleatoriamente, os resultados indicaram que: O aumento nas propriedades mecânicas para ambos os compósitos no ensaio de resistência a tração foram respectivos aos comprimentos das fibras e, a medida que estas se mantinham melhor alinhadas, uniformes e passavam a ocupar uma área de contato maior na matriz conforme MEV. Promovendo melhor transferência de carga da matriz para as fibras.

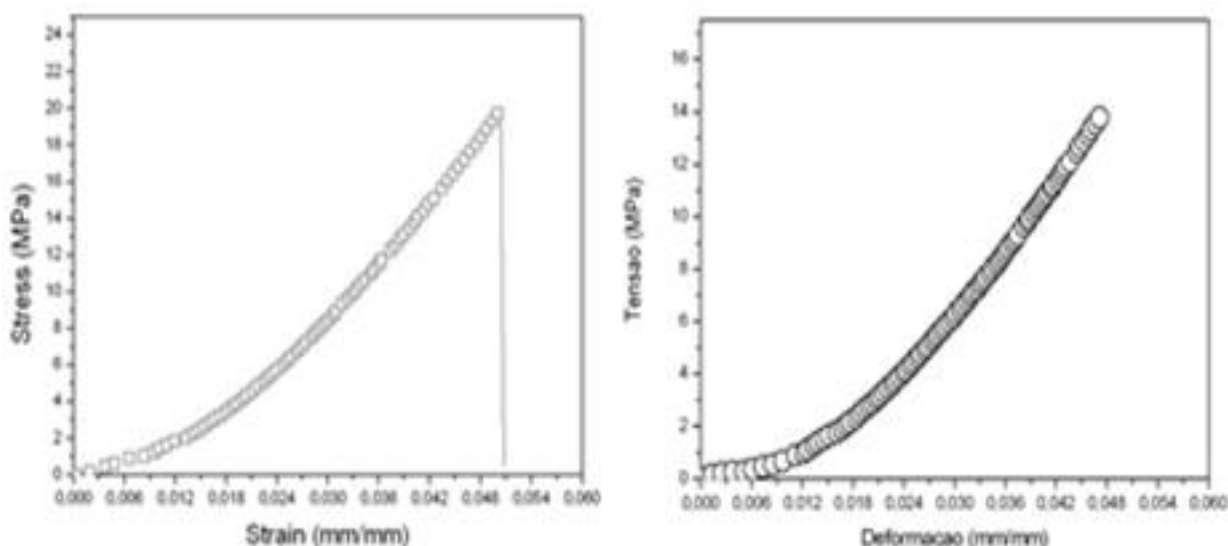


Figura 2: Força (N) versus alongamento (mm) de compósito com fibras de munguba (esquerda) e Jitó (direita) de 15 mm.

IV. CONCLUSÃO

A fabricação de compósitos de poliéster reforçados por fibras amazônicas de Munguba e Jitó ocorreu mediante um processo consideravelmente simples, com um menor nível possível de processamento nas etapas produtivas, em que se obteve um material tecnicamente viável do ponto de vista da engenharia dos materiais; podendo inferir diante do exposto que, os compósitos em questão possuem propriedade mecânica adequadas no contexto do uso e desenvolvimento de materiais compósitos poliméricos. Ao mesmo tempo contribui com as discursões em torno da viabilidade no uso de fibras vegetais

amazônicas, para o desenvolvimento de novos compósitos polimérico, em prol da pesquisa científica e da sustentabilidade.

V. AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e ao Instituto de natureza e Cultura/INC/UFAM/BC pelo apoio na realização dessa pesquisa a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Universidade Federal do Pará (UFPA).

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Monteiro, S. N.; Calado, V.; Margem, F. M.; Rodriguez, R. J. **S. Thermogravimetric Stability Behavior of Less Common Lignocellulosic Fibers.** 2012, v.1, 3, 189-199.
- [2] Liu, H. et al, **Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites:** Mechanical properties and morphologies. *Composites: Part A.* 2008, n. 39, p. 1891-1900.
- [3] Faruk, O.; Bledzki, A. K.; Fink, H.; Sain, M. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 – 2010.** 2012. 37, 1552–1596.
- [4] Mothé, C. G. and ARAÚJO, C. R., **Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá.** *Polímeros: Ciência e Tecnologia.* 2004, v. 14, n. 4, p.274-278.
- [5] Levy Neto, F. L.; Pardini, L. C. **Compósitos Estruturais:** Ciência e Tecnologia. Ed. Edgard, São Paulo, 2006.
- [6] Rodrigues, J. S., **Análise fractográfica de compósitos de matriz poliéster e resíduos da indústria madeireira.** VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 18 a 21 de Agost. 2010, Campina Grande/PB.
- [7] Khanam, P. N. et al, **Tensile, Flexural and Compressive Properties of Sisal/Silk Hybrid Composites.** *Journal of Reinforced Plastics and Composites.* 2007, v. 26, n. 10.
- [8] Venkateshwaran, N. and Elayaperumal, A. **Modeling and evaluation of tensile properties of randomly oriented banana/epoxy composite.** *Journal of Reinforced Plastics and Composite.* 2011, n. 30, p. 1957-1967.
- [9] Harnnecker, F. et al. **Biodegradable Polyester-Based Blend Reinforced with Curauá Fiber:** Thermal, Mechanical and Biodegradation Behaviour. *Journal of Polymers and the Environment.* 2012, vol. 20, p. 237-244.



Minimizing the of shell and tube heat exchangers cost using evolutionary algorithms

¹Dr.C. Maida Bárbara Reyes Rodríguez,^{1,3}Dr.C. Jorge Laureano Moya Rodríguez,
¹M.Sc. Eduardo Miguel Fírvida Donéstevez,²Lic. Sergio R. Pérez León, ³Dr. Jandecy Cabral Leite
maidab@uclv.edu.cu, jorgemoyar@gmail.com, jandecy.cabral@itegam.org.br

¹Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, UCLV, Cuba

²Centro de Estudios Energéticos y de Tecnologías Ambientales (CEETA)

³Instituto de Tecnología e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM

ABSTRACT

Shell and Tube Heat exchangers (STHEs) are the most common type of heat exchangers. They are applied in numerous industrial installations. The minimization of the costs of these heat exchangers is a key goal for both designers and users. The design of this type of heat exchanger involves complex processes, including selection of the geometrical and operating parameters. The traditional design approach of Shell and Tube Heat Exchangers consists of the evaluation of a number of different exchanger geometries to identify those satisfying a requirement of heat and a set of geometric and operational constraints. However, this approach is slow, inaccurate and does not guarantee an optimal solution. In this paper, different evolutionary algorithms to optimize STHEs economically are analyzed and applied, including the particle swarm optimization, genetic algorithms and mixed ant colony optimization, this last one developed by the authors. As objective function the minimization of total annual cost was considered. For optimization were considered as independent design variables the inside diameter of the shell, the outer pipe diameter and spacing between the baffles. They were also considered for optimizing two patterns or arrangements of tubes, in a triangle and a square. An example of three case studies of optimization of heat exchanger is presented. The results of the optimization using the mixed ant colony technique are compared with those obtained using particle swarm and genetic algorithms.

Key words: Heat exchangers, optimization, evolutive algorithms, ant colony.

Minimización del costo de los intercambiadores de calor de tubo y coraza mediante algoritmos evolutivos

RESUMEN

Los intercambiadores de calor de tubo y coraza (ICTC) son el tipo más común de los intercambiadores de calor. Los mismos se aplican en numerosas instalaciones industriales. La minimización de los costes de estos intercambiadores de calor es un objetivo clave tanto para los diseñadores como para los usuarios. El diseño del intercambiador de calor implica procesos complejos, incluyendo la selección de los parámetros geométricos y parámetros de funcionamiento. El enfoque tradicional de diseño para los intercambiadores de calor de tubo y coraza consiste en la evaluación de un determinado número de geometrías diferentes del intercambiador para identificar aquellas que satisfacen un requerimiento de calor y un conjunto de restricciones geométricas y operacionales. Sin embargo, este enfoque es lento, poco preciso y no garantiza una solución óptima. En el presente trabajo se analizan y aplican diferentes algoritmos evolutivos para optimizar económicamente los mismos, entre ellos la optimización con enjambre de partículas, por algoritmos genéticos y por colonia de hormigas mixto, este último desarrollado por los autores. Como función objetivo se consideró la minimización del costo total anual. Para la optimización se consideraron como variables independientes de diseño el diámetro interior de la coraza, el diámetro exterior del tubo y el espaciamiento entre los deflectores. También se consideraron para la optimización dos disposiciones o arreglos de tubos: en forma de triángulo y en forma de cuadrado. Se presentan tres estudios de caso de la optimización de un intercambiador de calor. Los resultados de la optimización usando la técnica de colonia de hormigas mixta son comparados con aquellos obtenido usando enjambre de partículas y algoritmos genéticos.

Palabras Clave: Intercambiadores de Calor, optimización, algoritmos evolutivos, colonia de hormigas.

I. INTRODUÇÃO

La investigación y el desarrollo en la transferencia de calor son de significativa importancia en muchas ramas de la tecnología, en

particular de la tecnología energética [1][2]. Los actuales desarrollos incluyen nuevos y eficientes intercambiadores de calor. Las áreas de aplicación incluyen la recuperación del calor en las industrias de procesos, en particular químicas y

petroquímicas que cada vez juegan un papel más creciente en Cuba y otros países. A través del mejoramiento sistemático de los diseños y la operación de los intercambiadores de calor se inserta la problemática del ahorro de energía, el desarrollo sostenible y la defensa y protección del medio ambiente, políticas que están aprobadas y constituyen planes y programas de investigación suscritos por la Academia de Ciencias de Cuba y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Los intercambiadores de calor (ICs) están presentes en la mayoría de los sistemas térmicos complejos de las industrias y representan el vehículo más ampliamente usado para la transferencia de calor en las aplicaciones de los procesos industriales. Son seleccionados para servicios tales como: enfriamiento de líquido o gas, procesos

donde se condensen vapores de refrigerantes o vapor de agua, procesos de evaporación de refrigerantes agua u otros líquidos; procesos de calentamiento regenerativo del agua de alimentación a calderas, para la recuperación del calor en efluentes gaseosos y líquidos residuales calientes, para el enfriamiento de aire y aceite de lubricación en compresores, turbinas y motores, mediante camisas de enfriamiento y muchas otras aplicaciones industriales [3].

Los ICs tienen la habilidad de transferir grandes cantidades de calor con relativamente bajo costo, poseyendo grandes áreas de superficie de transferencia en pequeños espacios, volúmenes de líquido y peso. En la figura 1 se muestra un esquema simplificado de un IC, en particular, de tubo y coraza [4].

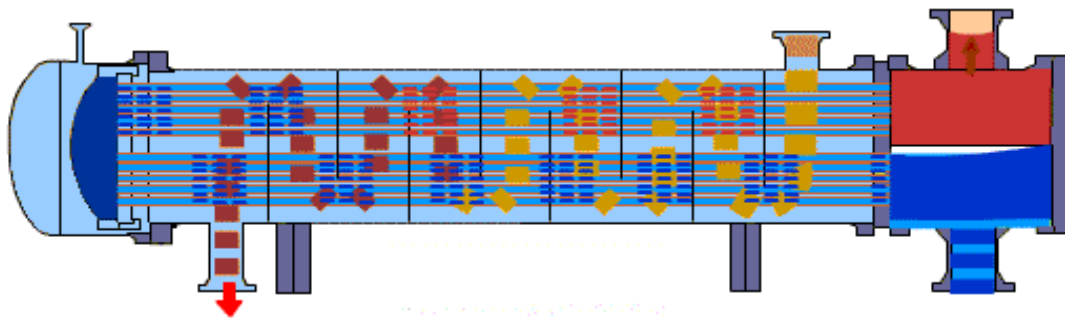


Figura 1. Esquema de un intercambiador de calor de tubo y coraza.

II. MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA.

La dificultad para integrar las correlaciones obtenidas en los bancos de tubos y el flujo generado en la carcasa de un intercambiador con deflectores impulsó el desarrollo de "métodos integrales" para el cálculo de la transferencia de calor y pérdida de carga en el lado carcasa. Entre ellos se pueden citar los siguientes: Método de Tinker (años 50), Método de Kern (años 50), Método de Bell-Delaware (años 60), Método de Palen-Taborek (años 60-70), Método de Wills and Jhonston. (años 70-80).

En los últimos años los algoritmos poblacionales y de inteligencia colectiva de optimización han ganado popularidad y son utilizados en varias áreas del conocimiento, debido a su relativa simplicidad y costo computacional. Estos algoritmos se están empleando en la optimización de intercambiadores de calor de Tubo y Coraza, debido a que son capaces de encontrar buenas soluciones con un mínimo de esfuerzo; convergiendo hacia un único óptimo global.

III. APLICACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA OPTIMIZACIÓN DEL COSTO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA.

Hay muchos estudios previos sobre la optimización de intercambiadores de calor. Varios investigadores han utilizado diferentes técnicas de optimización considerando diferentes funciones objetivo para optimizar el diseño del intercambiador de calor. En [5] usaron el enfoque del recocido simulado para el diseño óptimo de intercambiadores de calor y desarrollaron un

procedimiento de comandos para enlazar el programa HTRI (Heat Transfer Research Inc.) con el algoritmo del recocido. Los autores habían analizado el problema, considerando dos funciones objetivos diferentes llamadas, el área total de transferencia de calor y un coste índice de costo lineal obtenido.

En [6] usaron el algoritmo genético (GA) para el diseño óptimo de STHEs (intercambiadores de calor de tubo y coraza), en el que la caída de presión se aplicó como una restricción para lograr los parámetros óptimos de diseño. Los autores habían considerado la minimización del costo total del intercambiador de calor como una función objetivo. Un estudio de caso fue considerado también para demostrar la aplicación del algoritmo. Par [7] consideró un problema mixto de programación no lineal de STHE teniendo en cuenta el tamaño y el costo de la exergía del STHE. Los autores habían considerado la minimización de la suma del costo anual del capital y el coste exergético de STHEs como una función objetivo y aplicaron un algoritmo genético para la optimización.

En [8] llevaron a cabo el diseño del intercambiador de calor basados en optimización económica usando GA (algoritmos genéticos). Los autores habían considerado la minimización del costo total anual como una función objetivo para encontrar la óptima arquitectura del intercambiador de calor.

Para [9] usaron el análisis de sensibilidad global para identificar los parámetros geométricos más influyentes que afectan el costo total de los STHE con el fin de reducir el tamaño del problema de optimización y llevar a cabo la optimización de los parámetros influyentes de los SYHE desde el punto de vista económico mediante la aplicación del algoritmo de búsqueda armónico. Los autores habían considerado la minimización de los costos de capital y los costos de operación como una función objetivo.

Lo autor [10] explora el uso de una técnica de optimización no tradicional, llamada Optimización por enjambre de partículas (PSO), para la optimización del diseño de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, desde el punto de vista económico. La minimización del costo total anual se considera como función objetivo. Tres variables de diseño tales como el diámetro interior de la coraza, el diámetro exterior del tubo y el espaciamento entre deflectores se consideran para la optimización. También se consideraron para la optimización dos disposiciones de tubos en forma de triángulo y en forma de cuadrado.

Varios otros investigadores también usaron estrategias basadas en GA (algoritmos genéticos) y algoritmos tradicionales de optimización matemática [11][12][13][14][15][16][17][18][19][20][21][22][23][24][25][26][27] para diversos objetivos como la generación de entropía mínima [11][17] y el costo mínimo de STHEs [12][13][15][18][20][21][22][24][25][26][27] para optimizar el diseño de intercambiador es de calor. Algunos de estos estudios se focalizan en un solo parámetro geométrico como el espaciamento óptimo del deflector [13][14][15] y algunos otros tratan de optimizar una gran variedad de parámetros geométricos y operativos de los STHEs. Sin embargo, hay una necesidad de investigar el potencial de la aplicación de técnicas de optimización no tradicionales.

En el presente trabajo se comparan los resultados de la optimización del costo de los intercambiadores de calor de tubo y coraza a través de los Algoritmos Genéticos, el Enjambre de Partículas (Particle Swarm Optimization) (PSO) y mediante Colonia de hormigas mixta (Mixed Ant Colony Optimization) (MACO) que fue desarrollado por los autores para optimizar intercambiadores de calor.

IV. MODELO MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE UN INTERCAMBIADOR DE TUBO Y CORAZA (MÉTODO KERN).

A continuación se presentarán una serie de ecuaciones que se combinarán para bosquejar la solución de un intercambiador de calor de carcasa y tubo.

Para [28] desarrolló uno de los primeros métodos para el estudio del comportamiento térmico de un intercambiador de calor de tubo y coraza. Kern a partir de un intercambiador estándar restringido para un corte de las mamparas del 25% (el mejor en la mayoría de los casos) obtiene las correlaciones para el cálculo de transferencia de calor y la pérdida de cargas.

El cálculo se realizará por el método Kern, que todavía se sigue utilizando en la industria para comprobar el funcionamiento térmico de los intercambiadores. Este considera que el flujo a través del arreglo de tubos es únicamente flujo cruzado, y no contempla fugas entre los componentes de la coraza.

Antes de comenzar el cálculo, las condiciones de proceso requeridas para ambos fluidos son:

- Temperaturas de entrada y salida (T_i, T_o).
- Flujos másicos (m).
- Capacidades caloríficas (C_p).
- Conductividades térmicas (λ).
- Densidades (ρ).

- Viscosidades (μ).
- Factores de obstrucción o ensuciamiento (R_{ensuc}).
- Número de años de vida de la instalación (ny).
- Tasa de descuento anual (i).
- Costo de la energía eléctrica (C_E).
- Horas de trabajo al año (H).

Las variables a optimizar serian.

- Diámetro exterior del tubo (d_o).
- Diámetro interior de la coraza (D_s).
- Número de pases de los tubos (N_p).
- Espaciamento entre baffles (B).
- Tipo de distribución.

Teniendo en cuenta el coeficiente global de transferencia de calor, el área de la superficie del intercambiador de calor (A_T) se calcula:

$$A_T = \frac{Q}{U \cdot F \cdot LMTD} \quad (1)$$

Para la transferencia de calor sensible, la tasa de transferencia de calor está dada por,

$$Q = m_h \cdot C_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) = m_c \cdot C_{pc} (T_{co} - T_{ci}) \quad (2)$$

Donde T_{ci} es Temperatura de entrada del líquido frío en °C, T_{co} , Temperatura de salida del líquido frío en °C, T_{hi} , Temperatura de entrada del líquido caliente en °C, T_{ho} , Temperatura de salida del líquido caliente en °C, C_{ph} , Calor específico del líquido caliente en $kJ/kg^\circ C$, C_{pc} , Calor específico del líquido frío en $kJ/kg^\circ C$, m_c , flujo másico del fluido frío en kg/seg , m_h , flujo másico del fluido caliente en kg/seg .

Teniendo en cuenta el flujo cruzado entre el deflector adyacente, diferencia de temperatura media logarítmica ($LMTD$) se determina por,

$$LMTD = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}} \right)} \quad (3)$$

El factor de corrección F_t para la configuración de flujo en cuestión se encuentra en función de la relación de temperatura adimensional para la mayoría de las configuraciones de flujo de interés [29][30].

$$F_t = \frac{\sqrt{R^2 + 1}}{R - 1} * \frac{\ln \left(\frac{1 - P}{1 - PR} \right)}{\ln \left(\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})} \right)} \quad (4)$$

donde R es el coeficiente de corrección dado por:

$$R = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{co} - T_{ci}} \quad (5)$$

P es otro coeficiente, dado por:

$$P = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad (6)$$

El coeficiente global de transferencia de calor (U) depende de los coeficientes de transferencia de calor y las resistencias al ensuciamiento tanto del lado del tubo como del lado de la coraza dado por [31]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_t} + R_{ensucio_s} + \frac{d_o}{d_i} \left(R_{ensucio_t} + \frac{1}{h_t} \right)} \quad (7)$$

Donde d_i es el diametro interno del tubo y esta dado por,

$$d_i = 0,8 * d_o \quad (8)$$

d_o es una de las variables independientes.

IV.1 LADO DEL TUBO

De acuerdo con el régimen de flujo, el coeficiente de transferencia de calor en el lado del tubo (h_t) se calcula a partir de la siguiente correlación Si ($Re_t < 2\ 300$; [32],

$$h_t = \frac{\lambda}{d_i} \left[3,657 + \frac{0,0677 (Re_t Pr_t \frac{d_i}{L})^{1,33}}{1 + 0,1 Pr_t (Re_t \frac{d_i}{L})^{0,3}} \right] \quad (9)$$

Si ($2\ 300 < Re_t < 10\ 000$; [32],

$$h_t = \frac{\lambda}{d_i} \left\{ \frac{f_t (Re_t - 1000) Pr_t}{1 + 12,7 \sqrt{\frac{f_t}{8} (Pr_t^{0,67} - 1)}} \left[1 + \left(\frac{d_i}{L} \right)^{0,67} \right] \right\} \quad (10)$$

Si ($Re_t > 10\ 000$; [32],

$$h_t = \frac{\lambda}{d_o} 0,027 Re_t^{0,8} Pr_t^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (11)$$

Donde f_t es el factor de fricción de Darcy [33] dado por:

$$f_t = (1,92 \log_{10} Re_t - 1,64)^{-2} \quad (12)$$

Re_t es el número de Reynolds en la cara del tubo y está dado como:

$$Re_t = \frac{\rho \cdot v_t \cdot d_i}{\mu} \quad (13)$$

Velocidad de flujo para el lado del tubo se encuentra por,

$$v_t = \frac{G_s}{\rho} \quad (14)$$

Donde la velocidad másica del agua está dada por,

$$G_s = \frac{m_t}{A_t} \quad (15)$$

Donde el área total de flujo es,

$$A_t = A_{stt} * \frac{N_t}{N_p} \quad (16)$$

Donde N_p es el número de pases por los tubos (otra variable independiente) y A_{stt} es el área de la sección transversal del tubo está dada por:

$$A_{stt} = \frac{\pi}{4} * d_i^2 \quad (17)$$

N_t es el número de tubos y n es el número de pasos por los tubos que puede ser hallado aproximadamente por la siguiente ecuación.

$$N_t = C \left(\frac{D_t}{d_o} \right)^{n_1} \quad (18)$$

C y n_1 son coeficientes que están tomando valores de acuerdo con la disposición de flujo y el número de pasadas.

Tabla 1. Valores de los coeficientes C y n_1 .

No. De pases (NP)	Arreglo de tubos triangular		Arreglo de tubos cuadrado	
	C	n1	C	n1
1	0,319	2,142	0,215	2,207
2	0,249	2,207	0,156	2,2291
4	0,175	2,285	0,158	2,263
6	0,0743	2,499	0,0402	2,617
8	0,0365	2,675	0,0331	2,643

Fuente: [34].

Sobre la base de la superficie total del intercambiador de calor (A), la longitud del tubo necesaria (L) es,

$$L = \frac{A_T}{\pi \cdot d_o \cdot N_t} \quad (19)$$

Pr_t es el número de Prandtl en el lado del tubo y está dado por,

$$Pr_t = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} \quad (20)$$

Donde λ es la conductividad térmica del fluido (dato).

IV.2 LADO DE LA CORAZA

La Formulación de Kern para intercambiadores de calor de tubo y coraza de separadores segmentados se usa para calcular el coeficiente de transferencia de calor en el lado de la coraza hs [34],

$$h_s = \left(0,36 R_{es}^{0,55} \cdot P_{rs}^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \right) \frac{\lambda}{D_e} \quad (21)$$

donde, D_e es el diámetro hidráulico de la coraza y se calcula como [32][34]:

Para distribución cuadrada:

$$D_e = 4 \cdot \left(\frac{P_t^2 - \frac{\pi d_0^2}{4}}{\pi \cdot d_0} \right) = \frac{1,27}{d_0} (P_t^2 - 0,785 \cdot d_0^2) \quad (22)$$

Para distribución triangular equilátera:

$$D_e = \frac{1,10}{d_0} (P_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) \quad (23)$$

Donde el paso entre los tubos se calcula como:

$$P_t = (1,25 \div 1,5) \cdot d_0 \quad (24)$$

El número de Reynolds para el lado de la coraza es:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_s \cdot D_e}{\mu} \quad (25)$$

El número de Prandtl para el lado de la coraza es:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \quad (26)$$

La velocidad de flujo para el lado de la coraza se puede obtener a partir de [31].

$$v_s = \frac{G_s}{\rho} \quad (27)$$

$$G_s = \frac{G}{A_s} \quad (28)$$

$G = m_n$ es el flujo másico del fluido que va por la coraza (dato)

El área de la sección transversal normal a la dirección del flujo se determina por [31],

$$A_s = \frac{D_s \cdot B \cdot (P_t - d_0)}{P_t} = D_s \cdot B \left(1 - \frac{d_0}{P_t} \right) \quad (29)$$

Donde D_s es diámetro interior de la coraza y B el espaciamiento entre baffles, ambos variables independientes del problema.

V. FUNCIÓN OBJETIVO: MINIMIZACIÓN DEL COSTO DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN

El costo total C_{tot} se toma como la función objetivo, que incluye inversión de capital (C_i), el costo de la energía (C_E), el costo de

operación anual (C_o) y el costo total de descuento de operación de (C_{oD}) [8].

$$C_{tot} = C_{inversión} + C_{operación} \quad (30)$$

Adoptando la correlación de Hall [35], el capital de inversión C_i se calcula en función del área superficial del intercambiador.

$$C_{inversión} = a_1 + a_2 A_T^{a_3} \quad (31)$$

Donde para intercambiadores de calor de acero inoxidable, tanto los tubos como la coraza [35] $a_1 = 8000$, $a_2 = 259,2$ y $a_3 = 0,91$.

El costo de operación relacionado con la potencia consumida en el bombeo para vencer las pérdidas friccionales se determina de las siguientes expresiones:

$$C_{operación} = \sum_{k=1}^{ny} \frac{C_o}{(1+i)^k} \quad (32)$$

$$C_o = P C_E H \quad (33)$$

C_E es el costo de la energía eléctrica en \$/kW h, i la tasa de descuento anual, ny el número de años de vida de la instalación, H las horas de trabajo al año.

$$P = \frac{1}{\eta} \left(\frac{m_t}{\rho_t} \Delta P_t + \frac{m_s}{\rho_s} \Delta P_s \right) \quad (34)$$

Donde η es la eficiencia de bombeo (entre 0,5 y 0,7), m_t y m_s son los flujos másicos en el tubo y la coraza, ΔP_t es la caída de presión en los tubos, ΔP_s es la caída de presión en la coraza, ρ_t es la densidad del fluido que va por el tubo, ρ_s es la densidad del fluido que va por la coraza

La caída de presión permisible en el intercambiador de calor es la presión estática del fluido que puede ser invertida para conducir el fluido a través del intercambiador. En todos los intercambiadores de calor hay una cerrada afinidad física y económica entre la transferencia de calor y la caída de presión. Para una capacidad calorífica constante en el intercambiador de calor que se va a diseñar, el incremento de la velocidad del flujo provocará un aumento del coeficiente de transferencia de calor lo que se traduce en el diseño compacto del intercambiador y un menor costo de inversión.

Sin embargo, aumentar la velocidad de flujo causará una mayor caída de presión en el intercambiador de calor lo que resulta en costes de funcionamiento adicional. Por esta razón cuando se diseña un intercambiador de calor la caída de presión debe ser considerada con la transferencia de calor y debe ser encontrada la mejor solución para el sistema.

La caída de presión del lado del tubo incluye la caída de presión distribuida a lo largo de la longitud del tubo y las pérdidas de presión concentradas en los codos y en las boquillas de entrada y salida [34].

La caída de presión en los tubos se calcula como la caída de presión propiamente dicha en los tubos más la caída de presión en los codos.

$$\Delta P_t = \Delta P_{it} + \Delta P_{cod} \quad (35)$$

$$\Delta P_t = \frac{\rho_t v_t^2}{2} \left(\frac{L}{d_t} f_t + p \right) N_p \quad (36)$$

donde,

$$f_t = 0.00128 + 0.1143 (Re_t)^{-0.311} \quad (37)$$

Diferentes valores de la constante p son considerados por diferentes autores. Kern [34] supone $p = 4$, mientras que [32] suponen $p = 2,5$. Se debe asumir 2,5, N_t es el número de tubos (ya calculada), L la longitud de los tubos (ya calculada), v_t la velocidad del fluido en el lado del tubo (ya calculada).

La caída de presión del lado de la coraza es,

$$\Delta P_s = \frac{\rho_s v_s^2}{2} f_s \frac{L}{B} \frac{D_s}{D_e} \quad (38)$$

Donde el factor de fricción en el lado de la coraza se calcula como:

$$f_s = 1,44 Re_s^{-0,15} \quad (39)$$

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS. ESTÚDIOS DE CASOS

La eficacia de los diferentes métodos se evalúa mediante el análisis de tres estudios de caso:

Caso 1: 4,34 (MW) de necesidad, intercambiador de agua salobre – metanol [32].

Caso 2: 1,44 (MW) de necesidad, intercambiador de petróleo crudo – kerosene [34].

Caso 3: 0,46 (MW) de necesidad, intercambiador de agua destilada – agua cruda [32].

Los tres casos de estudio fueron analizados por [10] utilizando PSO, (A.C. Caputo 2008) utilizando el enfoque de los GA y tomados de la literatura [32][34].

Las especificaciones de diseño original, mostradas en las tablas, son suministradas como entrada al algoritmo MACO (Optimización por Colonia de Hormigas Mixtos). Las arquitecturas resultantes de intercambiadores óptimos obtenidas por MACO se comparan con los resultados obtenidos por [10] utilizando PSO, por [8] utilizando el enfoque GA y con la solución de diseño original dada por Sinnot [32] y Kern [34] (mostradas en las tablas).

A fin de permitir una comparación coherente, las funciones costo de los cuatros enfoques se calculan como se describe en la sección 5. También por la misma razón, todos los valores relacionados con los costos se han tomado del trabajo de [8] que trató todos los casos de estudios mediante enfoque por Algoritmos Genéticos.

Para el análisis se impusieron los siguientes límites superior e inferior para las variables de optimización:

- Diámetro interior de la coraza (D_s) en un rango entre 0,1m y 1,5 m,
- Diámetro exterior de los tubos (d_o) en un rango entre los 0.015 m y 0.051 m,
- Espaciamiento entre los deflectores (B), en un rango de 0,05 m a 0,5 m.
- Patrón de diseño de 30 y 45 grados.
- Número de pases de tubo (N_p) de 1, 2, 4, 6 y 8.

Todos los valores de los costos de descuento de operación se calculan con:

- Número de años $ny = 10$ años.
- Tasa de descuento anual (i) = 10%.
- Costo de la energía (C_E) = 0,12 h Euros / kW.
- Cantidad de horas de trabajo anual (H) = 7000 años/horas.

Para obtener la solución óptima usando MACO, se usaron como parámetros:

- Número de hormigas = 100
- Número máximo de iteraciones = 1000

Tabla 2. Propiedades físicas de entrada del caso1.

		Coraza	Tubo
		Metanol	Agua de mar
Flujo másico	m	27,8	68,9
Temperatura de entrada	T_i	95	25
Temperatura de salida	T_o	40	40
Densidad del fluido	ρ	750	995
Calor específico	C_p	2,84	4,2
Viscosidad del fluido	μ	0,00034	0,0008
Conductividad térmica	λ	0,19	0,59
Resistencia de ensuciamiento	R_{ensuc}	0,00033	0,0002

Fuente: [32].

En los resultados mostrados en la Tabla 3 se puede notar que el diseño obtenido con el algoritmo MACO ofrece valores menores del coste total anual.

La principal diferencia entre los resultados es en la caída de presión en los tubos, lo que eleva los costos de bombeo necesarios para el intercambiador. Nuestra solución muestra una reducción en costo anual de operación y el costo total de operación de descuento, determinado por una reducción de la caída de presión en los tubos. Las grandes diferencias en coeficientes de película están vinculados a un uso ineficiente de las caídas de presión.

Tabla 3. Geometrías Optimas del intercambiador de calor caso 1 usando diferentes métodos.

	Literatura	GA	PSO	MACO
L	4,83	3,379	3,115	2,994
do	0,02	0,016	0,015	0,015
B	0,356	0,5	0,424	0,5
Ds	0,894	0,83	0,81	0,84
Pt	0,025	0,02	0,0187	0,0187
Nt	918	1567	16558	1829
vt	0,75	0,69	0,67	0,66
Ret	14925	10936	10503	9997
Prt	5,7	5,7	5,7	5,69
ht	3812	3762	3721	3672
ft	0,028	0,031	0,0311	0,0314
ΔPt	6251	4298	4171	1985
As	0,032	0,0831	0,0687	0,084
De	0,014	0,011	0,0107	0,0106
vs	0,58	0,44	0,53	0,43
Res	18381	11075	12678	10282
Prs	5,1	5,1	5,1	5,08
hs	1573	1740	1950,8	1767,3
fs	0,33	0,357	0,349	0,36
ΔPs	35789	13265	20551	12322
U	615	660	713,9	672,8
A	378,6	262,8	243,2	258
Ci	51507	49259	46453	48583
Co	2111	947	1038,7	713
Cod	12973	5818	6778,2	4381,3
Ctot	64480	55077	53231,1	52964

Fuente: Los autores.

VI.2 CASO 2: INTERCAMBIADOR DE PETRÓLEO CRUDO – KEROSENE [34].

Caso 2. Este ejemplo implica dos fluidos con las propiedades que se muestran en la tabla 4. Un resumen de los resultados

obtenidos con el modelo propuesto se dan en la Tabla 5, donde se ofrece una comparación con los resultados reportados por [10] utilizando PSO, con [8] utilizando el enfoque GA y con la solución de diseño original dada por Sinnot [32] y Kern [34].

Tabla 4. Propiedades físicas de entrada del caso 2.

		CASO 2	
		Coraza	Tubo
		Kerosene	Petróleo crudo
Flujo másico	m	5,52	18,8
Temperatura de entrada	T_i	199	37,8
Temperatura de salida	T_o	93,3	76,7
Densidad del fluido	ρ	850	995
Calor específico	C_p	2,47	2,05
Viscosidad del fluido	μ	0,0004	0,00358
Conductividad térmica	λ	0,13	0,13
Resistencia de ensuciamiento	R_{ensuc}	0,00061	0,00061

Fuente: [34].

Tabla 5. Geometrías Óptimas del intercambiador de calor del caso 2 usando diferentes métodos.

	Literatura	GA	PSO	MACO
L	4,88	2,153	1,56	6,41
do	0,025	0,02	0,015	0,015
B	0,127	0,12	0,1112	0,29
Ds	0,539	0,63	0,59	0,33
Pt	0,031	0,025	0,0187	0,0187
Nt	158	391	646	231
vt	1,44	0,87	0,93	1,44
Ret	8227	4068	3283	4845
Prt	55,2	55,2	55,2	56,4
ht	619	1168	1205	875
ft	0,033	0,041	0,044	0,038
ΔPt	49245	14009	16926	15856
As	0,0137	0,0148	0,0131	0,0192
De	0,025	0,019	0,0149	0,01
vs	0,47	0,43	0,495	0,337
Res	25281	18327	15844	7633
Prs	7,5	7,5	7,5	7,6
hs	920	1034	1288	1172
fs	0,315	0,331	0,337	0,376
ΔPs	24909	15717	21745	12532
U	317	376	409,3	273
A	61,5	52,9	47,5	69,8
Ci	19007	17599	16707	20356
Co	1304	440	523,3	457,2
Cod	8012	2704	3215,6	2809
Ctot	27020	20303	18822,6	23165,9

Fuente: Los autores.

Se puede observar que el diseño obtenido utilizando el algoritmo propuesto en este trabajo presenta una mayor longitud de los tubos que los demás casos, además, el coeficiente de transferencia de calor del lado del tubo también es menor. Esto provocó una reducción del coeficiente global de transferencia de calor, llevando a un aumento en el área de transferencia. Una caída de presión del lado de la coraza, unido al aumento del área de transferencia proporciona un alto costo en el diseño del intercambiador. Se puede notar cómo la situación económica influye en el resultado óptimo de diseño. Se seleccionó un diámetro de tubo de menor tamaño y se obtuvo una longitud superior a la de los ejemplos. Esto proporciona un compromiso adecuado entre los costes de material y fabricación asociados con los tubos.

VI. 3 CASO 3: : INTERCAMBIADOR DE AGUA DESTILADA – AGUA CRUDA [32].

Un resumen de los resultados obtenidos con el modelo propuesto es dan en la Tabla 7, donde se ofrece una comparación con los resultados reportados por [10] utilizando PSO, por [8] utilizando el enfoque GA y con la solución de diseño original dada por Sinnott [32] y Kern [34].

Tabla 6. Propiedades físicas de entrada del caso 3.

		CASO 3	
		Coraza	Tubo
		Agua destilada	Agua cruda
Flujo másico	m	22,07	35,31
Temperatura de entrada	T_i	33,9	23,9
Temperatura de salida	T_o	29,4	26,7
Densidad del fluido	ρ	995	999
Calor específico	C_p	4,18	4,18
Viscosidad del fluido	μ	0,0008	0,00092
Conductividad térmica	λ	0,62	0,62
Resistencia de ensuciamiento	R_{ensuc}	0,00017	0,00017

Fuente: [32].

Tabla 7. Geometrías Óptimas del intercambiador de calor del caso 3 usando diferentes métodos.

	Literatura	GA	PSO	MACO
L	4,88	1,548	1,45	1,71
do	0,013	0,016	0,0145	0,015
B	0,305	0,44	0,423	0,5
Ds	0,387	0,62	0,59	0,58
Pt	0,023	0,02	0,0181	0,0187
Nt	160	803	894	815
vt	1,76	0,68	0,74	0,76
Ret	36400	9487	9424	998
Prt	6,2	6,2	6,2	6,2
ht	6558	6043	5618	3990
ft	0,023	0,031	0,0314	0,0314
Δ Pt	62814	3673	4474	2124
As	0,0236	0,0541	0,059	0,058
De	0,013	0,011	0,0103	0,0106
vs	0,94	0,41	0,375	0,377
Res	16200	8029	4814	5004
Prs	5,4	5,4	5,4	5,39
hs	5735	2476	4088,3	3955,4
fs	0,337	0,374	0,403	0,401
Δ Ps	67,684	4365	4721	5391
U	1471	1121	1177	1054
A	46,6	62,5	59,15	66,04
Ci	16549	19163	18614	19740
Co	4466	272	276	233
Cod	27440	1671	1696	1435
Ctot	43989	20834	20310	21175

Fuente: Los autores.

La principal diferencia entre los resultados es en la caída de presión en los tubos, lo que eleva los costos de bombeo necesarios para el intercambiador. MACO muestra una reducción en costo anual de operación y el costo total de operación de descuento, determinado por una reducción de la caída de presión en los tubos. Una disminución en el coeficiente de transferencia en el lado del tubo trae una disminución en el coeficiente global, lo que provoca un aumento en el área de total de transferencia. Este aumento afecta el capital de inversión. El aumento en el capital de inversión da al traste con la mejora producida en el costo total de operación de descuento, provocando un costo total superior a los reportados por AG y PSO.

VII. CONCLUSIONES

Los intercambiadores de calor son un componente integral de todos los sistemas térmicos. Sus diseños deben adaptarse bien a las aplicaciones en que se utilizan, de lo contrario sus comportamientos serán engañosos y sus costos excesivos. El diseño de intercambiadores de calor puede ser una tarea

compleja y herramientas avanzadas de optimización son útiles para identificar el mejor y más barato intercambiador de calor para una demanda específica.

El presente estudio ha demostrado la aplicación con éxito de la técnica de MACO comparada con los GA y PSO para el diseño óptimo de un intercambiador de calor de tubo y coraza desde el punto de vista económico. La técnica MACO presentada es simple en concepto, de pocos parámetros y fácil para su implementación. Estas características impulsan la aplicación de las MACO particularmente en el diseño de sistemas térmicos, donde los problemas suelen ser complejos y tienen un gran número de variables y discontinuidad en la función objetivo. La capacidad de esta técnica se demuestra usando diferentes casos de estudio de la literatura y el comportamiento de los resultados se compara con los obtenidos por los investigadores anteriores.

La misma converge a un valor óptimo de la función objetivo dentro de muy pocas generaciones y esta característica revela la importancia de la MACO para la optimización de intercambiadores de calor. La técnica MACO puede ser

fácilmente modificada para adaptarse a la optimización de los diferentes sistemas térmicos. Existe una preferencia por los autores que han realizado trabajos de optimización por el uso de los métodos de Kern y de Bell Delaware.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Szargut, J. (2005). **Exergy method: technical and ecological applications**, WIT press.
- [2] Bilgen, S. and Í. Sarikaya (2015). "**Exergy for environment, ecology and sustainable development.**" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **51**: 1115-1131.
- [3] Green, D. W. (2008). **Perry's chemical engineers' handbook**, McGraw-hill New York.
- [4] Kakac, S., et al. (2012). **Heat exchangers: selection, rating, and thermal design**, CRC press.
- [5] Chaudhuri, P. D., et al. (1997). "**An automated approach for the optimal design of heat exchangers.**" *Industrial & engineering chemistry research* **36**(9): 3685-3693.
- [6] R. Selbas, O. K., M. Reppich (2006). "**A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view.**" *Chemical Engineering and Processing*.
- [7] Özçelik, Y. (2007). "**Exergetic optimization of shell and tube heat exchangers using a genetic based algorithm.**" *Applied Thermal Engineering* **27**(11): 1849-1856.
- [8] A.C. Caputo, P.M.P., P. (2008). "**Heat exchanger design based on economic optimization.**" *Applied Thermal Engineering*.
- [9] Fesanghary, M., et al. (2009). "**Design optimization of shell and tube heat exchangers using global sensitivity analysis and harmony search algorithm.**" *Applied Thermal Engineering* **29**(5): 1026-1031.
- [10] V.K. Patel, R. V. R. (2010). "**Design optimization of shell-and-tube heat exchanger using particle swarm optimization technique.**" *Applied Thermal Engineering*.
- [11] S. Sun, Y. L., C. Yan. (1993). "**Optimization in calculation of shell-and-tube heat exchanger.**" *International Communications in Heat and Mass Transfer*.
- [12] M. Reppich, J. K. (1994). "**Optimal design of shell-and-tube heat exchangers.**" *Computer & Chemical Engineer* **18**
- [13] M. Saffar-Avval, E. D. (1995). "**A general correlation for determining optimum baffle spacing for all types of shell-and-tube exchangers.**" *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- [14] H. Li, V. K. (1998). "**Visualization and determination of local heat transfer coefficients in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement by mass transfer measurements.**" *Experimental Thermal and Fluid Science*.
- [15] B.K. Soltan, M. S.-A., E. Damangir. (2004). "**Minimizing capital and operating costs of shell-and-tube condensers using optimum baffle spacing.**" *Applied Thermal Engineering*.
- [16] I. Ozkol, G. K. (2005). "**Determination of the optimum geometry of the heat exchanger body via a genetic algorithm.**" *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- [17] P.P.P.M. Lerou, T. T. V., J.F. Burger, H.J.M. Brake, H. Rogalla. (2005). "**Optimization of counter flow heat exchanger geometry through minimization of entropy generation.**" *Cryogenics*.
- [18] L. Valdevit, A. P., H.A. Stone, A.G. Evans. (2006). "**Optimal active cooling performance of metallic sandwich panels with prismatic cores.**" *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- [19] R. Hilbert, G. J., R. Baron, D. Thevenin. (2006). "**Multi objective shape optimization of a heat exchanger using parallel genetic algorithm.**" *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- [20] B.V. Babu, S. A. M. (2007). "**Differential evolution strategies for optimal design of shell-and-tube heat exchangers.**" *Chemical Engineering Science*.
- [21] F. Pettersson, J. S. (2007). "**Design of robust heat recovery systems in paper machines.**" *Chemical Engineering and Processing*.
- [22] P. Wildi-Tremblay, L. G. (2007). "**Minimizing shell-and-tube heat exchanger cost with genetic algorithms and considering maintenance.**" *International Journal of Energy Research*.
- [23] A.L.H. Costa, E. M. Q. (2008). "**Design optimization of shell-and-tube heat exchanger.**" *Applied Thermal Engineering*.
- [24] B. Allen, L. G. (2008). "**Optimal geometry and flow arrangement for minimizing the cost of shell-and-tube condensers.**" *International Journal of Energy Research*.
- [25] G.N. Xie, B. S., Q.W. Wang. (2008). "**Optimization of compact heat exchangers by a genetic algorithm.**" *Applied Thermal Engineering*.
- [26] J.M. Ponce-Ortega, M. S.-G., A. Jimenez-Gutierrez. (2008). "**Design and optimization of multipass heat exchangers.**" *Chemical Engineering and Processing*
- [27] J.M. Ponce-Ortega, M. S.-G., A. Jimenez-Gutierrez. (2009). "**Use of genetic algorithms for the optimal design of shell-and-tube heat exchangers.**" *Applied Thermal Engineering*.
- [28] KERN, D. Q. (1997). "**Procesos de Transferencia de Calor**". México, Editorial Continental s.a.
- [29] Fraas, A. P. (1989). **Heat Exchanger Design**. New York, John Wiley.
- [30] M.M. Ohadi (2000). "**The Engineering Handbook.**" CRC Press LLC.
- [31] Selbaş, R., et al. (2006). "**A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view.**" *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* **45**(4): 268-275.
- [32] R.K. Sinnott, J. M. C., J.F. Richardson (1996). "**Chemical Engineering Design.**" Butterworth-Heinemann. vol. 6.
- [33] Hewitt, G. F. (1998). **Heat Exchanger Design Handbook**. New York, Begell House.
- [34] Kern, D. Q. (1950). **Process Heat Transfer**. New York, McGraw-Hill.
- [35] M. Taal, I. B., J. Klemes, P. Stehlik (2003). "**Cost estimation and energy price forecast for economic evaluation of retrofit projects.**" *Applied Thermal Engineering*.



Design of a plant of obtaining de biodiesel to leave of a residual of the sugar industry (phlegm)

Dr. Ing. Juan B. de León Benítez¹ Lesdier Abreu Rodríguez²

^{1,2}Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Química-Farmacía. Carretera a Camajuaní, Km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 50100

ABSTRACT

In this paper an analysis of the investment task and projection as well as technical analysis is performed. Economic possibilities Biodiesel production on an industrial scale in the honey "Heriberto Duquesne" Company. An extensive literature search on the subject of biofuels and biodiesel in particular with a view to selecting the most feasible variant of production and raw materials was conducted to carry out the process, where the oil filter cake, ethyl alcohol and sodium ethoxide catalyst were the most attractive variants. The essential part of the job is the task of investment and projection, followed by sizing equipment for the production of Biodiesel plant, from the residual filter cake as providing the Company honeypot. Additionally material balances and energy are analyzed, in addition to equipment design of the chosen section, as well as their technical - economical analysis.

Key words: biodiesel, feasible, oil, phlegm, ethylic alcohol, etóxido.

Diseño de una planta de obtención de biodiesel a partir de un residual de la industria azucarera (cachaza)

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de la tarea de inversión y de proyección, así como un análisis técnico - económico de las posibilidades de producción de Biodiesel a escala industrial en la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne”. Se realizó una extensa búsqueda bibliográfica sobre el tema de los biocombustibles y en particular del biodiesel con vistas a seleccionar la variante de producción más factible, así como las materias primas para llevar a cabo el proceso, donde el aceite de cachaza, el alcohol etílico y el catalizador etóxido de sodio fueron las variantes más atractivas. La parte esencial del trabajo consiste con la tarea de inversión y de proyección, seguida del dimensionamiento de los equipos para la planta de obtención de Biodiesel, a partir de la cachaza residual que aporta dicha Empresa Mielera. Además se analizan los balances de materiales y los de energía, además del diseño de los equipos de la sección escogida, así como su análisis técnico - económico.

Palabras clave: biodiesel, factible, aceite, cachaza, alcohol etílico, etóxido.

I. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de combustibles alternativos que mitiguen el efecto negativo de los combustibles fósiles en el medio ambiente y en la economía mundial es una necesidad de la humanidad hasta tanto no se desarrolle una forma radical de sustituir la matriz energética actual basada en la combustión de estos últimos. La utilización de los biocombustibles no es una solución definitiva al problema de la energía, solo se utilizaría para la transición a otros tipos de tecnologías más avanzadas y baratas, dentro de los biocombustibles [1].

La búsqueda de fuentes y tecnologías alternativas de energía debe ser una de las prioridades mundiales en los próximos años y décadas. Dos características de estas nuevas fuentes y tecnologías son esenciales: la minimización del impacto ambiental y la renovabilidad. Una de los problemas más frecuentes en éste campo es la adaptabilidad de dichas energías a la vida cotidiana, ya que la transición hacia éstas acarrea costos frecuentemente insuperables. Sin embargo, el desarrollo de los llamados biocombustibles, se presenta como una alternativa alentadora, siempre y cuando no obtengan a partir de semillas o plantas que puedan servir de alimentos, ni comprometan los cultivos de las tierras destinadas a estos [2].

Ed. 004, VOL 001 – ISSN 2447-0228 (online)

El biodiesel es un producto que ha tomado relevancia a nivel internacional a partir de la crisis experimentada por los combustibles fósiles, producto de su escasez y de los problemas ambientales que traen consigo. Se han estudiado muchas fuentes para su obtención, la mayoría de las cuales atentan de una forma u otra al desarrollo alimenticio de los países pobres que dependen de la agricultura y además poseen un elevado costo para su obtención; las materias primas de bajo costo (como los aceites usados o grasas animales), requieren complejos procesos de purificación para disminuir el contenido de humedad y de acidez, lo que hace que el proceso sea muchas veces no rentable. Sin embargo la cera de caña que es una fuente de ácidos grasos no ha sido objeto de atención a nivel mundial.

La utilización de la cera como fuente para la producción de biodiesel es una forma de obtener un biocombustible sin utilizar como materia prima fuentes de alimentos, ni emplear tierras para el cultivo de materias primas con este fin. El Biodiesel se produce a partir de los aceites vegetales u animales convirtiendo estos a ésteres de etilo, a través de un proceso denominado transesterificación, usando etanol o metanol en presencia de un catalizador básico. La reacción se lleva a cabo entre 25 y 80°C, con agitación mecánica. Además del biodiesel (etil ésteres), en la reacción de transesterificación, se obtiene un producto de un alto valor agregado: la glicerina o los alcoholes de alto peso molecular (AAPM), de acuerdo a la materia prima empleada; estos pueden ser comercializados, ayudando a la factibilidad económica de la planta [3][4].

II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Extracción del aceite de la cachaza: esta primera etapa tiene como propósito extraer el aceite de la cera de la cachaza, utilizando como solvente orgánico la nafta; la proporción utilizada es de 3 Litros por Kg de cachaza. La operación se realiza en un mezclador por una hora a una temperatura de 65 °C [5].

Recuperación del solvente orgánico: el solvente se recupera mediante la evaporación, logrando incorporarla al proceso hasta un 97% del mismo. En esta etapa además se obtiene el aceite de cachaza “limpio”, el cual es posteriormente utilizado en la obtención de biodiesel; por tanto, la calidad de esta operación garantiza la calidad del producto final [6].

Deshidratación de etanol: esta etapa tiene como objetivo obtener el alcohol deshidratado (99 °GL) necesario para la producción de biodiesel, el cual se logra en una columna de adsorción de cama fija utilizando como absorbente la zeolita natural. Esta etapa es decisiva para lograr que se forme Biodiesel y no otros productos que pueden surgir en caso de que ocurra la saponificación si el alcohol presenta alguna cantidad de agua [7].

Preparación del etóxido: no es más que preparar una solución de etanol obtenido en la etapa anterior con Hidróxido de sodio, el cual es el agente catalizador de la próxima etapa. La solución se prepara a una temperatura de 65 °C.

Etapa de reacción (transesterificación): en esta etapa ocurre la reacción de transesterificación, donde se hace reaccionar al aceite libre de solvente y el etóxido; de la misma se obtiene el Biodiesel y los Alcoholes de Alto Peso Molecular, los cuales pueden ser aprovechados por otros sectores industriales. Esta mezcla fuertemente cáustica es vertida en el reactor principal que contiene los líquidos fundidos. La reacción se realizará a 65 °C para agilizar la misma y se mezcla vigorosamente para favorecer una reacción completa. Después de transcurridos 50 minutos, se procede a una separación de los coproductos (los alcoholes pesados); luego de separar la misma, el éter es lavado para eliminar jabones y otros subproductos de reacción indeseados, los cuales pueden contaminar el producto principal [9].

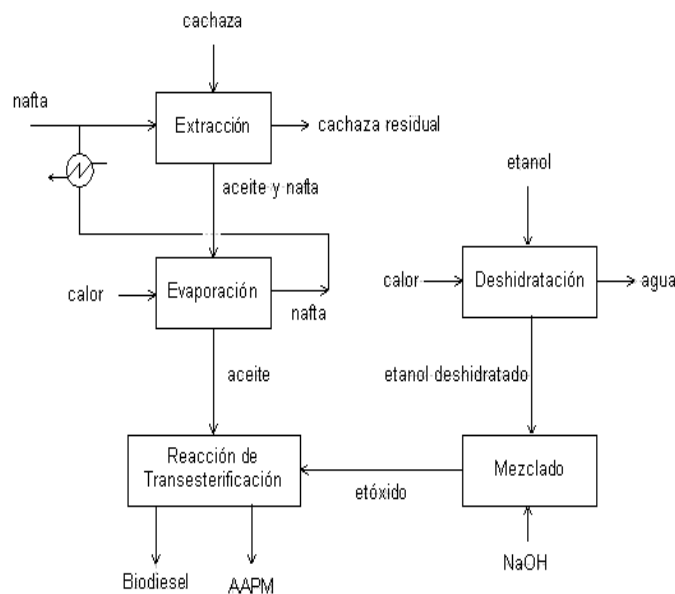


Figura.1. Diagrama del proceso de obtención de Biodiesel a partir de la cachaza [4].

Balances de masa y de energía de los equipos seleccionados.

Tabla 1 - Extracción del aceite de la cachaza. (Base de cálculo 1 día)

Datos	Fórmulas	Resultados
Balace de masa		
% humedad = 13 % aceite en cachaza = 12 (base seca) % de extracción = 96,05 % pérdida de nafta = 8,69 $m_{cachaza} = 21000 \text{ Kg}$ $m_{nafta} = 63000 \text{ Kg}$ $\rho_{cachaza} = 141.42 \text{ Kg/m}^3$ $\rho_{nafta} = 750 \text{ Kg/m}^3$ $\rho_{aceite} = 980 \text{ Kg/m}^3$ $\rho_{nafta+aceite} = 750 \text{ Kg/m}^3$	$F = \% \text{ aceite en cachaza} * (m_{cachaza} - m_{cachaza} * \% \text{ humedad})$ $B = m_{cachaza} - F$ $N_f = B/F$ $E_1 = \text{Kg}_{\text{aceite}} + \text{Kg}_{\text{nafta}}$ (en el sólido) $R_1 = \text{Kg}_{\text{aceite}} + \text{Kg}_{\text{nafta}}$ (en el líquido) $N_1 = B/E_1$ $X_1 = C/(A + C)$ en el líquido $Y_1 = C/(A + C)$ en el sólido Aceite en el líquido lixiviado. = $R_1 * X_1$ Aceite en el sólido lixiviado. = $E_1 * Y_1$ Nafta en el líquido lixiviado. $N_L = 0,9131 * R_0$ Nafta en el sólido lixiviado. $N_s = 0,0869 * R_0$	$F = 2190 \text{ Kg}$ $B = 18810 \text{ Kg}$ $N_f = 8,59$ $E_1 = 5580 \text{ Kg}$ $R_1 = 59610 \text{ Kg}$ $N_1 = 3,37$ $X_1 = 0,033$ $Y_1 = 0,0395$ $R_1 * X_1 = 1967,13 \text{ Kg}$ $E_1 * Y_1 = 110 \text{ Kg}$ $N_L = 57525,3 \text{ Kg}$ $N_s = 5474,7 \text{ Kg}$

Datos	Fórmulas	Resultados
Balace de energía		
$m_{cachaza} = 2330 \text{ Kg}$ (en cada tanque) $m_{nafta} = 7000 \text{ Kg}$ $C_{p,cachaza} = 1.145 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ $C_{p,nafta} = 0.5 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ 8 horas de trabajo Tiempo de duración : 1 hora $T_2 = 75^{\circ}\text{C}$ $T_1 = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{amb} = 28^{\circ}\text{C}$ $P_{svapor} = 10.68 \text{ atm}$ $T_{svapor} = 183.28^{\circ}\text{C}$ $\lambda_s = 478.63 \text{ Kcal/Kg}$ $\eta = 100\%$ (eficiencia de la transferencia de calor).	$C_{pmezcla} = \% \text{ cachaza} * C_{p,cachaza} + \% \text{ nafta} * C_{p,nafta}$ $m_{tk} = m_{cachaza} + m_{nafta}$ $Q = m_{tk} * C_{pmezcla} * (T_2 - T_1)$ $mv = Q / \lambda_s$ $h_a = 9.5 + 0.053 * (T_2 - T_{amb})$ $Q_p = h_a * D_j * \pi * (T_2 - T_{amb})$ $mv_{rep} = Q_p / \lambda_s$ $\% \text{ perd} = [Q_p / Q] * 100$ $mv_{total} = mv + mv_{rep}$	$C_{pmezcla} = 0.72 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ $m_{tk} = 9330 \text{ Kg}$ $Q = 335880 \text{ Kcal}$ $mv = 701.75 \text{ Kg}$ $h_a = 10.31 \text{ Kcal/hm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $Q_p = 4567.15 \text{ Kcal}$ $mv_{rep} = 9.54 \text{ Kg}$ $\% \text{ perd} = 1.35\%$ $mv_{total} = 711.29 \text{ Kg}$

Tabla 2 – Formulas y Separación de la nafta por evaporación. (Base de cálculo 1 día).

Datos	Fórmulas	Resultados
Balace de masa		
$m_{nafta + aceite} = 59610 \text{ Kg}$ Grado de separación = 100% $\% \text{ aceite}_{mezcla} = 3.3\%$	B.T: $m_{nafta + aceite} = m_{nafta} + m_{aceite}$ B.P: $\% \text{ aceite} * m_{nafta + aceite} = \% \text{ aceite} * m_{aceite}$	$m_{nafta} = 58790 \text{ Kg}$ $m_{aceite} = 817 \text{ Kg}$

Datos	Fórmulas	Resultados
Balace de energía		
$m_{mezcla} = 59610 \text{ Kg}$ $C_{p,cachaza} = 1.145 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ $C_{p,nafta} = 0.5 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ 8 horas de trabajo $T_2 = 178^{\circ}\text{C}$ $T_1 = 40^{\circ}\text{C}$ $T_{amb} = 28^{\circ}\text{C}$ $P_{svapor} = 10.68 \text{ atm}$ $T_{svapor} = 183.28^{\circ}\text{C}$ $\lambda_s = 478.63 \text{ Kcal/Kg}$ Pérdidas de nafta = 0.4% $\eta = 100\%$	$C_{pmezcla} = \% \text{ aceite} * C_{p,aceite} + \% \text{ nafta} * C_{p,nafta}$ $mv = [(m * C_p)_{mezcla} * (T_2 - T_1) + (m * \lambda)_{nafta}] / \lambda_s$ $Q = mv * \lambda_s$ $h_a = 9.5 + 0.053 * (T_2 - T_{amb})$ $Q_p = 0.1 * Q$ $mv_{rep} = Q_p / \lambda_s$ $\% \text{ perd} = [Q_p / Q] * 100$ $mv_{total} = mv + mv_{rep}$	$C_{pmezcla} = 0.52 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ $mv = 18126.28 \text{ Kg}$ $Q = 8675782.1 \text{ Kcal}$ $h_a = 15.004 \text{ Kcal/hm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $Q_p = 867578.21 \text{ Kcal}$ $mv_{rep} = 1812.63 \text{ Kg}$ $\% \text{ perd} = 10\%$ $mv_{total} = 19938.91 \text{ Kg}$

Separación de la nafta por evaporación. (Base de cálculo 1 día).

Tabla 3 - Condensación de la nafta. (Base de cálculo 1 día).

No presenta balances de masa ya que es un intercambiador de calor tubo y concha donde lo que entra por cada fluido es lo que sale en ellos mismos.

Datos	Fórmulas	Resultados
Balance de energía		
$m_{nafta} = 58790 \text{ Kg}$ $\lambda_{nafta} = 76.45 \text{ Kcal/Kg}$ $Cp_{agua} = 1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ $T_{2 \text{ agua}} = 40^{\circ}\text{C}$ $T_{1 \text{ agua}} = 25^{\circ}\text{C}$ $T_{nafta} = 178^{\circ}\text{C}$ 8 horas de trabajo $\eta = 100\%$	$m_{agua} = m_{nafta} * \lambda_{nafta} / [Cp_{agua} * (T_2 - T_1)]$ $m_{agua}' = m_{agua} / 8$ $Q = m_{nafta} * \lambda_{nafta}$	$m_{agua} = 299633.03 \text{ Kg}$ $m_{agua}' = 37454.13 \text{ Kg/h}$ $Q = 4494495.5 \text{ Kcal}$

Tabla 4 - Diseño del tanque de mezclado de la cachaza en la nafta.

Para esta etapa donde se extraerá el aceite, se procesarán 21 ton/d de cachaza. Según las experiencias realizadas al respecto, la cantidad de solvente (nafta) es 3 L/Kg de cachaza alimentada.

Datos	Fórmulas	Resultados
$m_{cachaza} = 2330 \text{ Kg}$ $m_{nafta} = 7000 \text{ Kg}$ $\rho_{cachaza} = 141.42 \text{ Kg/m}^3$ $\rho_{nafta} = 750 \text{ Kg/m}^3$ 25% de sobrediseño $H / D = 1.5 \Rightarrow H = 1.5 * D$ Tanque cilíndrico	$m_{mezcla} = m_{cachaza} + m_{nafta}$ $\rho_{mezcla} = \sum x_i * \rho_i$ $V = m_{mezcla} / \rho_{mezcla}$ $V_{sd} = 25\% * V + V$ $D = [(4 * V) / (1.5 * \pi)]^{1/3}$ $H = 1.5 * D$	$m_{mezcla} = 9330 \text{ Kg}$ $\rho_{mezcla} = 549.17 \text{ Kg/m}^3$ $V = 16.99 \text{ m}^3$ $V_{sd} = 21.24 \text{ m}^3$ $D = 2.62 \text{ m}$ $H = 3.93 \text{ m}$

Tabla 5 - Diseño de un agitador de hélice.

El agitador de hélice se escoge, porque cumple con todos los requerimientos de esta etapa, es decir, provocar la agitación en grandes volúmenes de líquidos, bajo costo, bajo consumo de energía y además se pueden colocar varios agitadores en el mismo eje para asegurar el mezclado en todo el recipiente.

Datos	Fórmulas	Resultados	Referencia
$D_{tanque} = 2.62 \text{ m}$ $H_{tanque} = 3.93 \text{ m}$ $n = 180 \text{ rpm} = 3 \text{ rps}$ $\rho_{mezcla} = 549.17 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_{mezcla} = 0.1 \text{ Pa.s}$ $H / D = 1.5$ Curva N° 6 ⁽¹⁾	$d = 0.3 * D$ ⁽¹⁾ $Re_{mez} = [n * (D^2) * \rho] / \mu$ ⁽²⁾ $Kn_{correg} = Kn * (H / D)^{0.5}$ ⁽²⁾ $N = Kn_{correg} * \rho * (n^3) * (D^5)$ ⁽²⁾ $N_{arranque} = 2 * N$ ⁽²⁾	$d = 0.79 \text{ m}$ (diámetro del agitador) $Re_{mez} = 1.13 * 10^5$ (régimen turbulento) $Kn = 0.18$ ⁽⁴⁾ $Kn_{correg} = 0.22$ $N = 402.72 \text{ KW}$ $N_{arranque} = 805.44 \text{ KW}$	⁽¹⁾ Fig. 21 Apéndice ⁽²⁾ Rosabal, J ⁽³⁾ Tabla 9.1 ⁽⁴⁾ Fig. 9.7

Tabla 6 - Diseño del tanque de evaporación de la nafta.

La capacidad del tanque evaporador se determinará para procesar toda la mezcla de aceite extraído y nafta utilizada como solvente en el tanque de extracción. La mezcla de aceite + nafta que se obtiene en el tanque extractor es 59610 Kg/d.

Datos	Fórmulas	Resultados
$m_{mezcla} = 9330 \text{ Kg}$ $\rho_{mezcla} = 549.17 \text{ Kg/m}^3$ 25% de sobrediseño $H / D = 1.5 \Rightarrow H = 1.5 * D$ Tanque cilíndrico	$V = m_{mezcla} / \rho_{mezcla}$ $V_{sd} = 25\% * V + V$ $D = [(4 * V) / (1.5 * \pi)]^{1/3}$ $H = 1.5 * D$	$V = 16.99 \text{ m}^3$ $V_{sd} = 21.24 \text{ m}^3$ $D = 2.62 \text{ m}$ $H = 3.93 \text{ m}$

Tabla 7 - Diseño del condensador de nafta.

Para el diseño del condensador de nafta se utilizó la metodología de cálculo descrita por (Kern D. Q., 1999), para intercambiadores de tubos y concha.

Datos	Fórmulas	Resultados
$m_{nafta} = 2449.58 \text{ Kg/h}$ $\lambda_{nafta} = 319.56 \text{ KJ/Kg}$ $U_D = 1980 \text{ KJ/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_1 = 178 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_2 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{a1} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T_{a2} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ $C_{p\text{agua}} = 4.18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$	$Q = m_{nafta} * \lambda_{nafta}$ $MLDT = [(T_2 - T_{a1}) - (T_1 - T_{a2})] / \ln[(T_2 - T_{a1}) / (T_1 - T_{a2})]$ $A = Q / [U_D * MLDT]$ $m_{\text{agua}} = Q / [C_{p\text{agua}} * \Delta T_{\text{agua}}]$	$Q = 782787.78 \text{ KJ/h}$ $MLDT = 48.77 \text{ } ^\circ\text{C}$ $A = 8.11 \text{ m}^2$ $m_{\text{agua}} = 18726.98 \text{ Kg/h}$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte de cumplimentar los puntos fundamentales del desarrollo del proceso se dimensionaron los equipos que conforman las etapas de los procesos seleccionados se efectuó el

análisis económico de la misma, sobre la base de cálculo del costo de inversión, el costo de la producción, la ganancia y los indicadores de rentabilidad. El estimado de los indicadores se obtuvo aplicándola metodología planteada por Peter' s.

Tabla 8 - Elementos del Costo de Inversión.

Elementos del Costo de Inversión	Costo (\$)
Costo de Inversión del Equipamiento	97970,90
Costos Directos (CD)	112666.5
Costos Indirectos (CI)	14496.56
Inversión fija (If) = CD + CI	127163,1
Inversión de trabajo (Itr)	141292,33
Costo Total de Inversión = If + Itr	268455.43

Tabla 8.1 - Estimado del Costo de Producción.

Elementos del Costo	Costo (\$/a)
Materias Primas	232 377
Costos Variables	424824
Costos Fijos	11202
Costos Exteriores	7212
Costos de Fabricación	443238
Gastos Generales	41028
Costos Totales de Producción	484266

Tabla 8.3 - Cálculo de la Ganancia.

PRODUCTOS	AAPM	Biodiesel
Precio de Venta	2 \$/kg	50 \$/hlt
Producción	9 463,9 kg/d	69,0943 hlt/d
Valor de la Producción	18 927,8 \$/d	3 454,715 \$/d
	5 678 340,0 \$/año	1 036 414,5 \$/año
Valor Total de la Producción	8 169 617,985 \$/año	6 714 754,5 \$/año

G = Valor Total Producción (VP) – CTP

G = 6230488.5 \$ / año.

Tabla 8.4 - Valores de los indicadores de factibilidad.

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 2 279 512,35
Tasa de Rendimiento Interno (TIR)	56 %
Plazo de Recuperación al Descuento (PRD)	3,4 años

IV. CONCLUSIONES

- ✓ En la Empresa Mielera “Heriberto Duquesne” existen las condiciones apropiadas para la implementación de la tecnología de obtención de Biodiesel a partir de un residuo de la industria azucarera (cachaza).
- ✓ La cantidad de cachaza disponible permite obtener una cantidad de Biodiesel de 0,86 ton/d que pudiera ser empleado por la empresa como complemento del combustible para su maquinaria agrícola.
- ✓ En el caso de los balances de energía la planta consumirá mucha energía, por lo que se puede emplear el Biodiesel como combustible para el horno de la fabrica y así disminuir el consumo energético.
- ✓ El análisis técnico - económico es factible gracias a la venta de los Alcoholes de Alto Peso Molecular, por lo que los indicadores reportan un VAN de \$ 2 279 512,35; una TIR de 56 % y un PRD de 3,4 años.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Kern, D. Q., (1979). “**Procesos de transferencia de calor**”. La Habana.

[2] Ley Chong, N. “**Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de Biocombustibles**”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Julio 2006.

[3] Martínez, R., (2006). “**Obtención de biodiesel a partir del aceite de cachaza, residuo de la industria azucarera.**” Trabajo de Diploma, Santa Clara, Dpto de Ing. Química, UCLV.

[4] Perry, R., (1998). “**Chemical Engineers’ Handbook.**” 5ta Edición.

[5] Rosabal, J., (1998). “**Hidrodinámica y separaciones mecánicas**”. La Habana.

[6] Treybal, R., (1985). “**Operaciones con transferencia de masa.**” Edición Revolucionaria.

[7] Ulrich, G. “**Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química**”.

[8] Villanueva Ramos G. “**Memoria Descriptiva: Tecnología para la Obtención de productos de alto valor agregado a partir de la cera cruda de la caña de azúcar**”. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. 2005.



Teaching System of Integrated Automation of Filling Dosage Wagons for Building Materials

Israel F. Benítez-Pina¹, Michel Sanz-Perez², Jose Rogelio Martin-Escalona²

¹Doctor em Ciências Técnicas Universidad de Oriente (UO, Cuba). Profesor de Controle e Automacao da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA, AM, Brasil). E-mail: benitez.israel@gmail.com.

²Profesores Dpto. de Controle Automático, Facultad Ing. Eléctrica, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: msanz@fie.uo.edu.cu, jrmescalona@fie.uo.edu.cu

ABSTRACT

Formal design in Petri nets (PN) model of filling wagons in laboratory process is presented with subsequent translation into programmable logic controllers (PLC) language and a monitoring and data acquisition software (SCADA) to the training facility. Use professional tools to model, verify and validate the proposed automation, where two new steps for proper formation of the PN are added, and programming, communication and monitoring of the implementation. With the implementation of this laboratory facility is has a near real automation system, usable in various undergraduate and postgraduate courses tool. The use of formal modeling, OPC communication and supervisory design allow tuning of the application and is an example to follow in teaching of Automation.

Keywords: Petri Nets Modeling, OPC communication systems, industrial monitoring, Teaching of Automation.

Sistema de Enseñanza de Automatización Integrada de Llenado de vagones para dosificación de material de construcción

RESUMEN

Se presenta el diseño formal en Redes de Petri (PN) de un proceso de llenado de vagones para una maqueta de laboratorio, con su posterior traducción a lenguaje de controladores lógicos programables (PLC) y un sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para esa instalación docente. Utiliza herramientas profesionales para modelar, verificar y validar la propuesta de automatización, donde se adicionan dos nuevos pasos para buena formación de la PN, y para la programación, comunicación y supervisión de la aplicación. Con la puesta en marcha de la instalación de laboratorio se cuenta con una herramienta cercana a un sistema de automatización real, utilizable en varias asignaturas de pre y postgrado. El uso del modelado formal, la comunicación OPC y el diseño del supervisorio permiten la puesta a punto de la aplicación y constituye un ejemplo a seguir en la enseñanza de la Automática.

Palabras-clave: Modelado en Redes de Petri, Comunicación OPC, Supervisión industrial, Enseñanza de Automatización.

I. INTRODUCCION

Desde el siglo pasado, en disímiles industrias destinadas a la fabricación y embalaje de materiales sólidos y productos alimenticios se propuso insertar un proceso de llenado de vagones que permitiera solucionar el retraso en el transporte y dosificación de diferentes materiales granulados. Este proceso consta de diferentes topologías en dependencia del área en que se encuentre [13].

Este proceso de llenado de vagones es de gran importancia en las industrias de construcción, azucarera,

niquelífera, minera, etc. Su objetivo es mantener un correcto suministro de materias primas en un vagón, para posteriormente ser transportado o utilizado en diferentes procesos, en dependencia de la industria.

El proceso de llenado de vagones consta de diferentes etapas como son: almacenamiento del material, suministro del material a la cinta transportadora, transporte del material a través de la cinta y pesaje del material en el vagón. Con el correcto diseño de control de estas etapas, teniendo en cuenta las diferentes especificaciones que requiere el proceso, se puede lograr un correcto funcionamiento. Debido a la importancia de este proceso, el departamento de Control Automático de la

Facultad de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Oriente determinó diseñar una maqueta educativa del proceso. El objetivo de este trabajo se centra en realizar el diseño de un sistema de enseñanza que incluye maqueta, sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) [1, 2, 4, 19] y programación de controlador lógico programable (PLC) [16] para el sistema de automatización integrada de un proceso de llenado de vagones de dosificación de material de construcción. Se propone el estudio y la obtención de un modelo en Redes de Petri [17] del proceso de llenado de vagones, para su posterior traducción en lenguaje de programación y creación de un SCADA para dicha práctica de laboratorio.

Para el desarrollo del trabajo fueron empleados el Visual Object Net 2.7 [8], MicroWinV4.0, servidor OPC KEPware, y el EROS 5.10 para modelar, verificar y validar la propuesta de automatización, y luego la programación, comunicación y supervisión de la aplicación respectivamente.

En el punto 2 se tratan los elementos teóricos principales que permiten el desarrollo del trabajo. En el punto 3 se explica el modelado del programa principal destacando su verificación y validación formal. En el punto 4 se trata el modelado y comportamiento del sistema en funcionamiento automático desde el control local hasta la supervisión. Como conclusión se valoran los resultados obtenidos.

II. BASES TEÓRICAS DE LA INSTALACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE LLENADO DE VAGONES

En este epígrafe se hace una exposición de los diferentes aspectos teóricos tenidos en cuenta a la hora de realizar el presente trabajo, como: descripción del flujo productivo de la planta, modelación de Redes de Petri, programación simulada y la real sobre el PLC incluyendo un servidor para la gestión de la comunicación, sistema de supervisión e implementación del sistema de automatización integrada.

II.1 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO PRODUCTIVO DEL SISTEMA

De acuerdo a la importancia del proceso de llenado de vagones, se hace un estudio de la operación del proceso.

La planta de llenado de vagones se puede dividir en cuatro etapas:

- *Almacenamiento:* cuenta con una tolva principal en la cual se almacena la materia prima (sólido granulado) que va a ser suministrada al vagón.
- *Suministro:* se lleva a cabo a través de una compuerta. El movimiento de la compuerta de salida del material de la tolva se realiza por medio de un cilindro neumático de simple efecto que se acciona por una electroválvula 3/2 vías.
- *Transporte:* el material llega al vagón mediante una cinta transportadora que es accionada por un motor trifásico.

- *Pesaje:* el vagón se monta sobre una plataforma, que está soportada sobre sensores de carga que son los encargados de medir el peso del material que está siendo suministrado a este

La Figura 1 ilustra una maqueta del proceso con el panel de comando manual y el PLC utilizado en el control local.



Figura 1. Maqueta del llenado de vagones y PLC de control local [13]

Luego de analizadas las diferentes etapas de este proceso, para el diseño del sistema de automatización del mismo, se hace un estudio del modo de operación del proceso utilizando el modelado formal [10] de acuerdo a los resultados del estudio realizado del estado del arte en diseño de la automatización industrial.

II.2 MÉTODOS DE DISEÑO FORMAL DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS

La automatización de sistemas industriales modernos, tiene un fuerte componente definido por la coordinación de las actividades de los diferentes subsistemas, que se integran en las redes de control distribuido industrial que se utilizan actualmente. La coordinación de esas actividades se torna más compleja en la medida que se incrementan las posibilidades de desarrollar diferentes producciones, en el mismo sistema productivo. Esto garantiza el nivel de atención al cliente, que requiere de un comercio electrónico competitivo moderno. Por tanto, la proyección de sistemas de control industrial incrementa su complejidad y necesita de métodos formales para el modelado de estos sistemas [3]

Para el diseño de estos sistemas de automatización industrial integrada que tienen alta complejidad por la sincronización de múltiples funciones, las redes de Petri constituyen uno de los formalismos más aceptados por sus potentes teorías de análisis y síntesis y una directa representatividad grafica. [7].

Las etapas de desarrollo de cualquier automatización moderna incluyen [4]:

1. *Diseño*: donde se requiere hacer el análisis y síntesis del sistema automatizado. Esto es solo posible con el uso del Modelado Formal de la planta industrial y de sus especificaciones de seguridad y comportamiento como sistema controlado.
2. *Programación*: los modelos deben ser programados en lenguajes normalizados de automatización con facilidades de simulación de su funcionamiento. Como los PLC's son los dispositivos de mayor uso, la IEC61131 es la norma más usada, así como sus ambientes de edición y simulación.
3. *Implementación*: para ello se requiere crear estructuras jerárquicas en redes buscando eficiencia y facilidades de ampliación, modificación y mantenimiento para reducir tiempo y costos en el proyecto, y luego en el funcionamiento de la empresa.

En la primera etapa se requiere hacer el análisis y síntesis del sistema automatizado. Para ello se modela la planta, teniendo en cuenta sus especificaciones de seguridad y comportamiento como sistema controlado. Al cual se le realiza la verificación de sus propiedades principales y validación del cumplimiento de las exigencias del cliente, por medio de la simulación del funcionamiento de la planta con su control integrado. Por tales motivos el mundo académico e industrial [3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 20] reconoce que solo modelando se logra la implementación de sistemas de automatización eficientes.

Es preciso mencionar que existe un proyecto europeo que tiene como perspectiva una integración de las metodologías de modelado, diseño e implementación de sistemas de automatización, el MEDEIA FP7-2207-211448 [9]. Este describe el concepto de Dominio de Vistas Específicos (DSVs), de acuerdo con las especificaciones del comportamiento controlado que provee el desarrollo del control. El proyecto MEDEIA intenta definir un mega modelo (ver figura 2) para guiar el diseño de cualquier sistema de automatización. En la bibliografía [9] se presentan tres áreas de automatización: Manufactura, Robótica e Energía. Estos DSVs generan informaciones para desarrollar un Componente de Automatización en el ACIM (Modelo de implantación de componentes de automatización).

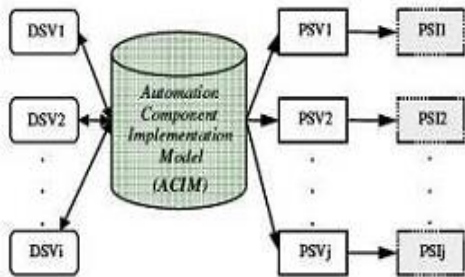


Figura 2. Mega modelo para la automatización [9].

La proyección de sistemas de automatización parte de las especificaciones de control y comportamiento; además teniendo en cuenta algunas de las especificaciones mecánicas, eléctricas y funcionales (como las señales de entrada y salida de los PLC's, los esquemas eléctricos y limitaciones estructurales),

para completar la información requerida para el modelado del sistema. Luego se trabaja en un modelo de planta, para crear un modelo de diagnóstico y comportamiento del sistema controlado.

Precisamente los DVS relacionados con especificaciones mecánicas, eléctricas y funcionales fueron considerados en todo el diseño de este trabajo.

El diseño de la automatización industrial moderna está encausado a la creación de sistemas complejos con gran intercambio entre sus partes y alto grado de soluciones programables; por tanto, se requiere realizar la verificación formal [14] del desarrollo de ese software para garantizar cumplir con los objetivos del sistema controlado, con eficiencia y seguridad del funcionamiento. La importancia del proceso de Verificación y Validación (V&V) fue reconocida en la ingeniería de software desde sus inicios [14]. La programación del sistema es en esencia una tarea de solución de problemas e implica la validación de la solución establecida en combinación con la verificación del modelo.

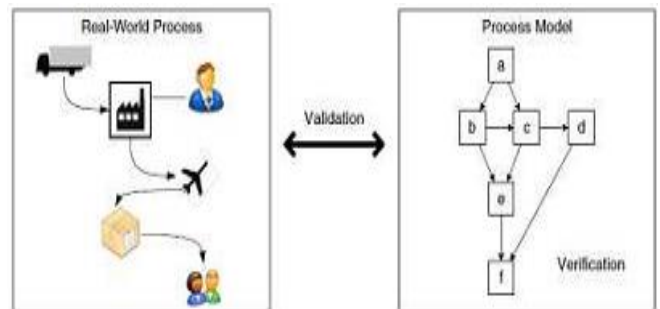


Figura 3. Esquema de V&V en un Modelo y Realidad de un proceso [14].

Verificación: está orientada a las propiedades generales del modelo y a la satisfacción de una fórmula dada por el modelo (ver parte derecha de la figura 3).

Validación: aborda la consistencia del modelo con el universo del discurso, o sea, el proceso del mundo real (ver centro de la figura 3).

En [14] se realiza un análisis comparativo de varios métodos formales y brinda siete pasos que deben ser realizados en cualquier proceso de modelado para garantizar la reducción de los errores, los cuales se muestran a continuación:

- Usar el mínimo de elementos posible en el modelo.
- Minimizar las rutas por elementos.
- Utilizar una entrada y una salida.
- Modelar lo mas estructurado posible.
- Evitar rutas OR (selección aleatoria).
- Colocar el máximo de comentarios funcionales.
- Descomponer modelos con más de 50 elementos.

Basado en la experiencia practica que tenemos, a estos pasos adicionamos otros dos pasos de relevante importancia para

garantizar buena formación de los modelos;

- Cuando se bifurca la secuencia de operación por caminos alternativos, estos caminos deben unirse de la misma forma.
- Cuando se bifurcan caminos paralelos deben cerrarse con una sincronización de todos esos caminos paralelos.

Con esto se completa la coherencia del modelo garantizando buena formación que permita mejorar la vivacidad del modelo.

En este trabajo el proceso de modelado se realizó cumpliendo los siete pasos [14] ampliados para el modelado de procesos, pues es desarrollado de forma modular. Las secuencias fueron minimizadas para atender los objetivos de cada secuencia de la forma más rápida posible, todas las subredes tienen una entrada y una salida. Los modelos fueron creados manteniendo buena formación de todas sus redes, principalmente evitando mezclar secuencias paralelas con secuencias condicionales. Esto garantiza un alto por ciento del cumplimiento de las propiedades verificables en el modelo.

El proceso de V&V en este trabajo se realiza con métodos de verificación de buena formación de las redes y por vía de la simulación que garantizan el cumplimiento de las propiedades fundamentales del modelo y de los requisitos funcionales. Esto junto a su traducción a un programa del PLC asegura un funcionamiento eficiente del sistema automatizado.

Los métodos de simulación [16] fueron desarrollados para estudiar una gran variedad de aspectos sobre el sistema real, como son: su comportamiento bajo los parámetros de operación del sistema, impacto de los cambios en su desempeño, así como estudiar sistemas que están todavía en la fase de concepción y como una herramienta de proyecto para evaluar y validar el desempeño de nuevos sistemas.

La mayor disponibilidad de herramientas de simulación, la creciente capacidad computacional, y los avances en las metodologías de simulación convirtieron a la simulación en una de las técnicas más usadas y aceptadas en tareas de análisis y desarrollo de sistemas [16].

Del estado del arte internacional además se conoce que los sistemas de automatización industrial pueden dividirse en dos niveles básicos de automatización [5], y de igual forma los métodos de modelado específicos. Estos son:

1. **Sistemas Supervisorios:** generalmente desarrollados en niveles superiores de redes de automatización industrial, utilizando sistemas de desarrollo de SCADA profesionales. En el modelado de sistemas supervisorios son utilizados métodos y herramientas de desarrollo de software. El UML 2.2 [18] es un estándar internacional en el área, especialmente en la primera etapa de diseño.

2. **Automatización Local:** son utilizadas tecnologías programables en redes de PLCs con capacidad de controlar redes de campo de sensores y actuadores inteligentes, una interfase hombre-máquina local y comunicaciones Ethernet Industrial para así enlazar con un Supervisorio del sistema de automatización. La programación de los PLCs es estandarizada por la norma IEC61131 y la metodología de diseño más práctica para relacionarse con esto es la basada en Sistemas de Eventos Discretos (SED) con Redes de Petri (PN) [20].

Las principales ventajas de utilizar PN [17] como herramientas de modelado de un SED las brinda su fundamentación matemática, representación compacta del comportamiento del sistema para lo que es preciso modelar los estados que son importantes para la correcta secuencia lógica del sistema; naturaleza gráfica con simulación que ayuda en la comprensión de sistemas complejos, pues la simulación resulta simple y práctica para encontrar y corregir inconsistencias en el modelado, resultando las PN una opción útil para describir y estudiar sistemas que se caracterizan por ser concurrentes, asincrónicos, distribuidos, paralelos, no determinísticos y/o estocásticos.

En el análisis de modelos PN de sistemas de automatización, es muy importante la propiedad de **Alcanzabilidad** de estados, pues a partir de un estado inicial muchas veces se requiere que la red avance automáticamente hasta un estado dado, si no tiene esta capacidad, no podrá ejecutar el comportamiento deseado. A esto está relacionada la **Vivacidad** de la red, si generalizamos esta capacidad a todo el sistema, y es aquí donde pueden detectarse partes de la red que detienen su funcionamiento (como autolazos, bloqueos,) lo cual nos permite eliminar estas situaciones anormales en el programa del PLC desde esta etapa inicial de diseño.

Existen innumerables publicaciones sobre el uso de las PN como herramienta de modelado de un SED y trabajos desarrollados principalmente en industrias donde se hace uso de las PN [20].

En [20], se valora la mejor opción entre estos modelos y se define la PN GHENeSys como una 6-tupla:

$$N = (L, A, F, K, M, \Pi, Q)$$

Donde:

- Los elementos **L** son llamados Lugares ($L = B \cup P$); el subconjunto **B** (Boxes) son lugares normales enlazados por arcos normales, y los **P** (Pseudoboxes) son lugares de marcación permanente $\{0,1\}$ que solo son modificados por eventos externos, siendo enlazados con transiciones controladas por medio de arcos habilitadores e inhibidores.
- **A** es el conjunto de las transiciones (llamadas Actividades).
- **F** son las relaciones de flujo ($F \subseteq (L \times A) \cup (A \times L)$).
- **K**: $B \rightarrow N^+$, es la función de la capacidad de los Boxes.
- **M**: $L \rightarrow N^+$ es la marcación inicial de la red.
- Π es una función que diferencia elementos simples (**L** y **A**, atribuyendo el valor 0), de los macro elementos (elementos que representan subredes; atribuyendo el valor 1).
- **Q** es una función que asocia arcos de nivel (atribución) para algunos grupos (**B**) o arcos de impulso (set o reset) para el disparo de algunas Actividades (**A**).

En las redes GHENeSys se hacen mejoras a las PN ordinarias, garantizando el enlace con las salidas de los PLC por el uso de la función **Q**, y posibilitando la creación de macro elementos (subsistemas que pueden ser reutilizados) y la utilización de lugares auxiliares (Pseudoboxes ligados a sensores e informaciones externas la red) como habilitadores e inhibidores de transiciones por medio de los arcos respectivos [20].

A continuación se aplica esta teoría al sistema de llenado de vagones para dosificación de áridos.

III. AUTOMATIZACIÓN LOCAL PARA EL PROCESO DE LLENADO DE VAGONES

La maqueta que se construyo para estas prácticas de laboratorio tiene las siguientes dimensiones 95x45x5 cm (ver Fig. 1). Está conformada por un sinóptico del proceso que es controlado por un PLC S7-200 de SIEMENS, siete interruptores con los cuales se actúa para simular entradas discretas que exige el proceso como son; encendido (ON_OFF), manual-automático, tolva en posición, compuerta, cinta transportadora, comprobar cinta, comprobar compuerta, un Push-Button para simular emergencia, y un potenciómetro para simular el peso del vagón (entrada analógica al PLC). La indicación de las salidas, se visualiza a través de ocho diodos Led.

El desarrollo de la secuencia se arranca y se para con un pulsador (enciende o apaga una lámpara). Una vez que la secuencia ha sido iniciada, se conecta la cinta transportadora con un contactor si el vagón se encuentra en la posición de llenado (final de carrera). La cinta transportadora se para nuevamente cuando el vagón ha abandonado la posición de llenado y no ha llegado otro vagón vacío en el transcurso de 20 segundos. La compuerta se abre cuando la cinta marcha y existe un vagón vacío (peso aun no alcanzado) en la posición de llenado. Esta se cierra nuevamente cuando la báscula alcanza el peso ajustado.

Las órdenes de apertura y cierre de la compuerta no tienen por qué permanecer aplicados durante el tiempo que esta tarda en desplazarse hacia su nueva posición. Para conseguir que el material existente en la cinta se descargue sobre el vagón después del cierre de la compuerta, el depósito de bloqueo se abre 10 segundos después que en la báscula se ha alcanzado el peso. El dispositivo de bloqueo se cierra nuevamente cuando el vagón lleno ha abandonado la posición de llenado, con lo cual se abre nuevamente el contacto final de carrera. Cuando el vagón siguiente alcanza la posición de llenado, se repite el proceso descrito hasta que se bloquea el desarrollo del mando con el pulsador de apagado.

El proceso del llenado de vagones se modeló completamente en PN. Se realizaron cuatro subredes utilizando el programa *Visual Object Net 2.7 (VON, [8])* las cuales corresponden a un programa principal, funcionamiento manual, funcionamiento automático, detección de alarmas y detección de fallos. En las subredes realizadas se da cumplimiento a los requerimientos funcionales del sistema. El uso del programa VON permite la simulación de todos los modelos realizados, proceso de suma importancia para la validación.

III.1 MODELADO EN REDES PETRI DEL PROGRAMA PRINCIPAL

En este programa principal se define el arranque y modo de operación del sistema de control automatizado. En la figura 4 se muestra el modelado del Programa Principal hecho en PN utilizando el programa VON.

En este modelado interactúa el subsistema Comportamiento Funcional del Sistema (CFS), que es afectado

por los estados de diferentes variables del sistema como son las representadas por los lugares normales y auxiliares: “Inicio”, “Parado” “ON/OFF”, “Emergencia”, “Manual/Automático”. El subsistema CFS cuenta con cinco estados en los que el funcionamiento del sistema se puede encontrar, los cuales están representados como dos lugares simples, “Parado” e “Inicio”, junto a tres subredes o macro-lugares, “MANUAL” (P6), “AUTOMÁTICO” (P5) y “EMERGENCIA” (P7).

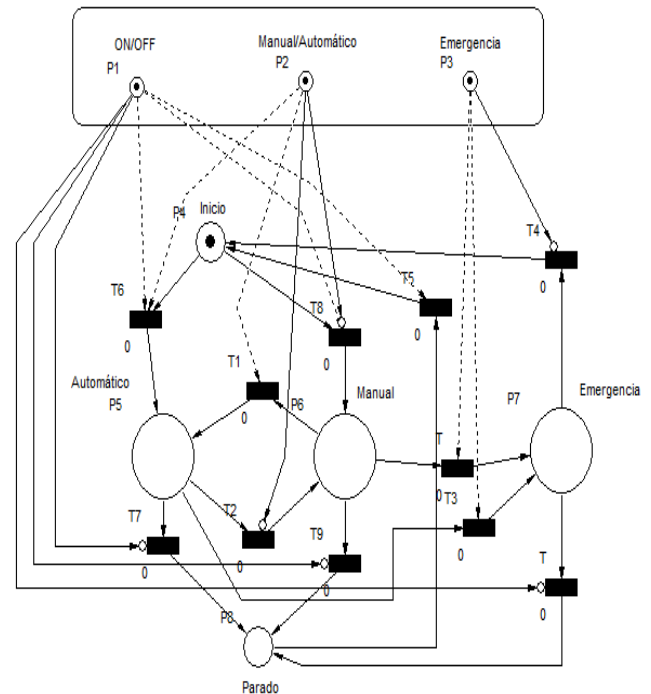


Figura 4. Modelado en Redes Petri del programa principal

El proceso comienza una vez que es conectado el voltaje de alimentación, actuando sobre el interruptor correspondiente a “ON/OFF”. Una vez encendido, comienza la ejecución de las diferentes etapas del proceso. Si el selector de modo de operación no está activo el proceso se inicia en modo “Manual” por defecto. Si se desea cambiar a modo “Automático” se debe actuar sobre el selector de modo una vez. Si en la ejecución del proceso se produjera una situación que demande la detección urgente del proceso, el panel cuenta con un botón de “Emergencia” el cual detiene el proceso en su totalidad.

La red de Petri autónoma subyacente en el modelo interpretado de la Figura 4, se representa en la Fig. 5 en la que fueron comprobadas las propiedades de Alcanzabilidad y Limitación estructural, quedando disparabilidad y controlabilidad auto-contenidas en las otras dos propiedades. El método de reducción [17] es el más simple para el cumplimiento de estas propiedades. Se demuestra fácilmente que toda la red puede ser reducida a un lugar y una transición cumpliendo las propiedades contenidas en redes bien formadas [17].

La simulación dinámica de la red interpretada valida los requisitos funcionales y demuestra la ausencia de bloqueos y su capacidad de retornar al estado inicial.

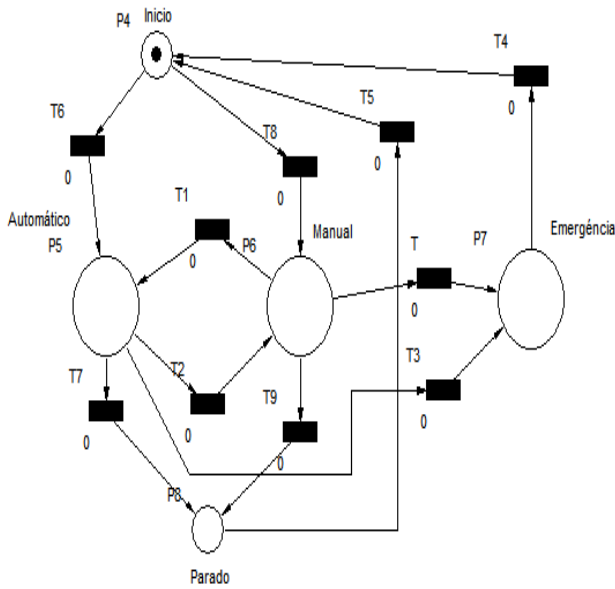


Figura 5. Red de Petri Autónoma del Modelado del macro lugar “Func Auto” del Sistema de Control Automatizado propuesto.

En más detalles se evalúa el comportamiento de la subred de funcionamiento automático (Macro lugar P5), pues el accionamiento manual y el de emergencia son redes mucho más sencillas que el automático.

3.2 Modelado en Redes Petri del funcionamiento en automático del macro lugar “P5”.

El macrolugar “AUTOMATICO”, es donde se desarrolla todo el funcionamiento automático del sistema de control automatizado propuesto, como está representado en la figura 6. Este funcionamiento automático opera de forma cíclica. De esta forma en esta red se puede apreciar la existencia de conflictos importantes de sincronización de los subsistemas integrantes, los que son resueltos adicionando arcos y lugares auxiliares.

El proceso parte de la existencia de la marcación en el panel de control en “Automático”, una vez en el modo manual se hace el “Chequeo de Fallo y de Alarmas” para determinar posibles irregularidades en el funcionamiento del proceso. Luego de determinada la no existencia de fallos y alarmas se pasa a la ejecución de las secuencias del proceso:

- ¿Hay vagón en posición de llenado?.
- Si hay vagón en posición, encender cinta transportadora.
- Abrir la compuerta de suministro de materiales.
- Censar el peso del vagón en la plataforma de pesaje.
- Cuando se alcance el valor de pesaje deseado cerrar la compuerta.
- Habilitar el bloqueo del vagón, durante 10 segundos y se deja la cinta transportadora encendida.
- Liberar el vagón lleno de la plataforma de pesaje.

- Si no se posiciona en la plataforma de pesaje un nuevo vagón en un intervalo de tiempo de 20 segundos se detiene la cinta transportadora.

Luego se aplica la misma metodología del caso anterior y se verifica el cumplimiento de varias propiedades de las PN como son la limitabilidad, alcanzabilidad, disparabilidad limitada estructural y controlabilidad. Para esto se obtiene la red de Petri autónoma subyacente en el modelo eliminando lugares y arcos auxiliares, lo que demuestra que esta constituida por 4 subredes independientes.

Todas son redes secuenciales muy simples que cumple con la condición de tener todos los lugares iniciales marcados [17], por lo que el cumplimiento de las propiedades estructurales y comportamentales es evidente.

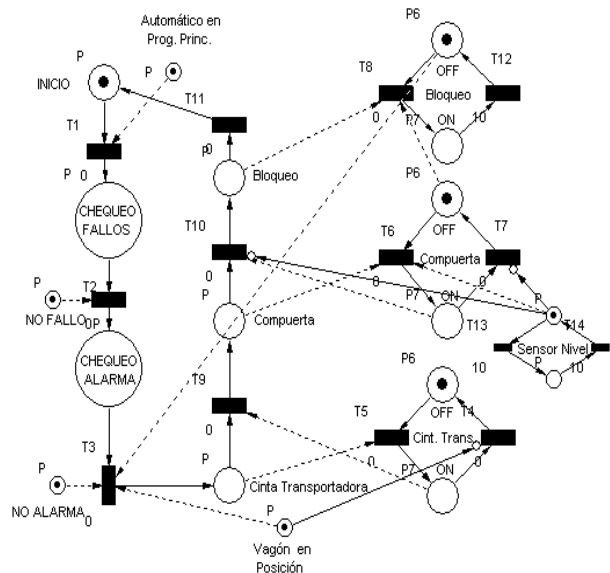


Figura 6. Modelado en Redes Petri del funcionamiento automático del llenado de vagones

Además la simulación dinámica de la red bajo diferentes condiciones permite validar el cumplimiento de los requisitos funcionales de este sistema.

Luego se comprobó el modelado del sistema se pasa a la fase de programación definiendo el hardware de implementación para mayor compatibilidad con la última fase.

El autómata programable (PLC) empleado en el diseño del control pertenece a la familia de S7-200, específicamente CPU 214. El MicroWinV4.0 es el software que permite la programación de esta familia de PLC's. Dentro de sus principales ventajas se encuentra el simulador de PLC en PC, que permite depurar los programas para el control de procesos antes de su implementación. Mediante este software se realizó toda la programación del PLC teniendo en cuenta las entradas y salidas del proceso y las especificaciones funcionales y de control del mismo verificadas y validadas mediante el modelado formal explicado en el epígrafe anterior. El lenguaje de programación empleado fue el LD (Ladder Diagram), debido a que genera un programa más compacto de fácil comprensión, y además es muy

sencilla su modificación en caso de ampliación, cambio o mantenimiento. También este lenguaje tiene un conjunto de analogías con los modelos en GHENeSys (explicados en [20]) que permiten una fácil traducción de los modelos a programas IEC61131 compatibles.

Se tuvo en cuenta las protecciones necesarias en caso de una emergencia, así como los modos de funcionamiento del proceso. El funcionamiento manual/automático del proceso, se decide a través de una variable booleana declarada en el PLC correspondiente a un interruptor de entrada de dos posiciones. En modo manual el operador manipulará el proceso tomando sus propias decisiones, y en el modo automático el PLC controla el proceso siguiendo el control programado. El programa resultante fue validado mediante simulación reduciendo las posibilidades de errores de diseño que ya habían sido minimizados previamente mediante el modelo formal.

IV. SISTEMA SUPERVISORIO PARA EL PROCESO DE LLENADO DE VAGONES

Un sistema de supervisión y control permite que un operador ubicado en una estación central, incluso a grandes distancias de la ubicación de los procesos industriales, pueda hacer ajustes o cambios en los controladores locales de los procesos. En este caso es importante conocer el estado de los interruptores de seguridad de un sistema, monitorear el estado de las alarmas del proceso y obtener información de las variables del proceso involucradas, tanto para realizar análisis y comparaciones estadísticas para informes productivos y la toma de decisiones. El software utilizado en este proceso fue el SCADA cubano Eros 5.10.

IV.1 CONTROL DE ACCESO EN EL SUPERVISORIO

En el SCADA se hace una verificación del control de acceso (ver figura 7), esto se debe a que no todos los usuarios pueden tener el mismo nivel de acceso. En el supervisorio EROS se establece la jerarquía, que es el derecho que tendrá el usuario para acceder a las diferentes opciones del sistema, este valor va de 0 a 255 donde 0 define derechos de invitado y 255 todos los derechos y es por ello el que el administrador posee por omisión.

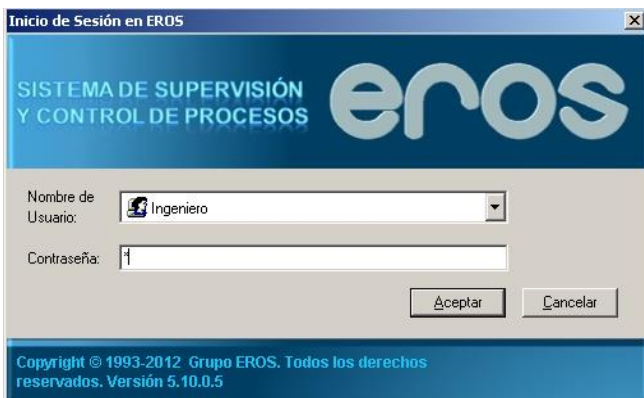


Figura 7. Nivel de acceso al sistema de supervisión.

La seguridad de un SCADA industrial cuenta con cinco niveles de acceso para determinados usuarios, en caso de que se desee manipular alguna variable. Estos niveles son:

- *Operador*: Solo puede modificar los parámetros a los cuales esté autorizado por el Ingeniero, por defecto el SCADA arranca en esta sesión. La jerarquía de este es de 125.
- *Ingeniero*: Tiene todos los privilegios sobre el SCADA. En esta sección se puede manipular todas las variables del proceso, hacer ajuste de parámetros y variar los diferentes mímicos. La jerarquía de este es de 255.
- *Gerente*: Este nivel solo tiene acceso a visualización, históricos y reportes, debido a que el gerente es quien debe llevar las estadísticas y de hacer los diferentes balances que se llevan en la industria con el fin de determinar la eficiencia de la productividad. La jerarquía de este es de 10.
- *Invitado*: Este solo tiene acceso a visualización, por defecto el SCADA arranca en esta sección. La jerarquía de este es de 0.
- *Administrador*: En esta sección se tiene todo los privilegios por lo cual a través de esta se puede configurar las aplicaciones pertinentes. La jerarquía de este es de 255

En esta instalación docente solo se requiere de los niveles 1, 2 y 5 del EROS asociándolas a estudiante, profesor y técnico del laboratorio respectivamente.

IV.2 CHEQUEO DE ALARMAS EN EL SUPERVISORIO.

Las alarmas o avisos son de gran importancia ya que garantizan la comunicación necesaria entre el operario y el sistema, y además ayudan a la toma de decisiones. A través de ellas se informa acerca de los estados de funcionamiento y de fallo que se producen durante el proceso. Sirven para poder detectar con antelación situaciones críticas y para evitar períodos de inactividad. Al configurar las alarmas se definen qué eventos activarán las mismas, y si estarán activas hasta que alguien las solucione.

En el EROS se pueden configurar de varias formas en dependencia del tipo de variable que se desee. Los tipos de alarmas son:

- *Chequea Razón de Cambio*: Establece si se va a chequear la alarma por razón de cambio. Para ello hay que definir el cambio que no debe sufrir el valor de la variable (por encima o por debajo), de una medición a otra, o sea una variación brusca de tendencia.
- *Chequea Alarma Prohibitiva*: Define si se va a chequear alarma prohibitiva o no y se detallan los rangos fuera de los cuales la variable puede provocar una avería o un deterioro del material que se procesa o es totalmente

anormal que trabaje en esos valores y en los cuales debe trabajar la alarma sonora.

- **Chequea Alarma de Operación:** Define si se va a chequear alarma de operación o no y se detallan los rangos fuera de los cuales la variable se está desviando de los parámetros de operación normales.
- **Chequea Alarma en OFF:** Define que la alarma se indicará cuando la señal está en off.
- **Chequea Alarma en ON:** Determina que la alarma se indicará cuando la señal está en on, es decir, invertida.

En el diseño de la maqueta se tuvo en cuenta las alarmas de tipo “ON” y “Prohibitivas”, en la tabla 1 se encuentra la relación de las alarmas que fueron declaradas en el proceso de la maqueta de laboratorio.

Tabla 1 Alarmas del proceso.

Nombre	Alarma ON	Alarma Prohibitiva
Alarma_Peso_Alto	X	X
Alarma_Compuesta	X	X
Alarma_Cinta	X	X
Fallo_Cinta	X	X
Fallo_Compuesta	X	X

Una vez que son configuradas, se pasa al modo de operación, y cuando se ejecutan se pueden observar en una tabla que establece el supervisorio (ver figura 8) para registrar las alarmas, donde se almacena la fecha y hora que se produjo y si se dió atención a la misma.

Etiqueta	Valor	Tipo de Alarma	F.Inicio	H.Inicio	H.Fin	F. Fin	H. Reconocido
63-ALARMA_PESO_ALTO	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	18:23:39	18:24:13	12/03/2013	
62-ALARMA_PESO_ALTO	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	18:20:21	18:23:37	12/03/2013	
61-ALARMA_PESO_ALTO	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	18:18:03	18:23:37	12/03/2013	
60-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	18:17:33	18:23:37	12/03/2013	
59-ALARMA_PESO_ALTO	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	18:17:04	18:23:37	12/03/2013	
58-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:47:57	18:23:37	12/03/2013	
57-ALARMA_CINTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:47:57	18:23:37	12/03/2013	
56-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:46:16	18:23:37	12/03/2013	
55-ALARMA_CINTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:46:16	18:23:37	12/03/2013	
54-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:45:06	18:23:37	12/03/2013	
53-ALARMA_CINTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:45:06	18:23:37	12/03/2013	
52-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:44:16	18:23:37	12/03/2013	
51-ALARMA_CINTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	17:44:16	18:23:37	12/03/2013	
50-ALARMA_CINTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	16:58:31	18:23:37	12/03/2013	
49-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	16:58:26	18:23:37	12/03/2013	
48-ALARMA_COMPUESTA	Encendido	Señal en DN	12/03/2013	16:56:22	18:23:37	12/03/2013	

Figura 8 Registro de alarmas.

IV.3 DISEÑO DE MÍMICOS O SINÓPTICOS

Los mímicos o sinópticos son dibujos que representan un área del proceso y en ellos se muestra el estado de los equipos, los valores de las variables, la posición de algún aditamento, imitaciones de instrumentos o animaciones de

equipos con el objetivo de mostrar la información que se mide de una manera más rápida, sencilla y agradable a la vista del operador evitando afectaciones por fatiga o lentitud de manipulación del operador.

La ventana principal para la supervisión del proceso se muestra en la figura 9. En la pantalla se puede observar el comportamiento real del proceso. Se visualizan además, las señales provenientes de los sensores y otras variables del programa.

Se tiene también la actualización de la hora y la fecha en tiempo real, esto permite hacer registros actuales, con el fin de detectar fallas en el proceso para agilizar la toma de decisiones. Estas fallas pueden ser por el mal funcionamiento del mismo o por la mala manipulación de un operador en su turno laboral.



Figura 9 Pantalla principal del proceso.

La pantalla para la supervisión del proceso tiene un panel de control, mostrado en la figura 9 (lateral inferior izquierdo), donde se muestran los controles que intervienen en el proceso. Se podrán modificar desde la pantalla la forma en que opera el sistema, si es en manual o automático, se podrá energizar el proceso, además, se incluye un botón de Emergencia en caso que se produzca alguna situación indeseable.

La pantalla para la supervisión del proceso también cuenta con un panel manual, mostrado en la figura 9 (lateral inferior derecho), donde se muestran una serie de controles que intervienen en el proceso con el fin de operar de forma manual el proceso.

IV.4 SERVIDOR KEPLER-OPC PARA LA GESTIÓN DE LA COMUNICACIÓN

Un servidor OPC es un estándar abierto de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales que ofrece un interface común para la comunicación. La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura cliente/servidor.

El servidor OPC es la fuente de datos y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca el servidor. Es una solución abierta y flexible al clásico problema de los drivers propietarios. Es por ello que prácticamente los mayores fabricantes de sistemas de control, instrumentación y de procesos han incluido OPC en sus productos.

El servidor OPC utilizado como enlace entre el sistema de supervisión y el autómatas es un KEPLERware, el cual es un Servidor OPC DA, es decir, basado en la especificación de Acceso de Datos para la transmisión en tiempo real. La configuración de la comunicación del servidor OPC con el PLC se muestra en la figura 10. El SCADA y el PLC funcionarán como clientes del servidor OPC.

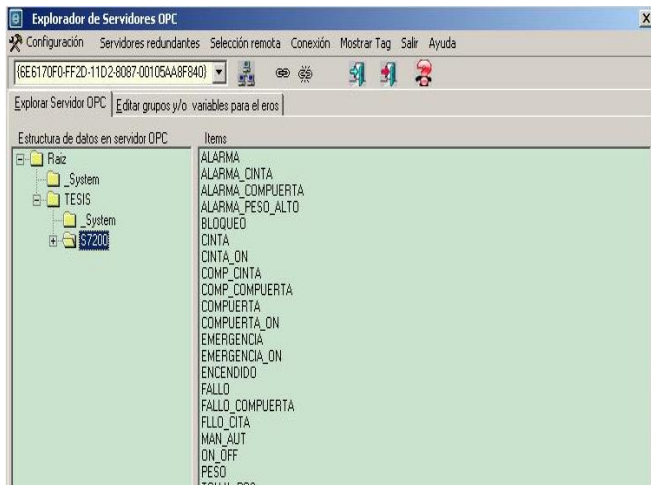


Figura 10 Enlace del EROS con el KEPLERware.

La configuración del servidor se puede verificar mediante el explorador del KEPLERware, donde se puede ver que las variables configuradas en el servidor están conectadas al simulador, coincidiendo los valores de las variables.

Luego de conformado todo el sistema se crearon diferentes guías de prácticas de laboratorio para las diferentes asignaturas relacionadas con la instalación, así como sirve de plataforma de investigación científica para nuevas estrategias y algoritmos de control secuencial de la instalación. La misma ha sido utilizada con resultados satisfactorios y excelente acogida por los estudiantes de la carrera de automática de la Universidad de Oriente durante el curso pasado (2012-13) y en el actual. En la figura 11 se muestra la instalación en uso.

Con la puesta en marcha de la práctica de laboratorio los estudiantes cuentan con una herramienta capaz de acercarlos a un sistema de automatización real, lo que reafirma los conocimientos teóricos recibidos en clases y contribuye, de forma positiva, en su formación como ingenieros y futuros profesionales. De acuerdo a esto se logra consolidar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en las asignaturas de Medios Técnicos de Automatización, Sistemas de Automatización, Autómatas Programables y cursos de postgrado, mediante diferentes prácticas de laboratorio.



Figura 21. Uso de la instalación de laboratorio.

V. CONSIDERACIONES FINALES

Se implementó una maqueta del proceso de llenado de vagones y su sistema de automatización local y remota. Esta maqueta posibilita a los estudiantes consolidar los conocimientos adquiridos relacionados con los sistemas de automatización industrial.

Se implementó la programación de todo el sistema incluyendo el soporte para ejecución del supervisor. A partir del modelo optimizado en Redes de Petri se pudo traducir el mismo al lenguaje de PLC. Se diseñó el sistema supervisorio del proceso empleando el sistema de supervisión y control EROS. Esto permite el entrenamiento de estudiantes de pre y postgrado en técnicas de diseño formal y programación de sistemas de automatización industrial y como plataforma de prueba para resultados de investigación científica en temas relacionados con esta aplicación.

Se agradece al grupo DesignLab del Dpto. de Mecatrónica de la EP-USP (Sao Paulo, Brasil) por el apoyo científico en la teoría de diseño formal mediante Redes de Petri GHENeSys (financiado por proyectos CAPES) y al CITCEA de la UPC (Barcelona, España) mediante la asistencia científico-técnica en automatización industrial con PLCs (financiado por proyectos CCD y ALFA).

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Autómatas Industriales, **Sistemas SCADA** [en línea]. Marzo de 2006 [ref. Enero de 2012]. Disponible en Word Wide Web: <<http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>>
- [2] BAILEY, D; E. Wright, **Practical SCADA for Industry**. Editorial: Newnes (ELSEVIER), ISBN 07506 58053, 2003.
- [3] BRENAN, R. Toward **Real-Time Distributed Intelligent Control: A Survey of Research Themes and Applications**. *IEEE*

Trans. on Syst., Man, And Cyb. Part C, Vol. 37, No. 5, Issue Page(s): 744 – 765. Sept. 2007.

[4] BENÍTEZ, I, **Integración internacional de plataformas de enseñanza a distancia de automatización con PLC's, IEEE-RITA.** Revista Iberoamericana de Tecnologías de Aprendizaje. Vol 1. No 1. Nov. ISSN 1932-8540, 2006.

[5] BENITEZ, I; Gomis, O; Sudriá, A; otros, **Flexible manufacturing cell SCADA system for educational purposes.** Journal Computer Applications in Engineering Education, Vol. 16, No 1, ISSN 1061-3773, Mayo 2008.

[6] COLOMBO, A. W., R. Schoop and R. Neubert (2006). **An Agent-Based Intelligent Control Platform for Industrial Holonic Manufacturing Systems.** IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 1, PP. 322-337..

[7] DAVID R. and H. Alla, **Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets.** Berlin: Springer, 2004, (Revised 2nd edition, 2010).

[8] DRATH R. **A mathematical approach to describing a class of hybrid systems.** In: *Proceedings of the IEEE Workshop on Parallel and Distributed Real Time Systems*, Geneva, Switzerland, April 1997.

[9] FERRARINI, L., Dedè A., Salaün P., Duang, T., Fogliazza, G. **Domain Specific Views in Model-driven Embedded Systems Design in Industrial Automation.** 7th IEEE international Conference on Industrial Informatics.INDIN 2009.

[10] FREY, G.; Litz, L.: **Formal methods in PLC programming. Proceedings of the IEEE SMC 2000,** Nashville, TN, October 08-11, 2000.

[11] HAN, W. and M.A. Jafari. **Component and Agent-Based FMS Modelling and Controller Synthesis.** IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part C, Vol. 33, No. 2, pages 193-206. 2003

[12] LEITAO, P. **Agent-based distributed manufacturing control: A state of the art survey.** Eng. *Appl. of Artif. Intell.* Vol. 22, pp. 979–991. 2009.

[13] ESCALONA Martin, J.R. **Sistema de Enseñanza de Automatización Integrada de Llenado de Vagones.** Tesis de graduación en Automática. Dpto. Control Automático. Fac. de Ing. Eléctrica Univ. de Oriente. Santiago de Cuba. Junio 2012.

[14] MENDLING. J. **Empirical Studies in Process Model Verification.** K. Jensen and W. van der Aalst (Eds.): ToPNoC II, LNCS 5460, pp. 208–224, 2009. Springer-VerlagBerlin Heidelberg 2009.

[15] METZGER, M. & Polaków, G. **A Survey on Applications of Agent Technology in Industrial Process Control.** IEEE *Transactions on Industrial Informatics.* Vol. 7, No. 4, November.

Pp570-581 2011.

[16] MIYAGI, P.E. **Introdução a Simulação Discreta-Parte I.** Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Brasil. 2002.

[17] MURATA, Tadao (fellow IEEE. Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Illinois, Chicago). **“Petri Nets: Properties, analysis and applications”.** Proceedings of IEEE, vol. 77, No. 4 April, 1989

[18] Object Management Group. **Unified Modeling Language: Super structure Specification,** version 2.1.2, August 2007. <http://www.omg.org/spec/UML/2.1.2/Superstructure/PDF>.

[19] VILLAJULCA, J, **¿Qué es SCADA?** [en línea]. 2011. <http://www.instrumentacionycontrol.net/es/cursos-sistemas-scada/146-que-es-scada-.html>.

[20] SILVA J.R., Benítez I., Villafruela L., Gomis O., Sudriá A. **“Modeling extended Petri nets compatible with GHENeSys IEC61131 for industrial automation”.** *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* Springer London. Vol.36. Number 11-12 Pg. 1180-1190. UK. 2008.



System of indication of directions and warnings against collisions for locomotion of people with impaired vision in structured environments

Álvaro José Belota de Oliveira Saraiva e Walter Andrés Vermehren Valenzuela

¹Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Discente do Curso de Eng. de Controle e Automação, Manaus, Amazonas, Brasil. [E-mail: alvarobelota.s@gmail.com](mailto:alvarobelota.s@gmail.com).

¹Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Coordenador do Curso de Eng. de Controle e Automação, Manaus, Amazonas, Brasil, Eng. Indl Mecânico, Doutor em Instrumentação e Controle - UFCG. [E-mail: wvalenzuela7@gmail.com](mailto:wvalenzuela7@gmail.com).

ABSTRACT

This article deals with the development of Assistive Technologies in order to provide or expand functional abilities of people with visual impairments, analyzing in general is perceived that the technological evolution goes toward making life easier, this project is exactly the creation an indicator of direction and warning against collisions based on a data processing unit, approximate location system received signal strength indicator (RSSI) or indicator intensity of the residual signal in Portuguese, in structured environments coupled with a recognition unit obstacles that allows guide people with impaired vision by sending beeps.

Key-words: System Approximate Location RSSI, Structured environments, Obstacle recognition.

Sistema de indicação de direções e alerta contra colisões para locomoção de pessoas com deficiência visual em ambientes estruturados

RESUMO

Este artigo trata do desenvolvimento de Tecnologias Assistivas com intuito de proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência visual, analisando de uma maneira geral percebe-se que a evolução tecnológica caminha na direção de tornar a vida mais fácil, este projeto trata exatamente da criação de um indicador de direção e alerta contra colisões tendo como base uma unidade de processamento de dados, sistema de localização aproximada *received signal strength indicator* (RSSI), ou Indicador de intensidade do sinal residual em português, em ambientes estruturados aliado a uma unidade de reconhecimento de obstáculos que possibilite orientar o deficiente por meio do envio de sinais sonoros.

Palavras-chaves: Sistema de Localização Aproximada RSSI, Ambientes estruturados, Reconhecimento de Obstáculos.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil segundo o IBGE (2010) estima-se que existam mais de 35 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência visual, por esse motivo o desenvolvimento de tecnologias assistivas é necessário para o auxílio dessas pessoas [1].

A acessibilidade trata da possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos ambientes

estruturados, no entanto as dificuldades encontradas por pessoas com deficiência visual retratam possibilidades mínimas de locomoção tanto pela dificuldade de senso de direção ao ponto onde se pretende chegar quanto pelos obstáculos físicos encontrados pelo caminho.

Este artigo propõe a criação de um sistema de indicação de direção e alerta contra colisões para pessoas com deficiência, por meio do envio de sinais sonoros executados por meio de um módulo de áudio gerenciado por uma unidade central que será responsável também pela

aquisição e tratamento de dados de um sistema de localização aproximada criado por meio da distribuição de uma rede ZigBee baseado em propriedades geométricas utilizando a técnica de *RSSI* em um ambiente estruturado interligado a um sistema de detecção de obstáculos feito com a utilização de sensores de obstáculos.

Para projetar um sistema embarcado que por meio de uma unidade de controle consiga processar informações recebidas, via ZigBee, de um sistema de localização aproximada baseado na técnica de *RSSI* e pela leitura de sensores responsáveis pela detecção de obstáculos para auxiliar pessoas com deficiência visual quanto a direção a ser tomada e contra a colisão contra possíveis obstáculos que possam encontrar em um ambiente estruturado.

II. DESCRIÇÃO DE MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento deste projeto, são utilizados uma comunicação sem fio ZigBee; sensores ultrassônicos HC-SR04 e microcontrolador Arduino Uno. Além desses materiais também é necessária a utilização de algumas ferramentas de software que serão apresentadas no decorrer do artigo.

II.1 ESTRATÉGIA DE ESTIMATIVA DE LOCALIZAÇÃO

De acordo com [2] o *RSSI* é um indicador de intensidade de sinal de rádio onde é possível estabelecer, em dBm, uma medida de intensidade do sinal recebido por um receptor de maneira facilitada por sua simplicidade de medição e por não necessitar de hardware adicional para a medida da intensidade do sinal. Sendo assim sua utilização é um método para estimar a distância entre emissor e receptor em uma rede estabelecida em ambiente *indoor*.

De acordo com [3] a fórmula necessária para o cálculo da *RSSI* é dada por:

$$RSSI = P_0 + 10n \text{Log}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (1)$$

onde: *RSSI* é a potência recebida do sinal de rádio (em dbm), P_0 é a potência recebida na medida de referência, $10n$ é o resultado do cálculo do *path loss* da variável de influência do ambiente no sinal, d é a distância que o sinal percorreu, d_0 é a distância de referência do modelo e X é a variável que representa a influência do ambiente no sinal.

Conhecendo o valor de *RSSI*, em *dBm*, posteriormente o isolamento da variável d possibilita o cálculo da distancia para estimar a localização da pessoa com deficiência no ambiente.

II.2 TECNOLOGIA ZIGBEE

Segundo [4] a especificação *ZigBee* foca nos protocolos de alto nível para dispositivos pequenos de rádio digital e com baixo consumo de energia, o que o torna tão atrativo para utilização em projetos que requeiram o mínimo de consumo de energia possível. Trata-se de uma tecnologia relativamente simples, que utiliza um protocolo de pacotes de dados com características específicas, sendo projetado para oferecer flexibilidade quanto aos tipos de dispositivos que pode controlar.

Os módulos *Xbee* permitem a comunicação numa rede *ZigBee*, possibilitando que diversos dispositivos estejam conectados uns com os outros tomando possível a utilização da técnica do *RSSI* e por esse motivo será responsável pela localização aproximada de pessoas com deficiência visual baseado em fórmulas matemáticas e da intensidade do sinal enviado. Sua utilização se torna facilitada quando acoplados aos kits Arduino que permite uma interação com suas portas de entrada e saída podendo ser promover a comunicação entre dois ou mais Arduínos.

Desenvolvido pela *Digi* para configuração dos módulos, atualização de firmwares e outras funções, o software utilizado será o *X-CTU*, que possibilita fazer a configuração dos módulos de maneira simples e intuitiva.

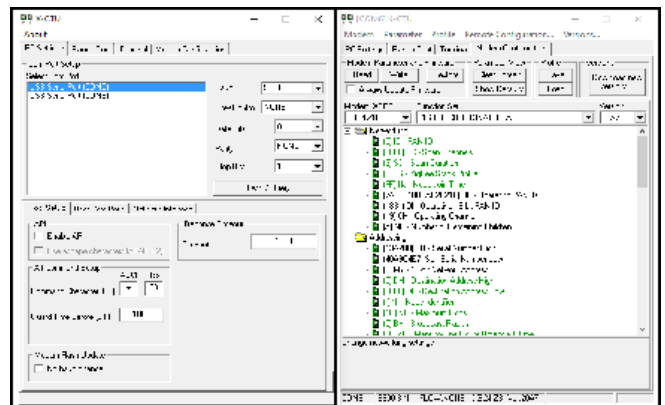


Figura 1. Software X-CTU.

II.3 IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS

Para a identificação de possíveis obstáculos foram utilizados sensores ultrassônicos, que tem seu uso muito difundido devido ao seu baixo custo e grande disponibilidade no mercado aliado a sua capacidade de obter a distância a obstáculos de forma relativamente simples e precisa, e a imunidade a alguns agentes externos, como iluminação [5].

Conforme [6], “Com um sensor ultrassônico pode-se obter a informação de distância a partir da técnica de tempo de voo. Mede-se o tempo entre a emissão do pulso e o retorno do eco”. Por conseguir precisar a distância até o objeto o sensor HCSR04 se torna uma solução para a utilização no projeto, haja vista que sua aplicação é totalmente compatível com o arduíno.

O cálculo da distância pode ser feito de acordo com o tempo em que o pino ECHO permanece em nível alto após o pino Trigger ter sido colocado em nível alto.

$$D = \frac{\text{Tempoecho} * \text{Velocidade do som}}{2} \quad (2)$$

Considerando-se um range para a distância que varia de 0,2 cm e 400 cm e uma velocidade de som aproximada de 340 m/s [7].

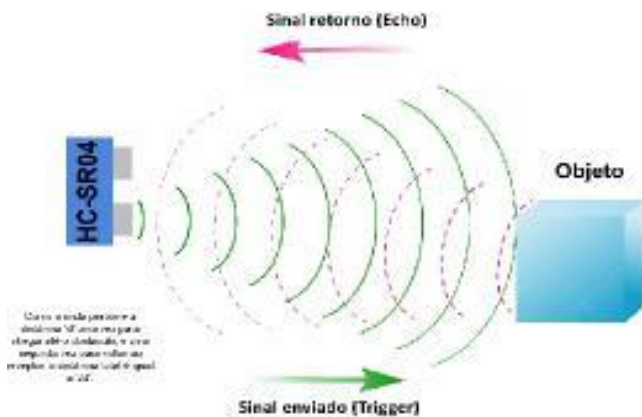


Figura 2. Esquema de Funcionamento do Sensor Ultrassônico.
 Fonte: http://blog.filipeflop.com/wp-content/uploads/2015/07/HC_SR04_Trigger_Echo.jpg, adaptado pelo Autor.

II.4 MICROCONTROLADOR ARDUINO E PROGRAMAÇÃO

O Arduino é um microcontrolador, que possui um processador Atmega (Atmel) que pode ser programado por meio do software IDE Arduino 1.0.6® disponibilizado pelo fabricante. Como características do Arduino Uno pode-se citar: uma tensão de operação de 5V, a tensão de entrada de 7 a 12V, 14 pinos de entrada digitais e 6 de entradas analógicas, 6 das entradas digitais são ajustáveis em PWM.

O arduíno será responsável pelo controle do sistema, recebendo e processando informações dos sensores e ZigBee enviando a seguir através do módulo de áudio indicações quanto a localização de pontos definidos do ambiente estruturado que sejam importantes para que a pessoa com deficiência consiga ter referências para uma localização aproximada eficaz, a figura 6 mostra de forma simples como se dá o funcionamento do sistema de controle [8].

II.5 MÓDULO DE ÁUDIO

Para o envio de informações de áudio a pessoa com deficiência visual foi utilizado o módulo WTV020M01 que possui *slot* para cartão de memória que dá suporte para que os arquivos salvos possam ser reproduzidos em formato de áudio Mp3 com o auxílio de um fone, sua utilização é possível em conjunto com o arduíno que através de programação permite que apenas áudios necessários para cada situação, em que a pessoa com deficiência visual esteja, sejam reproduzidos [9].

II.6 ESTRUTURA

Para efeito de testes é necessário a criação de um protótipo composto por um sistema de detecção de obstáculos com o intuito de testar a eficiência com que o sensor escolhido se comporta, um sistema de localização aproximada baseado em uma rede RSSI e do módulo de áudio. Os sistemas foram implementados individualmente para a execução dos testes e futuramente serão conectados por meio de uma estrutura física que será portada pela pessoa com deficiência visual.

O sistema foi desenvolvido com o auxílio de softwares para a programação do Arduino tanto para o sistema de detecção de obstáculos quanto para a utilização com o *ZigBee* que teve sua configuração executada por meio do software X-CTU.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

III.1 ESTIMATIVA DE LOCALIZAÇÃO

Para efeito de testes foram utilizados módulos *Xbee* da série 2 que conta com pilha protocolar robusta para rede onde os dispositivos podem rotear informações diretamente uns para os outros, sendo definidos como dispositivo coordenador que atuam como um gerente e dispositivo Roteador que troca dados com outros dispositivos. Utilizando os pinos RSSI de cada dispositivo foi possível extrair um sinal representando o valor de sua intensidade em *Pulse-Width Modulation* (PWM), ou modulação por largura de pulso em português, uma técnica que consiste em manter a frequência de uma onda quadrada fixa e variar o tempo em que o sinal fica em nível lógico alto, para a obtenção desses valores em *dBm* foi necessário que o sinal fosse transformado em um número inteiro, que foi possível utilizando a biblioteca *XBee.h* por meio da programação no software IDE Arduino. Levando em conta que a configuração do *Xbee* por meio do software XCTU permitiu que cada dispositivo emitisse um pacote de dados específico, uma espécie de identidade para cada dispositivo, foi possível fazer a leitura da distância entre os módulos *Xbee* podendo diferenciá-los.

A partir disso com o uso da fórmula necessária para o cálculo da RSSI como demonstrado anteriormente foi possível mensurar a distância entre os dispositivos sendo demonstrada por meio do monitor serial do software do Arduino como pode ser observado na figura abaixo, para a comunicação entre vários dispositivos o envio de dados por pacote foi de suma importância para que a programação possa ser feita de maneira a levar a diferenciação entre os dispositivos.

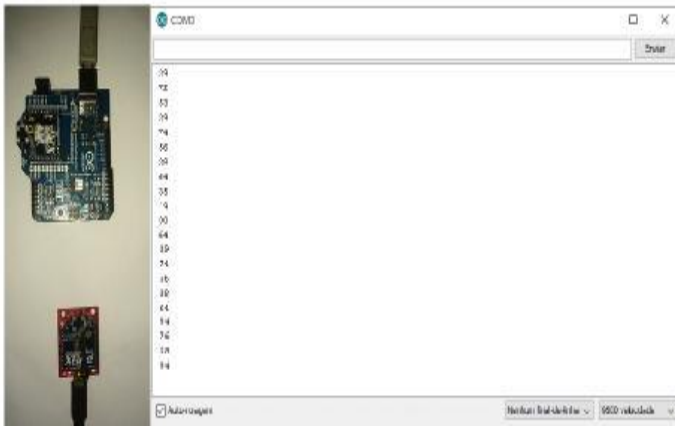


Figura 3. Distância entre os dispositivos sendo mostrada pelo Monitor Serial do Arduino.

III.2 IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS

Foi definida a utilização de sensores ultrassônicos com poder de alcance de até 4 metros podendo essa distância ser programada para a identificação de obstáculos em um range específico que melhor se aplique as necessidades do projeto.

Para efeito de teste sobre a eficiência do sensor foi executada no Arduino uma programação utilizando a fórmula demonstrada anteriormente para que dois *ranges* de distâncias fosse lidos, a primeira medida vai de 10 cm a 200 cm e acende um *led* verde quando existe a presença de um obstáculo e o segundo range vai de 210 a 350 cm acendendo um *led* vermelho quando feita a identificação de algum obstáculo.

A figura 4 mostra o teste de detecção de um objeto tendo sua distância mensurada na tela serial do *software* Arduino.

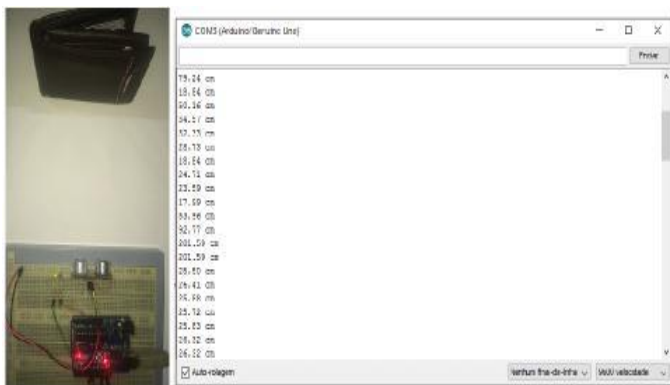


Figura 4. Detecção de obstáculos com a demonstração da distância no monitor Serial do *software* Arduino.

III.3 MÓDULO DE ÁUDIO

Para implementar o módulo sonoro é necessário integrá-lo ao Arduino pois a programação do microcontrolador permitiu que os arquivos em formato de áudio previamente salvos em um cartão micro *sd* fossem executados com a utilização de um fone.

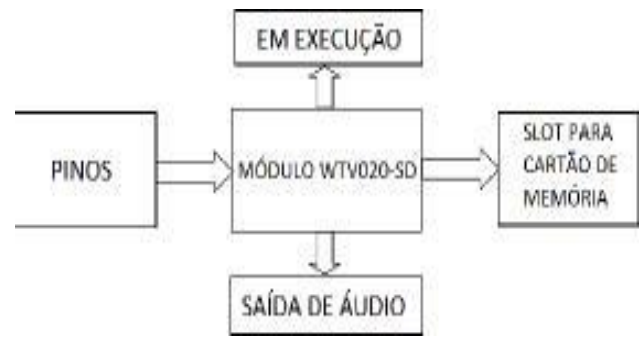


Figura 5. Representação de Aplicação do Módulo de Áudio.
Fonte: [9].

IV. CONCLUSÕES

Este artigo abordou testes iniciais relacionados à técnica de estimativa de localização, identificação de obstáculos e o módulo de áudio os resultados obtidos satisfazem as necessidades para prosseguir com o desenvolvimento do projeto.

O sistema de estimativa de localização utilizando rede *ZigBee* mostrou-se confiável e por permitir que a comunicação possa ser feita entre vários dispositivos numa mesma rede a precisão é maior para delimitar o posicionamento da pessoa com deficiência visual.

Para a detecção de obstáculos o sensor ultrassônico escolhido demonstrou ser capaz de atender as necessidades do projeto podendo ainda mensurar a distância do sensor até o objeto detectado.

O módulo de áudio atendeu as necessidades do projeto conseguindo enviar comandos de voz por meio de um fone, podendo ser aprimorado para futuramente indicar direções a serem tomadas pela pessoa com deficiência visual.

Podendo operar em conjunto, o sistema se torna um dispositivo compacto que pode vir a atuar de maneira ativa na vida de uma pessoa com deficiência visual podendo reduzir as dificuldades enfrentadas por elas e promover uma integração social.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Normas de apresentação tabular**. Rio de Janeiro: Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência, 2010.

[2] LUOMALA, J.; HAKALA, I. **Towards adaptive localization in wireless sensor networks**. In: IEEE. *Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS)*, 2012. [S.l.], 2012. p. 1–8.

[3] HU-SHENG, N. et al. **An improved method of self-adaptive localization for wireless sensor network in dynamic indoor environment**. In: IEEE. *Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese*. [S.l.], 2012. p. 6574–6577.

[4] DANTAS, M. **Redes de comunicação e computadores: abordagem quantitativa**. Visual Books, 2010. ISBN 9788575022559. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=LbNDQwAACAAM>>.

[5] ERIC, T. **Infrared vs. ultrasonic–what you should know.** *Retrieved April*, v. 20, p. 2012, 2008. Disponível em: <http://www.societyofrobots.com/member_tutorials/node/71>.

[6] PEREIRA, F. G. **Navegação e desvio de obstáculos usando um robô móvel dotado de sensor de varredura laser.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo-UFES, 2006.

[7] ELECFREAKS TECHNOLOGY LTD. **Ultrasonic Ranging Module HC - SR04.** [S.l.], s.d. Disponível em: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>.

[8] MCROBERTS, M. **Arduino básico.** [S.l.]: Apress Inc., 2011.

[9] ELECHOUSE ELECTRONICS TECHNOLOGY CO. **WTV020-SD MODULE.** [S.l.], s.d. Disponível em: <<http://www.lpic.com/wp-content/uploads/2015/07/WTV020-SD.pdf>>.



System of indication of directions and warnings against collisions for locomotion of people with impaired vision in structured environments

Álvaro José Belota de Oliveira Saraiva e Walter Andrés Vermehren Valenzuela

¹Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Discente do Curso de Eng. de Controle e Automação, Manaus, Amazonas, Brasil. [E-mail: alvarobelota.s@gmail.com](mailto:alvarobelota.s@gmail.com).

¹Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Coordenador do Curso de Eng. de Controle e Automação, Manaus, Amazonas, Brasil, Eng. Indl Mecânico, Doutor em Instrumentação e Controle - UFCG. [E-mail: wvalenzuela7@gmail.com](mailto:wvalenzuela7@gmail.com).

ABSTRACT

This article deals with the development of Assistive Technologies in order to provide or expand functional abilities of people with visual impairments, analyzing in general is perceived that the technological evolution goes toward making life easier, this project is exactly the creation an indicator of direction and warning against collisions based on a data processing unit, approximate location system received signal strength indicator (RSSI) or indicator intensity of the residual signal in Portuguese, in structured environments coupled with a recognition unit obstacles that allows guide people with impaired vision by sending beeps.

Key-words: System Approximate Location RSSI, Structured environments, Obstacle recognition.

Sistema de indicação de direções e alerta contra colisões para locomoção de pessoas com deficiência visual em ambientes estruturados

RESUMO

Este artigo trata do desenvolvimento de Tecnologias Assistivas com intuito de proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência visual, analisando de uma maneira geral percebe-se que a evolução tecnológica caminha na direção de tornar a vida mais fácil, este projeto trata exatamente da criação de um indicador de direção e alerta contra colisões tendo como base uma unidade de processamento de dados, sistema de localização aproximada *received signal strength indicator* (RSSI), ou Indicador de intensidade do sinal residual em português, em ambientes estruturados aliado a uma unidade de reconhecimento de obstáculos que possibilite orientar o deficiente por meio do envio de sinais sonoros.

Palavras-chaves: Sistema de Localização Aproximada RSSI, Ambientes estruturados, Reconhecimento de Obstáculos.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil segundo o IBGE (2010) estima-se que existam mais de 35 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência visual, por esse motivo o desenvolvimento de tecnologias assistivas é necessário para o auxílio dessas pessoas [1].

A acessibilidade trata da possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos ambientes

estruturados, no entanto as dificuldades encontradas por pessoas com deficiência visual retratam possibilidades mínimas de locomoção tanto pela dificuldade de senso de direção ao ponto onde se pretende chegar quanto pelos obstáculos físicos encontrados pelo caminho.

Este artigo propõe a criação de um sistema de indicação de direção e alerta contra colisões para pessoas com deficiência, por meio do envio de sinais sonoros executados por meio de um módulo de áudio gerenciado por uma unidade central que será responsável também pela

aquisição e tratamento de dados de um sistema de localização aproximada criado por meio da distribuição de uma rede ZigBee baseado em propriedades geométricas utilizando a técnica de *RSSI* em um ambiente estruturado interligado a um sistema de detecção de obstáculos feito com a utilização de sensores de obstáculos.

Para projetar um sistema embarcado que por meio de uma unidade de controle consiga processar informações recebidas, via ZigBee, de um sistema de localização aproximada baseado na técnica de *RSSI* e pela leitura de sensores responsáveis pela detecção de obstáculos para auxiliar pessoas com deficiência visual quanto a direção a ser tomada e contra a colisão contra possíveis obstáculos que possam encontrar em um ambiente estruturado.

II. DESCRIÇÃO DE MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento deste projeto, são utilizados uma comunicação sem fio ZigBee; sensores ultrassônicos HC-SR04 e microcontrolador Arduino Uno. Além desses materiais também é necessária a utilização de algumas ferramentas de software que serão apresentadas no decorrer do artigo.

II.1 ESTRATÉGIA DE ESTIMATIVA DE LOCALIZAÇÃO

De acordo com [2] o *RSSI* é um indicador de intensidade de sinal de rádio onde é possível estabelecer, em dBm, uma medida de intensidade do sinal recebido por um receptor de maneira facilitada por sua simplicidade de medição e por não necessitar de hardware adicional para a medida da intensidade do sinal. Sendo assim sua utilização é um método para estimar a distância entre emissor e receptor em uma rede estabelecida em ambiente *indoor*.

De acordo com [3] a fórmula necessária para o cálculo da *RSSI* é dada por:

$$RSSI = P_0 + 10n \text{Log}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (1)$$

onde: *RSSI* é a potência recebida do sinal de rádio (em dbm), P_0 é a potência recebida na medida de referência, $10n$ é o resultado do cálculo do *path loss* da variável de influência do ambiente no sinal, d é a distância que o sinal percorreu, d_0 é a distância de referência do modelo e X é a variável que representa a influência do ambiente no sinal.

Conhecendo o valor de *RSSI*, em *dBm*, posteriormente o isolamento da variável d possibilita o cálculo da distancia para estimar a localização da pessoa com deficiência no ambiente.

II.2 TECNOLOGIA ZIGBEE

Segundo [4] a especificação *ZigBee* foca nos protocolos de alto nível para dispositivos pequenos de rádio digital e com baixo consumo de energia, o que o torna tão atrativo para utilização em projetos que requeiram o mínimo de consumo de energia possível. Trata-se de uma tecnologia relativamente simples, que utiliza um protocolo de pacotes de dados com características específicas, sendo projetado para oferecer flexibilidade quanto aos tipos de dispositivos que pode controlar.

Os módulos *Xbee* permitem a comunicação numa rede *ZigBee*, possibilitando que diversos dispositivos estejam conectados uns com os outros tomando possível a utilização da técnica do *RSSI* e por esse motivo será responsável pela localização aproximada de pessoas com deficiência visual baseado em fórmulas matemáticas e da intensidade do sinal enviado. Sua utilização se torna facilitada quando acoplados aos kits Arduino que permite uma interação com suas portas de entrada e saída podendo ser promover a comunicação entre dois ou mais Arduínos.

Desenvolvido pela *Digi* para configuração dos módulos, atualização de firmwares e outras funções, o software utilizado será o *X-CTU*, que possibilita fazer a configuração dos módulos de maneira simples e intuitiva.

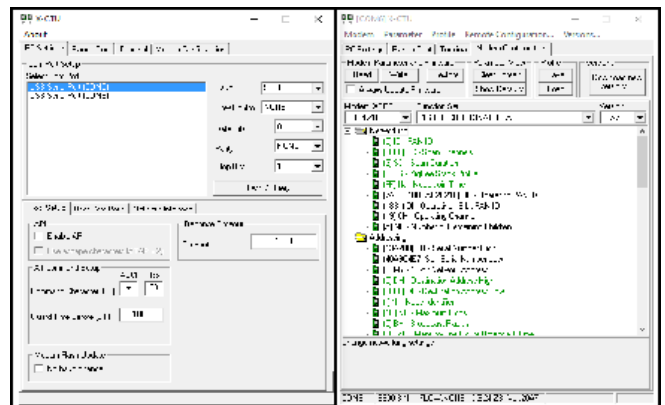


Figura 1. Software X-CTU.

II.3 IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS

Para a identificação de possíveis obstáculos foram utilizados sensores ultrassônicos, que tem seu uso muito difundido devido ao seu baixo custo e grande disponibilidade no mercado aliado a sua capacidade de obter a distância a obstáculos de forma relativamente simples e precisa, e a imunidade a alguns agentes externos, como iluminação [5].

Conforme [6], “Com um sensor ultrassônico pode-se obter a informação de distância a partir da técnica de tempo de voo. Mede-se o tempo entre a emissão do pulso e o retorno do eco”. Por conseguir precisar a distância até o objeto o sensor HCSR04 se torna uma solução para a utilização no projeto, haja vista que sua aplicação é totalmente compatível com o arduíno.

O cálculo da distância pode ser feito de acordo com o tempo em que o pino ECHO permanece em nível alto após o pino Trigger ter sido colocado em nível alto.

$$D = \frac{\text{Tempoecho} * \text{Velocidade do som}}{2} \quad (2)$$

Considerando-se um range para a distância que varia de 0,2 cm e 400 cm e uma velocidade de som aproximada de 340 m/s [7].

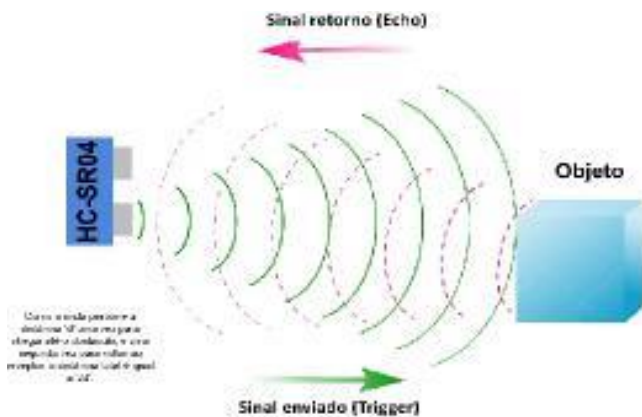


Figura 2. Esquema de Funcionamento do Sensor Ultrassônico.
 Fonte: http://blog.filipeflop.com/wp-content/uploads/2015/07/HC_SR04_Trigger_Echo.jpg, adaptado pelo Autor.

II.4 MICROCONTROLADOR ARDUINO E PROGRAMAÇÃO

O Arduino é um microcontrolador, que possui um processador Atmega (Atmel) que pode ser programado por meio do software IDE Arduino 1.0.6® disponibilizado pelo fabricante. Como características do Arduino Uno pode-se citar: uma tensão de operação de 5V, a tensão de entrada de 7 a 12V, 14 pinos de entrada digitais e 6 de entradas analógicas, 6 das entradas digitais são ajustáveis em PWM.

O arduíno será responsável pelo controle do sistema, recebendo e processando informações dos sensores e ZigBee enviando a seguir através do módulo de áudio indicações quanto a localização de pontos definidos do ambiente estruturado que sejam importantes para que a pessoa com deficiência consiga ter referências para uma localização aproximada eficaz, a figura 6 mostra de forma simples como se dá o funcionamento do sistema de controle [8].

II.5 MÓDULO DE ÁUDIO

Para o envio de informações de áudio a pessoa com deficiência visual foi utilizado o módulo WTV020M01 que possui *slot* para cartão de memória que dá suporte para que os arquivos salvos possam ser reproduzidos em formato de áudio Mp3 com o auxílio de um fone, sua utilização é possível em conjunto com o arduíno que através de programação permite que apenas áudios necessários para cada situação, em que a pessoa com deficiência visual esteja, sejam reproduzidos [9].

II.6 ESTRUTURA

Para efeito de testes é necessário a criação de um protótipo composto por um sistema de detecção de obstáculos com o intuito de testar a eficiência com que o sensor escolhido se comporta, um sistema de localização aproximada baseado em uma rede RSSI e do módulo de áudio. Os sistemas foram implementados individualmente para a execução dos testes e futuramente serão conectados por meio de uma estrutura física que será portada pela pessoa com deficiência visual.

O sistema foi desenvolvido com o auxílio de softwares para a programação do Arduino tanto para o sistema de detecção de obstáculos quanto para a utilização com o *ZigBee* que teve sua configuração executada por meio do software X-CTU.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

III.1 ESTIMATIVA DE LOCALIZAÇÃO

Para efeito de testes foram utilizados módulos *Xbee* da série 2 que conta com pilha protocolar robusta para rede onde os dispositivos podem rotear informações diretamente uns para os outros, sendo definidos como dispositivo coordenador que atuam como um gerente e dispositivo Roteador que troca dados com outros dispositivos. Utilizando os pinos RSSI de cada dispositivo foi possível extrair um sinal representando o valor de sua intensidade em *Pulse-Width Modulation* (PWM), ou modulação por largura de pulso em português, uma técnica que consiste em manter a frequência de uma onda quadrada fixa e variar o tempo em que o sinal fica em nível lógico alto, para a obtenção desses valores em *dBm* foi necessário que o sinal fosse transformado em um número inteiro, que foi possível utilizando a biblioteca *XBee.h* por meio da programação no software IDE Arduino. Levando em conta que a configuração do *Xbee* por meio do software XCTU permitiu que cada dispositivo emitisse um pacote de dados específico, uma espécie de identidade para cada dispositivo, foi possível fazer a leitura da distância entre os módulos *Xbee* podendo diferenciá-los.

A partir disso com o uso da fórmula necessária para o cálculo da RSSI como demonstrado anteriormente foi possível mensurar a distância entre os dispositivos sendo demonstrada por meio do monitor serial do software do Arduino como pode ser observado na figura abaixo, para a comunicação entre vários dispositivos o envio de dados por pacote foi de suma importância para que a programação possa ser feita de maneira a levar a diferenciação entre os dispositivos.

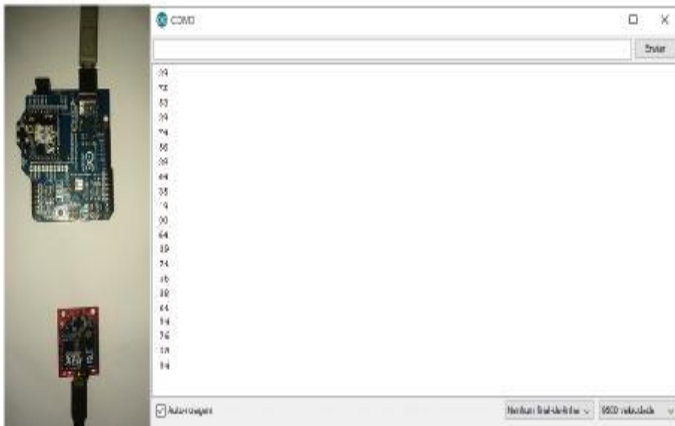


Figura 3. Distância entre os dispositivos sendo mostrada pelo Monitor Serial do Arduino.

III.2 IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS

Foi definida a utilização de sensores ultrassônicos com poder de alcance de até 4 metros podendo essa distância ser programada para a identificação de obstáculos em um range específico que melhor se aplique as necessidades do projeto.

Para efeito de teste sobre a eficiência do sensor foi executada no Arduino uma programação utilizando a fórmula demonstrada anteriormente para que dois *ranges* de distâncias fosse lidos, a primeira medida vai de 10 cm a 200 cm e acende um *led* verde quando existe a presença de um obstáculo e o segundo range vai de 210 a 350 cm acendendo um *led* vermelho quando feita a identificação de algum obstáculo.

A figura 4 mostra o teste de detecção de um objeto tendo sua distância mensurada na tela serial do *software* Arduino.

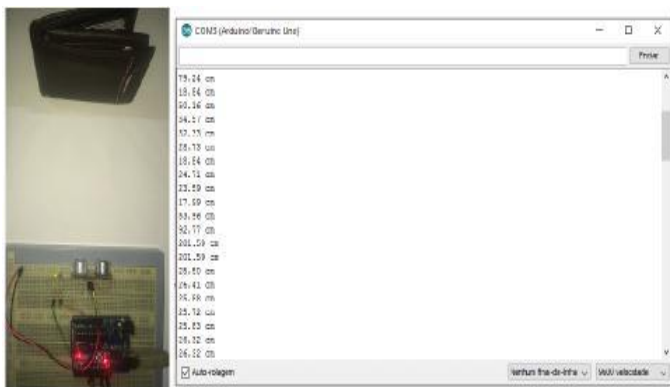


Figura 4. Detecção de obstáculos com a demonstração da distância no monitor Serial do *software* Arduino.

III.3 MÓDULO DE ÁUDIO

Para implementar o módulo sonoro é necessário integrá-lo ao Arduino pois a programação do microcontrolador permitiu que os arquivos em formato de áudio previamente salvos em um cartão micro *sd* fossem executados com a utilização de um fone.

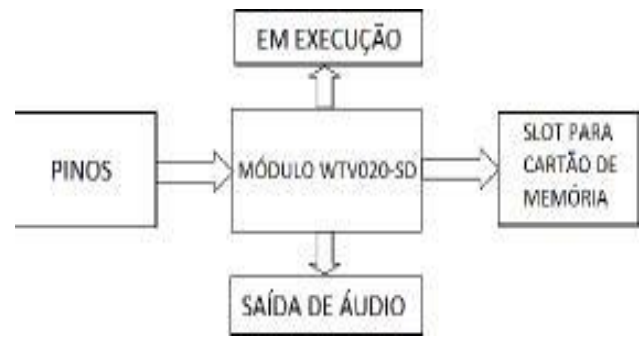


Figura 5. Representação de Aplicação do Módulo de Áudio.
Fonte: [9].

IV. CONCLUSÕES

Este artigo abordou testes iniciais relacionados à técnica de estimativa de localização, identificação de obstáculos e o módulo de áudio os resultados obtidos satisfazem as necessidades para prosseguir com o desenvolvimento do projeto.

O sistema de estimativa de localização utilizando rede *ZigBee* mostrou-se confiável e por permitir que a comunicação possa ser feita entre vários dispositivos numa mesma rede a precisão é maior para delimitar o posicionamento da pessoa com deficiência visual.

Para a detecção de obstáculos o sensor ultrassônico escolhido demonstrou ser capaz de atender as necessidades do projeto podendo ainda mensurar a distância do sensor até o objeto detectado.

O módulo de áudio atendeu as necessidades do projeto conseguindo enviar comandos de voz por meio de um fone, podendo ser aprimorado para futuramente indicar direções a serem tomadas pela pessoa com deficiência visual.

Podendo operar em conjunto, o sistema se torna um dispositivo compacto que pode vir a atuar de maneira ativa na vida de uma pessoa com deficiência visual podendo reduzir as dificuldades enfrentadas por elas e promover uma integração social.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Normas de apresentação tabular**. Rio de Janeiro: Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência, 2010.
- [2] LUOMALA, J.; HAKALA, I. **Towards adaptive localization in wireless sensor networks**. In: IEEE. *Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS)*, 2012. [S.l.], 2012. p. 1–8.
- [3] HU-SHENG, N. et al. **An improved method of self-adaptive localization for wireless sensor network in dynamic indoor environment**. In: IEEE. *Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese*. [S.l.], 2012. p. 6574–6577.
- [4] DANTAS, M. **Redes de comunicação e computadores: abordagem quantitativa**. Visual Books, 2010. ISBN 9788575022559. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=LbNDQwAACAAM>>.

[5] ERIC, T. **Infrared vs. ultrasonic—what you should know.** *Retrieved April*, v. 20, p. 2012, 2008. Disponível em: <http://www.societyofrobots.com/member_tutorials/node/71>.

[6] PEREIRA, F. G. **Navegação e desvio de obstáculos usando um robô móvel dotado de sensor de varredura laser.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo-UFES, 2006.

[7] ELECFREAKS TECHNOLOGY LTD. **Ultrasonic Ranging Module HC - SR04.** [S.l.], s.d. Disponível em: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>.

[8] MCROBERTS, M. **Arduino básico.** [S.l.]: Apress Inc., 2011.

[9] ELECHOUSE ELECTRONICS TECHNOLOGY CO. **WTV020-SD MODULE.** [S.l.], s.d. Disponível em: <<http://www.lpic.com/wp-content/uploads/2015/07/WTV020-SD.pdf>>.



Internet of things applied on a supervisory system for modular production system stations

Renan Araújo de Lima¹, Almir Kimura Junior², Israel Francisco Benítez Pina², Walter Andrés Vermehren Valenzuela²

¹Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Discente do Curso de Eng. de Controle e Automação, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: <renan.araujo.eng@gmail.com>

²Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: <akimurajr@gmail.com.br>

²Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Pós-Doutor em Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais. E-mail: <benitez.israel@gmail.com.br>

²Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Coordenador do Curso de Eng. de Controle e Automação, Manaus, Amazonas, Brasil, Eng. Indl Mecânico, Doutor em Instrumentação e Controle - UFCG. E-mail: <wvalenzuela7@gmail.com>

ABSTRACT

The advent of new technologies gives the companies the possibility to create a strong competitive position by successfully use the recent concepts. New ideals brought the concepts that represents the future fourth industrial revolution, among them is the Internet of Things, which when properly applied, enables systems to have a greater autonomy by the decision taking from data collected from the Internet and the process itself. Considering that most applications of this concept are related to home automation, this article demonstrates the use of Internet of Things in an industrial process represented in laboratory scale, monitored in real time by a supervisory system that initiates production from the demand information simulated by a Web page.

Keywords: Internet of Things, Supervisory Systems, Industrial Process.

Sistema supervisório aplicando o conceito de internet das coisas para estações de sistema modular de produção em escala laboratorial

RESUMO

O advento de novas tecnologias dá a possibilidade de empresas imporem maior competitividade em relação a outras se os recentes conceitos forem implantados de forma eficiente. Novos ideais deram início aos conceitos que representam a quarta revolução industrial, dentre eles está o conceito de Internet das Coisas, que quando aplicado corretamente, possibilita que sistemas tenham maior autonomia, pela tomada de decisões importantes a partir de dados coletados da Internet e do próprio processo. Tendo em vista que a maioria das aplicações deste conceito estão relacionadas com automação residencial, este artigo demonstra o emprego de Internet das Coisas em um processo industrial representado em escala laboratorial, monitorado em tempo real por um sistema supervisório que inicia a produção a partir da demanda simulada por uma página Web.

Palavras-chaves: Internet das Coisas, Sistemas Supervisórios, Processo Industrial.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia está em constante crescimento e cada vez mais apresenta-se no dia a dia do ser humano. Este fato se mostra de grande importância no ramo industrial, pois as empresas devem se adaptar às novidades e implementar os novos conceitos em seus processos para não perder espaço no mercado.

Segundo [1], “O mundo se encontra hoje na transição da terceira para a quarta revolução industrial”, implicando que os conceitos que representam a quarta

revolução industrial já existem, porém ainda não estão sendo empregados de maneira concisa. Uma das novidades trazidas pelos ideais da nova revolução industrial foi a I.o.T. (Internet of Things), conhecida no Brasil como Internet das Coisas.

A I.o.T. foi definida por [2] como “a aproximação dos objetos físicos do mundo real aos sistemas de informação”, que no meio industrial pode ser possível pela interconexão das máquinas e equipamentos do chão de fábrica a uma mesma rede

que também é conectada à Internet. Isso permite que informações importantes que se encontram online, como a demanda de certo produto, possam ser utilizadas para tomadas de decisão direta na produção da fábrica.

O presente artigo pretende implementar um sistema supervisor a um conjunto de estações de sistema modular de produção baseando-se nos pilares que definem o conceito de Internet das Coisas: a conexão de todas as estações a uma mesma rede, conectada também à Internet, de onde serão retiradas as informações de demanda do produto para a tomada de decisão de início de produção; e a utilização de tecnologia RFID, para que todas as informações de produção sejam carregadas em um chip no produto, e posteriormente lidas por cada estação, as quais executarão as ações necessárias de acordo com os dados recebidos.

II. INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things*, é uma “[...] nova infraestrutura que integra a internet convencional com os objetos permitindo a comunicação entre o mundo virtual e o mundo real” [3]. Seguindo o pensamento de [4], pode-se dizer que é um conceito que considera a presença de coisas/objetos no ambiente, que por meio de conexões com ou sem fio e um esquema de endereçamento único é possível a interação e cooperação com outras coisas/objetos para a criação de novas aplicações ou serviços para atingir um objetivo.

A Internet das Coisas pode ser realizada em três paradigmas: orientado por internet (utilização de dados na internet), orientado por sensores, e orientado por

conhecimento [5]. Pode-se dizer que a utilidade real do conceito só será conquistada em aplicações onde os três paradigmas estão inseridos.

A proposta deste artigo procura se utilizar dos três paradigmas: utilizando o dado de demanda obtido de uma página web, utilizando-se da comunicação Ethernet entre os CLPs e o sistema supervisor, possibilitando obter as informações providas dos sensores das estações de sistema modular de produção, e por último, criando uma tomada de decisão de produção a partir destes dados.

II.1 PÁGINA WEB

Um dos pilares do conceito de Internet das Coisas é a orientação por Internet, e a partir desta definição, foi desenvolvida uma página web que simula as compras dos produtos que serão fabricados nas estações de Sistema Modular de Produção.

Quando o número de compras atinge um certo valor, é criado um lote de produção, e a fabricação dos produtos se inicia automaticamente. As informações de cada produto comprado são inseridas em chips RFID que se localizam na matéria prima. Isso permite que ao realizar a leitura dos dados, se saiba quem foi o comprador e qual produto deve ser fabricado.

A página web também permite que se acompanhe em que estágio de produção se encontra o produto que foi comprado, que são: aguardando formação de lote, em fabricação, ou produto finalizado. A seguir pode-se ver a página web desenvolvida para este projeto como mostra a figura 1 e 2:

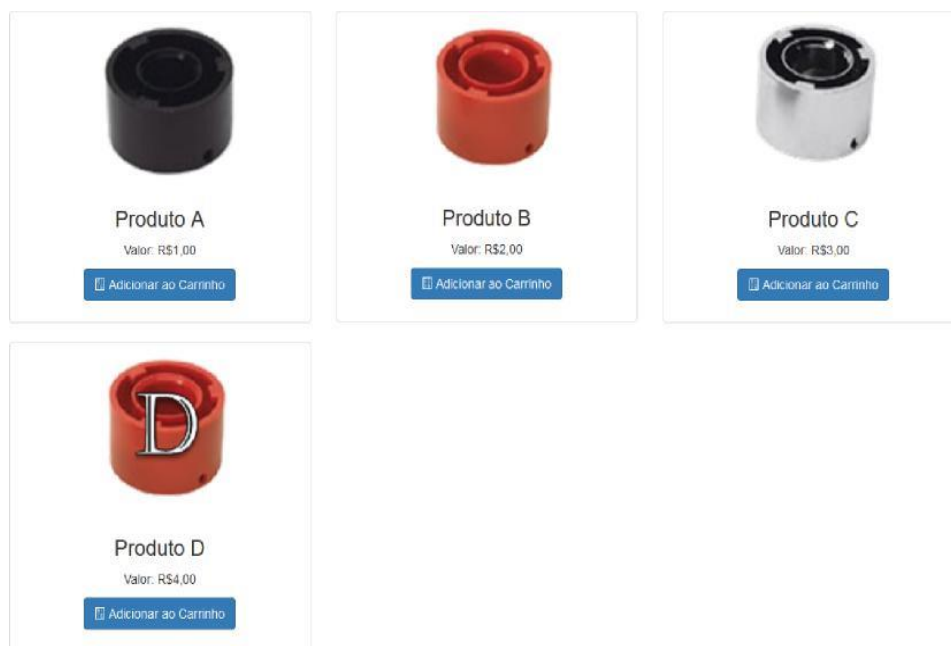


Figura 1 – Tela principal da Página Web.

Conheça nossos Produtos

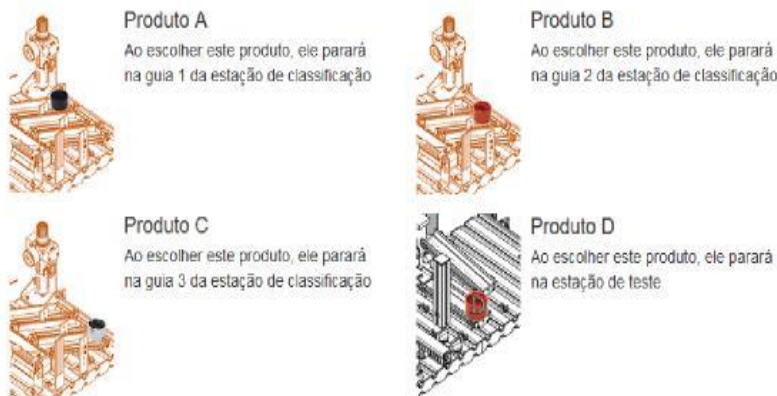


Figura 2 – Conhecimento dos produtos.

II.2 SISTEMA MODULAR DE PRODUÇÃO

Uma linha de produção de uma fábrica pode ser composta de células individuais, onde cada unidade possui uma função específica no processo, entre vários exemplos, pode-se destacar distribuição, teste, processamento, manipulação, montagem, armazenamento e classificação. Através das estações

de Sistema Modular de Produção é possível gerar combinações para atingir aos requisitos de múltiplas aplicações, as quais podem representar funcionalidades de um processo real em grande escala [6]. Na seguinte figura é possível ver um exemplo de uma bancada formada por um conjunto de estações de Sistema Modular de Produção como mostra a figura 3:



Figura 3 – Estações de Sistema Modular de Produção.

A bancada de Sistema Modular de Produção que se encontra no laboratório de automação da Escola Superior de Tecnologia da UEA é dividida em três estações: distribuição, teste e classificação.

A estação de distribuição cumpre o papel de selecionar as peças que estão no compartimento e transferi-las à estação de teste por meio de um dispositivo com movimento rotacional utilizando uma ventosa. A estação de teste em seguida realiza sua

função, que é determinar os atributos do material de uma peça, checar a altura da mesma, e então, rejeitá-la ou repassá-la para a próxima estação. A estação seguinte é a de classificação, que por último, divide as peças em três escorregadores. A figura 4 mostra a modelagem em Rede de Petri das estações de sistema modular de produção em conjunto com a aplicação na página Web:

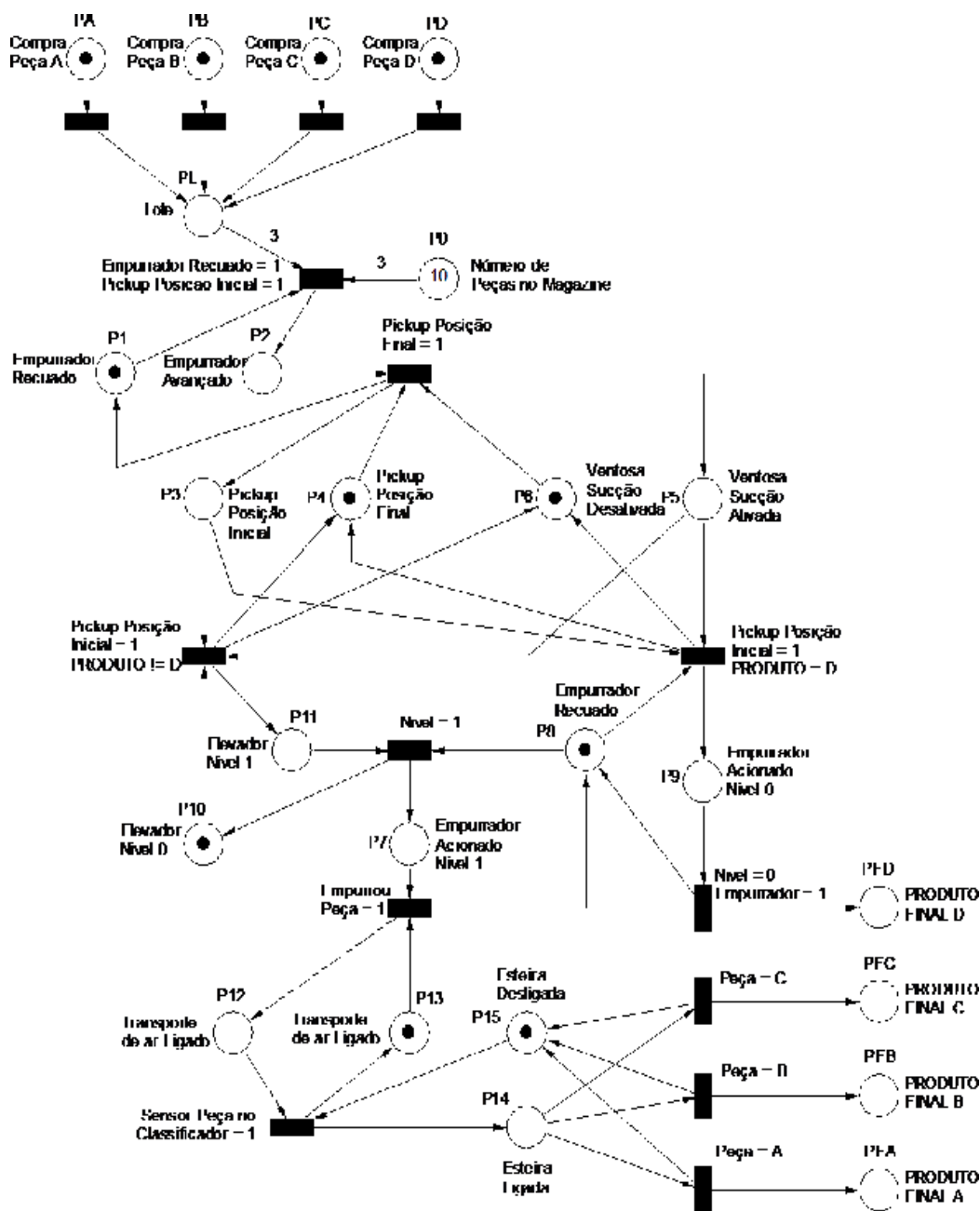


Figura 4 – Modelagem do sistema em Rede de Petri.

III. SISTEMA SUPERVISÓRIO

Unindo os pensamentos de [7] e [8], pode-se dizer que o sistema supervisório se destina a capturar e armazenar em um banco de dados, informações sobre um processo de produção. Possibilitando através do acesso a esses dados, a representação de objetos estáticos e animados de forma amigável, que, juntos, representam todo o processo de uma planta em uma IHM (Interface Humano-Máquina).

Segundo [9], “com a evolução da tecnologia, foram incorporadas funções nunca antes imaginadas para um sistema supervisório. Sempre baseadas nas necessidades e requisições dos usuários finais, são implementadas ferramentas para as mais diversas finalidades”. E utilizando-se deste pensamento, o sistema supervisório que será desenvolvido nesta pesquisa procura trazer inovações através da implementação de novas funcionalidades por meio da aplicação do conceito de Internet das coisas.

III.1 SISTEMA SUPERVISÓRIO EM JAVA PARA A BANCADA DE SISTEMA MODULAR DE PRODUÇÃO

Para o desenvolvimento do Sistema Supervisório foi escolhido à linguagem Java, pois, diferente de outras linguagens de programação, sua execução não está diretamente relacionada com o Sistema Operacional, pois o código é executado em uma máquina virtual chamada de JVM

(Java Virtual Machine), possibilitando assim a portabilidade do software [10]. Além disso, a linguagem Java é orientada a objetos, o que torna mais simples e rápida a realização de alterações no sistema [11].

Antes de se iniciar o desenvolvimento de um sistema, deve-se realizar o levantamento dos pré-requisitos, ou seja, deve-se especificar qual é a funcionalidade do [software](#). Com a proposta de aplicação do conceito de Internet das Coisas, os requisitos do sistema supervisório foram os seguintes:

- Controle de Estoque: tem a função de cadastro e controle de matéria prima. Quando ocorre a falta de material, o pedido é feito automaticamente, sendo apenas necessário ser aprovado pelo setor de compras;
- Setor de compras: simula a função de compra de matéria prima, ao confirmar a compra, o material é acrescido ao estoque;
- Monitoramento das estações de Sistema Modular de Produção: realiza a monitoração em tempo real do funcionamento das três estações, onde é possível ver todos os produtos que se encontram em fabricação com as informações de quem comprou, em qual estação se encontra e qual será o produto final a ser produzido. Para uma visão mais completa do monitoramento, pode-se selecionar uma das estações e acompanhar o estado dos sensores e atuadores da mesma;
- Acompanhamento de Produção: possui o histórico de todos os produtos fabricados. A figura 5 mostra a tela principal de monitoramento do sistema supervisório.

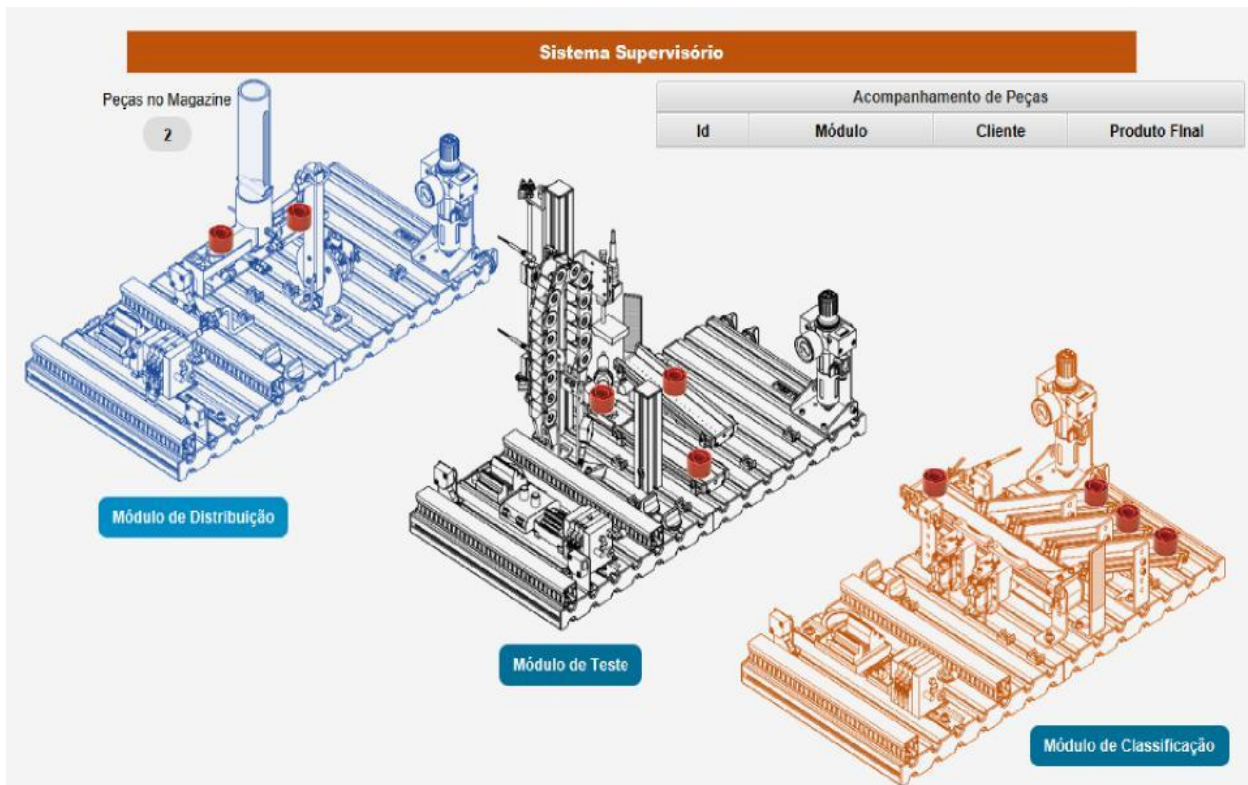


Figura 5 - Tela Principal de Monitoramento.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

A figura 1 mostra a tela da página Web projetada para a simulação de compras de produtos. O desenvolvimento foi realizado em Java e HTML, possibilitando que a aplicação realize o que havia sido proposto. Os testes de funcionamento estão sendo executados em um servidor local, se comunicando com o mesmo banco de dados do sistema supervisorio, porém é possível que a mesma página seja hospedada em um servidor web, possuindo seu próprio domínio.

A partir da modelagem em Rede de Petri, mostrada na figura 3, é possível entender o funcionamento das estações de sistema modular de produção, mostrando os eventos que ocorrem dada às circunstâncias que ocorrem no processo, denominadas [transições.com](#) base nesta modelagem, a programação dos CLP's se tornou mais simples, pois os mesmos foram programados em linguagem Ladder, que utiliza um padrão de funções lógicas que se assemelham aos expressos na modelagem.

O sistema supervisorio pode realizar a comunicação direta com os dados de compras advindos da página web, e com base nesses dados, o sistema pode salvar no chip RFID de cada matéria prima, as informações de qual foi comprador e como o produto deve ser fabricado.

V. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pode-se afirmar que a aplicação do conceito de Internet das Coisas permite que os sistemas se tornem mais autônomos, visto que o próprio sistema supervisorio toma diversas decisões importantes para o processo.

Apesar de ter sido aplicado em escala laboratorial, foi comprovado que o sistema pode atuar em uma planta industrial, dado que as estações de sistema modular de produção têm como objetivo a representação de um processo em grande escala.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] VENTURELLI, M. **Indústria 4.0: Uma Visão da Automação Industrial**. 2014. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/MHVenturelli/industria-40-38600598>>. Citado na página 2.
- [2] CORREIA, J. et al. **A internet das coisas**. 2011. Disponível em: <http://ssti1-1112.wikidot.com/a-internet-das-coisas>>. Citado na página 2.
- [3] MARÃO, G. A. **Internet das coisas: Oportunidades e perspectivas da nova revolução digital para o brasil**. In: *Seminário Internacional BNDES*. [s.n.], 2014. p. 3. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/seminario_internet_das_coisas/Gabriel_Marao.pdf>. Citado na página 2.

[4] VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems**. [S.l.]: River, 2013. Citado na página 2.

[5] ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The internet of things**. In: *A survey*. [S.l.]: Elsevier Journal, 2010. Citado na página 2.

[6] FESTO DIDADIC. **MPS: The modular production system: From module to learning factory**. Denkkendorf, 2006. Citado na página 4.

[7] MOTT, A. **O que são sistemas supervisorios**. 2012. Disponível em: <http://www.automacaoindustrial.info/o-que-sao-sistemas-supervisorios/>>. Citado na página 5.

[8] KONDRASOVAS, I. **Sistemas Supervisorios e Protocolos de Comunicação Industrial**. 2013. Disponível em: http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/kondrasovas/materiais/5_Sistemas_Super.pdf>. Citado na página 5.

[9] PAIOLA, C. E. G. **O papel do supervisorio no atual contexto tecnológico**. *InTech*, v. 132, p. 8, 2012. Citado na página 5.

[10] ROMANATO, A. **Entenda como funciona a JAVA virtual machine (JVM)**. 2015. Disponível em: http://www.devmedia.com.br/articles/viewcomp_forprint.asp?comp=27624>. Citado na página 5.

[11] CAELUM. **Java e Orientações a Objetos**. [S.l.], 2003. Disponível em: <http://www.caelum.com.br/apostila-java-orientacao-objetos.html>>. Citado na página 5.



Comparative Analysis of the Mechanical Properties of Matrix Based on Polyester Composites Reinforced with Particulated, Continuous and Aligned Tauari Fiber (*Couratariguiensis*)

Rilmar Pereira Gomes¹, Jandecy Cabral Leite², Roberto Tetsuo Fujiyama¹, Raimundo Valdan Pereira Lopes¹
rilmargomes@hotmail.com, jandecy.cabral@itegam.org.br, fujiyama@ufpa.br, valdanlopes@hotmail.com

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal do Pará (PPGEI-ITEC-UFPA)

²Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

ABSTRACT

The Tauari is another natural fiber researched in order to analyze the mechanical properties of polymeric composite materials manufacturing process. This paper targeted the mechanical properties evaluation of materials based on polyester composites reinforced with particulate tauari fiber of 10mm and 15mm long. The polyester composites reinforced with continuous and aligned tauari fiber also were included at the present research. The fibers used at the experiments did not pass through any kind of chemical process during the composites manufacturing process, the entire manufacturing was made manually and the mass proportion used by the fibers inside each composite were: 10,58% - 10mm particulate tauari fiber; 5,22% - 15mm particulate tauari fiber. The results of the traction tests presented that the mechanical resistance of the composite increased when the length of the fiber used was increased and the fibers had a better alignment which increased the fiber-matrix contact. The results of the traction tests were: 10mm particulate tauari fiber - 18,84MPa; 15 mm particulate tauari fiber - 19,08MPa; aligned and continuous tauari fiber - 19,20MPa. Such results were compared with another natural fiber from previous researches using the quantity and quality method and was concluded that the polymeric composites reinforced with tauari fiber or other materials using the tauari fiber can be applied at the industrial environment at many sectors.

Key words: Tauari fiber (*Couratariguiensis*); polymeric composite; mechanical resistance, traction experiment.

Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de Matrix Composites Reforzados poliéster a base de partículas añadidas con, continua y Alineados fibra Tauari (*Couratariguiensis*)

RESUMEN

El Tauari es otra fibra natural investigado con el fin de analizar las propiedades mecánicas del polímero proceso de fabricación de materiales compuestos. En este trabajo se dirige a las propiedades mecánicas de los materiales de evaluación basado en composites de poliéster reforzado con fibra de partículas tauari de 10 mm y 15 mm de largo. Los materiales compuestos de poliéster reforzado con fibra de tauari continua y alineada también se incluyeron en el presente estudio. Las fibras utilizadas en los experimentos no pasar por ningún tipo de proceso químico durante el proceso de fabricación de materiales compuestos, toda la fabricación se ha realizado de forma manual y la proporción de masa utilizado por las fibras dentro de cada compuesto fueron: 10,58% - 10 mm de fibra tauari partículas; 5,22% - 15 mm de fibra tauari partículas. Los resultados de las pruebas de tracción presentan que la resistencia mecánica del material compuesto aumentó cuando se incrementó la longitud de la fibra utilizada y las fibras tenido una mejor alineación que aumentó el contacto fibra-matriz. Los resultados de los ensayos de tracción fueron: 10 mm de fibra de partículas tauari - 18,84MPa; 15 mm de fibra tauari partículas - 19,08MPa; alineado y fibra tauari continua - 19,20MPa. Estos resultados se compararon con otra fibra natural de investigaciones anteriores que utilizan el método de cantidad y calidad, y se concluyó que los materiales compuestos poliméricos reforzados con fibra tauari u otros materiales que utilizan la fibra tauari se pueden aplicar en el entorno industrial en muchos sectores.

Palabras clave: Fibra tauari (*Couratariguiensis*), compuesto polimérico, resistencia mecánica, tracción experimento.

I. INTRODUCTION

The advances of the modern technology resulted at an indiscriminate and uncontrolled increase of the natural reserves consume, the side effects of this fact have been reflected at the climatic unbalance, the increase of the planet temperature (global warming) and other effects [1]. Concerned with the environment issues more advances in the technology stimulated the growth of the consumer market where the industries seek for new solutions to manufacture new materials to compose versatile products that can meet the sustainability and the economic growth in compliance with the present environment legislation that encourages the use of biodegradable raw materials at the industrialized products that are not aggressive to the environment [2].

This scenario pushed the researches to follow the environment concern in order to discover new environment friendly materials. These conditions were the basis of the new biodegradable materials that have been discovered lately such as the renewable sources [3], among these new discovered materials the composite materials already was created with the concept of biodegradable using the natural resources to be applied at the industrial environment to increase the number of biodegradable composite products making the production of the industries self-sustainable, reducing the operation costs by changing the raw material and increasing the degradability of the products in comparison with another synthetic materials [4]. Due the fact that the composites are materials that are obtained from the combination of others the definition of multiphase material can be applied and the properties of each phase becomes evident and the combination of each property make the composite material present improved properties in comparison to each individual phase [5]. The composite materials play an important role at the materials evolution due the fact that these materials are the starting point to develop products that combine materials with excellent mechanical and non aggressive properties to the nature in order to reduce the impact caused by the synthetic materials discarded at the environment [6]. During the materials research process, the Amazon Forest is highlighted due the fact of the high diversity of plants that hold important properties for materials manufacturing. Following this same line of research it was found the Tauari (*Couratari spp.*), a plant commonly found at the lands of Brazilian states like Pará, Amazonas, Amapá and Roraima, it is part of the *Lecythidaceae* family, known as toari, imbirema [7]. The tauari fibers have been used at the Amazon region for rope manufacturing and other materials.

At each study performed to find new composite materials is possible to observe the evolution of the mechanical properties of the biodegradable materials [8], for example the composite materials manufactured using polyester matrix and reinforced with curauá fibers with the respective lengths of 5mm, 10mm and 20mm manually processed without chemical process application presented the following results at the traction resistance tests respectively of 13.60MPa, 17.70Mpa and 14.50MPa, in comparison with the chemical processed curauá fibers the traction resistance results of the 10mm and 20mm presented respectively the values of 19.30MPa and 22.20MPa [9]. The composites composed by epoxy matrix and reinforced

with banana fibers of 15mm presented the result of 16.12MPa at the traction resistance test [10].

The main objective of this paper is to present the mechanical properties of the composites based on polyester matrix and reinforced with 10mm and 15mm length of tauari fibers and compare the results with another polymeric composites reinforced with natural fibers.

II. MATERIALS & METHODS - EXPERIMENT

Polyester Resin: It was used a pre-accelerated resin of *cobalt naphthalene* (CaNap), using a mass proportion of 0.15%. This insaturated *terephthalic* polyester is produced by the Royal polymeric industry under the commercial name of Denverpoly 754. The curing agent applied was the MEK peroxide (Butonax M-50), under the proportion of 0.33% (v/v) [11].

The Tauari Fiber: The Tauari fiber was manually extracted from an adult tree near Itacoatiara county away from Manaus (Amazonas state capital) 267Km. The basic tools used to perform the extraction were sickles and machetes to remove part of the tree peel. The removal process of the fiber was done by submerging the peels of the wood in a container with water during 12 hrs to enable the manual shredding of the fiber. Considering that the extraction process was made manually using scissor and stiletto as tools we observed that the fiber acquirement is very simple and low cost, this process was conducted by the same way as the local residents do to acquire the tauari fiber. The fibers were cut in 10mm length and 15mm length and were separated. The entire procedure of extraction and the forming of the fibers were performed in the Composite Materials Laboratory of the Mechanical Engineering College from the Federal University of Pará – UFPA.

Tauari Fibers Characterization: The Tauari fibers characterization were based at the traction resistance, extension, length, diameter, specific mass, moisture content, superficial aspects and the fiber microstructure. The microstructure inspection was performed using a Scanning Electron Microscope – SEM where the superficial aspects and the cross section of the samples could be analyzed. It is worth to highlight that during the characterization the tauari fibers were classified like *in natura*. The average diameter of the fibers were performed using an optical microscope where two measures of the longitudinal way could be taken from 20 samples of the tauari fibers [1]. The lengths of the particulated composites follow the measure of 10mm and 15mm. The specific mass of each fiber length followed the determination of the respective proportions: 10.58% - 10mm; 5.22% - 15mm.

The figure 1 presents the images of the longitudinal and frontal angle of the fiber taken from SEM where the microcavity of the fiber surface could be observed [12]. To determine the humidity/absorption percentage the fibers of tauari were exposed to a drying process at an electric oven during 15 minutes. The oven model used was LayrMidy Inox and the determination of the humidity percentage was performed using 2 fiber samples with a total mass of 34.50 grams. To determine the humidity percentage the initial weight of the fibers was measured and the samples were dried until reach the constant mass value.

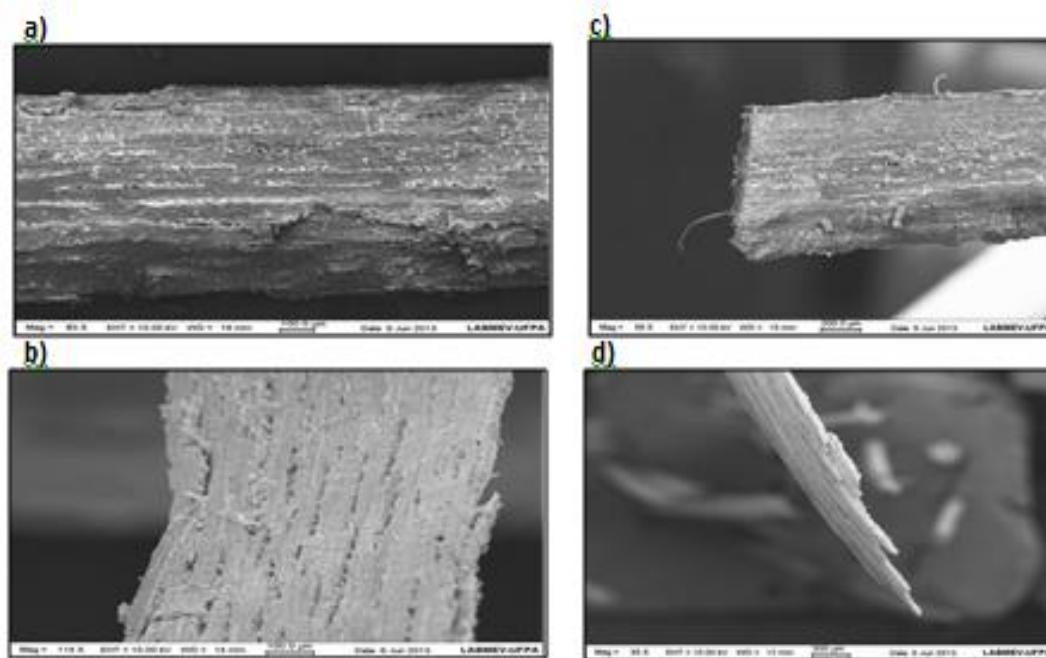


Figure 1. Images taken from SEM of the *in natura* tauari fiber: a) longitudinal angle, b) superficial microcavity of the fiber, c) and d) frontal angle of the fiber.

Production of the test samples: A manual and low cost molding process was used to execute the composite test samples production where a demolding and pressureless process using silicone molds followed the steps: mass proportion determination of the fiber, molding of the test samples, curing and grinding [13].

The specific mass value of the tauari fibers was measured according to the fiber length using a Marte model precision balance from Marte Balança e Aparelhos de Precisão LTDA [14]. The mass fractions of the 10mm length and 15mm length tauari fibers were distributed inside the composite according to the mold volume capacity.

The composites were manufactured using a pre-optimized polyester matrix where the 10mm and 15mm particulated tauari fibers were homogeneously mixed with a previously weighted resin quantity together with the curing agent inside a Becker during 5 minutes and placed at the silicone molds in an ambient temperature [14][15], the same process was performed to manufacture the composites reinforced with continuous and aligned fibers.

As mentioned in [14] the traction molds were filled with 10mm length and 15mm length reinforcing tauari fibers until reach the volume capacity of the molds using a manual process without mechanical vibration or pressure application and after the molding process each reinforcement was weighted to acquire the mass value and converted to mass fraction to be used as reference at the pressureless composites manufacturing process. These data were used to establish a reference proportion of the composites reinforced with the tauari fibers.

After the determination of the mass fraction reference value the test samples were manufactured and used at the liquid state evaluation of the mixture workability where the wettability and the moldability of the polyester matrix over the reinforcing fibers were observed. Using this method was possible to determine the

mass fraction of the 10mm and 15mm tauari fiber previously made. The mass fraction determined for the 10mm and 15mm tauari fiber were respectively 10.58% and 5.22%. Each manufactured test sample was mixed with the curing agent in a proportion of 0.33% (v/v) following the recommendations of [16].

Traction testing of the composite material: Where used silicone molds to manufacture the test samples which were used 24 samples of composite materials based on polyester matrix reinforced with shorten tauari fibers. The traction tests were performed at the UFPA laboratory using the model KRATOS

MKCA-KE an universal traction machine from KRATOS COF Equipamentos Indústrias with a data acquisition system and a 5KN load cell. The test samples were fixed and locked at the lower and upper case of the machine holder in an average contact point of 60mm of the sample body. It was applied a traction velocity of 5mm/min. The test procedure followed the recommendations of [16].

III. RESULTS

Mechanical characterization of the composite materials: The entire mechanical characterization process of the tauari fiber composite was developed following the ASTM D 638 standard [16].

Composite materials reinforced with 10mm tauari fiber: The Mechanical properties of the composite material based on polyester matrix and reinforced with 10mm tauari fibers acquired from the traction tests can be found at the table 1 which displays a higher traction resistance limit.

Table 1. Mechanical properties of the composite material based on polyester matrix and reinforced with 10mm tauari fibers traction test results.

Corpos de Prova	Maximum Force (kN)	Maximum Strain (MPa)	Deformação (mm/mm)
Mean	0,91	18,84	0,04
Std Deviation	0,11	1,63	0,01

The chart in the figure 2 shows that typical tension versus strain behavior of the composite material based on polyester matrix and reinforced with 10mm tauari fibers.

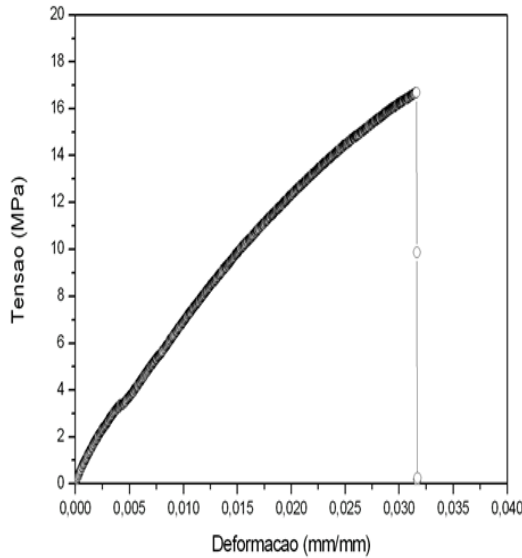


Figure 2. Typical behavior of the composite material based on polyester matrix and reinforced with 10mm length tauari fibers.

Composite materials reinforced with 15mm tauari fiber: The table 2 shows the results of the resistance test to mechanical traction of the composite reinforced with 15mm tauari fiber.

Table 2. Mechanical properties of the composite material based on polyester matrix and reinforced with 15mm tauari fibers traction test results.

Test Sample	Maximum Force (kN)	Maximum Strain (MPa)	Deformation (mm/mm)
Mean	1,07	19,08	0,03
Std Deviation	0,09	2,65	0,01

The tests were performed using 7 test samples of the composite materials and analyzing the results it is possible to identify an increase of the traction resistance limit in 0.24MPa in comparison with the composite material reinforced with 10mm tauari fiber.

The chart in the figure 3 shows the tension versus strain typical behavior of the composite material based on polyester matrix and reinforced with 15mm length tauari fibers.

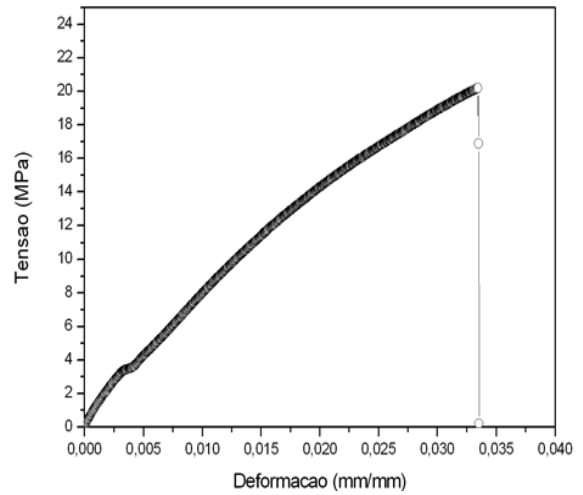


Figura 3. Force (N) versus extension (mm) of the composite materials reinforced with 15mm tauari fibers

Composite materials reinforced with continuous and aligned tauari fiber: The table 3 presents the results of the resistance test to mechanical traction of the composite reinforced with continuous and aligned tauari fiber

Table 3. Mechanical properties of the composite material based on polyester matrix and reinforced with continuous and aligned tauari fibers traction test results.

Test Sample	Maximum Force (kN)	Maximum Strain (MPa)	Deformation (mm/mm)
Mean	0,41	19,20	0,02
Std Deviation	0,09	3,21	0,00

The tests were performed using 13 test sample of the composite materials reinforced with continuous and aligned tauari fibers. The chart presented at the figure 4 represents the typical tension versus strain behavior of the manufactured composite.

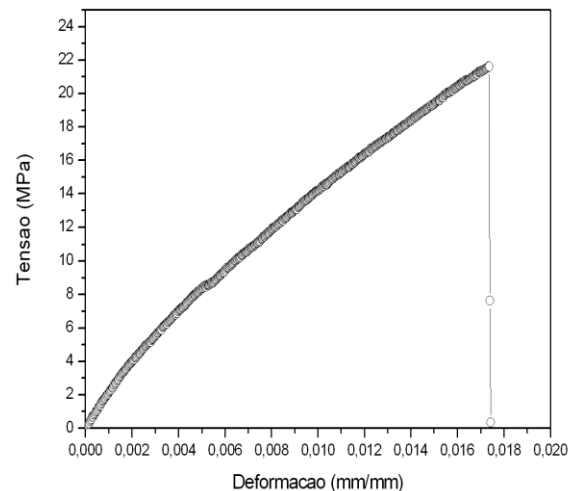


Figure 4. Force (N) versus extension (mm) of the composite materials reinforced with continuous and aligned tauari fibers.

IV. RESULTS DISCUSSION

During a comparative analysis of the acquired data of the tables 1,2 and 3 is possible to observe that the mechanical resistance limit of the composite materials based on polyester matrix and reinforced with 15mm tauari fiber increased 0.24MPa in comparison with the composite materials based on polyester matrix and reinforced with 10mm tauari fiber. When the results of the composite materials based on polyester matrix and reinforced with continuous and aligned tauari fibers were compared with the previous composites it was

possible to identify that the mechanical resistance limit increased 0.12MPa in comparison with 15mm tauari composites and 0.36 in comparison with 10mm tauari composites. Observing such results it is possible to confirm what was stated for [3] that longer fiber lengths increase the superficial contact matrix-fiber that increase the mechanical resistance of the composites. The table 4 presents the entire results acquired during the traction tests of the test samples developed during this research.

Table 4. Mechanical properties of the composite materials based on polyester matrix reinforced with 10mm, 15mm, continuous and aligned tauari fibers.

#CP	Force (kN)	Displacem (mm)	Max Tension (MPa)	Elasticity Module (GPa)	Deformation (mm/mm)
10,0 mm length Fiber					
Mean	0,91	2,36	18,84	0,48	0,04
Std dev.	0,11	0,36	1,63	0,05	0,01
15,0 mm length Fiber					
Mean	1,07	1,95	19,08	0,60	0,03
Std dev.	0,09	0,39	2,65	0,06	0,01
Continuous & Aligned Fiber					
Mean	0,41	1,46	19,20	1,24	0,02
Std dev.	0,09	0,30	3,21	0,16	0,00

The variation of the mechanical resistance of the composite reinforced with particulated 10mm,

15mm and the continuous and aligned tauari fibers can be observed at chart of the figure 5.

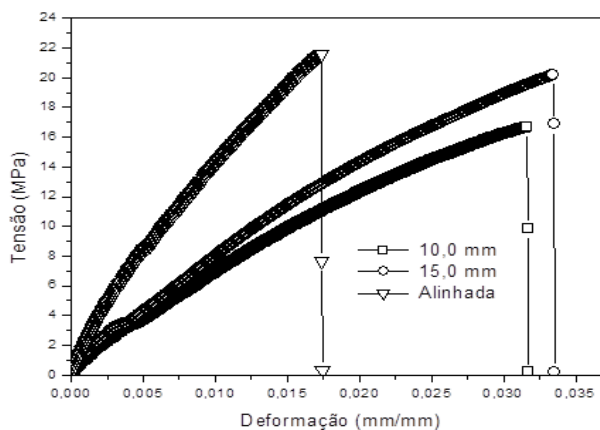


Figure 5. Tension versus strain chart of the composite reinforced with particulated 10mm, 15mm and the continuous and aligned tauari fibers.

Among many researches using natural fibers to manufacture composite materials it was not found any reference to the tauari fibers in the state of the art. However many other fibers like sisal, bamboo, banana, carauá and etc already have been used during scientific research.

The present research results were compared with the results of previous studies using another types of natural fibers. The first research had the objective to develop the manufacturing process of hybrid composites using sisal fiber mixed with wood

sediments but in fact the research led to the development of 2 different composites. The first composite was based on polyester matrix reinforced with sisal fibers and the second composite was also based on polyester matrix but reinforced with maçaranduba sediment. The composite materials reinforced with sisal fibers were manufactured following the respective fiber length of 5mm, 10mm and 15mm with the respective mass proportion of 5.41%, 4.87% and 3.90% and presented the following traction resistance limits of 15.27MPa, 23.48MPa and

26.16MPa. The mass proportion of the composite materials reinforced with maçaranduba sediment was 9.24% and achieved the traction resistance of 14.88MPa [15]. Making the traction resistance limit comparison from these composite materials with the composite material reinforced with tauari fiber was possible to observe that following the mass proportion of 5.22% the tauari fiber presented a positive difference of 4.2MPa in comparison with the composite reinforced with maçaranduba sediment and the composite material reinforced with sisal presented a positive difference of 7.08MPa over the 15mm tauari fiber reinforced composite.

Mechanical tests were performed using bio-composites based on Polybutylene Adipate-co-Terephthalate – PBAT reinforced with chemical processed and *in natura* munguba fibers resulted at an increased elasticity module of the composite ($109,0 \pm 7,0$ MPa) due 20% of concentration increment of the fiber. The chemical processed fibers increased the chemical interaction of the composite components but did not improved the elasticity module or affected the traction resistance ($10,0 \pm 7,0$ MPa) neither the rupture strain ($392 \pm 40,0$) [17].

Another research was performed to evaluate the performance of the composite materials based on epoxy matrix using as reinforcement 15m length of banana and sisal fibers resulted in 16.21MPa of traction resistance limit for the banana fiber and in 21.20MPa of traction resistance limit for the sisal fiber [10]. Comparing these values of traction resistance with the 15mm length tauari fibers it is possible to observe that the tauari fiber increased the traction resistance in 2.96MPa unlike the sisal reinforced composite which presented a positive difference of 2.12MPa over the 15mm length tauari fiber.

The research conducted by [18] analyzed the composite materials based on polyurethane and reinforced with curauá fibers under the mass

proportions of 5%, 10% and 20%. The tests of mechanical resistance of the composites reinforced with the mass proportion of 5% of curauá fibers resulted in 14.7Mpa and in comparison with the composites reinforced with tauari fibers of 5.22% of mass proportion the mechanical resistance limit achieved was 19.08MPa resulting in a positive difference of the mechanical resistance of the tauari fiber in 4.38MPa.

This research was compared also with another study of biodegradable polyester reinforced with *in natura* curauá fibers. The fibers length analyzed respectively were 5mm, 10mm and 20mm which resulted in the following mechanical resistance limit of 13.60MPa, 17.70MPa and 14.50MPa and the chemical processed curauá fibers observed from the mechanical tests to evaluate the traction resistance limits were 14.80MPa, 19.30MPa and 22.20MPa [9].

Observing such results is possible to analyze that the chemical processed curauá fibers improved the traction resistance limit of the composite material in comparison with the *in natura* processed fiber which resulted in an increased traction resistance of 1.20MPa for the 5mm length curauá fibers, 1.6MPa for the 10mm length composite and 7.7MPa of mechanical resistance for the 15mm length composites.

Comparing the curauá traction resistance results with the tauari traction resistance results is possible to observe that the *in natura* processed fibers presented good results because the traction resistance of the composites reinforced with 10mm length tauari fibers presented a positive difference 1.14MPa in comparison with the mechanical resistance of the composites reinforced with 10mm length curauá fibers and the mechanical resistance results of the composites reinforced with 15mm length tauari fibers presented a positive difference of 4.58MPa in comparison with the mechanical resistance results of the composites with 20mm length curauá fibers.

The table 5 displays the summary of the mechanical results comparison of the reinforced composites using tauari fibers with the previous researches results of composite materials reinforced with natural fibers.

Authors	Treatment	Matrix	Reinforcement	Resistance Limit (MPa)	Difference in MPa (%)
Rodrigues (2008)	<i>In natura</i>	Polyester	Sisal	26,16	+27,06
Rodrigues (2008)	<i>In natura</i>	Polyester	Maçaranduba Wood	14,88	-28,22
Venkateshwaran e Elayaperumal (2011)	<i>In natura</i>	Epoxy	Banana	16,12	-18,33
Harnnecker <i>et al</i> (2012)	<i>In natura</i>	Biodegradable Polyester	Curauá	17,70	-7,79
Harnnecker <i>et al</i> (2012)	Chemical	Biodegradable Polyester	Curauá	19,30	+1,13
Mothé e Araújo (2004)	Chemical	Polyurethane	Curauá	14,7	-29,79
Present Research	<i>In natura</i>	Polyester	Tauari	19,08	-

V. CONCLUSION

The manufacturing process of the composite materials reinforced with tauari fiber proceeded using a very simple processing system to obtain the tauari fiber. The manual extraction method applied was the same used by the inhabitants of the area and resulted in a low cost process and preserved the natural mechanical properties of the fiber. The test results of the traction resistance limits presented a value of 19.20MPa which is considered a good performance of the composite material reinforced with continuous and aligned tauari fibers.

The same experiment was performed using particulated tauari fiber and the results were 19.08MPa of traction resistance for the composite material reinforced with 15mm length tauari fiber and 18.84MPa of traction resistance for the composite material reinforced with 10mm length. Comparing the results of the mechanical resistance of the composites reinforced with tauari fibers with other polymeric composites reinforced with natural fiber is possible to declare that the tauari fiber presented good results and the mechanical resistance of this composite material presented improved traction resistance values among the previous researched composites reinforced with *in natura* processed fibers. Considering the experiments results is possible to state that the natural tauari fiber can be used at the manufacturing process as reinforcement of the industrial composite materials and could be applied at other segments due the mechanical properties confirmed during the laboratory tests. The mechanical properties of the natural fiber of tauari can become a good option to manufacture environment-friendly composites of low cost due the simple extraction process.

VI. ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the Federal University of Pará (UFPA) in partnership with the Galileo Technology Institute (ITEGAM).

VII. REFERENCES

- [1] Marinelli A. L. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com fibras vegetais biodegradáveis: Uma contribuição para a Sustentabilidade da Amazônia.** Polímeros: Ciências e Tecnologia, vol 18, n 2, p. 92-99, 2008.
- [2] Faruk, O. *et al.* **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 – 2010.** Progress in Polymer Science.37, p.1552–1596 (2012).
- [3] ASM - AMERICAN SOCIETY FOR METALS - handbook: **Composites.** v. 21. Ohio: The Materials Information Company, 2001.
- [4] Oliveira T. A. **Avaliação do uso de agente compatibilizante no comportamento mecânico dos compósitos PEBD reforçados com fibras de Coco Verde.** Cadernos UniFOA, edição n 14, dezembro/2010.
- [5] Callister Jr., William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 7 Ed. Rio de Janeiro, LTC, 2008.

- [6] Lima, E. G. **Revisão da aplicação de produtos biopolímeros obtidos pela reciclagem de plásticos em design.** Revista Iberoamericana de polímeros. (2009).
- [7] Garcia, F. M. **Rendimento no Desdobro de Toras de Itaúba (*Mezillaurusitauba*) e Tauari (*Couratariguianensis*) segunda a classificação da qualidade da tora.** Floresta e Ambiente. 2012 out./dez.;19(4):468-474.
- [8] Lemos A. L. **Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos à Base de Poli(Ácido Láctico) e Fibras Naturais.** Polímeros, vol 24, n. 2, p. 190-197, 2014.
- [9] Harnnecker, F. *et al.* **Biodegradable Polyester-Based Blend Reinforced with Curauá Fiber: Thermal, Mechanical and Biodegradation Behaviour.** Journal of Polymers and the Environment.20, p. 237-244(2012).
- [10] Venkateshwaran, N.; Elayaperumal, A. **Modeling and evaluation of tensile properties of randomly oriented banana/epoxy composite.** Journal of Reinforced Plastics and Composite. 30, p.1957-1967 (2011).
- [11] Saraiva M. P. **Laminado de Madeira Reforçado com Fibras Naturais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará. Belém/PA, 2013.
- [12] Leão M. A. **Fibras de Licuri: Um Reforço Alternativo de Compósitos Ploméricos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Natal/RN, 2008.
- [13] Pereira, C. B. **Material compósito de poliéster e Cipo-Títica (Heteropsisjenmani).** Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, 2013.
- [14] Costa, D. S. **Caracterização de materiais compósitos de matriz poliéster e fibras de bambu, sisal e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- [15] Rodrigues J. S. **Comportamento Mecânico de Material Compósito de Matriz Poliéster Reforçado por Sistema Híbrido Fibras Naturais e Resíduos da Indústria de Madeira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará. Belém/Pa, 2008.
- [16] ASTM - **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric).** ASTM D 638, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, US (1989).
- [17] Pinheiro, I. F. **Biocompósitos poliméricos de poli (butileno adipato-co-tereftalato) - pbat e fibra natural de munguba, nativa da Amazônia (pseudobombaxmunguba).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 2012.
- [18] Mothé, C. G.; Araújo, C. R. **Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá.** Polímeros: Ciência e Tecnologia. v. 14, n. 4, p.274-278 (2004).



Discussion of problems in transport logistics company supermix concrete s/a

Alfredo Nogueira Mariano¹, Emanuel Corrêa Campos¹, Sandro Oliveira Nunes¹
Alfredonogueira.mariano@hotmail.com, Emanuel.campos@hotmail.com, Adm-sandro@hotmail.com

^{1,2}Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil. CEP: 69005-290.
Fone: +55 (92) 3212 5000

ABSTRACT

This study presents causes that directly interfere with the uptake and transport logistics company revenue Supermix Concrete S/A, from raw material collection, production and distribution of the product through the urban road network process. The aim of the paper is to identify the problems in transportation, from manufacturing the product until its delivery to the customer, measuring losses and their impacts. The methods and techniques used were: collecting data from interviews with employee's script, checklist of direct observation and documentary research. After the tabulation and analysis of these data, find the degree of traffic congestion of transportation logistics services inside and outside the company. Dare to result from calculations of production management and operations were formulated charts for better viewing of the production loss and consequently the loss of profit. The results showed that the research obtain their goals achieved, because losses were measured, identified problems arising from and around the company.

Key-words: Distribution Logistics, Transport, Logistic Problems.

Discussão de problemas de logística de transporte na empresa Supermix Concreto S/A

RESUMO

No estudo das causas que interferem diretamente com as empresas de transporte e logística no volume de negócios, Supermix Concreto S/A, desde a recolha de matérias-primas, produção e distribuição do produto são apresentados através do processo da rede rodoviária Urban. O objetivo deste é para identificar os problemas no transporte, desde a fabricação até a entrega ao cliente, a medição das perdas e seus impactos. Os métodos e técnicas utilizados foram: a recolha de informações a partir de entrevistas com funcionários, lista de verificação de observação direta e pesquisa documental. Após tabulação e análise destes dados, foi determinado o grau de congestionamento de serviços de logística de transporte dentro e fora da empresa. Através dos resultados da avaliação da gestão de produção e operações para melhores gráficos de visualização de produção perdida e os lucros daí perdidos foram feitas. Os resultados mostraram que a investigação atingiu os seus objetivos.

Palavras-chave: Logística de Distribuição, Transporte, problemas logísticos.

I. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa dispõe de causas que evidenciam problemas no transporte logístico da empresa Supermix Concreto S/A, problemas esses que trazem impactos financeiros significativos à organização, se minimizados ou sanados, pode-se proporcionar melhores resultados em todas as áreas envolvidas. O tema abrange diretamente a relação entre a logística de seu transporte com seu custo benefício. Sabe-se que um planejamento logístico mal elaborado pode pôr em risco as metas estabelecidas e a própria sobrevivência da organização. A logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informações que colocam os produtos em movimento, com o

propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável [1].

A pesquisa justifica-se, pela necessidade de novos processos, a fim de acompanhar o ritmo de mercado da construção civil, a ponto de oferecer a seus clientes potenciais, vantagens que a torne mais competitiva. Essa vantagem contribuirá ao fortalecimento de sua marca, e seu produto, que nos dias atuais é assunto de grande relevância, já que sua permanência nesse mercado é baseada em estratégias e serem totalmente aptas a essas mudanças. Através dessa inovação, novos recursos serão utilizados em benefício de todos, clientes, fornecedores, funcionários, acionistas e a sociedade em geral, com objetivos comuns. A logística é o processo de gerenciar estrategicamente aquisição, movimentação e armazenagem de materiais e produtos acabados bem como os relativos fluxos de modo a maximizar as lucratividades presente e futura através

da redução dos custos [2]. A problemática se dá a partir do processo de armazenamento de insumos junto à linha de produção, ambos realizados ao mesmo tempo envolvendo abastecimento de linha, de almoxarifado, entrada e saída de betoneiras, armazenagem e retirada de insumos e uma única via de acesso.

Segundo [3], “a formulação do problema prende-se ao tema proposto: ela esclarece a dificuldade específica com a qual se defronta e que se pretende resolver por intermédio da pesquisa”. Diante dessas vertentes, o que fazer para aperfeiçoar o processo de produção e transporte logístico da empresa Supermix Concreto S/A?

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. A EVOLUÇÃO DA LOGÍSTICA

Embora a logística fosse inicialmente aplicada a operações militares, o seu impacto mais significativo está sendo sentido através das funções de produção, distribuição e consumo [4]. Carências logísticas sempre existiram, somente após a Segunda Guerra é que começaram os primeiros estudos sobre o assunto. A primeira citação de logística, utilizada no sentido de apoio à guerra, deveu-se a [5], que escreveu: “Logística é a ação que conduz à preparação e à sustentação de campanhas”.

A troca de bens é uma característica constante da atividade econômica humana. Era uma vez fundamental para a ascensão da economia mercantil na Europa medieval e tornou-se uma atividade de grande escala durante a revolução industrial [6]. Para [7] nos trouxe os princípios da logística moderna, o criador conceitual do fordismo. Embora suas ideias estivessem relacionadas com a melhoria contínua da eficiência dentro da fábrica através da organização de tarefas do trabalhador ao longo de uma linha de montagem, as dimensões temporais introduzidas, como a sequência, duração, horário, ritmo, tempo de sincronização e perspectiva é de alta importância para a gestão logística.

II.2. LOGÍSTICA NOS DIAS ATUAIS

A organização e a tecnologia de distribuição moderna são incorporadas em um quadro macro e microeconômico de mudanças. Ele pode ser mais ou menos caracterizado pelos termos de flexibilização e globalização. Flexibilização representa, muito além da interpretação restritiva da “especialização flexível”, um modo altamente diferenciada, fortemente pelo mercado e orientada para o cliente de criação de valor agregado. Produção e distribuição contemporânea já não estão sujeita a atividade de uma única empresa, mas cada vez mais praticado em redes de fornecedores e subcontratados [8][9][10].

Logística é o amplo conjunto de atividades dedicadas à transformação e circulação de bens, tais como o fornecimento de material de produção, a função de distribuição de núcleo e

de transporte, comércio por grosso e a retalho e também a prestação de domicílios com bens de consumo, bem como as informações relacionadas flui [11]. A logística se preocupa com o modo pelo qual a administração pode prover melhor rentabilidade nos serviços de distribuição [...], através do desenvolvimento de conceitos e métodos de planejamento, organização e controle efetivo para as atividades de movimentação e armazenagem, visando facilitar o fluxo de produtos [12]. Por ser uma área que envolve operações complexas e devido a sua particularidade geográfica característica, seu processo está sempre se renovando e a “Implementação das melhores práticas logísticas tornou-se uma das áreas mais desafiadoras e interessantes da administração nos setores privado e público” [13].

II.3. DEFINIÇÕES DO ASSUNTO

Pode-se conceituar logística como sendo a soma de quatro atividades: a de aquisição de matéria-prima, movimentação/locomoção, armazenagem e entrega de produto final. Para que todas essas atividades funcionem, é preciso que as atividades de planejamento logístico, querem sejam de materiais ou de processos. A palavra Logística, conforme o Dicionário Aurélio, tem como base o Francês *Logistique* e tem como uma de suas definições: Conforme [14].

A parte da arte da guerra que trata do planejamento e da realização de: projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenagem, transporte, distribuição, reparação, manutenção e evacuação de material para fins operativos ou administrativos. De acordo com o Conselho Profissional da Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística é a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, [...] e controla o fluxo eficiente e eficaz [...] de mercadorias, serviços e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes [15].

Um dos maiores desafios que são enfrentados pelos administradores na atualidade são os custos logísticos, onde produtos e serviços devem ter qualidade e com custos competitivos. De acordo com [1], “os custos afetam o nível de serviço, uma vez que, custos logísticos tendem a aumentar com taxas crescentes à medida que nível de serviço é empurrado para níveis mais altos”. Empresas que não se adequaram aos padrões de custos do seu segmento ou não implantaram controles de qualidade adequados “difícilmente conseguirão atuar de forma integrada e com sucesso na cadeia de suprimento otimizada” [16].

O planejamento estratégico logístico pode ser um dos caminhos para se atingir estes objetivos. O aumento da competitividade, clientes mais exigentes fazem com que as empresas sejam mais criativas, inovadoras e se diferenciem de seus concorrentes para que possam rentabilizar mais lucros. Muitas empresas estão buscando a excelência em logística para vencer estes desafios.

conhecimento das atividades pertinentes da empresa e também a todos os seus setores bem como as áreas que precisam de melhorias. A definição do escopo desta pesquisa, que se limitou ao processamento das perdas recorrentes de problemas no *layout* da empresa que acarreta na diminuição da capacidade produtiva e o tempo de entrega do produto ao cliente.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso realizado na empresa Supermix Concreto S/A possibilitou um grande e detalhado

De acordo com Yin, uma pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto na vida real, especialmente quando as fronteiras entre contexto e fenômeno não estão explicitamente evidentes. A pesquisa do estudo de caso beneficia-se então de um desenvolvimento de proposições teóricas anteriores para guiar a coleta e análise dos dados [17].

A primeira etapa foi encontrar o grau de congestionamento do tráfego dos serviços de transporte logístico dentro e fora da empresa, o principal objetivo desta etapa do estudo é a localização dos gargalos com previsões de fluxo de tráfego em dias normais e anormais, nesta etapa foram realizadas a coleta de dados a partir de entrevistas com colaboradores, *checklist* de observação direta, pesquisa documental. A entrevista é um encontro entre duas pessoas afim de que uma delas obtenha informações a respeito de determinado assunto, mediante uma conversação de natureza profissional. É um procedimento utilizado na investigação social para a coleta de dados ou para ajudar no diagnóstico ou no tratamento de um problema social [3].

De acordo com [18], “na observação direta o pesquisador observa os fatos de maneira espontânea e atua como espectador”. Segundo [19], a observação direta “[...] utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em ver e ouvir, mas também examinar fatos ou fenômenos que se deseja estudar”.

A pesquisa documental, devido a suas características, pode chegar a ser confundida com a pesquisa bibliográfica, a principal diferença entre esses tipos de pesquisa a natureza das fontes de ambas as pesquisas.

A bibliográfica utiliza-se principalmente das contribuições de vários autores sobre determinada temática de estudo, já a documental baseia-se em materiais que ainda não receberam um tratamento analítico ou que podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa [3].

A coleta e análise dos dados se referiram à distância entre a indústria e o cliente (em km); o tempo de saída do caminhão do interior da empresa; o tempo do trajeto da empresa ao cliente (obra). Seguindo a análise e interpretação de dados que serão trabalhados para transformação dos mesmos em informações qualitativas e quantitativas relevantes para a pesquisa.

IV. APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

IV.1. PERFIL DA EMPRESA

A indústria de concreto usinado onde a pesquisa foi realizada se localiza na cidade de Manaus e fabrica seu produto de acordo com a necessidade dos clientes. Inserida num espaço físico de 21.000 m², onde estão localizados os departamentos, administração, produção e circulação das máquinas e veículos que ocupam o maior espaço. Essa forma de circulação interna torna inviável parte do processo produtivo, fazendo com que surjam perdas significativas onerando os custos e consequentemente diminuindo a receita da organização.

A empresa Supermix S/A, na realização de suas tarefas diárias, vive esses momentos em seu processo produtivo, seja no abastecimento de insumos, ou na entrega de seu produto “concreto usinado”.

Congestionamentos se formam dentro da organização. Caminhões se enfileiram em torno de uma única via de mão dupla, dividindo o espaço disponível com um trator, máquina usada para o abastecimento da linha de produção, as betoneiras carregadas de concreto, ou vazias aptas para um novo abastecimento, carros de clientes, fornecedores, funcionários e pedestres que trabalham e circulam em torno de toda a área.

O tema deste artigo é a logística, que pode ser definida de várias maneiras por diferentes estudiosos sobre o assunto, segundo [20], apresenta um conceito bastante abrangente, na qual é considerada como um processo de gerenciamento estratégico para a aquisição, a movimentação e a armazenagem de insumos, componentes e produtos acabados, incluindo os fluxos de informações correlatas. A intenção de identificar as deficiências quanto ao *layout* se fundamenta no argumento de [20], que se refere à infraestrutura física é responsável pelo inter-relacionamento dos interesses de uma organização e da comunidade, pois permite a elevação dos níveis de eficiência organizacional e oportuniza o atendimento de mercados mais amplos.

A problemática dar-se a partir do diagnóstico organizacional aplicado à empresa, no qual se pode notar a maior incidência de pontos fracos e pontos a melhorar na área de meio físico, ou seja, no *layout* da empresa.

IV.2. APRESENTAÇÃO DOS DADOS DA ORGANIZAÇÃO

Por meio de pesquisa de campo foram aplicadas técnicas de coleta de dados, foi feito um *checklist* de observação direta no qual foi possível analisar e tabular os dados coletados de forma qualitativa e quantitativa, após esse processo se deu a formulação de gráficos conforme figura 1, no qual observamos a estrutura e adequação dos setores, das vias de movimentação e das instalações da empresa pesquisada.

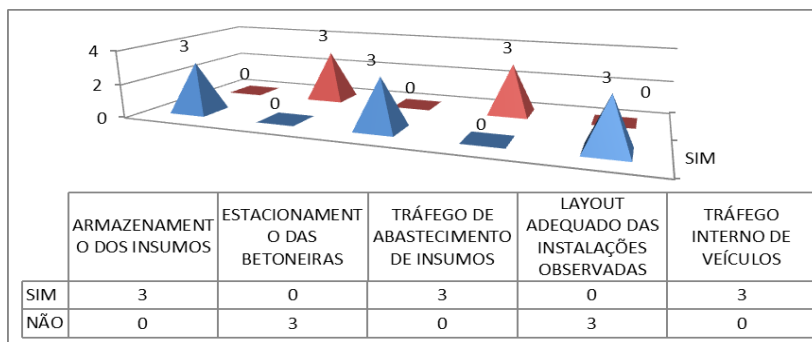


Figura 1 - Checklist.

Como podemos observar na figura, no setor de armazenamento de insumos obtivemos três votos sim o que comprova a sua adequação perante a observação direta dos pesquisadores, no item estacionamento das betoneiras temos três votos não, o que mostra a inadequação, pois os mesmos não existem, no item tráfego de abastecimento de insumos temos três votos sim o que nos mostra a verificação de

constante movimentação na entrada de insumos na empresa, no item *layout* temos três votos de não adequação que implica em congestionamentos interno de máquinas e caminhões gerando perda na produção. No item tráfego interno de veículos temos três votos sim o que nos mostra a grande movimentação no interior da organização como mostra a figura 2.

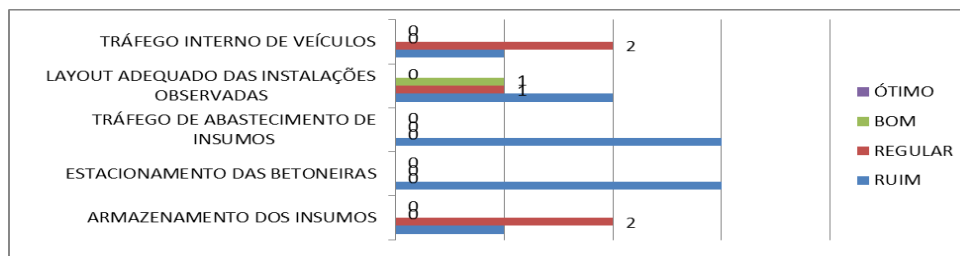


Figura 2 - Checklist.

Nesta figura temos votos de qualitativos que variam de ótimo a ruim das adequações dos pontos observados a partir do *chcklist*. O problema logístico começa dentro da empresa, pelo fato do *layout* mal dimensionado, com pouco espaço para tráfego de caminhões que chegam a todo o momento para

abastecer o setor de armazenamento de insumos e na saída de caminhões com produto final, como pode ser mostrados nas figuras 3A, 3B, 3C e 3D.



Figura 3A - Tráfego interno.



Figura 3B - Tráfego interno.



Figura 3C - Tráfego interno.



Figura 3D - Tráfego interno.

Figura 3 - Fluxo de movimentação da empresa.

O trânsito de caminhões na entrada de insumos e saída de produto final, causa uma grande perda na produção diária, como pode ser observado nas figuras acima um caminhão de entrega tem que parar no passeio para que o outro possa manobrar várias vezes até o posicionamento adequado para despejo da matéria-prima no seu local de armazenamento, observa-se também a fila que se forma para o despejo do mesmo insumo que é um dos principais na formulação do produto final “concreto usinado”, a parada e o tempo de espera no descarregamento dos insumos somados com outros agravantes como trânsito que nos seus horários de pico, esses problemas se transformam em uma grande perda de capacidade produtiva diária de um caminhão, como pode ser comprovado com um simples cálculo de capacidade de produção que é a quantidade máxima de produtos ou serviços que a empresa pode produzir em certo intervalo de tempo ou dia de trabalho. Existem vários tipos de Capacidade produtiva: Capacidade instalada pode ser traduzida como o limite da produção ou a capacidade máxima de produção de uma fábrica. É a quantidade de unidades de produto que as máquinas e equipamentos instalados são capazes de produzir; Capacidade disponível é o estudo de capacidade da produção sobre o tempo disponível do funcionamento da empresa. O cálculo é bem simples também.

A fórmula é semelhante à da capacidade instalada, porém considera o tempo que a empresa trabalha. Vamos aos cálculos: 1 caminhão carregado a cada 15 minutos, ou seja, 4 por hora, porém esta fábrica trabalha em horário comercial: ou seja, das 08h00min até as 17h00min. A solução do cálculo ficaria assim: 4 por hora \times 8 horas de atividade da empresa = 32 betoneiras cheias por dia. O mesmo cálculo foi feito exemplificando o carregamento (15 minutos), saída da empresa sem atraso, chegada até a obra que está aproximadamente 10 km de distância em (35 minutos), sem trânsito, descarga e volta para empresa, $C = 1 \text{ caminhão carregado} \times (15 \text{ min} + 35 \text{ min}/60 \text{ min}) \text{ deslocamento} \times 8 \text{ horas disponíveis}$. $C = 1 \times 1,2 \times 8 = 9,6$ caminhões carregados por dia.

Capacidade produtiva de um caminhão-betoneira sem atrasos. Também foi calculado esse mesmo percurso sofrendo interferências tanto com problemas dentro da empresa, como o atraso na saída por conta da espera no descarregamento de insumos e atraso no trânsito. Carregamento (15 minutos), saída com atraso e trânsito em horário de pico (01 h 40 min), descarga e volta para empresa. $C = 1 \text{ caminhão carregado} \times (15 \text{ min} + 100 \text{ min}/60 \text{ min}) \times 8 \text{ horas disponíveis}$. $C = 1 \times 0,52 \times 8 = 4,16$ caminhões carregados por dia. Capacidade produtiva de caminhão com atrasos. Após a execução desses cálculos foi possível mensurar esta perda e mostrá-la em forma de gráficos conforme figura 4.

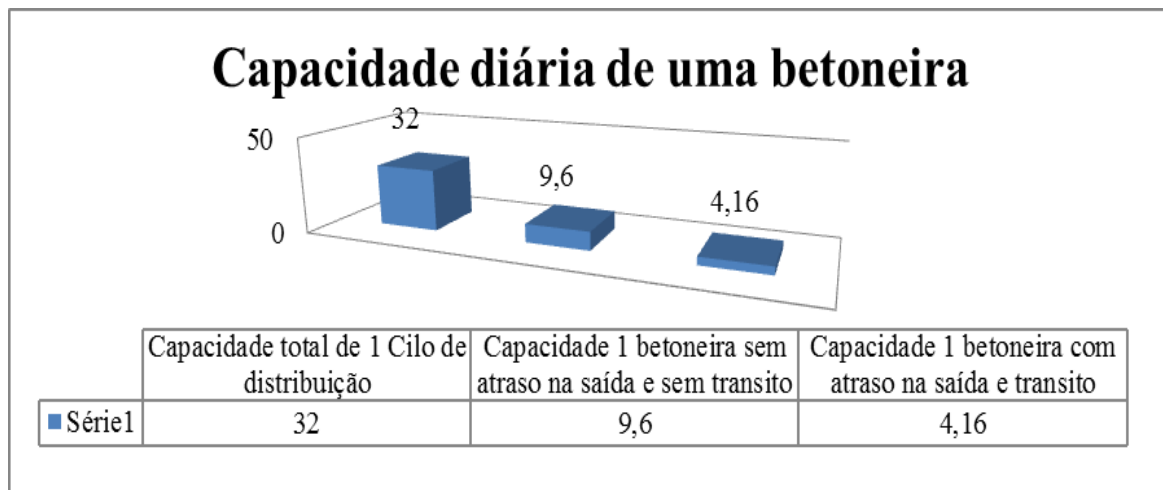


Figura 4 – Capacidade produtiva total e capacidade por caminhão com e sem atrasos.

A figura 4 mostra a capacidade total de um cilo com linha de produção, que tem a capacidade de encher 32 caminhões-betoneira por dia cerca de 256 metros cúbicos de concreto usinado. Capacidade total de uma betoneira em operação de entrega do concreto na obra sem atrasos e capacidade total de uma betoneira em operação de entrega de concretos na obra com perdas. Os inúmeros congestionamentos

gerados pelo fluxo de veículos em torno da capital refletem na inexistência das entregas, perdas de materiais, falta de espaço para carga e descarga nas vias principais e secundárias, que se misturam com a logística de transporte de outras organizações e do PIM, são motivos concomitantes, a um processo de entrega tão pouco eficaz, em consequência, a falta de satisfação garantida.

IV.3. ANÁLISE, RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PESQUISA

As decisões de arranjo físico definem como a empresa vai produzir. O *layout*, ou arranjo físico é a parte mais visível e exposta de qualquer organização. A necessidade de estudá-lo existe, sempre que se pretende a implantação de uma nova fábrica, setor ou quando se estiver promovendo a reformulação de plantas industriais já em funcionamento.

O mal dimensionamento do *layout* é um dos problemas que tem influência direta na logística de transporte e distribuição do produto final da empresa, somados a outros fatores externos, como o trânsito caótico da cidade de Manaus afetam a capacidade produtiva e conseqüentemente na rentabilidade da organização. Após a análise e cálculos com os dados chegamos aos seguintes resultados.

A capacidade produtiva total de um ciclo com linha de produção é de 32 caminhões betoneira carregados por dia com 8 horas de trabalho. Considerando valor médio do m³ do concreto usinado que custa R\$ 400,00 dependendo da sua composição, aplicação e aditivos, como o gelo que dá mais liga e resistência ao concreto. O balão de uma betoneira comporta 8 m³ de concreto. Esta quantidade expressada em valores, $8 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 400,00 = \text{R\$ } 3.200,00$ x 32 caminhões = R\$ 102.400,00 por dia, ou seja, R\$ 2.457.600,00 por mês (24 dias) e R\$ 29.491.200,00 por ano. Calculando o valor médio do m³ (R\$ 400,00) x a capacidade produtiva de um caminhão betoneira sem atrasos temos o seguinte resultado $8 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 400,00 = \text{R\$ } 3.200,00$ x 9,6 caminhões = R\$ 30.720,00 (trinta mil e setecentos e vinte reais) por dia, R\$ 737.280,00 por mês e R\$ 8.847.360,00 por ano.

O mesmo cálculo feito com os dados de um caminhão que sofreu atrasos na saída da empresa e congestionamentos nas vias da cidade, $8 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 400,00 = \text{R\$ } 3.200,00$ x 4,16 = R\$ 13.312,00 por dia, R\$ 319.488,00 por mês e R\$ 3.833.856 por ano. Pode-se observar uma perda produtiva superior a 50% na capacidade produtiva e na capacidade de entrega de um caminhão. Os objetivos da pesquisa foram alcançados, pois a partir dos dados podemos encontrar o ponto do gargalo, onde se ocasiona a perda e mensurar esta perda em valores em moeda corrente para que numa segunda etapa implantar um projeto para correção deste problema. A perda de capacidade produtiva de entrega, tendo como um dos fatores principais os problemas logísticos no interior e exterior da empresa causando estes que cooperam para a perda de lucros.

Por ser uma empresa multinacional de grande porte e ter como clientes as maiores construtoras do Brasil: Andrade Guterres, Capital Rossi, Aliança Construtora e ainda esta presente nas maiores obras na nossa capital amazonense como: Arena da Amazônia; Shopping Ponta Negra; Shopping Via Norte entre outras, com os dados obtidos pode-se dar início em uma tomada de ação para a correção do erro e corrigir esta patologia na organização por meio de uma reformulação da planta industrial, alterando as vias da empresa para que se tenha uma melhora no escoamento do produto final até o seu consumidor.

V. CONCLUSÕES

A partir dos dados levantados e dos resultados apresentados no processo de verificação do problema, pode-se concluir que os objetivos desta pesquisa foram alcançados, pois a partir dos dados coletados podemos encontrar o ponto do gargalo, onde e como se ocasiona esta perda e calculá-la em

capacidade produtiva e em valores em moeda corrente assim chegando ao resultado esperado, mostrando de forma clara com cálculos de produção e gráficos que possibilitam uma melhor visualização das perdas dentro da organização.

As conseqüências do mau dimensionamento do *layout*, que por sua vez implica nos problemas logísticos da empresa. Pode-se concluir que é necessário fazer um estudo de qual tipo de *layout* adequado para cada tipo de organização, pois o arranjo físico define como a empresa vai produzir, assim evitando problemas na produção e na movimentação interna, que pode causar outros problemas, como o exposto neste artigo os problemas logísticos. A importância deste estudo para o avanço da pesquisa de gestão organizacional é relatar o processo logístico e administração que se faz necessário nas organizações tendo como base à empresa Supermix Concretos S/A, a logística é fundamental para o sucesso das organizações.

VI. AGRADECIMENTOS:

Ao Centro Universitário do Norte (UNINORTE), pelo apoio a realização desta pesquisa, a empresa utilizada na pesquisa SUPERMIX CONCRETO S/A.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 1º ed. Porto Alegre, 1993.
- [2] CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimento: estratégias para**. A redução de custo e melhoria dos serviços. São Paulo: Pioneira, 2002.
- [3] LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6ª. Ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- [4] RODRIGUES, J. P. Rodrigues. **Globalization and the Synchronization of Transport Terminals**. Journal of Transport Geography, 7 (1999), pp. 255–261
- [5] SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002. pp. 396-413.
- [6] DORING, Rubins. **Desenvolvimento gerencial**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 1998.
- [7] BRAUDEL, F. Braudel. **As rodas de Comércio, Civilização e Capitalismo 15o18o século**. Vol. II, Harper e Row, Nova Iorque, 1982.
- [8] DICKENS e THRIFT, P Dickens, N Thrift. **A organização da produção e a produção de organização**: por que as empresas importam no estudo da industrialização geográfica Transações do Instituto de Geógrafos britânicos, 17 (1992), PP. 270-291.
- [9] GERTLER, M. **Flexibilidade revisitada**: distritos, os estados - nação, e as forças de produção Transações do Instituto de Geógrafos britânicos, 17 (1992), PP. 259-278.
- [10] HUDSON, R. Hudson. **Producing Places Guilford**, London (2001).

[11] HANDFIELD and NICHOLS, R.B Handfield, E.L Nich **Introduction to Supply Chin Management.** 1999.

[12] BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Logística Empresarial.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.

[13] BOWERSOX et al. D. Bowersox, Closs D, T Stank, **Dez mega-tendências que irão revolucionar a logística da cadeia de abastecimento.** *Jornal de Negócios de Logística*, 21 (2000), PP 1-16.

[14] FERREIRA, Aurélio Buarque De Holanda. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

[15] COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS – CSCMP. **Supply Chain - Logistics Definition.** Disponível em: <<http://cscmp.org/AboutCSCMP/Definitions/Definitions.asp>>. Acesso em: 01 abril. 2014.

[16] NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição** – 2ªed. Rio de Janeiro; Elsevier, 2007.

[17] YIN, R.K., “**Case Study Research: design and methods**”. 2ª ed. Applied social research methods series; v.5, London: SAGE Publications, 2010.

[18] GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 3a.ed. São Paulo: Atlas. 1991.158 p.

[19] GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4º Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

[20] MUSKIN, J. B. **The physical distribution infrastructure.** *Transportation Quarterly*, Westpon: Eno Foundation for Transportation, v. 37, n. 1, p. 115-133, Jan. 1983.



Ecological function according to entransy dissipation applied to the optimization of shell and tube heat exchangers

¹Dr.C. Maida Bárbara Reyes Rodríguez, ³Dr.C. Jorge Laureano Moya Rodríguez, ²Dr. C. Oscar Miguel Cruz Fonticiella, ³Dr. Jandecy Cabral Leite

maidab@uclv.edu.cu, jorgemoyar@gmail.com, ocf@uclv.edu.cu, jandecy.cabral@itegam.org.br

¹Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, UCLV, Cuba

²Centro de Estudios Energéticos y de Tecnologías Ambientales (CEETA)

³Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

ABSTRACT

The heat exchangers of tube and shell are of the most important equipment in the industry. Its thermodynamic design is based on the global coefficient of heat transference and the total pressure drop. In 2007 a new thermodynamic property settled down denominated “Entransy”, which expresses the capacity of a body to transfer heat. The loss of that capacity is denominated “Dissipation of Entransy”. In order to evaluate the ecological impact of the thermal machines, Angle-Brown created in 1991 the call ecological function. In the present work the dissipation of entransy with the ecological function was combined and a new expression was created to evaluate the environmental impact of the heat exchangers. In addition the multi-objective optimization was realized to these equipment. The ecological function and the cost were used like functions objective. In order to realize the optimization the method of the Genetic Algorithms was used.

Key words: optimization, heat exchangers, ecological function, entransy, genetic algorithms.

Función ecológica según la disipación de entransia aplicada a la optimización de intercambiadores de calor de tubo y coraza

RESUMEN

Los intercambiadores de calor de tubo y coraza son de los equipos más importantes en la industria. Su diseño termodinámico se basa en el coeficiente global de transferencia de calor y la caída de presión total. En 2007 se estableció una nueva propiedad termodinámica denominada “Entransia”, que expresa la capacidad de un cuerpo de transferir calor. A la pérdida de esa capacidad se le denomina “Disipación de Entransia”. Para evaluar el impacto ecológico de las máquinas térmicas, Angulo-Brown creó en 1991 la llamada función ecológica. En el presente trabajo se combinó la disipación de entransia con la función ecológica y se creó una nueva expresión para evaluar el impacto ambiental de los intercambiadores de calor. Se realizó además la optimización multi-objetivo de estos equipos. Fueron utilizadas como funciones objetivo la función ecológica y el costo. Para realizar la optimización se utilizó el método de los Algoritmos Genéticos.

Palabras Clave: optimización, intercambiadores de calor, función ecológica, entransia, algoritmos genéticos.

I. INTRODUCCIÓN

Ya, desde los 70's del siglo pasado, la humanidad reconoció que el uso extensivo de los recursos naturales llevaría a su agotamiento. Unido a este hecho, la contaminación ambiental devino un problema principal para la humanidad. Como una posible solución a este hecho surgió el concepto de desarrollo sustentable o sostenible; éste fue definido por [1], como “un desarrollo que asegura las necesidades del presente de la

sociedad, sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.

El uso más racional y eficaz de la energía térmica es imposible sin conocer a profundidad las leyes del intercambio de calor. Existen muchos procesos de ingeniería que requieren de la transferencia de calor. Los intercambiadores de calor (ICs) están presentes en la mayoría de los sistemas térmicos complejos de las industrias y representan el vehículo más ampliamente usado para la transferencia de calor en las aplicaciones de los procesos

industriales [2, 3]. Por muchos años, el diseño de estos equipos ha sido un gran reto para los investigadores, debido a las exigencias del ahorro energético. Dentro de ellos, los intercambiadores de calor del tipo de coraza y tubo (ICTC) constituyen la parte más importante de los equipos de transferencia de calor sin combustión en las plantas de procesos químicos y su uso es muy amplio en la producción de potencia [4,5].

Para [6] en su trabajo “Modelagem de trocadores de calor casco e tubos”, señalan que a pesar de la gran aplicabilidad de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, su diseño no presenta de acuerdo a los fluidos, a las condiciones de trabajo y a los métodos empleados la precisión deseada.

Por [7] desarrollaron en el año 2003 un programa de computación para el diseño de intercambiadores de calor donde se examinan casi todas las alternativas posibles de configuración del intercambiador de tubo y coraza. No se optimiza ningún parámetro y solamente abarca fluidos monofásicos y está concebido para uno y dos pases por el tubo.

Los Algoritmos Genéticos (GAs) se desarrollaron mayormente en los años 70s como una herramienta de optimización, aunque ya se había realizado algún trabajo previo en el campo de la computación evolutiva. En 1967, [8] introdujo las palabras “algoritmo genético” y publicó la primera aplicación de los GAs.

Inspirado en el principio de la mínima generación de entropía propuesto por [9][10;11] desarrolló el enfoque de la minimización de la generación de entropía (EGM).

No obstante el enfoque de la minimización de la generación de entropía ampliamente aplicado a la modelación y optimización de sistemas térmicos que deben su imperfección termodinámica a la transferencia de calor y masa y a las irreversibilidades debidas al flujo de fluidos muestra algunas inconsistencias y paradojas cuando se aplica al diseño de intercambiadores de calor [12]. Esto se debe a que el centro del enfoque de la minimización de la generación de entropía se basa en los procesos de conversión de calor en trabajo, mientras que en el diseño de los intercambiadores de calor lo más importante es la velocidad y la eficacia de la transferencia de calor.

Por analogía con la conducción eléctrica, en el año 2007 [13] definieron un nuevo concepto físico denominado Entransy, que describe la habilidad de un cuerpo o sistema para transferir calor. Esta cantidad, que será referida como “Entransía” ($E_n = \frac{1}{2} Q_{vR} \cdot T$), corresponde a la energía eléctrica almacenada en un capacitor (ver Tabla A-6.1 del Anexo A-6). Los análisis de transferencia de calor demuestran que la Entransía de un objeto describe su capacidad de transferencia de calor, de la misma forma que la energía eléctrica en un capacitor describe su capacidad de transferencia de carga eléctrica. La disipación de Entransía ocurre durante procesos de transferencia de calor como una medida de la irreversibilidad de la transferencia de calor.

Los conceptos de entransía y disipación de entransía fueron utilizados para desarrollar el principio de la disipación de entransía para la optimización de los procesos de transferencia de calor. Para un flujo de calor en una frontera fija, el proceso de conducción es óptimo cuando se reduce al mínimo la disipación de entransía [14]. Lo [15] hacen un resumen de los trabajos

publicados entre el 2003 y el 2010 sobre la aplicación de la entransía a los procesos de transferencia de calor.

II. FUNCIÓN ECOLÓGICA

La ecología industrial fue popularizada por Frosch y Gallopoulos [16] que se preguntaron: ¿por qué los sistemas industriales no se comportan como un ecosistema, donde los desechos de algunas especies son los recursos para otras especies? ¿Por qué no deben las salidas de una industria ser las entradas de otra, reduciendo de tal modo el uso de materias primas y de la contaminación, y ahorrando en el tratamiento de desechos? Lowe y Evans [17] observan que la ecología industrial sugiere usar el diseño de ecosistemas para dirigir el reajuste o rediseño de los sistemas industriales para alcanzar un mejor equilibrio entre el funcionamiento industrial y los apremios ecológicos y por lo tanto para determinar una trayectoria al desarrollo sostenible. Según este concepto, las tecnologías industriales modernas se deben diseñar como los ecosistemas donde:

- (i) se reducen al mínimo los flujos de entrada de masa y de energía
- (ii) el suministro de energía es proporcionado por fuentes de energía renovable.

La minimización del consumo de energía de combustibles fósiles en procesos industriales implica la *eliminación de los flujos de salida de energía inútil o de emisión de desechos* al ambiente.

El análisis y la optimización de los ciclos termodinámicos ha sido uno de los aspectos más importantes y más analizados en la teoría de la Termodinámica de tiempo finito. A partir de la potencia de salida y de la tasa de generación de entropía, se presentó por primera vez un nuevo criterio para evaluar motores térmicos en el año 1991 por [18]:

$$E' = P - T_c \cdot \sigma \quad (1)$$

Donde P es la potencia de salida del motor, T_c es la temperatura del reservorio frío y σ es la tasa de generación de entropía.

Como la función objetivo E' es semejante, en cierto sentido, al objetivo ecológico, entonces esta función también se conoce como función objetivo ecológica.

La autora del presente trabajo, atendiendo a la paradoja de la generación de entropía y a la función de Angulo-Brown, desarrolló, por analogía a esta función, una nueva función ecológica para el caso de los intercambiadores de calor: E_E' , basada en la disipación de entransía.

La nueva función desarrollada basada en la función de Angulo-Brown es la siguiente:

$$E_E' = Q - \frac{\Delta G_T}{AMTD} \quad (2)$$

donde:

AMTD es la media aritmética de la diferencia de temperatura que es la diferencia de temperatura equivalente del ICTC.

ΔG_T : La disipación total de entransía dada en kW °C

Esta expresión tiene la ventaja de tener en cuenta la disipación de entransía que se produce en el intercambiador de calor y que es la principal afectación al medio ambiente, ya que da una medida de las irreversibilidades en el proceso de transferencia de calor. De la expresión anterior se puede comprobar que para un intercambiador de calor, desde el punto de vista ecológico, es muy importante que para una determinada carga térmica, la disipación total de entransía sea mínima.

La expresión (2) se utilizó como función objetivo en la optimización de un ICTC combinándola con la minimización del costo total.

II.1 ENTRANSÍA

De acuerdo con la definición de entransía, la disipación de entransía causada por la conducción de calor en el intercambiador de calor se puede expresar como sigue [19]:

$$G_{\Delta T} = -\int_i^o (\dot{m}c_p T dT)_{h,c} = \frac{1}{2}(\dot{m}c_p)_h (T_{hi}^2 - T_{ho}^2) + \frac{1}{2}(\dot{m}c_p)_c (T_{ci}^2 - T_{co}^2) \quad (3)$$

Para el Estudio de Caso que se va a considerar como el fluido caliente es vapor saturado la ecuación para la disipación de entransía por conducción quedaría como sigue:

$$G_{\Delta T} = -\int_i^o (\dot{m}c_p T dT)_{h,c} = (\dot{m})_h \lambda T_v + \frac{1}{2}(\dot{m}c_p)_c (T_{ci}^2 - T_{co}^2) \quad (4)$$

$$G_{\Delta T} = -\int_i^o (\dot{m}c_p T dT)_{h,c} = (\dot{m})_h \lambda T_v - \frac{1}{2} * U_{ocai} * A_T * LMTD * (T_{ci} + T_{co}) \quad (5)$$

donde: λ es el calor latente de cambio de fase del vapor (h_g-h_f), y T_v es la temperatura de saturación del vapor. Por otro lado la ecuación para la disipación de entransía por fricción quedaría:

$$G_{\Delta P} = -\int_i^o \left(\frac{\dot{m}T}{\rho} dP \right)_{h,c} = \left(\dot{m} \frac{\Delta P (T_o - T_i)}{\rho \ln \left(\frac{T_{ci}}{T_{co}} \right)} \right)_{h,c} = \dot{m}_v P_v \bar{v} T_v \ln \left(\frac{P_o}{P_i} \right) + \dot{m}_s \frac{\Delta P_s (T_{co} - T_{ci})}{\rho_s \ln \frac{T_{co}}{T_{ci}}} \quad (6)$$

donde: \dot{m}_v , P_v “y” \bar{v} son el flujo másico, la presión y el volumen específico del vapor saturado, P_i coincide con P_v “y”

$$P_o = P_i - \Delta P_t$$

Las ecuaciones (5) y (6) también son nuevas expresiones desarrolladas por la autora para este caso particular en que el fluido caliente está cambiando de fase. El primer sumando del miembro derecho de la ecuación (6) se dedujo a partir de una expresión dada para gases ideales en [20].

La disipación total de entransía dada en kW °C puede ser obtenida sumando la disipación de entransía debido a la

conducción de calor y la de entransía causada por la fricción del fluido como sigue:

$$\Delta G_T = G_{\Delta T} + G_{\Delta P} \quad (7)$$

$$\Delta G_T = \frac{1}{2} U_{ocai} * A_T * F * LMTD [(T_{hi} + T_{ho}) - (T_{ci} + T_{co})] + \dot{m}_t \frac{\Delta P_t (T_{ho} - T_{hi})}{\rho_t \ln \frac{T_{ho}}{T_{hi}}} + \dots \dots \dot{m}_s \frac{\Delta P_s (T_{co} - T_{ci})}{\rho_s \ln \frac{T_{co}}{T_{ci}}}$$

II.2 COSTO TOTAL

El costo total C_{tot} incluye la inversión de capital (C_i) y el costo total de descuento de operación (C_{od}) [21].

$$C_{tot} = C_i + C_{od} \quad (8)$$

Para el Estudio de Caso considerado, según se reporta en [22] se utilizó para el costo de inversión la siguiente expresión:

$$C_i = PC \cdot \delta_M \cdot \delta_P \cdot \delta_T \quad (9)$$

De la ecuación anterior PC es el costo de inversión o capital de inversión el cual depende del área de transferencia de calor.

$$PC = 3,28 \times 10^4 \left(\frac{A_T}{80} \right)^{0,68} \quad (10)$$

Donde A_T es el área de transferencia de calor en m^2 . El factor δ_M es un coeficiente de corrección que tiene en cuenta el material que se empleará en la construcción del equipo, δ_P tiene en cuenta la presión de trabajo del equipo y δ_T la temperatura de operación.

En la Tabla 1 se muestran valores prácticos de los coeficientes antes mencionados.

El costo de operación relacionado con la potencia consumida en el bombeo para vencer las pérdidas friccionales se determina de las siguientes expresiones:

$$C_{od} = \sum_{k=1}^{ny} \frac{C_o}{(1+i)^k} \quad C_o = PC_E H \quad (11)$$

C_E es el costo de la energía eléctrica en \$/kW h, i la tasa de descuento anual, ny el número de años de vida de la instalación y H las horas de trabajo al año.

Tabla 1: Factores de corrección para el costo inicial [22].

Material para la construcción	Factor de corrección δ_M
Tubos y coraza de acero al carbono	1
Coraza de acero al carbono y tubos de aluminio	1,3
Coraza de acero al carbono y tubos de aleación níquel-cobre	2,1
Coraza de acero al carbono y tubos de acero inoxidable	1,7
Tubos y coraza de acero inoxidable	2,9
Presión de diseño (Pa)	Factor de corrección δ_P
1000	2
10000	1,3
20000-700000	1
5000000	1,5
10000000	1,9
Temperatura de diseño ($^{\circ}\text{C}$)	Factor de corrección δ_T
0-100	1
300	1,6
500	2,1

P es la potencia de bombeo y se determina:

$$P = \frac{1}{\eta} \left(\frac{m_t}{\rho_t} \Delta P_t + \frac{m_s}{\rho_s} \Delta P_s \right) \quad (12)$$

Donde η es la eficiencia de bombeo (entre 0,5 y 0,7), m_t y m_s son los flujos máxicos en el tubo y la coraza, ΔP_t es la caída de presión en los tubos, ΔP_s es la caída de presión en la coraza, ρ_t es la densidad del fluido que va por el tubo y ρ_s es la densidad del fluido que va por la coraza.

III. ESTUDIO DE CASO

Optimizar el diseño de un ICTC, tipo AEU de la norma TEMA para calentar 1.44 kg/s de fueloil desde 95 hasta 130 $^{\circ}\text{C}$ a 0.62 m/s con vapor saturado a 135 $^{\circ}\text{C}$, estas son las condiciones actuales de operación, que se diferencian un tanto de las reportada en la hoja de datos original del equipo (este equipo se encuentra funcionando en el grupo electrógeno K-V 110 F.O de Santa Clara).

En la tabla 2 se muestran los parámetros de diseño y de operación del intercambiador real en funcionamiento, en la

primera fila los valores se corresponden con la hoja de datos original y en la segunda fila los valores se corresponden con las condiciones de diseño reales existentes en la actualidad.

Para todos los resultados expuestos en las tablas sucesivas, la nomenclatura utilizada fue la siguiente: Lt- longitud del tubo, do-diámetro exterior del tubo, Lb-espaciamiento entre deflectores, Ds-diámetro interior de la coraza, Nt-número de tubos, Uo-Coeficiente total de transferencia de calor, Q-flujo de calor, Tco-temperatura de salida del fluido frío, Tho-temperatura de salida del fluido caliente, Acal-área de transferencia de calor calculada, VLn-velocidad lineal del fluido por los tubos, F. Ecol- función ecológica, Ci-costo fijo, CoD-costo de operación, ΔP_t -caída de presión en los tubos, ΔP_c -caída de presión en la coraza.

Tabla 2: Datos de diseño y de operación del ICTC real en funcionamiento.

Lt (m)	do (mm)	Lb (mm)	Ds (mm)	Nt	U_0 ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)	Q (kW)	Tc ₀ ($^{\circ}\text{C}$)	Th ₀ ($^{\circ}\text{C}$)	Acal m^2	Vel. Lin. (m/s)
1.4	10	60	210	184	734	188.9	155	170	8.5	4.8
1.4	10	60	210	184	536	139.5	130	135	8.5	4.8

III.1 OPTIMIZACIÓN MULTI-OBJETIVO DEL ICTC

las primeras dos columnas son: función ecológica en kW y costo total en \$.

Primeramente se optimiza el ICTC con los parámetros de diseño fijos que tiene el equipo, según se muestra en la tabla 3, donde

Tabla 3: Optimización con los datos de diseño y de operación del ICTC real en funcionamiento

Fun. F.Ecol. (kW)	Costo (\$)	Lt (m)	do (mm)	Nt	Lb (mm)	Ds (mm)	NTU	Uo W/m ² °C	ΔPt (Pa)	ΔPc (Pa)	Q (kW)	Tco (°C)	Tho (°C)	Acal (m ²)	C _i (\$)	CoD (\$)	V _{Ln} (m/s)
59,36	9841	1,4	9,5	184	60	200	2,1	466	5356	41925	142	129,3	135,0	7,7	8266	1575	5,26

En la figura 1 se tiene el frente de Pareto para las funciones Función Ecológica contra Costo total.

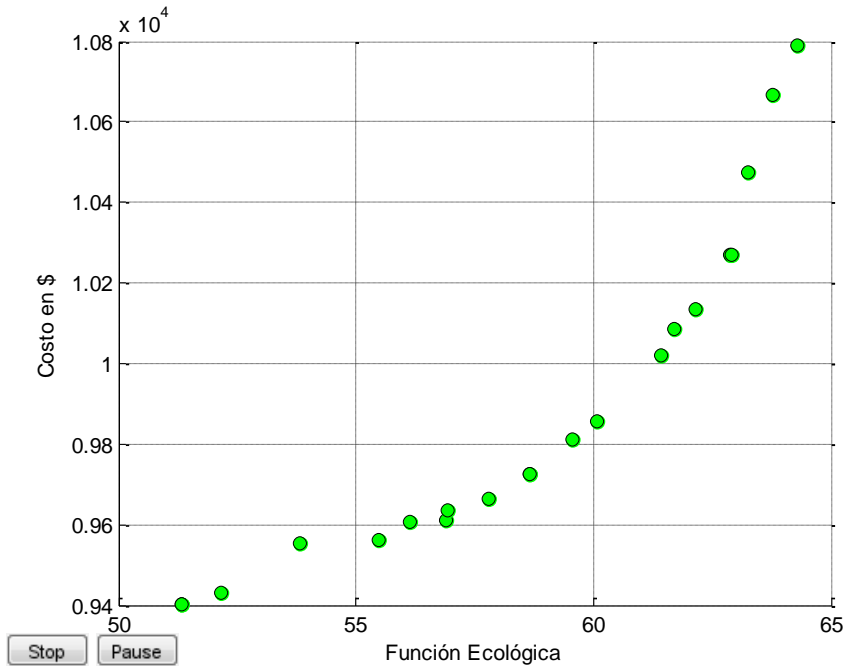


Figura 1: Función Ecológica contra Costo total.

Se realiza entonces la optimización multiobjetivo con el procedimiento propuesto. Los mejores diseños se seleccionan según los siguientes criterios:

1. El valor o los valores más cercanos a la dominancia de Pareto que resulta ser la diagonal al gráfico que parte del óptimo inalcanzable (en lo adelante criterio 1).
2. El valor que da la temperatura de salida recomendada para el fluido que se enfría o se calienta (en lo adelante criterio 2).

Como se observa en la figura anterior para lograr valores altos de la función ecológica se incrementan los costos totales. En la tabla 4 se observan los mejores valores optimizados, las filas 1 y 2 según el criterio 1 y las filas 3 y 4 según el criterio 2.

Tabla 4: Mejores diseños optimizados de Función Ecológica contra Costo total.

No	Fun Ecol.	Costo (\$)	Lt (m)	do (mm)	Nt	Lb (mm)	Ds (mm)	NTU	U_o $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$	ΔP_t (Pa)	ΔP_c (Pa)	Q (kW)	T_{co} ($^\circ\text{C}$)	T_{ho} ($^\circ\text{C}$)	Acal (m^2)	C_i (\$)	CoD (\$)	V. Ln (m/s)
1	58,65	9726	1,46	9,5	154	55,4	185	2	508	7645,9	58364,5	139,7	128,8	135	6,8	8265,1	1460,9	6,28
2	60,06	9858	1,5	9,5	164	53,9	190	2,2	509	6741,9	60812,7	143,4	129,8	135	7,4	8265,6	1592,4	5,90

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos como los mejores diseños son bastantes cercanos al existente, dado por las restricciones geométricas impuestas por el espacio disponible para instalar un posible nuevo diseño, por otra parte, según se muestra en la tabla III si la temperatura de salida del fueloil se baja en $1.2\text{ }^\circ\text{C}$, lo cual no afectaría el buen funcionamiento de los motores, se consigue con los diseños propuestos un ahorro en el costo total de 115 \$ lo cual puede parecer un pequeño ahorro, pero si se tiene en cuenta la cantidad de intercambiadores de este tipo instalados tanto en el país como a nivel mundial, el ahorro es apreciable. Por otra parte, el uso del software propuesto en la Empresa Eléctrica donde se encuentra instalado el ICTC ha permitido una mejor operación del equipo, variando los parámetros de operación hasta seleccionar en cada momento de la operación (según las condiciones reales del vapor de calentamiento), los puntos de operación más eficientes y económicos.

V. CONCLUSIONES

A medida que se minimiza la tasa de disipación de entropía, se maximizan los valores de la función ecológica y se obtienen mayores valores de costo total por lo que se escogen soluciones de compromiso.

Se utilizó para la optimización multi-objetivo el NSGA II implementado en MATLAB con algunas modificaciones realizadas por la autora. El frente de Pareto obtenido en la optimización multi-objetivo permite encontrar y hacer coincidir diseños óptimos ajustables al espacio disponible para instalar el equipo y a los servicios auxiliares disponibles, sopesando todos los factores como soluciones de compromiso para lograr con un costo razonable el mejor funcionamiento térmico de equipo.

Los resultados obtenidos de la optimización multi-objetivo muestran valores muy consistentes e interrelacionados, lo que permitió seleccionar los mejores resultados del diseño optimizado. Cuando se maximiza la función ecológica con la expresión desarrollada en el trabajo, se observa que un intercambiador de calor de tubo y coraza es un equipo que no tiene un fuerte impacto ambiental, sin embargo es posible ahorrar recursos con un mejor diseño para un mismo propósito.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Brundtland, G. H. et al.; “**Our common future**”, World Commission on Environment and Development, WCED, 1987.

[2] <http://thermex.co.uk/Shell-and-Tube-Heat-Exchangers-1>. Consultado el 27 de marzo de 2013.

[3] <http://www.southwestthermal.com/shell-tube-exchanger.html>. Consultado el 27 de marzo de 2013.

[4] Szargut, J.; “**Exergy Method, Technical and Ecological Applications**”, WIT Press, Southampton; Boston, 2005, ISBN: 1-85312-753-1.

[5] Szargut, J. Stanek Wojciech., “**Influence of the Pro-ecological Tax on the Market process of fuels and electricity**”, ECOS 2006, Crete, 11-14 July, 2006.

[6] Balbueno Bicca, Gerson; Resende Secchi; Argimiro y Wada, Keiko. “**Modelagem de trocadores de calor casco e tubos**”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Oktober Fórum 2005 - PPGEQ.

[7] Kara Yusuf, Ali y Güraras, Özbilen., “**A computer program for designing of shell-and-tube heat exchangers**”. Applied Thermal Engineering N° 24 Año 2004 paginas 1797 a 1805. Editorial Elsevier. ISSN 1369-4311.

[8] Bagley J.D., “The behavior of adaptive systems which employ genetic and correlation algorithms”, Ph.D. thesis, University of Michigan, Ann Arbor, 1967.

[9] Prigogine, I., “**Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes**”, Third ed., Wiley, 1967, New York, pp.76-77.

[10] Bejan, A., “**Entropy Generation through Heat and Fluid Flow**”, Wiley, 1982, New York, pp.118-134.

[11] Bejan, A., “**Entropy Generation Minimization**”, CRC Press, 1996, Florida, pp. 47-112.

[12] Hesselgreaves, J. E.; “**Rationalisation of second law analysis of exchangers**,” International journal of heat and mass transfer, 2000, Editorial Elsevier, 43, pp. 4159-4204.

[13] Guo, Zeng-Yuan; Zhu, Hong-Ye; Liang, Xin-Gang., “**Entransy-A physical quantity describing heat transfer ability**”. International Journal of Heat and Mass Transfer, Editorial Elsevier, 50 (2007) 2545–2556. , ISSN 0017-9310.

[14] Wang Wen Hua, Cheng Xue Tao and Liang Xin Gang; “**Entransy dissipation and irreversibility of some thermodynamic processes**”; Chinese Science Bulletin; Engineering Thermophysics; November 2012 Vol.57 No.31: 4091-4099.

[15] Chen,Qun; Liang,Xin-Gang; Guo; Zeng-Yuan; “**Entransy theory for the optimization of heat transfer – A review and update**”; International Journal of Heat and Mass Transfer 63 (2013) 65–81.

[16] Frosch, R.A.; Gallopoulos, N.E. (1989) "**Strategies for Manufacturing**" Scientific American 261:3, pp 144– 152.

[17] Lowe, E. A., Evans, L. K. **Industrial ecology and industrial ecosystems**. Journal of Cleaner Productions. v. 1/2, n.3, p. 47-53, 1995. apud: LAMBERT, A. J. D., BOONS, F. A.

[18] Angulo-Brown F. **An ecological optimization criterion for finite-time heat engines**. J Appl Phys, 1991, 69(11): 7465 - 7469.

[19] Guo, Jiangfeng; Li, Mengxun; Xu, Mingtian; Cheng, Lin., “**The application of Entransy Dissipation Theory in optimization design of heat exchanger**”. Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14 August 8-13, 2010, Washington D. C., USA.

[20] Mingtian Xu; “**The thermodynamic basis of entransy and entransy dissipation**”; Energy 36 (2011) 4272-4277.

[21] Taal,M.; Klemes,J.; Stehlik,P.; **Cost estimation and energy price forecast for economic evaluation of retrofit projects**. Applied Thermal Engineering,23.2003. Editorial Elsevier, ISSN 1369-4311.

[22] Wildi-Tremblay, Philippe and Gosselin, Louis; “**Minimizing shell-and-tube heat exchanger cost with genetic algorithms and considering maintenance**”; International Journal of Energy Research; 2007; 31:867–885.



Treatment and reuse of water by decanting in concrete industries

Adryan Moraes Corrêa¹, Bruna Almeida Alves¹, Monik Érica Silva de Souza¹

^{1,2}Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Av. Joaquim Nabuco, 1469, Centro. Manaus-Amazonas-Brasil.
(hellodry@hotmail.com,bruna.alves@supermix.com.br,monik.ericadm@hotmail.com, jandecycabral@hotmail.com)

ABSTRACT

The process of treatment and water reuse is gaining ground especially in large urban centers, where shortages is high investment and operating costs for collection and distribution of water over great distances. This article shows how industries concrete perform the treatment process and reuse the water used in its production. The purpose of this article is to educate the industry to treat and reuse the water used in its production by decanting, a viable resource and widely adopted by businesses today. The methods and techniques used in the field research were: document analysis, interviews and direct observation. The results consisted of conscious consumption of water, the most stringent controls the means employed in its treatment and reuse.

Key-words: Treatment, Reuse, Process, Production, Consumption, Control.

Tratamento de água e reutilização de decantação em indústrias de concreto

RESUMO

O processo de tratamento e reutilização da água está a ganhar terreno, principalmente nos grandes centros urbanos, onde a escassez são os altos custos de investimento e de operação para a recolha e distribuição de água a longas distâncias. Este artigo mostra como indústrias específicas tornar o processo de tratamento e reutilização da água usada na sua produção. O objetivo deste artigo é o de educar a indústria para tratar e reutilizar a água utilizada na sua produção por decantação, um recurso viável e amplamente adotado pelas empresas hoje. Os métodos e técnicas utilizadas na pesquisa de campo foram: análise de documentos, entrevistas e observação direta. Os resultados consistiu na conscientes do consumo de água, controles mais rígidos sobre os meios utilizados no seu tratamento e reutilização.

Palavras-chave: tratamento, reutilização, processo de produção, o consumo, controle.

I. INTRODUÇÃO

Neste artigo veremos como se realiza o processo de tratamento e reutilização das águas utilizadas na produção das indústrias de concreto. O tratamento da água nas indústrias por meio de decantação é um processo de recuperação da qualidade da água utilizada pela indústria. O tratamento da água deve ser orientado por um profissional da área, como um engenheiro químico, engenheiro ambiental, químico ou técnico químico [1].

Com o tratamento e o reuso da água, ocorrem benefícios sociais, ambientais e econômicos isso tudo só ocorre por um processo que é chamado de decantação, que é de grande

importância, pois dentro da empresa ele exerce uma importante função [2].

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza descritiva e qualitativa. Para [3], “este tipo de pesquisa ocorre quando se registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos, sem manipulá-los”.

Por meio da coleta de dados foi possível observar o resultado da pesquisa e identificar as deficiências no processo de tratamento e reuso da água na empresa, esses dados foram transformados em gráficos para uma melhor compreensão dos dados. De acordo com [4], “A coleta de dados ajuda a analisar ponto a ponto os fatos ou fenômenos que estão ocorrendo em uma organização,

sendo o ponto de partida para a elaboração e execução de um trabalho”.

O estudo foi realizado na empresa SUPERMIX CONCRETO S/A, onde foi possível por meio de pesquisa realizada na empresa, constatar deficiências na área de meio ambiente, principalmente na utilização da água que é o principal insumo utilizado pela empresa. A utilização da água requer um planejamento avançado, para garantir sua disponibilidade permanente, o que quer dizer implantar o seu “uso sustentável”, de forma que a construção civil é grande consumidora de água e toda nova obra ou reforma usa litros de água para mistura de agregados com o cimento, formando a massa de concreto [5].

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Reuso de água

Para [6], “No Brasil apesar da aparente abundância de recursos hídricos, o reuso de água vem conquistando espaço principalmente nos grandes centros urbanos, onde a escassez representa altos investimentos e custos operacionais para captação e adução de águas a grandes distâncias.

Para a aplicação do reuso em processos industriais, deve ser dada uma atenção especial à qualidade das águas em questão e aos efeitos potenciais na saúde dos usuários, nas instalações da indústria: como corrosão, incrustações e deposição de materiais sólidos nas tubulações, tanques e outros equipamentos, além dos efeitos nocivos aos processos produtivos, como alterações da solubilidade de reagentes nas etapas de processamento e alterações das características físicas e químicas dos produtos finais [6].

Afirma [2], “O reuso e a reciclagem da água nas indústrias, passa a se constituir, portanto, ferramentas de gestão fundamentais para a sustentabilidade da produção industrial”. Sobre este assunto afirma o mesmo autor que: o reuso de água para indústria traz muitos benefícios, como os elencados a seguir:

✓ *Benefícios ambientais:*

- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d’água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores das regiões mais industrializadas;
- Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada;
- Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.

✓ *Benefícios econômicos:*

- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos brasileiros nos mercados internacionais;
- Mudanças nos padrões de produção e consumo;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da competitividade do setor;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.

✓ *Benefícios sociais:*

- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva;
- Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos;
- Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

II.2 TRATAMENTO DA ÁGUA POR MEIO DE DECANTAÇÃO

Sobre este assunto afirma [7] que: O tratamento da água nas indústrias pó meio de decantação é um processo de recuperação da qualidade da água utilizada pela indústria. O tratamento da água deve ser orientado por um profissional da área, como um engenheiro químico, engenheiro ambiental, químico ou técnico químico.

Reforça [7] que “Frequentemente, a água é utilizada pela indústria para diversas finalidades que vão desde a simples limpeza até no resfriamento de processos industriais”. Esta água muitas vezes contém metais pesados ou outros produtos tóxicos ao meio ambiente e por isso a água necessita ser recuperada antes de seu lançamento na rede de esgotos ou nas vias fluviais. A água é um elemento fundamental em praticamente todos os setores industriais. Incentivadas por razões econômicas, diversas empresas passaram a conduzir programas de gestão dos seus recursos hídricos, implementando projetos de reuso, redução de perdas e racionalização do uso, obtendo reduções expressivas do consumo de água e dos lançamentos de efluentes ao meio ambiente. A decantação é uma das técnicas mais antigas e simples de remoção de impurezas da água; Resulta da ação da força da gravidade sobre as impurezas facilitando a sedimentação delas no fundo da unidade.

De acordo [7], “A decantação é um método de separação de misturas heterogêneas de dois tipos: líquido + sólido e líquidos imiscíveis. Essa técnica é física, pois se baseia na diferença de densidade entre os componentes da mistura”.

II.3 FUNÇÃO DO DECANTADOR

Para [7], “A função dos decantadores é permitir que os flocos que já clarificaram a água no floculador se sedimentem”. A saída da água depois de ocorrida a sedimentação é feita junto à superfície, comumente por calhas dispostas, formando desenhos diversos e sobre cujos bordos superiores a água flui, constituindo esses bordos autênticos vertedouros. Líquido e sólido: O primeiro passo é deixar a mistura em repouso, visto que a parte sólida costuma ser a mais densa, com o tempo e com a ação da gravidade, o sólido irá se depositar no fundo do recipiente. Essa parte do processo é chamada de sedimentação. Depois realizamos a decantação, ou seja, a separação cuidadosa da parte líquida que ficou em cima, transferindo-a para outro recipiente. Pode-se fazer isso por meio de uma sifonação, que é a transferência do líquido por meio de um sifão, iniciando-se o fluxo por sucção.

Para o sistema de Decantação é aplicado em processos de tratamento de efluente, com a finalidade de remoção de partículas sólidas em suspensão através do processo de sedimentação, ou seja, os flocos de sujeira mais pesados do que as águas decantam e se depositam no fundo do decantador. De acordo com [7], O efluente a ser clarificado é introduzido ao

tanque através de sistema de alimentação central, visto que tal sistema permite a alimentação do tanque de decantação de forma constante e uniforme, diminuindo os efeitos de turbulência.

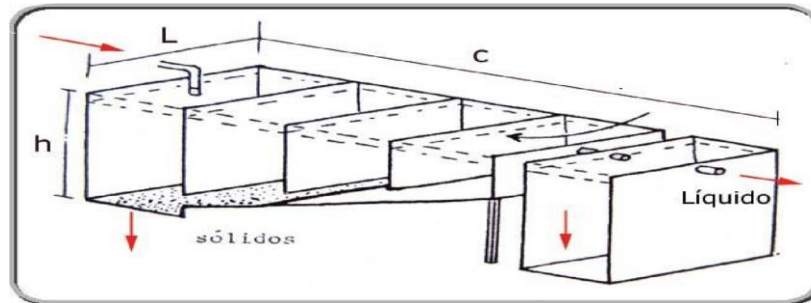


Figura 1 – Processo de um Decantador Convencional.
Fonte: [7].

A retirada do lodo (sólidos que se sedimentam no fundo do Decantador é efetuada através de sistemas de descargas de fundo automáticas ou manuais. A água purificada através da separação é retirada pela parte superior do equipamento, através de “calha coletora” ao tanque de decantação.

II.4 TIPOS DE DECANTADORES

Segundo [7], “Existem os decantadores clássicos, que podem ser de seção retangular ou circular e os decantadores tubulares, que podem ser de fluxo ascendente ou fluxo horizontal”. Os decantadores são tanques onde a velocidade da água, após a floculação, sofre uma diminuição para permitir a deposição dos flocos, geralmente têm formato retangular ou circular”. Possuem dispositivos na entrada, previstos para melhor distribuição de água (evitando curtos-circuitos) e dispositivos na saída para evitar arraste de flocos.

Quanto à operação podem ser agrupados:

- *Convencionais (clássicos)* – recebem a água floculada e processam apenas a decantação;
- *De Contato de Sólidos ou Floco Decantador* – processam a floculação e decantação no mesmo tanque (manto de lodo entre 10 e 20% do volume).
- *De Fluxo Laminar ou Tubulares* – utilizam elementos tubulares ou placas paralelas para direcionar o fluxo.
- ✓ *Quanto ao escoamento:*
 - *Horizontal* – A água floculada entra numa extremidade. Escoa no sentido longitudinal em plano horizontal e é coletada na outra extremidade.
 - *Vertical* – A água floculada entra na parte inferior no tanque, escoar no sentido vertical e é coletada na superfície.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza descritiva e qualitativa. Para [3], “este tipo de pesquisa ocorre quando se registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos, sem manipulá-los”.

O estudo foi realizado na empresa SUPERMIX CONCRETO S/A, onde foi possível por meio de pesquisa realizada na empresa, constatar deficiências na área de meio ambiente, principalmente na utilização da água que é o principal insumo utilizado pela empresa. A utilização da água requer um planejamento avançado, para garantir sua disponibilidade permanente, o que quer dizer implantar o seu “uso sustentável”, de forma que a construção civil é grande consumidora de água e toda nova obra ou reforma usa litros de água para mistura de agregados com o cimento, formando a massa de concreto [5].

Os instrumentos de pesquisa utilizados na pesquisa foram: a análise documental, entrevista e observação direta. Para a pesquisa foram elaborados formulários de pesquisas. Através do formulário de análise documental foi possível coletar documentos como: relatórios, certificações, certidões, comprovantes, atas, estatutos, manuais entre outros, a fim de identificar se a empresa conta com documentação padronizada. Para a entrevista foi elaborado um roteiro com sete perguntas aos três funcionários de níveis hierárquicos diferentes. Um funcionário do nível estratégico, do nível tático e do nível operacional. Na observação direta foi utilizado um formulário de observação direta onde cada integrante pode preencher de acordo com a sua análise pessoal. Segundo [8] “chama-se de instrumento de pesquisa o que é utilizado para a coleta de dados”, ou seja, é estabelecido efetivamente o que será utilizado no desenvolvimento do estudo para a obtenção das informações pertinentes ao trabalho. Por meio da coleta de dados foi possível observar o resultado da pesquisa e identificar as

deficiências no processo de tratamento e reuso da água na empresa. De acordo com [4], “A coleta de dados ajuda a analisar ponto a ponto os fatos ou fenômenos que estão ocorrendo em uma organização, sendo o ponto de partida para a elaboração e execução de um trabalho”.

A Supermix Concreto S/A é uma empresa que atua na área de engenharia de concreto, mais especificamente na mistura, transporte e lançamento de concreto usinado em central. Fundada em 1976, em Belo Horizonte, atualmente com capacidade de entrega de mais de 7 milhões de metros cúbicos por ano a partir das mais de 130 filiais espalhadas pelo Brasil e pelo estado da Flórida.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

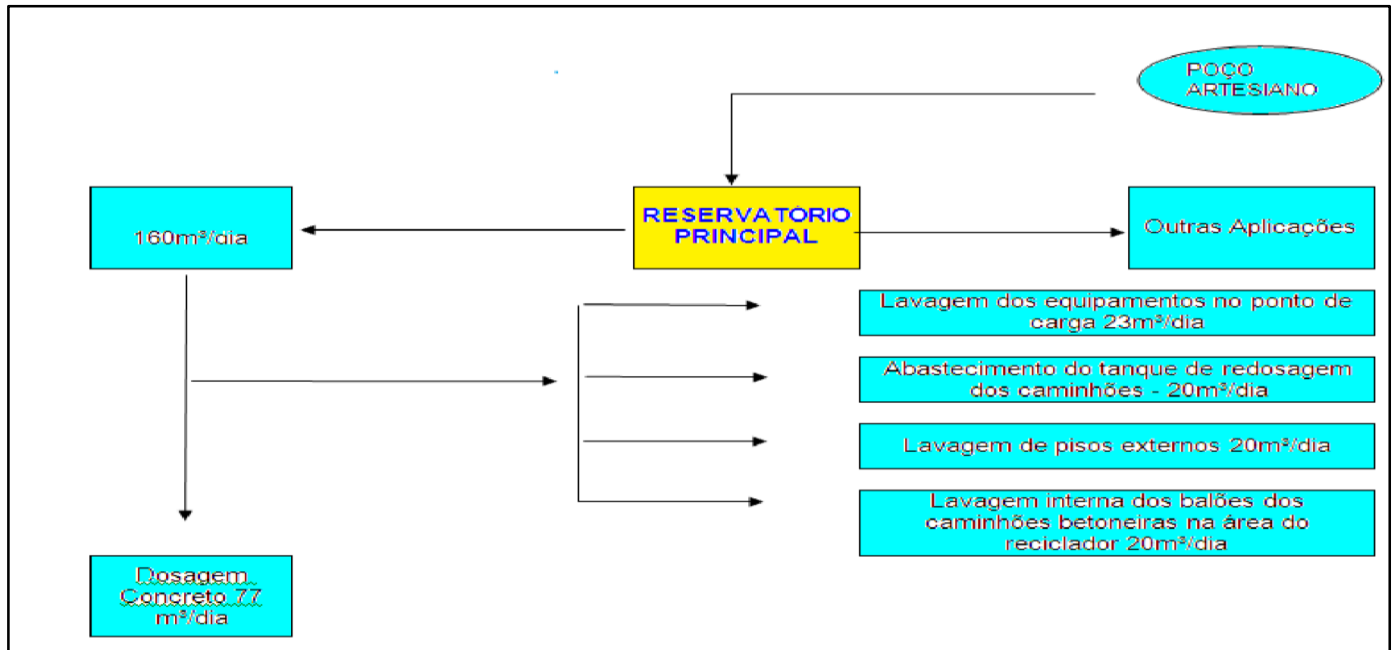


Figura 2 - Demonstração da aplicação da água na central.
Fonte: [7].

IV.1 REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA NA CENTRAL DE CONCRETO

O sistema de reaproveitamento de água, através do processo em funcionamento, proporciona uma economia de 50% da quantidade de água utilizada na dosagem do concreto. 3.

Isso equivale a 1000 m³ de água por mês, ou seja, a 38m³ por dia que são economizados, deixando de serem extraídos do poço artesiano para a dosagem do concreto, conforme mostra a Figura



Figura 3 - Aproveitamento da água.
Fonte: [7].

IV.3 PROCESSO DE UTILIZAÇÃO DA ÁGUA

A lavagem dos caminhões betoneiras tem como resíduo a água contaminada, que não pode retornar aos rios. Essa lavagem ocorre no bate lastro, onde posteriormente vai para o decantador.

A água do poço artesiano é utilizada inicialmente na dosagem do concreto, onde ocorre a mistura da matéria-prima. A água que cai fora escorre para as canaletas que levam a água até o decantador.



Figura 4.A - Lavagem do caminhão.



Figura 4.B - Bate-lastro



Figura 4 - Área de carga do caminhão.

Figura 4 – Processo da utilização da água.

IV.4 PROCESSO DE RECICLAGEM DA ÁGUA

O processo de reciclagem da água é feita através de decantação, onde a água "com flocos" passa pelo decantador, objetivando a eliminação dos flocos, por decantação.

Esta etapa consiste na separação sólida – líquido, por meio da sedimentação das partículas sólidas. Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares. Os efluentes fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os

sólidos em suspensão, que apresentam densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo.



Figura 5A - Processo de Reciclagem .



Figura 5B - Caixas de Decantação.



Figura 5C - Água Reciclada.



Figura 5D - Depósito de Água Reciclada.

Figura 5 _ Processo reciclagem da água.

A água reciclada é armazenada em um depósito, conforme mostra figura 5D, onde será utilizada posteriormente para redosagem de concreto, lavagem dos caminhões e lavagem do pátio.

IV.4 PESQUISA SOBRE O TRATAMENTO E O REUSO DA ÁGUA

Foi realizada uma entrevista com os níveis estratégico, tático e operacional da empresa Supermix Concreto S/A.

para apurar o conhecimento dos colaboradores sobre a existência de programas de gestão de economia de água e o interesse nas melhorias dos mesmos, conforme mostram as figuras a seguir:

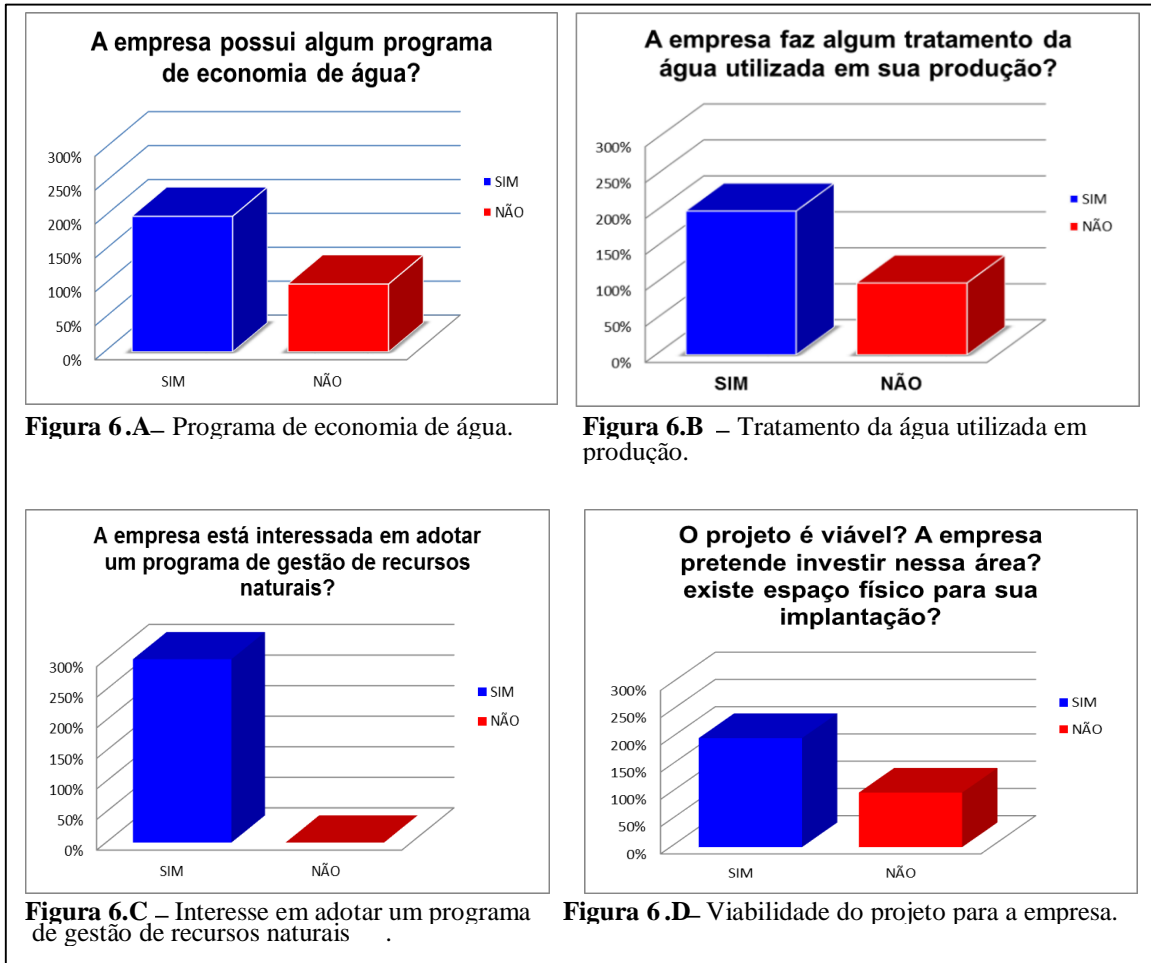


Figura 6 – Pesquisa sobre o tratamento e o reuso da água.

A Figura 6A mostra que apenas o nível estratégico e tático tem o conhecimento que a empresa possui um programa de economia de água. A Figura 6B mostra que todos os níveis tem o conhecimento de que a empresa faz algum tratamento da água utilizada em sua produção, que é o decantador.

A Figura 6C mostra que todos os níveis tem o conhecimento de que a empresa se interessa em adotar uma gestão de recursos naturais.

A Figura 6D - Mostra que somente o nível estratégico e tático acreditam na viabilidade do projeto, o nível operacional acredita que não existe espaço físico na empresa para a implementação do projeto.

Na pesquisa em campo, também foi aplicado um questionário de observação direta, no qual foi possível coletar informações sobre todos os meios utilizados na empresa para a utilização da água, como mostra o gráfico a seguir:

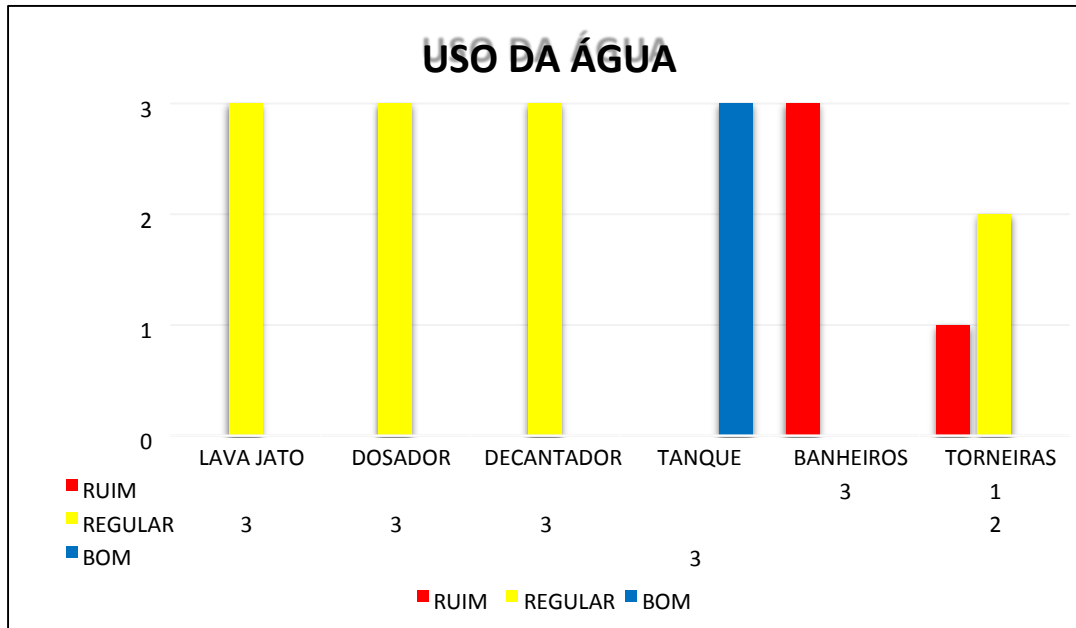


Figura 7 – Uso da água.

A Figura 7 mostra que o uso da água nos banheiros é ruim, pois os mesmos precisam de manutenção. Recomenda-se que a empresa adote descargas e torneiras econômicas e faça sempre a sua manutenção. O lava jato, dosador e o decantador estão em um estado regular. O lava jato e os dosadores precisam de manutenção, e o decantador precisa ser ampliado, pois possui tamanho inadequado para a sua demanda. O tanque é o único meio pelo qual está em bom estado. Sugere-se que a empresa continue fazendo a manutenção do mesmo, visto que ele é uma boa medida de economia de água.

V. CONCLUSÕES

Esta pesquisa permitiu a compreensão de como funciona o processo de tratamento e reuso da água por meio de decantação nas indústrias de concreto.

Notou-se que a água é um dos insumos mais utilizados no processo de concretagem, pois é necessária para as reações de hidratação do cimento e como agente que fornece a plasticidade aos componentes da mistura do concreto. Este sistema de reaproveitamento de água, através do processo em funcionamento, proporciona uma economia de 50% da quantidade de água utilizada em cada dosagem do concreto.

O processo de reciclagem da água é feita através de decantação, onde a água "com flocos" passa pelo decantador, tendo como objetivo a eliminação dos flocos, por decantação. Esta etapa consiste na separação sólida – líquido, por meio da sedimentação das partículas sólidas. Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares. Para a elaboração desse artigo foi realizada uma visita técnica a empresa Supermix Concreto S/A, e feita uma pesquisa com os três níveis da empresa: o estratégico, tático e operacional, onde foi possível

coletar todos os dados e elaborar os gráficos para uma melhor compreensão dos dados. Por meio da pesquisa foi possível verificar que a água é um elemento fundamental em praticamente todos os setores industriais.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Universitário do Norte (UNINORTE), e a empresa Supemix Concreto S/A, pelo apoio a realização desta pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CINTRA, M. **Decantação, Flotação, Filtração e desinfecção**. Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais: 2012. Monografia. Escola de Minas Departamento de Engenharia Civil – Saneamento Urbano.
- [2] MINOWA, C. **Água em Ambientes Urbanos: Reuso da Água**. São Paulo, 2010. Monografia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica.
- [3] BERVIAN, P. A., CERVO, A. L. **Metodologia Científica**. 5. Ed. São Paulo: Prentice hall, 2010.
- [4] GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- [5] SALAMA, Fábio. **Gestão da água**. Vol. 03. Cuiabá: SEBRAE, 2012.

[6] LAVRADOR, J. **Contribuição para Entendimento do Reuso Planejado da Água e Algumas Considerações sobre Possibilidades de uso no Brasil**. São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[7] SILVA, João. **Reciclagem e Reaproveitamento dos Recursos Hídricos numa Central Dosadora de Concreto em Brasília-DF**. In: 7º Prêmio Forna Ouro Azul, Belo Horizonte, 31 de Outubro de 2008.

[8] RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 5. Ed. Petrópolis: Vozes, 2011.