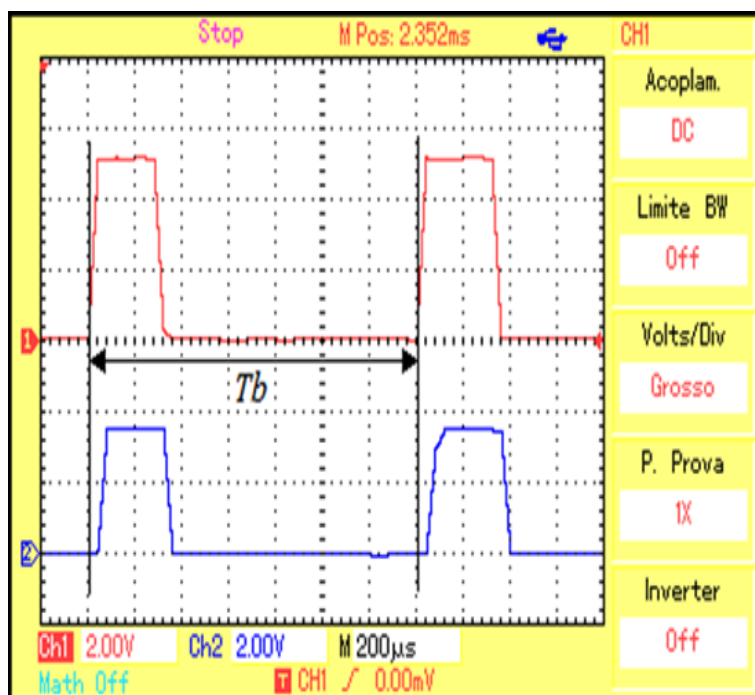




JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (JETIA)

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 **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. O **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 **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, 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: article@itegam-jetia.org, editor@itegam-jetia.org

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

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

CEP: 69020-031. Fone: (92) 3584-6145

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 Industrial Applications (JETIA)** do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) – Manaus/Amazonas/Brasil.

Tereza Rodrigues Felipe, Diretor – Presidente

Jandecy Cabral Leite, Editor Chefe Editorial

Paulo Francisco da Silva Ribeiro, Assistente Editorial

Vitor Anderson Felipe de Oliveira, Diagramador Gráfico Editorial

Jandecy Cabral Leite Junior, Assistente de Tecnologia da Informação



SUMÁRIO

<i>New features in dynamic optimization with EcosimPro®</i>	05
<i>Daniel Navia López, Gloria Gutiérrez Rodríguez, Pedro Cobas Herrero and César de Prada Moraga</i>	
<i>Advisor system efficiency of the thermoelectric power plant “10 de octubre”</i>	14
<i>Emilio Berasategui Arocha and Jorge L. González Zamora</i>	
<i>Analysis of RF 433 MHz communication in home monitoring prototype</i>	23
<i>David Alan de Oliveira Ferreira and Laura Michaela Batista Ribeiro</i>	
<i>A hardware-software architecture for computer vision systems</i>	31
<i>Antônio Otavio Fernandes, Luiz Fernando E. Moreira, Glauber Tadeu S. Carmo and José M. Mata</i>	
<i>Application of the TIC’s in the design</i>	36
<i>Olga Elina Feria Ruesga</i>	
<i>Formal design on GHENeSys IEC-1131 compatible of discrete event systems with PLCs</i>	44
<i>Elio R. Avila Rodríguez</i>	
<i>Safety and reliability of electrical insulation</i>	52
<i>Miguel Castro Fernández</i>	
<i>Inverse Dynamic Control of a 2-DOF Driving Simulator Platform</i>	59
<i>Julio Javier Avalos García, Eduardo Izaguirre Castellanos and Luis Hernández Santana</i>	
<i>Implementation of scada system to the central liquor factory</i>	66
<i>José Enrique García Arteaga, Samy Brito Barroso, Liodán Valdivia Coca, Orlando Urquijo Pascual and Lisdán Herrera García</i>	
<i>Selection of the artificial pollution procedure for polymer isolation in the conditions of the atmospheric environment in Cuba</i>	72
<i>Ramón G. Guevara, José A. M. Barbado, Raiza J. Quiñones and Miguel A. R. Moreno</i>	
<i>Faults Diagnostic using Hopfield Artificial Neural Network in front of Incomplete Data</i>	77
<i>Raquelita Torres Cabeza, Orestes Llanes Santiago, Egly Barrero Viciado and Valery Moreno Vega</i>	
<i>Modeling and simulation of vacuum evaporation process through graphical interfaces</i>	83
<i>Adriana Martínez Gómez, Patricia Atempa Rosiles, Anselmo Osorio Mirón, Miguel V. Teco Ja-come, Luis A. Sánchez Bazán, Joaquín Santos Luna, Alejandra Velasco Pérez</i>	
<i>Development of an Airline Model with Non-Uniform Parameters for Coordination Studies of Isolation</i>	88
<i>Edgar Alejandro Uribe Guer and Germán Moreno O.</i>	
<i>Dynamic Model of 6 DOF for a Catamaran</i>	94
<i>Homero J. Oria-Aguilera, Yunier Valeriano-Medina, Luis Hernández</i>	
<i>Characterization of Crystals Growth in a Crystallizer Evaporator Through Digital Image Processing Using the Sobel Filter</i>	103
<i>Juan Antonio Quintana Silva, Fabián Cabrera Sánchez, Abraham Téllez Morales and Anselmo Osorio Miron</i>	
<i>Analysis of the value chain of sheep wool in Spain and its possible use in greenhouse crops</i>	109
<i>Laura Marcos Bilbao, Julián Briz Escribano and Stefan Köhler</i>	
<i>Governance in urban agriculture: challenges and opportunities</i>	117
<i>Isabel de Felipe and Teresa Briz</i>	
<i>Study of coordination and selectivity in circuit breakers</i>	122
<i>Helder da Silva Rodrigues</i>	

	127
<i>Evolution of the edible oil supply chain in Cuba</i> Yinef Pardillo Baez, Dianelys Milagros Ruíz Alvarez, Abel González-Carvajal Alberto and Martha Inés Gómez Acosta	
<i>Análisis de la disposición técnica de los vehículos automotores como vía de valoración del fin de vida útil</i> Laksmi Penabad Sanz, Pedro Antonio Rodríguez Ramos	135
<i>Design of a regulator of frequency, for small central hydroelectric in isolated operation</i> Julio Fong Barrios, Hugo Dominguez Abreu, Arnoldo Abreu Barbie, Manuel Ernesto Barrueco Daudinot, Israel Francisco Benítez Pina	140
<i>Heterogeneous network management through the implementation of a topology using the python programming language and software-defined networking technology</i> Philip Floriano Rodrigues Ramkeerat, Kleber Bittencourt Oliveira, Vanise dos Santos Rodrigues, Charles de Freitas Guimarães, Greyce dos Santos Rodrigues	149
<i>Multivariable Control Strategy for a refrigeration plant</i> Liset Mayo Martí and Miguel Alejandro Botello Lemus	159
<i>Tools for the design of an inmotoc system in the residential block of a five star plus hotel</i> José Ricardo Núñez Álvarez, Israel Francisco Benítez Pina, Danilo Mariano Carbonell Mestre	166
<i>Comparative analysis between SINAPI's indexes and those adopted by the companies of the city of Manaus in the services of concrete production and frame</i> Daniel Damião Almeida de Almeida, Willace Lima de Souza, Darlei dos Anjos Lavor	176
<i>Study of the effect of carbonation on concrete produced with vegetable fiber (buriti)</i> Murilo Ferreira dos Santos, Renato Acriz de Menezes, Evalton Arantes de Oliveira, Eloadir Afonso Reis Brasil Filho, Darlei dos Anjos Lavor	184

New features in dynamic optimization with EcosimPro™

Daniel Navia López¹, Gloria Gutiérrez Rodríguez², Pedro C. Herrero³, César de Prada Moraga⁴

^{1,2,4} Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, España, C/Real de Burgos s/n 47011 Valladolid.

³ EA Internacional, España, C/ San Bernardo 123 Planta 7 28015 Madrid.

Email: daniel.navia@autom.uva.es, gloria@autom.uva.es, pce@ecosimpro.com, prada@autom.uva.es

Received: January 24th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 01th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The following work shows the application of DASPCK in EcosimPro™ with the aim of to calculate the partial derivatives of the state variables with respect to the decision variables (sensitivities) and to improve the dynamic optimization. The implementation of DASPCK was tested in three examples: disturbance rejection in a stirred tank with heater, the optimal production policy of hydrogen in a model of a hydrodesulfuration plant and the optimal trajectory of the feeding in a batch bioreactor. The sensitivities with DASPCK was compared with another two possible options: obtain the gradients using finite differences and to solve the extended system with the analytical expressions of the sensitivities. The outcomes shows that the implementation of DASPCK is a suitable option to ensure optimality in dynamics optimization without the need of writing the sensitivities by hand, nevertheless the CPU time must be improved to become this option attractive.

Keywords: Dynamic optimization, DASPCK, Sensitivities analysis, EcosimPro.

I. INTRODUCTION

I.1. DYNAMIC OPTIMIZATION

A general problem of dynamic optimization can be written as eq. 1 shows.

$$\begin{aligned} \min_u J(x, u, t_f) \\ \text{s. t. :} \\ f(\dot{x}, x, u, t) = \mathbf{0}, \quad x(t_0) = x_0 \\ g(\dot{x}, x, u, t) \leq \mathbf{0} \\ e(\dot{x}, x, u, t_f) \leq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (1)$$

Where $u \in \mathcal{R}^{nu}$ represents the decision (or input) variables, $x \in \mathcal{R}^{nx}$ are the state variables, $f: \mathcal{R}^{nx} \times \mathcal{R}^{nu} \rightarrow \mathcal{R}^{nx}$ are the equations of the model (DAE system), $g: \mathcal{R}^{nx} \times \mathcal{R}^{nu} \rightarrow \mathcal{R}^{ng}$ are the path constraints and $e \in \mathcal{R}^{nx} \times \mathcal{R}^{nu} \rightarrow \mathcal{R}^{ne} \leq \mathbf{0}$ are the terminal constraints.

This problem can be solved using an indirect approach, solving the optimal control problem (see Sargent [1] for a summary). This option is not used very often because the difficulty in solving a problem with both bounds undetermined (see Pontryagin's Maximum principle and Dynamic Programming with the Hamilton – Jacobi – Bellman equations [2]).

Instead of this option, the dynamic problem can be discretized in order to use standard NLP techniques to solve it. This is called the direct approach and there are two ways to perform the discretization:

- Simultaneous: the decision and the state variables are discretized transforming the DAE system in a set of algebraic equations using methods of collocation solving the discretized problem with non linear programming techniques [3].

Sequential: only the decision variables are discretized using piece-wise polynomials. With this information, continuous time integration is performed to calculate the state variables solving the DAE system [4] and calculating the value of the objective function and the constraints. If the integration is carried out from the initial to the final time the method is called single shooting, on the other hand if the time is cut in intervals and several integrations are performed is called multiple shooting [5].

A very comprehensive summary of methods for dynamics optimization can be found in the work of Srinivasan and co-workers [6].

In this work we will use the direct approach using the simultaneous method with the single shooting technique, summarized in Figure 1.

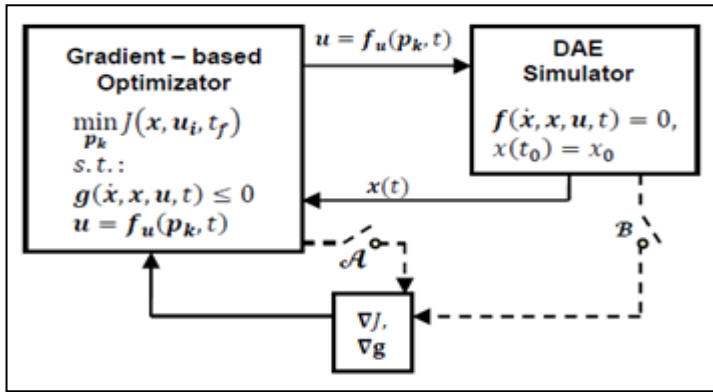


Figure 1: Diagram of the direct sequential method.
Source: Authors, (2018).

Figure 1 shows the parametrization of the decision variables using $p_k \in R^{n_p}$ parameters. Also it can be seen the necessity to estimate the gradients of the objective function and the nonlinear constraints in order to update the value of the decision variables. In this work we will consider only two ways to obtain this information (dashed lines): the optimizer can estimate these gradients using perturbations in the decision variables around the current value and then calculate with finite differences (\mathcal{A} switch ON) or the simulator gives gradient information to the optimizer (\mathcal{B} switch ON).

I.2. SENSITIVITY ANALYSIS

To obtain the gradient information from the simulation, consider the chain rule of the objective function:

$$\begin{aligned} \nabla J &= \left[\frac{\partial J}{\partial u_j} \right], & j: 1 \dots n_u \\ \frac{\partial J}{\partial u_j} &= \frac{\partial J}{\partial x} S_j, & j: 1 \dots n_u \end{aligned} \quad (2)$$

Where $S_j \in R^{n_x}, j = 1 \dots n_u$ is defined as the vector of sensitivities S_{ij} , which are the partial derivatives of the state variables x_i with respect to the decision variable u_j .

The sensitivities can be obtained from the original DAE system, if a total differentiation is performed.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial u_j} &= \frac{\partial f}{\partial \dot{x}} \frac{\partial \dot{x}}{\partial u_j} + \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial u_j} + \frac{\partial f}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial u_j} = 0 \\ \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial u_j} &= \frac{\partial f}{\partial \dot{x}} S_j + \frac{\partial f}{\partial x} S_j + \frac{\partial f}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial u_j} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Generating $n_x \cdot n_u$ additional equations that must be solved in each simulation. The entire system to be solved (called extended system), can be summarized merging the model equations f with the sensitivities equations (3), as eq. 4 shows:

$$F(\dot{X}, X, u, t) = 0, \quad X(t_0) = \begin{bmatrix} x_0^T \\ S_{10}^T \\ \vdots \\ S_{n_u 0}^T \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X \in \mathcal{R}^{(n_u+1) \times n_x}$$

I.3. METHODS TO OBTAIN THE SENSITIVITIES

In this work we will use two methods to obtain the value of the sensitivities: Analytical and Numerical. The Analytical Sensitivities approach consists in to simulate the entire system, writing by hand the analytical expressions to the partial derivatives of f with respect to x , which gives a $(n_x + 1)n_u$ DAE set that must be solved in each simulation.

The Numerical Sensitivities method is presented in the works [7]-[8]. The idea is to use the special structure of the extended system: if the Jacobian matrix of the model equations is known, then eq. 5 is a linear ODE system. DASPK is a multi-step integrator that discretizes the time and solves a set of algebraic equations in each step (eq. 5) [9].

$$\begin{aligned} x_{n+1}^{k+1} &= x_{n+1}^k - J^{-1} \mathcal{F}(x_{n+1}^k) \\ \mathcal{F}(x_{n+1}) &= f \left(t_{n+1}, x_{n+1}, \dot{x}_{n+1}^0 - \frac{\alpha}{h_{n+1}} (x_{n+1} - x_{n+1}^0) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

It can be seen that the Jacobian of the model is calculated to solve eq. 5, therefore it can be used to obtain the sensitivities in a numerical way. The version 3.0 of DASPK has a utility to get these values, the code allows to choose among three different ways to obtain the sensitivities [8]:

- *Staggered direct method*: At each time step, the states are computed solving eq. 5. With the gradient information, the sensitivities are obtained by solving a linear system. This method is considered inefficient because the Jacobian matrix must be evaluated and factorized at every time step.
- *Simultaneous corrector method*: The state and sensitivity variables are computed simultaneously by solving eq. 5 applied to the extended system from eq 4. This method is more efficient in terms of evaluating the Jacobian matrix, but has the drawback that a large set of nonlinear equations is solved at each instant.
- *Staggered corrector method*: Similar to the direct corrector, this method first evaluate the state variables and then gets the sensitivities, but the Jacobian isn't updated in every time instant, therefore an additional nonlinear corrector term must be added. This method has the advantage of evaluate and factorize the Jacobian only when is necessary, but has the inconvenience that instead of solving a linear set of equations, a nonlinear one must be solved.

I.4. OBJECTIVE OF THIS WORK

The objective of this work is to test the implementation of DASPK in EcosimPro 4.6 to calculate the sensitivities. EcosimPro is a simulation tool for modelling simple and complex physical processes that can be expressed in terms of: DAE equations or ODE equations and discrete events. Actually this program uses DASSL and 4th order Runge Kutta as numerical integrators [10].

The numerical sensitivities will be used to solve three dynamic optimization problems:

- The rejection of disturbances in a stirred tank that has an electrical heater.

- The optimal policy of hydrogen production in a simplified model of a hydrosulfuration plant.
- The optimal trajectory of substrate feeding in a batch Bioreactor.

The outcomes obtained with the numerical sensitivities method (DASPK) will be compared with the other options mentioned: finite differences and analytical sensitivities¹; in terms of optimality, feasibility and CPU time. At last some concluding remarks will be mentioned.

II. APLICACION IN ECOSIMPRO

The following results were obtained in a computer with processor Intel® Core™2 Quad Q9550 @2.83GHz, with 3.25 GB in RAM memory. In all the examples tested the optimizations were performed with a sequential quadratic programming algorithm implemented in the Nag routines [11]: nag_opt_nlp. (e04ucc).

II.1. STIRRED TANK WITH A HEATER

The system is a perfectly agitated tank like the one represented in Figure 2. The temperature (T) and the liquid height (h) can be modified by changing the valve aperture (a) and the voltage of the electrical resistance (V). The caudal and the temperature of the influent (q, T_i) are unmeasured disturbances (presented in Figure 3), therefore the manipulated variables (a, V) can be modified with the aim of keep the controlled ones (T, h) closer to their set points (w_h, w_T).

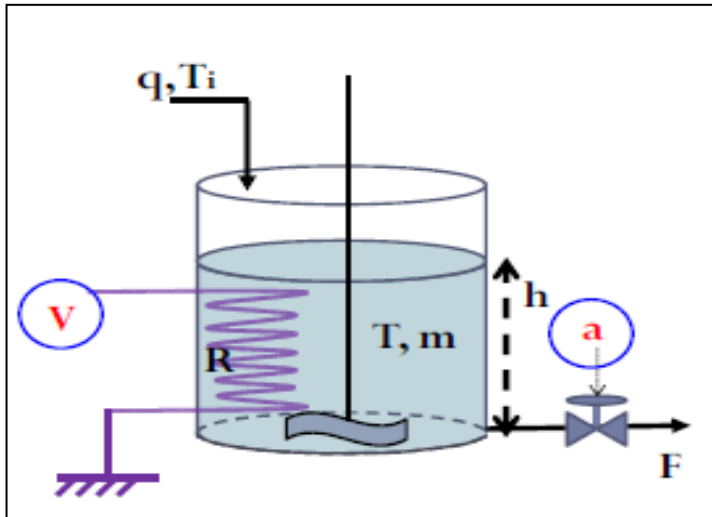


Figure 2: Diagram of the Stirred tank with Heater. Source: Authors, (2018).

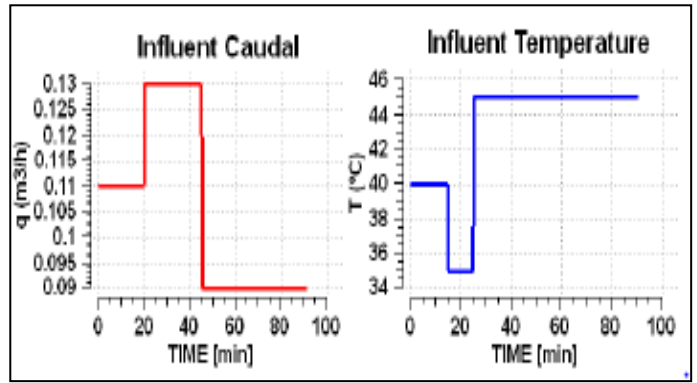


Figure 3: Diagram of the disturbances in the influent. Source: Authors, (2018).

$$\begin{aligned}
 & \min_{V,a} J(t_f) \\
 & \text{s. t. :} \\
 & \dot{h} = \frac{1}{A}(q - F) \\
 & h \dot{T} = \frac{q}{A}(T_i - T) + \frac{V^2}{AR\rho C_p} - \frac{U_{env}}{A\rho C_p}(T - T_{env}) \quad (6) \\
 & F = ak\sqrt{h} \\
 & j = \alpha_h \left(\frac{h - w_h}{w_h}\right)^2 + \alpha_T \left(\frac{T - w_T}{w_T}\right)^2 \\
 & V \in \mathcal{V}, \quad a \in \mathcal{A}
 \end{aligned}$$

Where A is the area of the tank, ρ and C_p are the density and the heat capacity of the liquid, k is a valve constant, U_{env} is a heat transfer coefficient, T_{env} is the outside temperature and α are weights for the objective function.

The dynamic optimization was solved using piece – wise linear parametrization of the manipulated variables with equally spaced intervals. The prediction horizon was 90 min and the control horizon was 50 min for the voltage and 80 min for the valve aperture. To choose the method to calculate the numerical sensitivities in the optimization (simultaneous, staggered corrector or staggered direct), numerical simulations with DASPK were performed for an increasing number of decision variables (N). These results are in Figure 4.

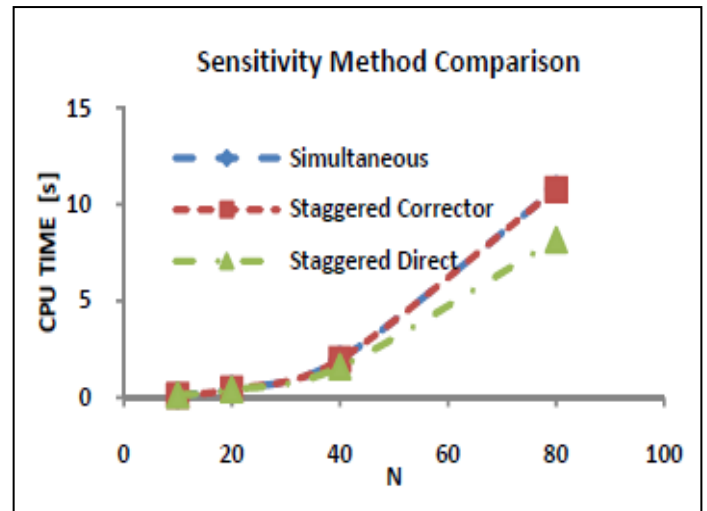


Figure 4: Comparison of the CPU time for the numerical sensitivity methods. Source: Authors, (2018).

¹For the examples tested, we will refer to optimization using: *analytical sensitivities* if the sensitivities values are obtained by writing the derivatives of f by hand and simulate the extended system; *numerical sensitivities* is referred to obtain the sensitivities by using one of the methods that provides DASPK; *finite differences* if non information of sensitivities is used and the gradients are calculated by perturbations in the decision variables.

The results shows that the staggered direct method is the most efficient to calculate the sensitivities in terms of time, therefore this method was used to calculate the gradient in the optimization. The optimizations were carried out for an increasing number of decision variables with the aim of to refine the solution. The outcomes for the manipulated variables and for the controlled variables, obtained with the largest number of decision variables tested (24 for V and 32 α), are presented in Figure 5, 6 and 7 for: analytical sensitivities, numerical sensitivities with the staggered direct method and finite differences respectively.

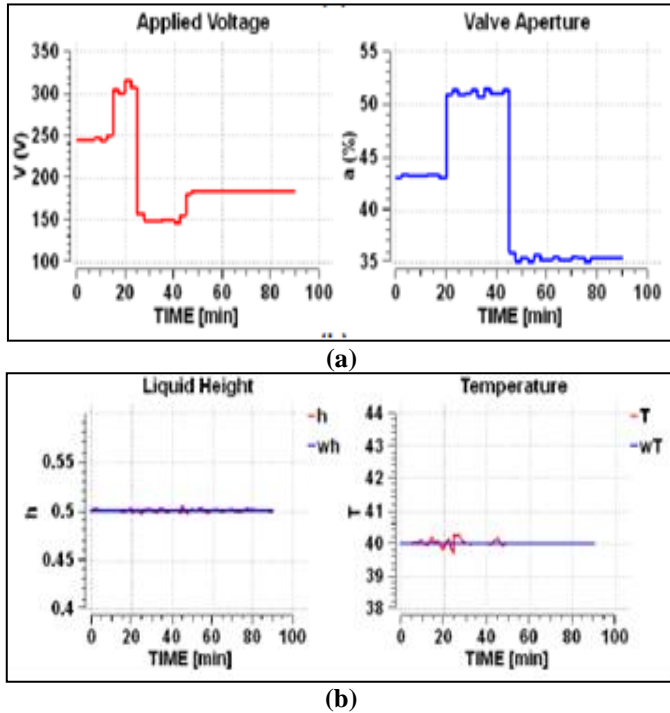


Figure 5: (a) Manipulated and (b) controlled variables. Source: Authors, (2018).

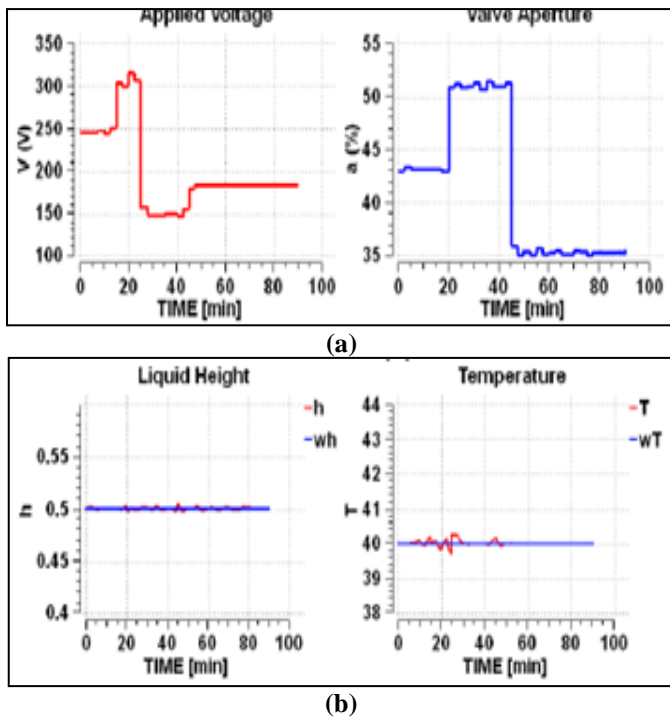


Figure 6: (a) Manipulated and (b) controlled variables, Source: Authors, (2018).

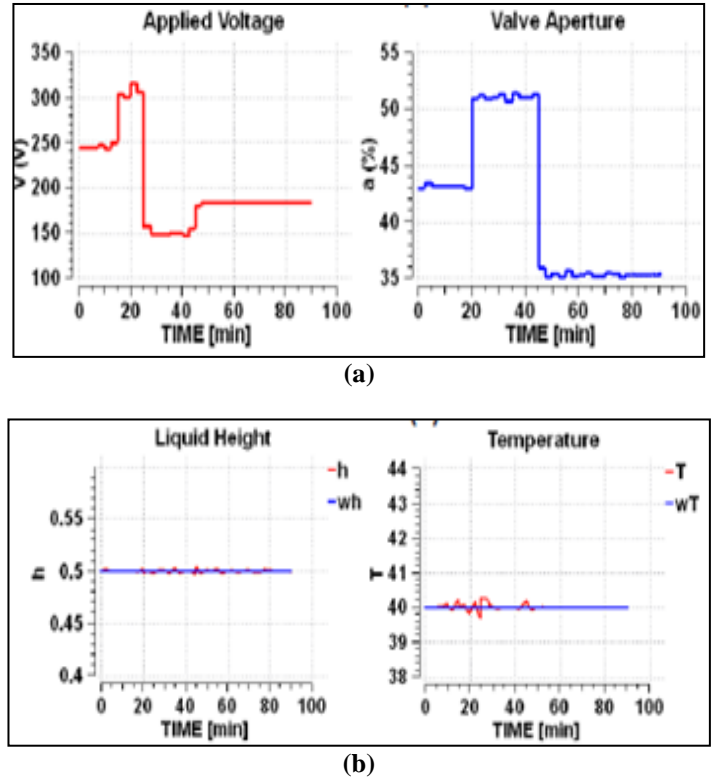


Figure 7: (a) Manipulated and (b) controlled variables. Source: Authors, (2018).

The optimization results shows that for the three methods tested in this example, the same trajectories in the manipulated variables are obtained. This trajectories fulfill the KKT conditions for the reformulated NLP problem of eq. 9, therefore we can say that they are locally optimal.

About the controlled variables it can be seen that those values are near to the set points, so the disturbance in the temperature and caudal of the influente is rejected.

About the value of the objective function and the time to perform the optimizations as a function of the decision variables (N), Table I summarizes this.

Table 1: CPU Time and objective function value.

N	CPU Time [s]			Objective function		
	Analytic	Numerical	F.D.	Analytic	Numerical	F.D.
7	1.746	1.944	2.596	1.937	1.937	1.937
14	5.309	6.288	6.851	0.892	0.892	0.892
28	23.132	24.327	16.050	0.002	0.002	0.002
56	93.530	84.351	32.684	0.003	0.003	0.003

Source: Authors, (2018).

It can be observed that for the three methods tested in this example the results are the same. About CPU time, finite difference seems to be the most efficient method to run the optimization for a large number of decision variables.

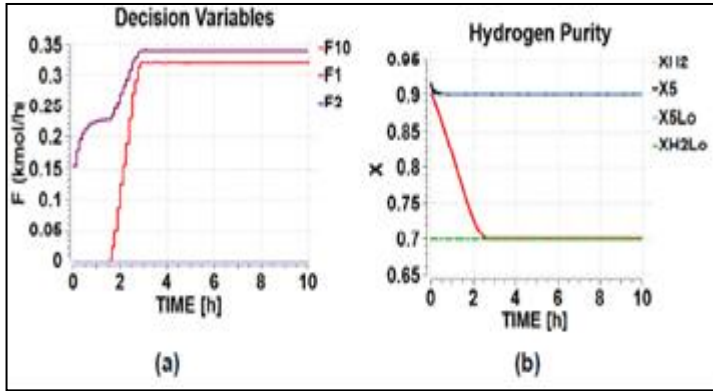


Figure 11: (a) Manipulated and (b) constrained variables. Source: Authors, (2018).

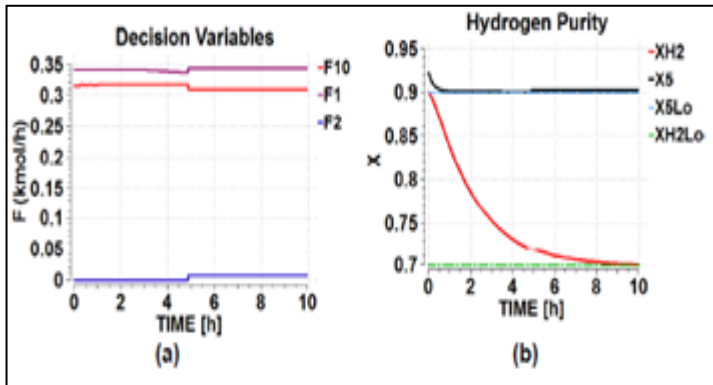


Figure 12: (a) Manipulated and (b) constrained variables. Source: Authors, (2018).

From the previous Figs. it can be noted that for the three optimizations the hydrogen purities x_{H2} and x_5 are greater or equal to their lower bounds: 0.7 and 0.9 respectively, so the solutions presented are feasible.

About the optimal trajectory for this problem a physical guess can be postulated: because the initial value of the purities are greater than their lower bounds it's logical to expect that the decision variables bring this variables to their limits. There are two ways to do this: closing the purge stream (F10) in order to accumulate impurities and using the minimal quantity of high purity hydrogen (F1). Once that the purity constraint x_{H2} is active, the purge stream must be opened with the aim of keeping this value constant. This behavior can be observed in the outcomes obtained with the optimizations using analytical and numerical sensitivities.

The optimality in both methods is fulfilled (according to the SQP optimizer, KKT conditions were satisfied). On the other hand the results of the optimization using finite differences give trajectories of the decision variables that only ensure feasible solutions keeping the purity inside the reactor greater than its lower bound spending more hydrogen than the necessary. With this method the maximum number of outer iterations of the SQP method were reached (100), with no improvements in the objective function.

The summary of the CPU time and the value of the objective function for all the optimizations realized are presented in Table II as a function of the number of decision variables N.

Table II: CPU Time and objective function value.

N	CPU Time [s]			Objective function		
	Analytic	Numerical	F.D.	Analytic	Numerical	F.D.
15	6.465	5.634	0.820	0.275	0.275	0.297
30	26.080	55.742	0.918	0.274	0.274	0.298
60	155.683	232.157	8.529	0.273	0.273	0.300
120	1005.6	1486.9	406.6	0.273	0.273	0.302

Source: Authors, (2018).

Table II shows that for all the optimizations performed, the use of numerical sensitivities and analytical sensitivities has not difference in the optimal solution, instead of finite differences where sub-optimal results were obtained for all the optimizations performed.

About CPU time, it seems that finite differences is the fastest way to obtain the gradient information, nevertheless, the fact that only feasible solutions were obtained indicates that these optimizations finished earlier because no improvements in the objective functions were observed.

II.3. OPTIMAL TRAJECTORY OF BATCH BIOREACTOR

The system is a fed - batch bioreactor with inhibition and biomass constraint [6], represented in Figure 13. In this system the substrate (S) can be fed during all the batch time. The substrate can be transformed by the microorganisms in two products: biomass (X) which gives the idea of the growing of the microorganisms and in a desired product designated with letter P. These reactions are summarized in eq. 9.



The velocity of these reactions (μ and ν), defined as the change in the respective concentrations in time, depend on the concentration of the substrate: if S is more concentrated there is more reactant available to produce biomass and the desired product, but there are critical concentrations where the reactions are inhibited decreasing the conversion rate. Having this in account, a dynamic optimization can be formulated in order to calculate the optimal trajectory of the substrate feeding (u) that maximizes the production of P at the final time, subject to: molar balances, equations of velocity of reaction (monod with inhibition kinetics [12]) and path constraints in the biomass concentration, as eq. 10 shows.

$$\begin{aligned}
 \min_{u(t)} J &= -P(t_f) \\
 \text{s. t. :} \\
 \dot{X} &= \mu X - \frac{u}{V} X, \quad X(0) = X_0 \\
 \dot{S} &= -\frac{\mu X}{Y_X} - \frac{\nu X}{Y_P} + \frac{u}{V} (S_{in} - S), \quad S(0) = S_0 \\
 \dot{P} &= \nu X - \frac{u}{V} P, \quad P(0) = P_0 \\
 \dot{V} &= u, \quad V(0) = V_0 \\
 \mu &= \frac{\mu_m S}{K_m + S + \frac{S^2}{K_i}} \\
 \nu &= \frac{\nu_m S}{S + K_0} \\
 X(t) &\leq X^{UP}, \quad u(t) \in \mathcal{U}
 \end{aligned} \quad (10)$$

Being V the reaction volume μ_m , K_m , K_i , V_m and K_o kinetics parameters.

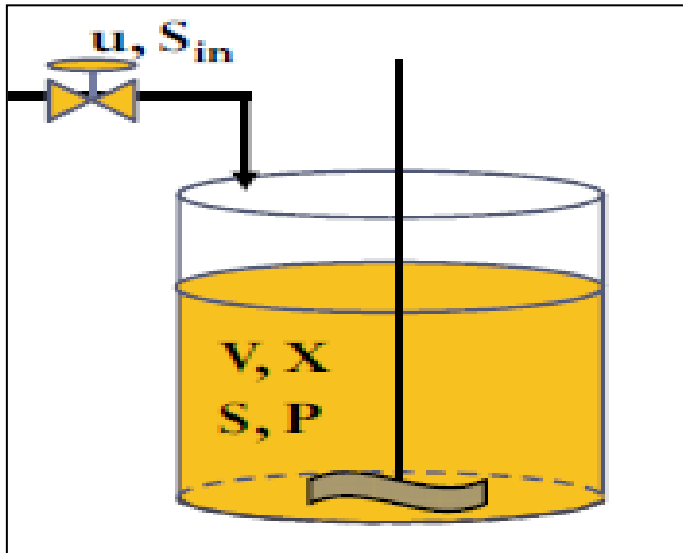


Figure 13: Diagram of a Batch Bioreactor.
Source: Authors, (2018).

The dynamic optimization was solved using piece – wise linear discretization of the decision variable with equally spaced intervals. To handle the path constraint a hard representation was used with a “max” function that register the time where X has the maximum value and is replaced in the constraint. With this representation there is only one constraint to evaluate; unlike other methods where a discretization in time is performed and then the constraint is evaluated in every discrete time increasing the number of constraints.

As in the previous examples, numerical simulations of the model was solved with DASPCK to test which of the available methods is the most eficiente to calculate the numerical sensitivities. The results of these simulations in terms of the CPU time are presented in Figure 14 as a function of the number of decision variables.

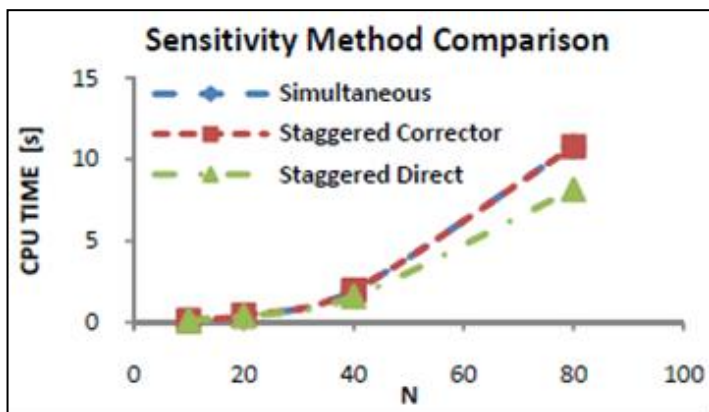


Figure 14: Comparison of the CPU time for the numerical sensitivity methods.
Source: Authors, (2018).

As the previous examples, the most effective method to calculate the numerical sensitivities is the staggered direct one; therefore this method was used in the optimization with numerical sensitivities.

The dynamic optimization was solved for a fixed final time of 8 hours, for an increasing number of decision variables

with the aim of to refine the optimal solution. The outcomes of the optimizations solved with the largest number of decision variables tested (80), are presented in Figure 15, 16 and 17 for the optimizations solved with: analytical sensitivities, numerical sensitivities with the staggered direct method and finite differences respectively.

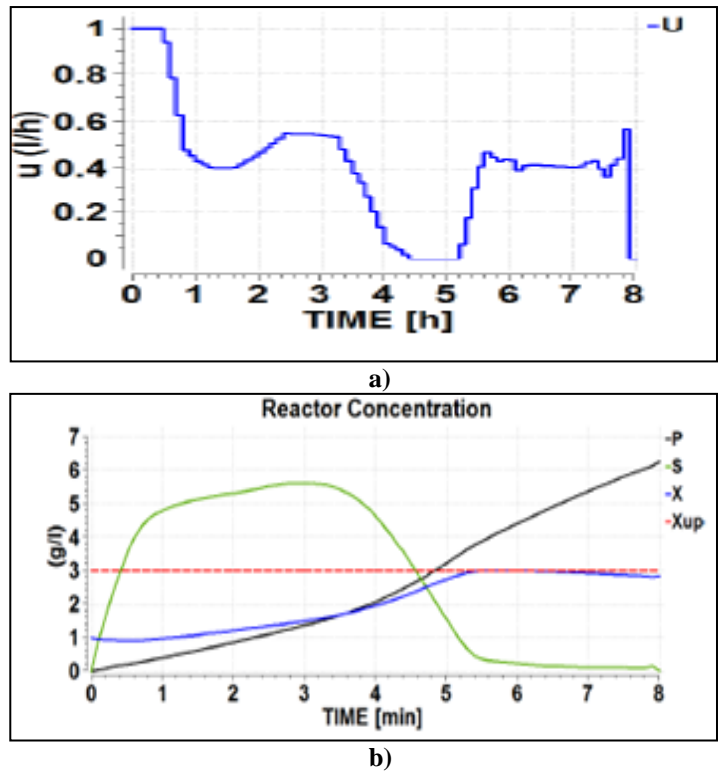


Figure 15: (a) Manipulated and (b) constrained variables.
Source: Authors, (2018).

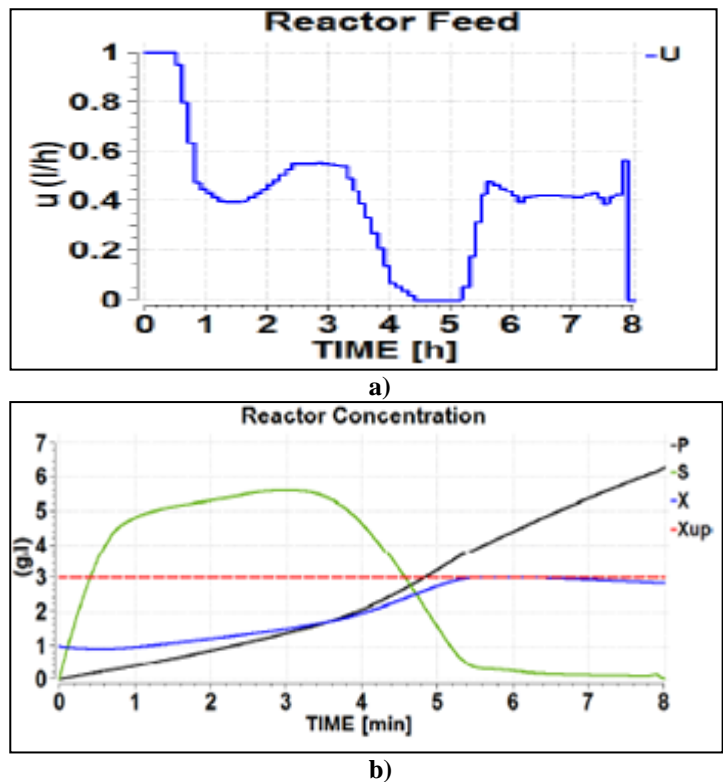


Figure 16: (a) Manipulated and (b) constrained variables.
Source: Authors, (2018).

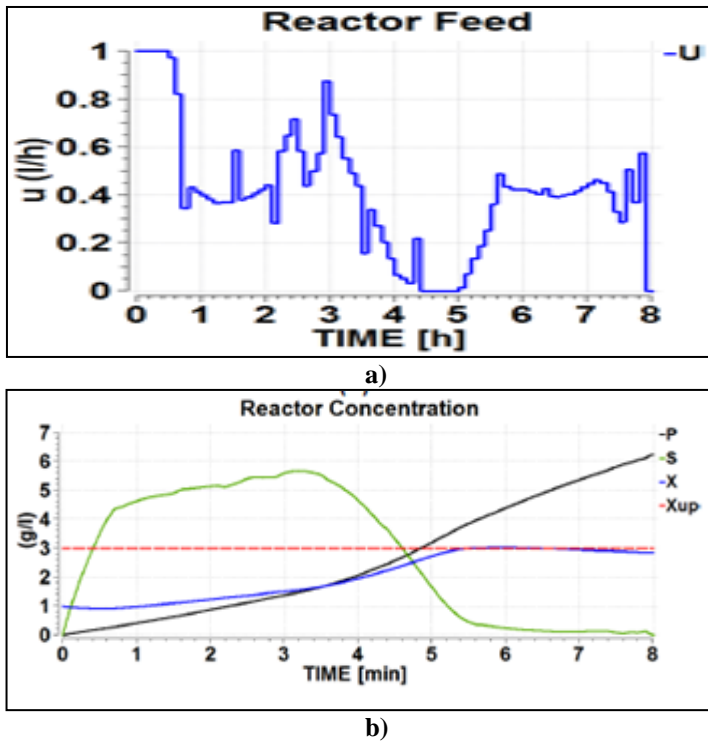


Figure 17: (a) Manipulated and (b) constrained variables.
Source: Authors, 2018.

The optimal trajectory for this problem, can be found in the work of Kadam and co-workers [13]. In the cited work, the authors distinguish six arcs in the optimal trajectory:

- Time 0 to 0.8h: $\mathbf{u}=\mathbf{u}^{UP}$.
- Time 0.8h to 3.8h: sensitivity seeking arc.
- Time 3.8h to 5.4: $\mathbf{u}=\mathbf{u}^{LO}$.
- Time 5.4 to 6.6h: sensitivity arc.
- Time 6.6h to 7.9h: \mathbf{u} remains constant in 0.42 (g/l), keeping the biomass constraint active.
- Time 7.9 to 8h: $\mathbf{u}=\mathbf{u}^{LO}$.

The six arcs of the optimal trajectory mentioned before can be easily distinguished in the outcomes of the optimization using analytical and numerical sensitivities. In both cases the optimizator indicates that KKT conditions were fulfilled. On the other hand, the results obtained using finite differences as a gradient estimator shows some variation with respect to the optimal arcs mentioned, this plus the fact that the optimizator gave a warning because the constraints were not satisfied for the required tolerances ($1e-4$) and no improvements were observed in the merit function, indicates that the solution can be considered as infeasible.

The summary of the objective function value and the CPU time for all the optimizations realized is presented in Table III as a function of the decision variables N.

Table III: CPU Time and objective function value.

N	CPU Time [s]			Objective function		
	Analytic	Numerical	F.D.	Analytic	Numerical	F.D.
10	8.631	2.059	1.457	-6.212	-6.212	-6.210
20	34.714	5.455	9.196	-6.220	-6.220	-6.216
40	212.763	28.755	8.893	-6.227	-6.227	-6.222
80	1169.6	154.02	29.826	-6.232	-6.233	-6.227

Source: Authors, (2018).

About the value of the objective function, it can be noted that the optimizations with analytic sensitivities, numerical sensitivities and finite differences have very similar solutions, nonetheless the constraints was not satisfied in the finite differences method for the required tolerances.

About the CPU time, the situation is similar to the previous example for the finite differences method, however the numerical sensitivities gives better results than analytic sensitivities.

III. CONCLUSIONS

From the previous examples tested, local optimal solutions were obtained when the gradient was calculated using the sensitivities obtained by analytical and numerical ways, unlike the calculus of the gradient using finite differences where only in the first example optimality was reached. This situation is expectable having in to account that the Nag instructions says that it's imperative to provide gradient information to the optimizator to ensure optimality [11]. The difference between the methods that ensures optimality is the previous information available, because in the analytical sensitivities it's necessary to calculate by hand the partial derivatives of the state variables with respect to the decision variables before running the optimization, which can be very intractable for large scale systems, in contrast to the numerical sensitivities where no further information is required to estimate the gradient. Hence, from the point of view of optimality the numerical sensitivities calculus with DASPCK is a good alternative to be implemented in a simulation software such as EcosimPro™ to solve a dynamics optimization problem. The drawback of the numerical sensitivities implementation is the time used to optimize, which makes this option not very attractive to be used in real time applications. This can be explained for the increase in the simulation time when the number of sensitivity variables is increased (see Fig.4, 9 and 14) because a greater linear system must be solved at each time step and also because the Jacobian has more terms that must be evaluated with finite differences. To overcome this problem, the developers of DASPCK indicates that its necessary to use an automatic differentiation application to calculate the Jacobian [8].

Therefore as a future work, the implementation of a numerical differentiation software [14] like TAPENADE [15] must be done, with the aim to improve the CPU time and become DASPCK a real option for dynamic optimization in EcosimPro.

IV ACKNOWLEDGMENTS

Erasmus Mundus External Cooperation Window Lot 17 grants (EMECW Lot 17).

V REFERENCES

- [1] R. W. H. Sargent, "Optimal control," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 124, pp. 361-371, 2000.
- [2] A. E. Bryson. **Dynamic optimization**. Menlo Park, CA: Addison Wesley Longman, 1999.
- [3] L. T. Biegler, "Solution of dynamic optimization problems by successive quadratic programming and orthogonal collocation," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 8, pp. 243-247, 1984.

- [4] V. S. Vassiliadis, *et al.*, "Solution of a Class of Multistage Dynamic Optimization Problems. 1. Problems without Path Constraints," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 33, pp. 2111- 2122, 1994.
- [5] H. G. Bock and K. Plitt, "A multiple shooting algorithm for direct solution of optimal control problems," in *9th IFAC World Congress*, Budapest, 1984.
- [6] B. Srinivasan, *et al.*, "Dynamic optimization of batch processes: I. Characterization of the nominal solution," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 27, pp. 1-26, 2003.
- [7] T. Maly and L. R. Petzold, "Numerical methods and software for sensitivity analysis of differential-algebraic systems," *Applied Numerical Mathematics*, vol. 20, pp. 57-79, 1996.
- [8] S. Li and L. R. Petzold, "Design of New DASPK for Sensitivity Analysis " 1999.
- [9] K. E. Brenan, *et al.*, **Numerical solution of initial-value problems in differential-algebraic equations**. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1996.
- [10] E. A. Internacional, "EcosimoPro Modelling and Simulation Software - EL Modelling Language Version 4.6," ed: Empresarios Agrupados Internacional, 2009.
- [11] G. Numerical Algorithms, *NAG C library manual : mark 5*. Oxford, U.K.: Numerical Algorithms Group Ltd., 1998.
- [12] J. E. Bailey and D. F. Ollis, **Biochemical engineering fundamentals**, Second ed. New York: McGraw-Hill, 1986.
- [13] J. V. Kadam, *et al.*, "Dynamic optimization in the presence of uncertainty: From off-line nominal solution to measurement-based implementation," *Journal of Process Control*, vol. 17, pp. 389-398, 2007.
- [14] L. B. Rall and G. F. Corliss, "An introduction to automatic differentiation," *Computational Differentiation*, pp. 1-16, 1996.
- [15] V. Pascual and L. Hascoët, "TAPENADE for C," in *Advances in Automatic Differentiation*. vol. 64, C. H. Bischof, *et al.*, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 199-209.

Advisor system efficiency of the thermoelectric power plant “10 de octubre”

Emilio Berasategui Arocha¹, Jorge L. González Zamora²

^{1,2}Empresa de Tecnologías de la Información y Automática (ATI) y Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara –Cuba.

Email: eberasategui@ativc.une.cu

Received: November 27th, 2017.

Accepted: January 03th, 2018.

Published: March 30th, 2018

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

The current paper's main objective is to show the development and subsequent implementation of the automation system called Efficiency Advisor belonging to the thermoelectric power plant “10 de octubre” of Nuevitas in Camaguey, including the project of automation, the programming of Programmable Logic Controllers (PLCs), the configuring of supervisor systems or SCADAs, as well as the commissioning and integration of this system with the higher levels of the automation pyramid such as plants and Electrical Union, this last one, stationed in Havana. These last aspects are novel, because include the programming of the OPC communication blocks. In general this system takes into account not only the engineering and technical requirements, but also economic, legal, environmental and quality ones.

Keywords: Automation project, Programmable Logic Controller (PLC), SCADA, Automation pyramid, OPC communication.

Sistema consejero de eficiencia de la Central Termoeléctrica “10 de octubre”

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo mostrar el desarrollo y la posterior ejecución del sistema de automatización llamado Consejero de Eficiencia perteneciente a la central termoeléctrica “10 de octubre” de Nuevitas en Camagüey, lo que incluye la realización del proyecto de la automática, la programación de los autómatas, la configuración de los sistemas supervisores o SCADA, la puesta en marcha, así como la integración de dicho sistema con los niveles superiores de la pirámide de automatización de planta y con los servidores de la Unión Eléctrica, emplazados en La Habana. Estos últimos aspectos resultan ser novedosos, puesto que incluye la programación de los bloques de comunicación OPC. En general para dicho sistema se han tenido en cuenta no solo los requisitos ingenieriles y técnicos, sino también los económicos, jurídicos, ambientales y de calidad.

Palabras Claves: Proyecto de automática, autómatas programables, SCADA, pirámide de automatización, puestas em marcha, comunicación OPC.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la base de la generación eléctrica en Cuba lo constituyen las centrales termoeléctricas (CTE) [1]. Dichas centrales, se caracterizan por ser de tipo vapor, pues en estas, la energía química del combustible se transforma en energía calorífica, con el fin de producir vapor en las calderas, luego este se conduce a la turbina, donde su energía cinética se convierte en energía mecánica, la que se transmite al generador para producir energía eléctrica [2].

Dicho sistema caldera-turbina-generador necesita además enormes cantidades de agua, la cual se le añade desde una fuente externa, para reemplazar la que se pierde en la caldera y el sistema de distribución de vapor, lo que incluye las purgas, fugas de vapor, pérdidas de condensado y el vapor utilizado directamente en los procesos. Así la eficiencia con la cual operan las calderas de vapor y por consiguiente el costo de operación de estas, la seguridad en su operación y la durabilidad, depende en gran medida de la calidad del agua con que se alimentan [3].

Por lo tanto esta agua, requiere de una calidad especial, por lo que su tratamiento es fundamental. El objetivo de este tratamiento es prevenir posibles corrosiones e incrustaciones [4]. Para ello se instalan plantas de tratamiento químico de agua en cada una de las CTE con el objetivo de purificarla y desmineralizarla.

Según los estudios [5], la industria eléctrica en Cuba es uno de los mayores consumidores de portadores energéticos y demás insumos como el agua, por lo tanto el uso racional y eficiente de estos recursos es cuestión de suma importancia. Así durante los últimos años el país ha trabajado con éxito en el diseño y puesta en práctica de una política de ahorro de las centrales eléctricas.

Como parte de lo anterior, en el 2011, a pedido de la más alta dirección del país en la figura del Comandante de la Revolución Ramiro Valdés Menéndez, en una reunión del Consejo de Ministros, en la Empresa de Tecnologías de la Información y Automática (ATI), se planteó la necesidad de un sistema automatizado llamado Consejero de Eficiencia, con el objetivo de tener una herramienta de evaluación de la eficiencia del trabajo en las CTE del país, en el aprovechamiento y uso efectivo de los insumos [6].

Así, después de un estudio realizado [6], se determinó que dicho Consejero de Eficiencia debía ser aplicado en tres partes importantes de las termoeléctricas, la planta de tratamiento químico de agua y en los sistemas de tanques de almacenamiento de combustible y en el de trasiego exterior, debido a dos aspectos fundamentales, la obsolescencia de la automatización y el despilfarro de recursos en dichos lugares.

II. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

Desde finales del 2012 se ha venido realizando el proyecto y la paulatina implementación del Sistema Consejero de Eficiencia CTE 10 de Octubre, todo lo anterior llevado a cabo por el Grupo de Proyectos de la UEB de ATI en Villa Clara. Dicho proyecto abarca la concepción del sistema y los elementos necesarios para la adquisición automatizada de las mediciones relacionadas con los portadores energéticos de la planta, habilitando la recolección de datos tecnológicos fundamentales para la evaluación de la explotación eficiente y la disponibilidad de los mismos para el personal técnico de la planta, además de garantizar la disponibilidad de las variables que son de interés, para que pudiesen ser enviadas en tiempo real hacia los niveles superiores como la Unión Eléctrica (UNE) y ser incorporadas en los software desarrollados por ATI para la misma [7].

De esta manera, para la sustitución del sistema automático viejo y la concepción de uno nuevo que realizara las funciones del anterior y que a la vez fuera más abarcador según los requerimientos de la UNE, se dio la necesidad de contar con una tecnología capaz de adquirir la información de las variables ubicadas en el campo, así como que se encargara del procesamiento de la información, de la implementación de los lazos de control, etc. Por lo tanto, se dio la necesidad de usar Controladores Lógicos Programables (PLC). Dichos PLC deberían cumplir además con las siguientes características: que tuvieran buenas prestaciones, adecuada relación costo/beneficio, así como robustez para ambientes industriales agresivos, además de ser compatibles con la red de comunicación industrial implementada. Dados los anteriores requerimientos se eligió un

PLC producido por la firma alemana Endress+Hauser, el modelo SFC 173 de estructura modular.

También como parte de lo proyectado, para cumplir con los requisitos de monitorización y supervisión, era necesario contar con un software que realizase dichas tareas. Para tal efecto era fundamental utilizar una plataforma SCADA debido a que posee muchas más potencialidades que un programa realizado a medida. La variante a utilizar en este sentido debía tener buenas prestaciones, buena relación costo/beneficio, antecedentes probados de uso en procesos industriales del petróleo y la industria química y que fuera comercializable en Cuba. Para esto se eligió el software Movicon versión 11.2, el cual es una plataforma software SCADA/HMI basada en tecnologías de innovación de avanzada, que ofrece la posibilidad de transformar la PC en una estación de adquisición, elaboración y control de datos de proceso. La plataforma Movicon permite generar y ejecutar cualquier aplicación en el ámbito de la automatización o supervisión industrial [8]. Además, dicho software ha sido probado en Cuba con resultados muy satisfactorios.

III. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto va enfocado en tres partes principales: tanques de almacenamiento de combustibles, sistemas de trasiego exterior de combustible y planta de tratamiento químico de agua y actualmente se encuentra en ejecución.

III.1. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Conocer el estado del combustible dentro de los tanques de almacenamiento es imprescindible, sobre todo porque se está hablando de un recurso sumamente costoso y si se tiene en cuenta que son disímiles los factores que pueden alterar su contenido desde los puramente físicos como la temperatura, hasta otros más *sui generis* como las ilegalidades, entonces se demuestra que la correcta medición, supervisión es vital, para controlar los bienes del estado. Así, esto se garantiza, mediante el Sistema de Automatización propio de la Endress+Hauser llamado TankVision como se puede apreciar en la Figura 1, donde se incluyen varias mediciones, entre ellas las de nivel y temperatura promedio en cada tanque, así como sistema de alarma por sobrellenado entre otras [7].

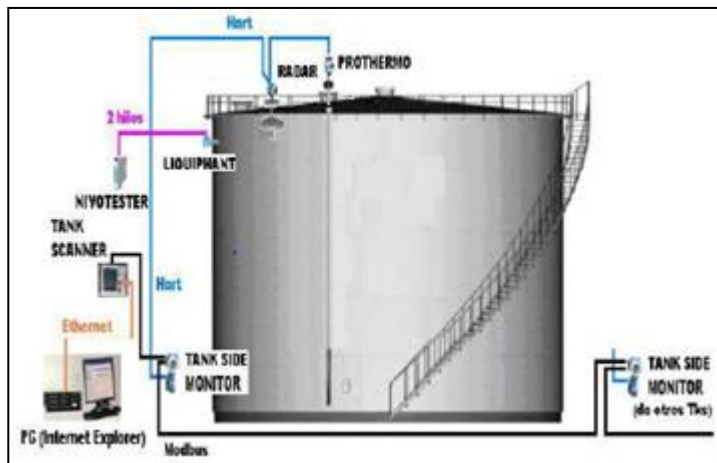


Figura 1: Configuración del sistema de automatización TankVision. Fuente: Los Autores, (2015).

Esta información se presenta al operador a través de esquemas sinópticos y tabulares en la pantalla de una PC. La información requerida por los niveles superiores de la UNE se hace disponible en la Red Tecnológica de la planta a través de un equipo Host Link, para lo que se programaron de algunos bloques extras del protocolo de comunicación [7].

En la Tabla 1 se muestran algunas de las variables del sistema de tanques de almacenamiento, así como los instrumentos asociados a estas. Resaltadas en negritas se encuentran algunas de las nuevas variables incorporadas en el proyecto [7].

Tabla 1: Variables de tanques de almacenamiento de combustible.

VAR	DESCRIPCIÓN	SENSOR
LIT 001	Nivel de combustible en el tanque de crudo #1.	Micropilot S FMR533
TT 001	Temperatura promedio en el tanque de crudo #1.	Prothermo NMT539
LIT 002	Nivel de combustible en el tanque de crudo #2.	Micropilot S FMR533
TT 002	Temperatura promedio en el tanque de crudo #2.	Prothermo NMT539
LIT 003	Nivel de combustible en el tanque de crudo #3.	Micropilot S FMR533
TT 003	Temperatura promedio en el tanque de crudo #3.	Prothermo NMT539
LIT 004	Nivel de combustible en el tanque de Gas Oil #1.	Micropilot S FMR533
TT 004	Temperatura de combustible en el tanque de Gas Oil #1.	Prothermo NMT539
LS 001	Sensor de sobrellenado en el tanque de crudo #1.	Liquiphant FTL51
LS 002	Sensor de sobrellenado en el tanque de crudo #2.	Liquiphant FTL51
LS 003	Sensor de sobrellenado en el tanque de crudo #3.	Liquiphant FTL51

Fuente: Los Autores, (2015).

Los instrumentos Micropilot y Prothermo de los tanques van conectados mediante protocolo Hart al Tank Side Monitor NRF590 (ver Figura 2), el cual procesa la información obtenida en los instrumentos y la muestra en su *display*, además de transmitirla por red Modbus al resto del sistema [7].



Figura 2: TankSide Monitor NRF590, instalados en el campo.
Fuente: Los Autores, (2015).

Los NRF590 de todos los tanques van enlazados entre sí mediante una red Modbus, la cual los comunica con el Tank Scanner NXA820 que puede recopilar la información de hasta 15 tanques (ver Figura 3). El Tank Scanner procesa la información de todos los tanques conectados a él y genera una página Web que contiene las magnitudes de las variables medidas en los tanques (nivel, temperatura), los resultados de los cálculos derivados de las mismas (volumen, masa, etc.) y las señalizaciones de alarma que se le hayan configurado [7].



Figura 3: TankScanner NXA820 instalados en el campo.
Fuente: Los Autores, (2015).

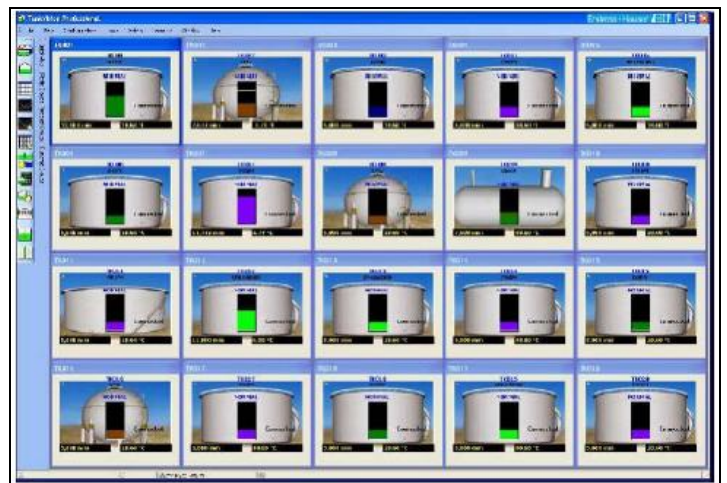


Figura 4: Una de las pantallas de la aplicación supervisoria TankVision Professional, desarrollada para el sistema de almacenamiento de combustible.

Fuente: Los Autores, (2015).

El Tank Scanner cuenta con una conexión Ethernet que le permite ser parte de una red de este tipo. Al equipo se le asigna una dirección IP, y accediendo a esta dirección se puede descargar la página Web mediante una computadora [7]. Entonces se genera una aplicación llamada TankVision Professional, para la monitorización y la supervisión de las variables de cada tanque, como se muestra en la Figura 4.

Además, para darle más robustez al sistema, se incorpora una señalización de nivel de sobrellenado, para ello, se coloca un sensor vibratorio tipo Liquiphant FTL51 en el techo de cada tanque. Cada uno de los sensores situados en los tanques va interconectado a un módulo de alarma Nivotester FTL325N. Los Nivotesters situados en el cuarto de operador del área de tanques envía su señal a un equipo anunciador lumínico de alarmas

(alarmero), el cual además acciona una alarma lumínica y sonora de alta potencia situada en el exterior para avisar cuando ocurra esta eventualidad [7].

La pirámide de automatización del sistema de tanques de combustible se muestra en la Figura 5.

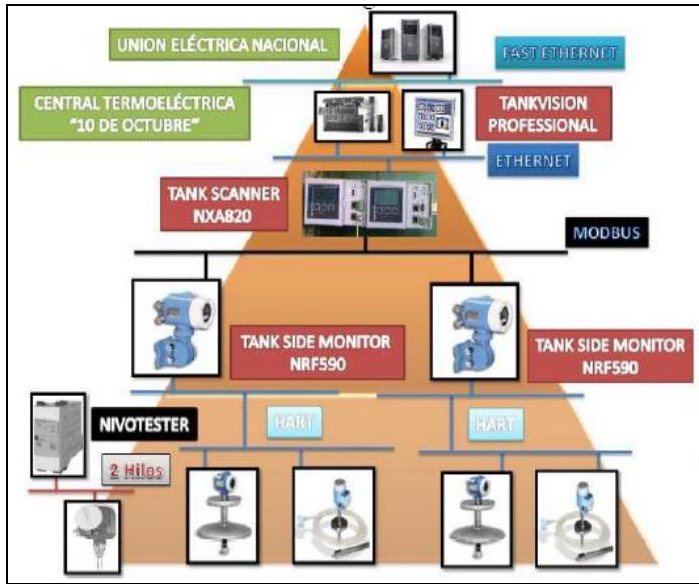


Figura 5: Pirámide de Automatización del sistema TankVision. Fuente: Los Autores, (2015).

III.2. SISTEMA DE TRASIEGO EXTERIOR DE COMBUSTIBLE

Para transportar el combustible largas distancias, primero hace falta calentarlo lo suficiente, puesto que la viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura. Por lo tanto mientras más eficiente sea la regulación de este proceso, mejor será la eficacia en el trasiego de combustible y con ello, el ahorro de recursos.



Figura 6: Profibus Power Hub ubicado en el campo. Fuente: Los Autores, (2015).

Para ello se necesita un sistema de medición efectivo, de esta manera en cada tramo de transportación van instalados los instrumentos que permiten medir las variables requeridas (temperatura, presión, nivel) y los elementos de acción final (válvulas reguladoras). Los mismos van unidos mediante una red Profibus al resto de los instrumentos y de los otros equipos que forman un grupo; la red de cada grupo de equipos constituye un segmento de la red Profibus general. Las derivaciones a los instrumentos cercanos entre sí se realizan mediante cajas de derivación (*Junction Box*) para facilitar el montaje [7].

Todos los segmentos van a un PLC a través de un Profibus Power Hub como se muestra en la Figura 6. En el PLC se recopila la información de todos los tanques y se procesa para ser mostrada en la PC de operación, en la cual se encuentra configurado un Sistema Supervisorio (SCADA); realizada sobre el software Movicon [7].

En la Tabla 2 se muestra algunas de las variables del sistema de trasiego de combustible, así como los instrumentos asociados a estas. Resaltadas en negritas se encuentran algunas de las nuevas variables incorporadas en el proyecto [7].

Tabla 2: Variables del sistema de trasiego de combustible.

VAR	DESCRIPCIÓN	SENSOR
LT 006	Nivel de combustible en el tanque de purga.	Prosonic M FMU40
FIT 001	Flujo entrada de crudo a la CTE.	Coriolis Promass 84F1F
LS 004	Sensor sobrellenado en tanque de purga	Liquiphant FTL51
PIT 001	Presión línea de vapor tanque de crudo #1.	Cerabar S PMP71
PIT 002	Presión línea de vapor tanque de crudo #2.	Cerabar S PMP71
TT 006	Temperatura de salida calentador de línea tanque de crudo #1.	Omnigrad M TR10
TT 007	Temperatura de salida calentador de boca tanque de crudo #1.	Omnigrad M TR10
PIT 004	Presión de succión bombas de crudo unidad #3 primer impulso.	Cerabar M PMP71
PIT 005	Presión de salida bombas de crudo unidad #3 primer impulso.	Cerabar M PMP71
TT 012	Temp. de salida bombas de crudo unidad #3 primer impulso.	Omnigrad M TR10
FV 001	Válvula reguladora calentador de línea tanque de crudo #1.	AUMA Dn 50, Pn 16, brida ANSI 150, posicionador Profibus

Fuente: Los Autores, (2015).

El trasiego de combustible está dividido en dos segmentos:

1. Segmentos de los calentadores de boca y línea:

Cada tanque de crudo tiene un calentador de boca (ver Figura 7), para el precalentamiento y uno de Línea para el calentamiento final, alimentados mediante una tubería de vapor [7].



Figura 7: Calentador de Boca de uno de los tanques de almacenamiento de combustible.

Fuente: Los Autores, (2015).

En la Figura 8 se observa que en cada tanque de crudo van instalados los instrumentos y equipos que permiten establecer un lazo de regulación de temperatura para cada calentador, compuesto cada uno de un medidor de temperatura Omnigrad MTR10 y una válvula reguladora. Además, hay un medidor de presión Cerabar M para la línea de vapor que alimenta a ambos calentadores. Todos estos componentes van unidos por un cable Profibus en configuración multidrop, formando un segmento que va al PLC del área a través del Profibus Power Hub [7].

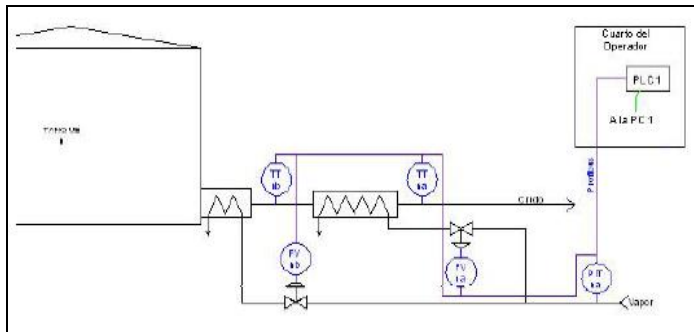


Figura 8: Configuración de los lazos de control y la red Profibus de los calentadores de cada tanque de crudo.

Fuente: Los Autores, (2015).

2. Segmento de la casa de bombas de primer impulso:

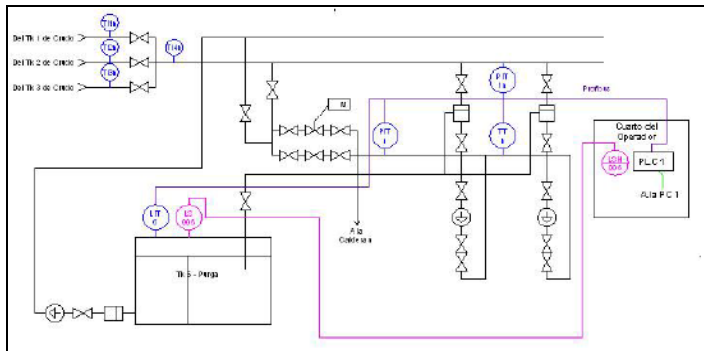


Figura 9: Configuración de los lazos y la red Profibus de las bombas de primer impulso.

Fuente: Los Autores, (2015).

En la casa de bombas de primer impulso están las parejas de bombas de cada unidad y el tanque de purga. El conjunto de la instrumentación de estos equipos constituye un segmento de la red Profibus independiente. En la Figura 9, se ve que en cada pareja de bombas van instalados los instrumentos que permiten medir distintas presiones y temperaturas [7].

Además, en el tanque de purga se encuentra un transmissor de nivel ultrasónico, Prosonic M FMU40 y su salida se conectará a un segmento de la red Profibus del PLC Endress+Hauser que se ubicará en el área de la casa de petróleo de primer impulso. Además, tendrá un señalizador de nivel límite [7].

Todos estos componentes van unidos por un cable Profibus en configuración multidrop, formando un segmento que va al PLC del área a través del Profibus Power Hub. Para el caso del Tanque de Purga, el PLC cuenta con salidas digitales que permiten establecer un control on/off para la bomba de drenaje, desde el sistema supervisorio Movicon. El señalizador de nivel límite va a un módulo de alarma situado en el cuarto del operador y a una señalización lumínica y sonora situada en el exterior del cuarto [7].

Además, se incorpora, un flujómetro del tipo Coriolis con salida de pulsos (ver Figura 10), para medir la entrada de crudo a la planta (Promass 84F1F), diseñado para transferencia fiscal UNE-CUPET, con el objetivo de garantizar un alto nivel de precisión del flujo de combustible que recibe la CTE [7].



Figura 10: Flujómetro Coriolis instalado para la transferencia fiscal.

Fuente: Los Autores, (2015).

III.3. PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUA (PTQA)

En dicha planta es de gran interés monitorizar los niveles en cada tanque de agua desmineralizada, agua cruda y agua filtrada, así como los niveles de las distintas cisternas de almacenamiento de agua y los niveles de los tanques de sosa y ácido, donde por el ambiente corrosivo se utilizan instrumentos ultrasónicos para prevenir el contacto. De esta manera todos estos segmentos van a un PLC a través de un Profibus Power Hub (ver Figura 11). En el PLC se recopila la información de todos los tanques y se procesa para ser mostrada en la PC de operación, en la cual se encuentra configurado un Sistema Supervisorio (SCADA); esta aplicación se realiza sobre el software Movicon [7].

Además, se instalaron flujómetros con el objetivo de garantizar la supervisión en distintos puntos como por ejemplo, en la línea de entrada de agua cruda a la CTE desde el acueducto, en

la línea de agua filtrada, etc. Todos estos flujómetros tienen salida 4 a 20 mA (ver Figura 12) [7].

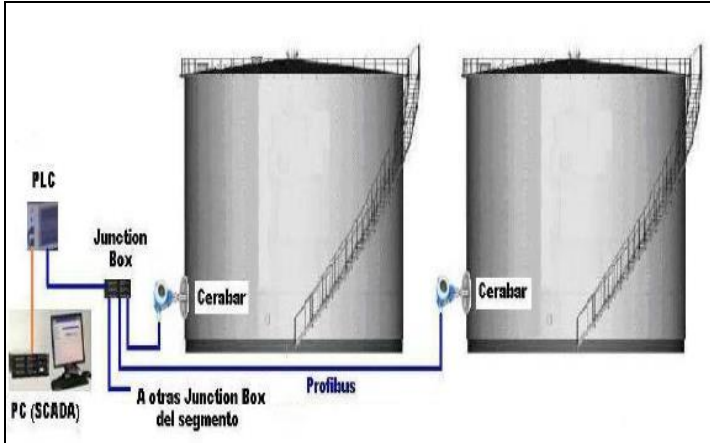


Figura 11: Configuración del sistema de automatización de los tanques de agua de la Planta de Tratamiento Químico. Fuente: Los Autores, (2015).

En la Tabla 3 se muestra algunas de las variables de la planta de tratamiento químico, así como los instrumentos asociados a estas. Resaltadas en negritas se encuentran algunas de las variables incorporadas en el nuevo proyecto [7].

Tabla 3: Variables de la planta de tratamiento químico de agua.

VAR	DESCRIPCIÓN	SENSOR
FIT 002	Flujo entrada de agua cruda a la CTE.	Promag 10P2F
FIT 003	Flujo entrada de agua a tanques de agua cruda.	Promag 10P2F
FIT 004	Flujo entrada de agua a la línea #1 de la PTQA.	Promag 10P1H
FIT 005	Flujo entrada de agua a la línea #2 de la PTQA.	Promag 10P1H
FIT 008	Flujo salida de agua desmineralizada línea #1 de la PTQA.	Prowirl 72F1H
FIT 009	Flujo salida de agua desmineralizada línea #2 de la PTQA.	Prowirl 72F1H
LIT 007	Nivel tanque #1 agua desmineralizada.	Cerabar S PMP71
LIT 008	Nivel tanque #2 agua desmineralizada.	Cerabar S PMP71
LIT 009	Nivel tanque #3 agua desmineralizada.	Cerabar S PMP71
LIT 010	Nivel tanque #1 de ácido.	Micopilot M FMR245
LIT 014	Nivel tanque #1 de sosa.	Micopilot M FMR245
LIT 015	Nivel tanque #2 de sosa.	Micopilot M FMR245
LIT 016	Nivel tanque #1 de agua cruda.	Cerabar S PMP71
LIT 017	Nivel tanque #2 de agua cruda.	Cerabar S PMP71

Fuente: Los Autores, (2015).



Figura 12: Flujómetro Promag 10P2F a la entrada de los tanques de agua cruda. Fuente: Los Autores, (2015).

Todos los segmentos van a un PLC a través de un Profibus Power Hub. En el PLC se recopila la información de todos los tanques y se procesa para ser mostrada en la PC de operación, en la cual se encuentra configurado un Sistema Supervisorio (SCADA); esta aplicación se realiza sobre el software Movicon [7].

IV. PROGRAMACIÓN DE LOS NIVELES SUPERIORES DE AUTOMATIZACIÓN

Para los tanques de almacenamiento de combustible se configuró *in situ*, el sistema de automatización TankVision, estando disponibles los datos tecnológicos que procesa, vía TCP-IP tanto para el nivel de CTE, como para el nivel UNE.

IV.1. PROGRAMACIÓN DE LOS AUTÓMATAS Y LA COMUNICACIÓN. CONFIGURACIÓN DEL SCADA

Los PLC se programaron mediante el software Control Care Application Designer, del propio autómatas como se ve en la Figura 13. Este es compatible con la norma IEC 61131-3 [9].

Tanto para planta de tratamiento químico de agua como para el sistema de trasiego exterior de combustible, las señales de 4 a 20 mA o de pulsos de los flujómetros entran al PLC mediante sus módulos de entradas SFC-444 y SFC-441 respectivamente. Las señales de entrada de los restantes instrumentos, así como las señales de salida de mando de los lazos de regulación que se envían al proceso tecnológico, se adoptan vía red Profibus, conectándose a la CPU del PLC, por su puerto de servicio mediante un conector DB9 [10].

Una vez adquiridas todas las variables por el PLC, reciben un procesamiento interno desde el tratamiento primario de la información, la conversión a unidades de ingeniería, hasta el posterior acondicionamiento para el ajuste de los lazos de control, emisión de señales de mando, así como la inscripción en registros internos con características de variables para la comunicación con niveles superiores. Por otra parte, los autómatas programables van conectado a la computadora de operación habilitada (PC) vía Ethernet por el puerto de servicio que se encuentra en sus CPU [10].

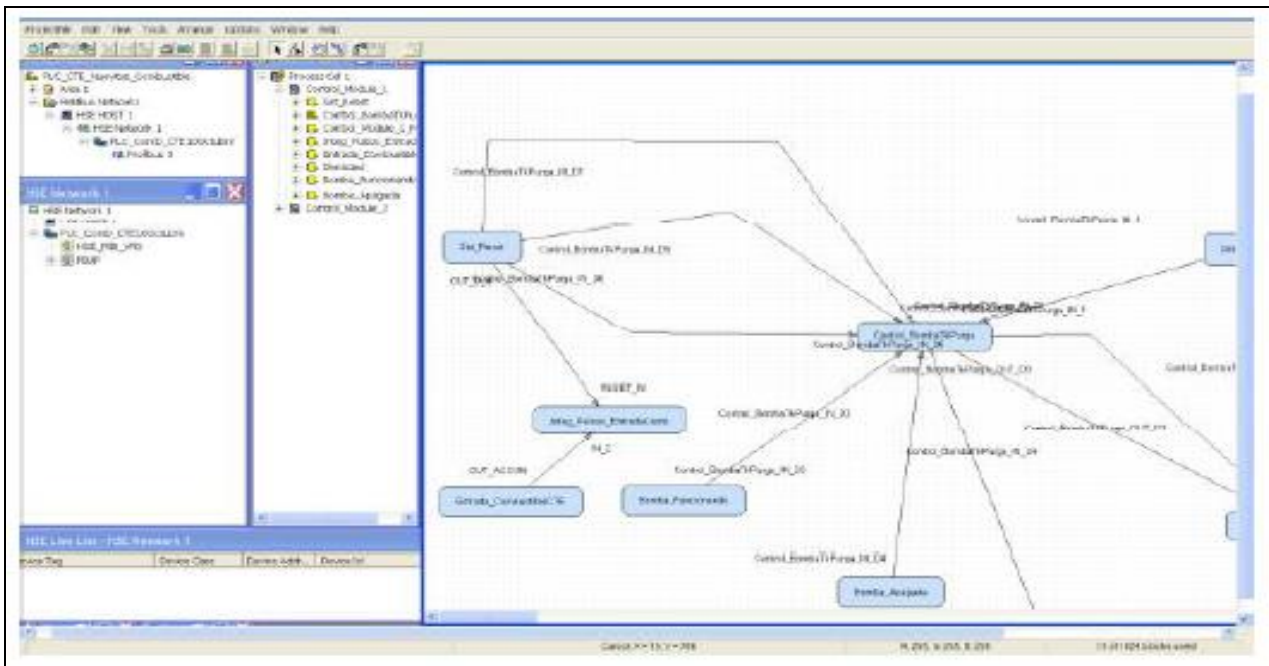


Figura 13: Porción de la programación del PLC Endress+Hauser usando el software Control Care Application Designer. Fuente: Los Autores, (2015).

Para la supervisión de las distintas variables adquiridas por los PLC del sistema de trasiego exterior de combustible y de la planta de tratamiento químico de agua, se crearon dos aplicaciones SCADA utilizando Movicon las cuales corren de forma independiente en diferentes PC (ver Figura 14 y Figura 15). Para ambas se compraron las licencias correspondientes. Además, dichas aplicaciones cuentan con varios sinópticos, ya sea para la

monitorización en tiempo real (*online*) de variables como flujo, nivel, integración, etc, para el manejo de alarmas, de los históricos de alarmas, de los registros históricos de las variables, el comportamiento gráfico de las distintas variables, así como ajustes de los *setpoint* de lazos de regulación, manejo de válvulas, bombas etc.

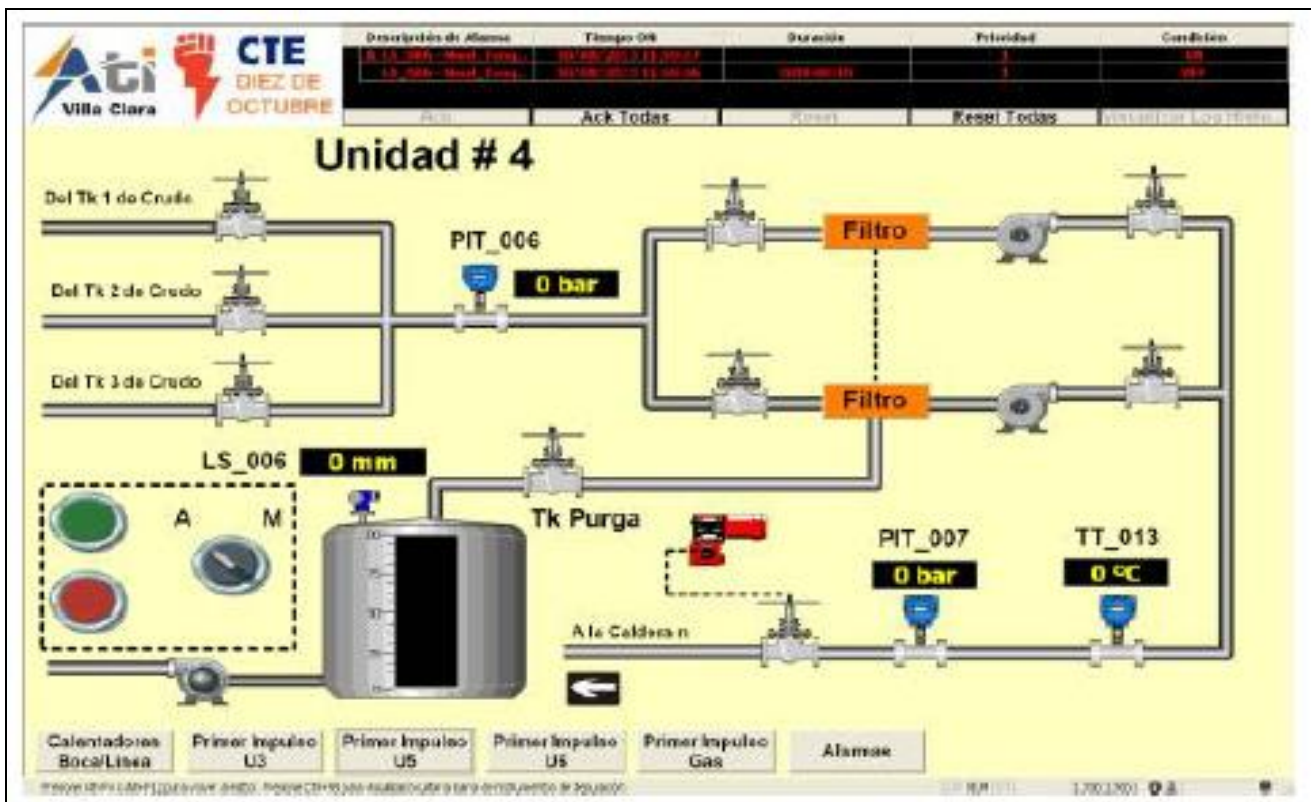


Figura 14: Una de las pantallas de la aplicación SCADA, usando Movicon, desarrollada para el sistema de trasiego de combustible.

Fuente: Los Autores, (2015).

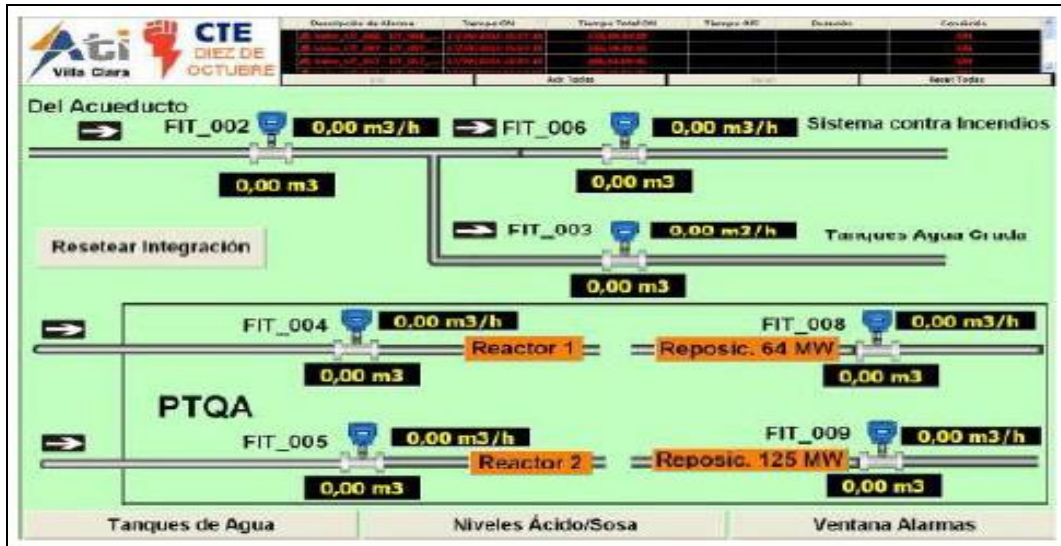


Figura 15: Una de las pantallas de la aplicación SCADA, usando Movicon, desarrollada para la planta de tratamiento químico de agua.
Fuente: Los Autores, (2015).

Todas las pantallas están interconectadas entre sí mediante la utilización de los diferentes botones de navegación. Además, desde cada una de ellas se pueden visualizar el estado de las alarmas principales, estando situada una ventana de alarmas en la parte superior de cada sinóptico. También se implementó una política de seguridad, con el fin de que solo el personal autorizado, pueda ejecutar cualquier acción en los SCADA. Sin embargo, a priori la comunicación entre Movicon y el PLC Endress+Hauser, es muy difícil, puesto que el primero no tenía implementado los drivers de comunicación para el segundo. Em vista de solucionar esto, se imponía la necesidad de utilizar la comunicación Cliente OPC-Servidor OPC. Dicho protocolo de comunicación abierto permite la comunicación entre aplicaciones informáticas, garantizando la interoperabilidad entre diferentes fabricantes de software y hardware. El estándar OPC consta de varias especificaciones que permiten la obtención y envío de datos en Tiempo Real (DA), Datos Históricos (HDA), Alarmas y Eventos (A&E), entre otros, utilizando para ello varias vías como la interface RS232/RS485 o conexión TCP/IP [11].

La arquitectura de una red que trabaja con el estándar OPC

siempre consta de al menos tres partes; una aplicación (hardware o software) de cualquier fabricante, la cual genera o contiene los datos que se quiere obtener, ya sea un PLC, una Base de Datos, un fichero de Excel, una RTU cualquier elemento que contenga datos; un Servidor OPC específico para este Hardware o Software, que es un software que reconoce el lenguaje propietario del Hardware o Software de dónde sacará los datos y un Cliente OPC, el cual es un software que tiene implementadas los estándares y que puede comunicarse con cualquier Servidor OPC [11].

Por lo tanto, dada las características del sistema a automatizar, se escogió dicha comunicación OPC por las enormes facilidades que brinda en comparación a otras opciones, así como para no tener que crear drivers específicos y hacerlo todo más transparente y fácil para el usuario. Para cumplir con lo anterior se determinó que el que más se adaptaba a las condiciones que se requerían era el Field Control HSE OPC Server. No obstante, a dicho software se le hicieron algunas modificaciones, incluida la implementación de nuevos bloques de programación, para lograr la comunicación deseada entre el PLC y el Movicon, para ello se le programaron bloques adicionales.

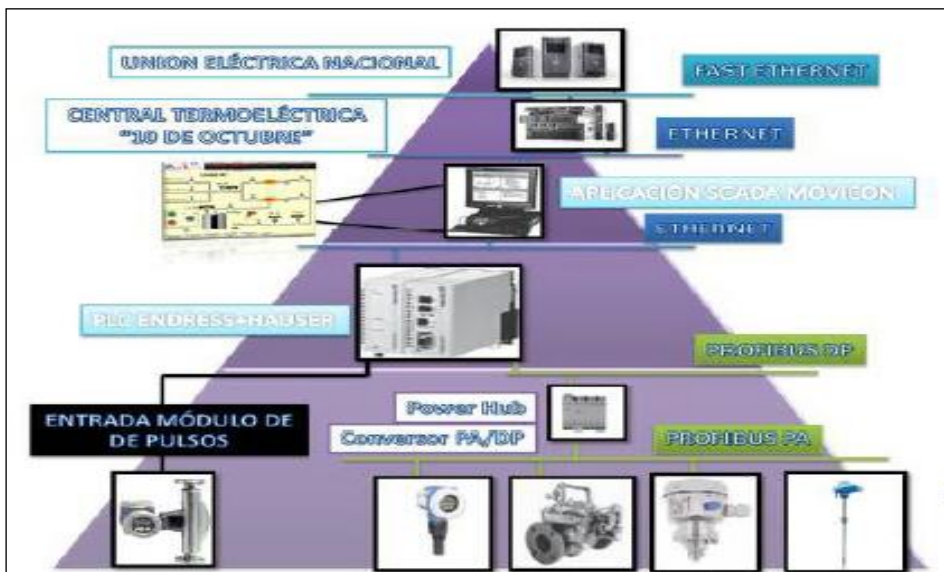


Figura 16: Pirámide de Automatización de un subsistema del trasiego de combustible.
Fuente: Los Autores, (2015).

Así las pirámides de automatización de cada uno de los subsistemas del trasiego exterior de combustible y de la planta de

tratamiento químico de agua quedaron definidas como se muestra en las Figura 16 y 17.

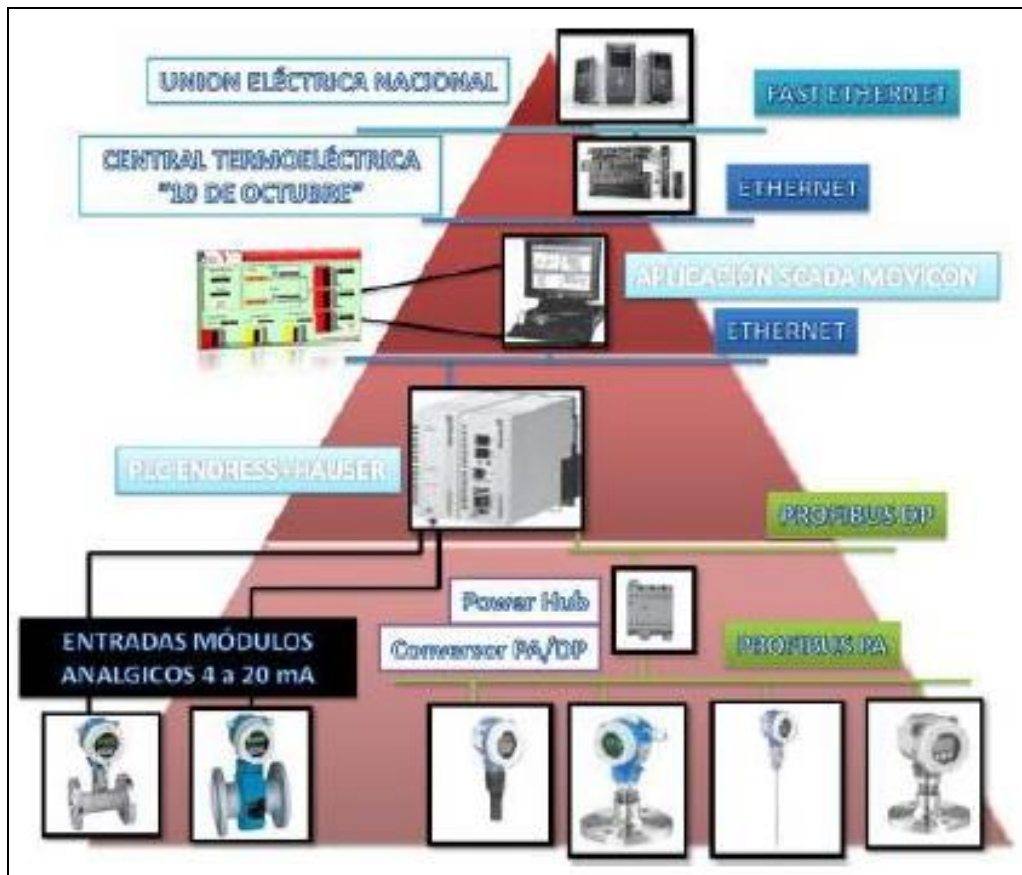


Figura 17. Pirámide de Automatización de un subsistema la planta de tratamiento químico de agua. Fuente: Los Autores, (2015).

V. SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN PARA EL PROYECTO CONSEJERO DE EFICIENCIA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE “10 DE OCTUBRE”

La Empresa de Tecnología de la Información y Automática (ATI), brinda servicios técnicos con garantía de la calidad, en correspondencia con los requisitos de los clientes, en las actividades de informática, automática y comunicaciones a las empresas de la Unión Eléctrica y a terceros, cumpliendo los requerimientos legales y reglamentarios manteniendo un entorno ambiental y de trabajo protegido, con enfoque de prevención, garantizando un desempeño laboral superior de los trabajadores a través de la gestión de competencias [12].

La empresa ATI, se adscribe a la Licencia No. 346/11 del Ministerio de la Construcción de Cuba, renovada en noviembre de 2014 por un período de 18 meses, para la realización de todos los proyectos y trabajos de ingeniería. Al amparo de dicha licencia, la empresa puede realizar las siguientes actividades [13]:

- Servicios técnicos integrales de automática y telecomunicaciones incluidos diseños, proyectos y soluciones de ingeniería.
- Servicios de asesoría y consultoría en las especialidades de automática y telecomunicaciones.

De esta manera, siguiendo los procedimientos establecidos, fue firmado un documento llamado: CONTRATO GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS No: 807/2011 entre EMPRESA DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y AUTOMÁTICA UEB ATI - VILLA CLARA Y CTE “10 de

octubre”. Nuevitas, Camagüey, que constituye el instrumento jurídico que respalda la contratación de servicios [14].

Teniendo en cuenta lo anterior, se han venido realizando los servicios de diseño de proyectos, instalación, pruebas, puesta en marcha y control de autor, en la CTE “10 de octubre” aplicando métodos adecuados y buenas prácticas profesionales, todo esto amparado en el Sistema Integrado de Gestión de ATI, basado en el Decreto 281 [15] y en las normas vigentes NC ISO 9001 [16]; NC ISO 14001 [17]; NC 18001 [18]; NC ISO 50001 [19], NC ISO/IEC 17025 [20], NC 3001 [21] y en la Resolución 60 del Control Interno [22].

VI. CONCLUSIONES

El Sistema Consejero de Eficiencia de la CTE “10 de octubre” es un instrumento de evaluación del aprovechamiento y uso racional de los insumos, debido a que posibilita la recolección y tratamiento de datos tecnológicos fundamentales para la valoración de la explotación, asegurando la disponibilidad de los mismos desde el personal técnico ubicado a nivel de planta, hasta los niveles superiores como la CTE y la UNE. Dicho sistema ha posibilitado, la sustitución del sistema automático viejo y casi inoperante, por uno nuevo, más robusto y que además de realizar las funciones del anterior es más abarcador según los requerimientos.

Este proyecto es complejo puesto que engloba muchas áreas del conocimiento, desde el accionamiento eléctrico y el control automático hasta la ingeniería de software y la

programación. Por tanto, fue vital tener en cuenta la correcta elección de un sistema de medición, toda vez que como se pudo apreciar en las Figura 5, 16 y 17, constituye los cimientos de la pirámide de automatización, pues si el sistema de medición tiene un mal comportamiento, la infraestructura que hay en niveles superiores no funcionará adecuadamente.

Además de la programación de los PLC y la implementación de los SCADA, fue novedoso, la programación de bloques adicionales y de cambios en los ya existentes para lograr la comunicación del PLC con los niveles superiores, puesto que, por solo citar un ejemplo, a priori el PLC Endress+Hauser y el Movicon son incompatibles. También fue correcto escoger la comunicación OPC puesto que es más efectiva que otras, como la comunicación por drivers, además de estar a tono con la tendencia mundial en materia de automatización y monitorización, donde la comunicación OPC, cobra cada día mayor protagonismo.

Claro está ningún proyecto de ingeniería serio hoy en día se puede mantener al margen de la institucionalidad y para eso no solo es importante que cumplan con los parámetros científico-técnico, lo cual es su razón de ser, sino que debe cumplir, además, rigurosamente, los requisitos jurídicos, económicos y de calidad tal y como lo ha hecho este proyecto Consejero de Eficiencia de la CTE "10 de octubre".

VII. REFERENCIAS

- [1] H. Mora. "Las energías renovables y la mitigación del cambio climático en Cuba". CUBAENERGIA, 2013.
- [2] J. R. Romero, "Estudio Descriptivo y Analítico de una Planta de Ciclo Combinado". Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, Xalapa, México 2011.
- [3] Colectivo de Autores. "Tratamiento de agua para su utilización em calderas". Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Cuba, 2008.
- [4] G. Castillo. "Producción de agua desmineralizada para uso industrial". TECNOAQUA, diciembre 2013.
- [5] E. Madruga. "Revolución y energía". Revista CUBASOLAR, 2012.
- [6] Unión Eléctrica Nacional, "Tarea técnica para el Sistema Consejero de Eficiencia". Ciudad de La Habana, 2010.
- [7] J. González, "Consejero de Eficiencia Central Termoeléctrica 10 de Octubre". Empresa de Tecnologías de la Información y Automática ATIVC 2011.
- [8] Progea. "Manuales de software SCADA Movicon," ed, 2012.
- [9] International Electrotechnical Commission. "International Standard IEC 61131-3," ed, 2003.
- [10] Endress-Hauser. "Manuales de Programación PLC Endress-Hauser," ed, 2008.
- [11] F. Pérez "OPC: Conceptos Fundamentales". Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao. España, 2009.
- [12] Colectivo de Autores, "Manual del Sistema Integrado de Gestión". Empresa de Tecnologías de la Información y Automática. Ciudad de La Habana, 2014.
- [13] Ministerio de la Construcción de Cuba, "Resolución No.262/2014 sobre Licencia No. 346/11". Empresa de Tecnologías de la Información y Automática. Ciudad de La Habana, 2014.
- [14] Empresa de Tecnologías de la Información y Automática UEB ATI Villa Clara, " CONTRATO GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS No: 807/2011 entre EMPRESA DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y AUTOMATICA UEB ATI - VILLA CLARA Y CTE 10 de octubre". 2011.
- [15] R. Castro Ruz, "Decreto-Ley No.252/07 y Decreto No.281/07". Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ministerio de Justicia, 2007.
- [16] Oficina Nacional de Normalización, "Norma Cubana ISO 9001:2008. Sistema de Gestión de Calidad". Ciudad de La Habana, 2008.
- [17] Oficina Nacional de Normalización, "Norma Cubana ISO 14001:2004. Sistema de Gestión Ambiental". Ciudad de La Habana, 2004.
- [18] Oficina Nacional de Normalización, "Norma Cubana ISO 18001:2005. Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo". Ciudad de La Habana, 2005.
- [19] Oficina Nacional de Normalización, "Norma Cubana ISO 50001:2011. Sistema de Gestión de Manejo de la Energía". Ciudad de La Habana, 2011.
- [20] Oficina Nacional de Normalización, "Norma Cubana ISO/IEC 17025: 2006. Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración". Ciudad de La Habana, 2006.
- [21] Oficina Nacional de Normalización, "Norma Cubana ISO 3001: 2007. Sistema de Gestión Integrada de Capital Humano". Ciudad de La Habana, 2007.
- [22] Colectivo de Autores, "Manual del Sistema de Control Interno". Empresa de Tecnologías de la Información y Automática. Ciudad de La Habana, 2014.



Analysis of RF 433 MHz communication in home monitoring prototype

David Alan de Oliveira Ferreira¹, Laura Michaela Batista Ribeiro²

^{1,2}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI). Av. Governador Danilo de Matos Areosa, 1672. Distrito Industrial. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69075-351.

Email: ferreirad08@gmail.com, laura.michaela@gmail.com

ABSTRACT

Received: January 19th, 2018.

Accepted: February 11th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The technological revolution called "Internet of Things" or simply IoT, it aims to connect the items used daily Internet and other devices such as computers and smartphones. It coupled with the advent of APPS (Application to Embedded Devices) arose with the ability to make devices that were merely passive, since it only received commands in active devices capable of controlling devices and report on their conditions operation. Thus, many of the basic components used to provide communications are increasingly becoming commonplace. Therefore, this work aimed to analyze and study this kind of communication signal via radio frequency from a prototype device to detect leakage and temperature of the gas cylinder. The communication for analysis will be done by RF transmitter and receiver modules present in alarm systems, remote control, data acquisition and robotics in general. The contribution of this project is to evaluate the use of this type of communication to provide connections for possible household devices that will absorb the concept of IoT.

Keywords: APPS, embedded systems, internet of things, RF module.

Análise de comunicação RF 433 MHz em protótipo de monitoramento doméstico

RESUMO

A revolução tecnológica chamada "Internet das Coisas" ou simplesmente IoT, tem como objetivo conectar itens utilizados no dia a dia à uma rede de comunicação, que permita a troca de informações entre dispositivos, tais como, computadores e smartphones. Aliado ao advento dos APPS (aplicativos para dispositivos embarcados) surgiu com a capacidade de tornar dispositivos antes meramente passivos, uma vez que somente recebiam comandos, em dispositivos ativos capazes de controlar e informar sobre as suas condições de funcionamento. Assim, muitos componentes básicos que promovem este tipo de comunicação estão cada vez mais se tornando comuns. Por isso, este trabalho surgiu com o objetivo de realizar uma análise e estudo de sinal para prover esta comunicação via rádio frequência, a partir de um protótipo capaz de detectar vazamento e temperatura da botija de gás. Esta comunicação será feita por módulos de RF 433 MHz, comumente presente em sistemas de alarmes, controle remoto, aquisição de dados e robótica em geral. A contribuição deste projeto, ocorre em avaliar o uso dessa comunicação por meio de métricas como velocidade de transmissão e perdas de sinal, ocasionadas por ruídos provindos de outros rádios que concorrem por esta mesma frequência, analisando a viabilidade de seu uso em dispositivos domésticos que poderão absorver o conceito de IoT.

Palavras Chaves: APPS, sistemas embarcados, internet das coisas, módulo RF.

I. INTRODUÇÃO

A transmissão pelo espaço aberto tornou-se possível com a invenção do rádio, o que reforçando o desenvolvimento das comunicações sem fio (wireless communications). A partir do uso

da irradiação de ondas eletromagnéticas moduladas no transmissor foi verificada a possibilidade de envio de dados por este meio, ao enviarmos pela antena (TX) e o capturarmos por uma ou mais antenas (RX) em receptores de locais distintos.

Nos anos que antecederam a II Guerra Mundial (1939-1945) houve a necessidade de realizar comunicação a longas distâncias em locais onde não era possível a instalação de cabeamento [1], o que iniciou o desenvolvimento e a produção de equipamentos sem fio, sendo continuamente estudada e estabelecida em diversas aplicações.

Dentre as aplicações de rede sem fio, se pode destacar o sensoriamento remoto sobre um objeto de interesse, como por exemplo, em uma esteira transportadora que possui acionamento e controle sem fio e em equipamentos de segurança e medição do consumo de energia em dispositivos comerciais, como por exemplo, em máquinas industriais e na agricultura [2].

No entanto, para o uso de redes sem fio com qualidade em suas transmissões é necessária uma avaliação do meio no qual esta será inserida, a partir de métricas como: medições de potência, alcance, tamanho dos dados e perda de dados, dentre outras.

Com o intuito de ampliar estudos comportamentais de comunicações sem fio, este trabalho tem como objetivo o estudo comportamental de um sinal de rádio frequência, propagado por meio de Módulos RF, a partir de uma frequência de 433 MHz. O trabalho será destinado à análise de sinais provindos de um modelo de dispositivo que executa o monitoramento de botija em cozinhas residenciais e envia a informação ao receptor alocado a distância.

Por se tratar de um equipamento sem fio e, logo, está sujeito a ruídos e interferências de sinais provenientes de outros equipamentos, é necessária à realização de uma análise de sua operação, para avaliar os módulos a partir das medidas capturadas pelos sensores e o equipamento que informa a situação ocorrida, consequentemente avaliando a integridade da informação.

O equipamento desenvolvido para monitoramento está conectado à sua base, através de um transmissor e um receptor de rádio frequência, onde com o auxílio de equipamentos de medição poderá ser feita uma análise da conexão do sistema.

A finalidade desta pesquisa é contribuir para a avaliação do uso de comunicação RF provendo conexões em possíveis dispositivos domésticos que absorverão o conceito de IoT, apontando suas limitações e os modos de uso para um melhor desempenho da comunicação.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. COMUNICAÇÃO SEM FIO

A integração de módulos de comunicação sem fio (wireless) em sistemas de controle e automação de processos industriais e monitoramento de ambientes, resulta em uma alternativa de menor custo de manutenção, maior flexibilidade e menor dificuldade na instalação e configuração, em comparação ao que utiliza cabeamento entre os dispositivos o que limita a implantação em locais de difícil acesso. A comunicação sem fio deve ser bem adequada às exigências do ambiente para que atenda as aplicações, os sistemas podem ser classificados tanto para enviar sinais a apenas um equipamento no modo ponto a ponto, quanto para cobrir uma área com muitos outros equipamentos no modo ponto-multiponto.

O sinal é modulado com a finalidade de deixá-lo próprio para ser transmitido na frequência usada no equipamento de transmissão, exemplo do padrão IEEE 802.11b que estabelece 2,4

GHz para a frequência de portadora e taxa máxima de transmissão de 11 Mbps.

O espectro de frequências está dividido em intervalos de faixas para usos específicos, um padrão das redes sem fio regulamentado por convenção internacional. Exemplo das faixas destinadas à radiodifusão onde a AM ocupa o espectro de 600 kHz até 1600 kHz e FM de 88 MHz até 108 MHz. Existem também algumas bandas de frequências particulares, que fazem parte das faixas ISM (Industrial, Scientific and Medical) ocupando entre 902 MHz e 928 MHz, 2400 MHz até 2483 MHz e 5725 MHz até 6850 MHz, reservadas para a comunicação livre sem fio, sem custos, porém sem canais definidos [3].

Um microcontrolador (também denominado MCU) é um computador em um chip, que contém um microprocessador (Unidade Lógica e Aritmética – ULA), memória, conversores A/D, temporizadores, dispositivos de comunicação serial, dentre outros. Os microcontroladores possuem as mesmas partes que um computador precisa ter, tais partes são integradas em menor escala.

O advento dos microcontroladores aconteceu com a evolução dos circuitos digitais e o aumento de sua complexidade, onde para a realização de uma determinada tarefa combinava-se vários componentes, tornando o projeto mais complexo em termos de dimensão. Em contrapartida a montagem de um circuito, com memórias e processadores em componentes distintos torna-se mais custoso e com um maior número de interligações a serem realizadas, desta forma é mais simples e mais barato, substituir a lógica das portas digitais por um componente integrado [4]. Hoje com pequenas dimensões, ele pode ser embarcado no interior de outros dispositivos.

Dentre as plataformas com microcontroladores da atualidade, destaca-se o Arduino, ele pode ser usado para desenvolver soluções eletrônicas stand-alone ou conectados ao computador. A placa Arduino não possui recursos de rede, mas pode ser combinada com outros Arduinos criando extensões chamadas de shields. Os shields são componentes que podem facilmente ser integrados ao Arduino, dando mais funcionalidades a ele, exemplos de shields: ESP8266 para prover conexão WIFI, Módulos de RF que será abordado nos tópicos seguintes deste trabalho, Módulo Ethernet que utiliza cabo LAN e outros.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo de monitoramento estudado neste projeto apresenta a composição mostrada na Figura 1. Neste são utilizados um sensor de temperatura LM35, um sensor de gás MQ-6T para aquisição de sinais, um Arduino Pro-mini para realização da leitura dos dados provindos dos sensores e um Módulo RF Transmissor para envio do sinal.

Para compor a recepção do sinal propagado pelo Módulo RF Transmissor é utilizado um Arduino Uno [5] estando conectado ao Módulo RF Receptor e a um display LCD, que mostrará uma mensagem de acordo com os sinais recebidos via RF. Ambas as placas estarão alimentadas por fonte externa.

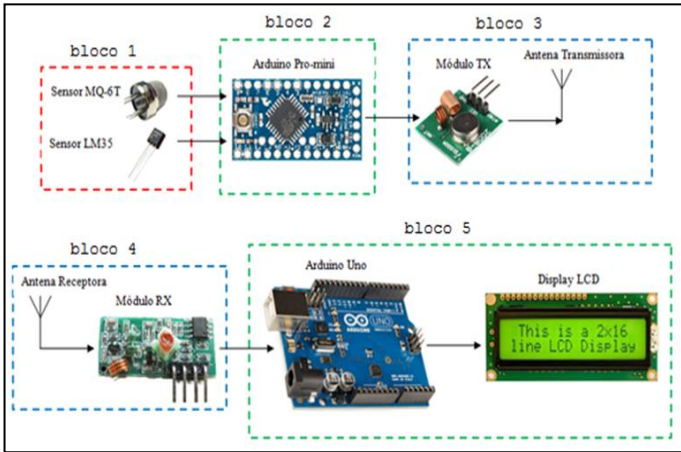


Figura 1: Esquema ilustrativo do protótipo de monitoramento. Fonte: [5][6].

O protótipo é dividido em três partes: na Figura 1 tem-se no bloco 1 o módulo de aquisição de sinais, nos blocos 2 e 5 o módulo de controle e nos blocos 3 e 4 o módulo de TX e RX.

III.1. MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS

Para realizar a aquisição de sinais foram utilizados dois sensores: sensor LM35 e sensor MQ-6T. O sensor LM35 recebe uma alimentação de 4 a 30 V e na saída fornece uma tensão proporcional à temperatura da superfície em contato, no entanto essa tensão será recebida por uma entrada analógica do Arduino que irá processar os cálculos referentes à conversão para a unidade de temperatura em “°C” (Graus Celsius). O sensor MQ-6T alimentado por 5V mede a concentração de gás butano, os valores variam de 0 a 1023 proporcionais no intervalo de 0 a 5V, e no código é estabelecido o valor de concentração máxima de 50 % para segurança.

III.2. MÓDULO CONTROLE

No funcionamento, o Arduino que processou os dados dos sensores trata as informações basicamente das seguintes formas: Quando o sensor de temperatura medir acima de 60 °C (pois na botija existe um plugue fusível que derrete quando a temperatura chega a 70 °C liberando uma espuma para evitar explosões) um sinal com valor binário será enviado indicando alta temperatura. O sensor MQ-6T ao captar uma concentração de 50% ou mais, como estabelecido anteriormente, outro valor binário referente a vazamento será enviado pelo Módulo. E enquanto a temperatura e a concentração de gás estiverem abaixo dos limites, para indicar situação normalizada um terceiro valor binário será enviado.

III.3. MÓDULO DE TRANSMISSÃO (TX) E RECEPÇÃO (RX)

O Módulo RF Transmissor enviará os sinais binários de acordo com as situações medidas, ele pode trabalhar com tensões na faixa de 3,5 a 12 V, o que também faz uma grande diferença no alcance da transmissão e o Módulo RF Receptor, alimentado por 5 V, ao captar os sinais para o segundo Arduino que está conectado a ele, será feita o processamento dos sinais recebidos e de acordo com cada uma das três situações uma frase será escrita no display LCD.

III.3.1. MÓDULOS RF 433 MHZ

Os módulos transmissores de Rádio Frequência são componentes simples para prover comunicação entre dispositivos,

presente em sistemas de alarmes, controle remoto, para aquisição de dados e automação em geral. Tais módulos trabalham com modulação AM e operam na frequência de 433 MHz.

O Módulo RF transmissor trabalha com tensões que variam de 3 a 12 V, podendo ter melhor alcance quando trabalhado na máxima tensão, dependendo de sua funcionalidade no sistema e conforme sua aplicação ele consome sem ultrapassar a corrente máxima de 40 mA, possui modulação chaveada do modo ASK sendo do tipo OOK, durante a operação eles podem variar a frequência central em até +150 kHz. O módulo transmissor tem a disposição de três pinos, na sequência: pino de dados, alimentação e terra. O módulo receptor possui quatro pinos: alimentação, dois pinos de dados e fio terra. Na Figura 2 temos os módulos transmissor e receptor, respectivamente.



Figura 2: Módulo RF Transmissor e Receptor de 433 MHz. Fonte: [6].

As antenas utilizadas foram feitas com dois fios de cobre, ambas com 17 cm de comprimento calculado pela Equação 1.

$$Antena_{comprimento} = \frac{\lambda}{4} = \frac{3 \times 10^8}{433 \times 10^6 \times 4} \cong 17cm \quad (1)$$

III.3.2. ANÁLISE DO SINAL DE RF

Para análise dos Módulos transmissor e receptor RF 433 MHz, foi utilizado um Analisador de Espectro Tektronix MDO3014 100 MHz configurado para centralizar a frequência nominal, foi realizado de forma contínua a transmissão de um sinal com 32 bits de valores 1 (high) cada, para manter o sinal ativo na tela do analisador e assim facilitar a análise de espectro (por se tratar de um sinal intermitente), pois se tratando de uma comunicação digital ASK/OOK existe um chaveamento da portadora, que é suprimida quando se representa o binário 0 (low).

Com os dispositivos próximos, verificou-se numa faixa de 60 MHz a partir de 400 MHz até 460 MHz, o sinal ativo na frequência de 434 MHz e possuindo uma potência de -33,9 dBm. O sinal pode ser visto na Figura 3.

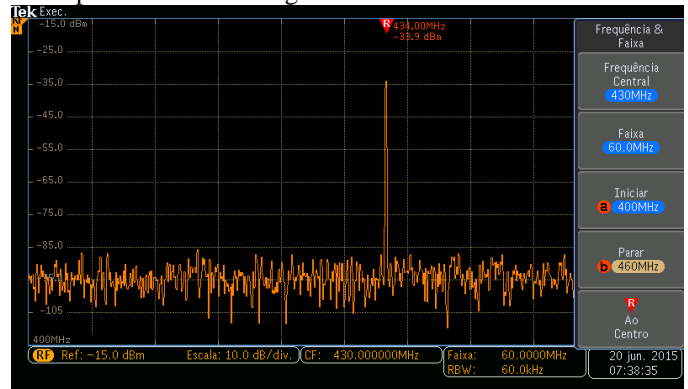


Figura 3: Espectro do sinal ativo com banda de 60 MHz. Fonte: Autores, (2018).

Reduzindo para uma banda de frequência de 50 kHz (Figura 4), necessária para melhor visualização deste sinal no analisador de espectro, tem-se na tela o intervalo de 433,945 MHz a 433,955 MHz, a potência vista foi de -46,8 dBm com o módulo operando em 433,97 MHz, próxima à frequência nominal.

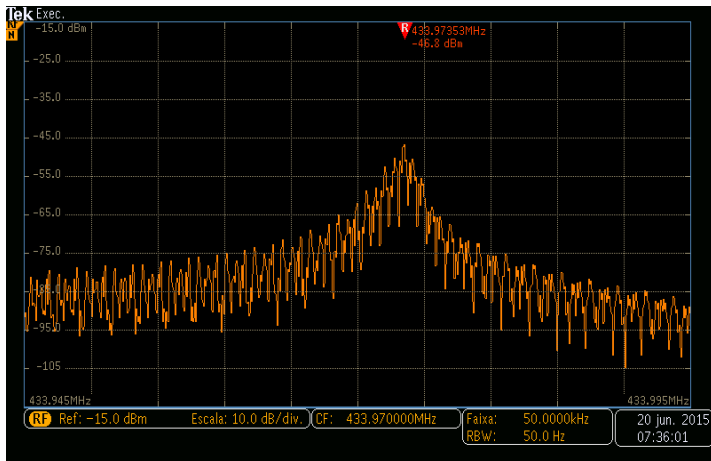


Figura 4: Espectro do sinal ativo com banda de 50 kHz. Fonte: Autores, (2018).

Para análise do sinal da informação, foram utilizados dois Osciloscópios Digitais, Agilent DSO5054A 550 MHz para visualização do sinal modulado, medido por meio de indução com uma bobina de cobre na ponta de prova do equipamento, e um Minipa MO-2050 50 MHz com duas ponteiras, uma na interface de conexão do Arduino Uno ao módulo transmissor e outra ponteira no Arduino Pro-Mini ao de dados do módulo receptor, sendo a informação enviada em azul e recebida na cor amarela.

O maior número binário que pode ser transmitido é o “11111111111111111111111111111111” que possui 32 bits, sendo na forma decimal o número “2147483647” e o menor é “001”, sendo em decimal o número “1” com três bits, a biblioteca utilizada RCSwitch não permite que a informação seja transmitida com tamanho inferior a 3 bits.

O código no Arduino com o transmissor carrega o número “1000111”, que representa o número decimal “135”, para envio durante os testes de funcionamento.

No osciloscópio de 550 MHz tem-se o sinal de comunicação ASK do tipo OOK, o sinal simples está representado de forma analógica no espaço, sendo a amplitude baixa quando representa o bit 0 e amplitude positiva e negativa (bipolar) representando o bit 1, a captura deste sinal foi realizada através de indução na antena do módulo transmissor utilizando um fio de cobre enrolado e conectado na ponta de prova. O sinal pode ser visto na Figura 5.

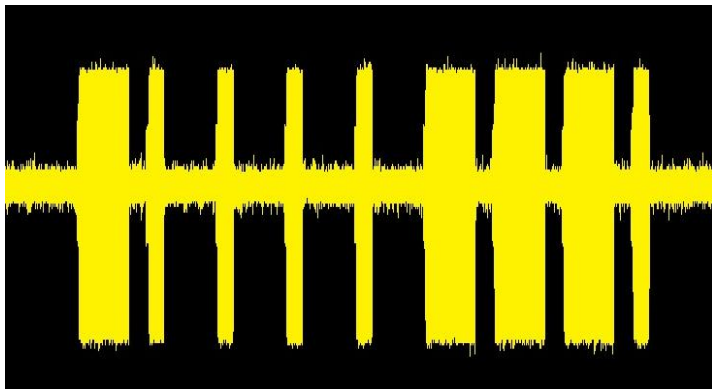


Figura 5: Sinal modulado capturado por indução. Fonte: Autores, (2018).

Na tela do osciloscópio de 50 MHz, mostrada na Figura 6, pode ser verificado em vermelho o sinal de informação aplicado no transmissor, e em azul a informação decodificada pelo receptor.

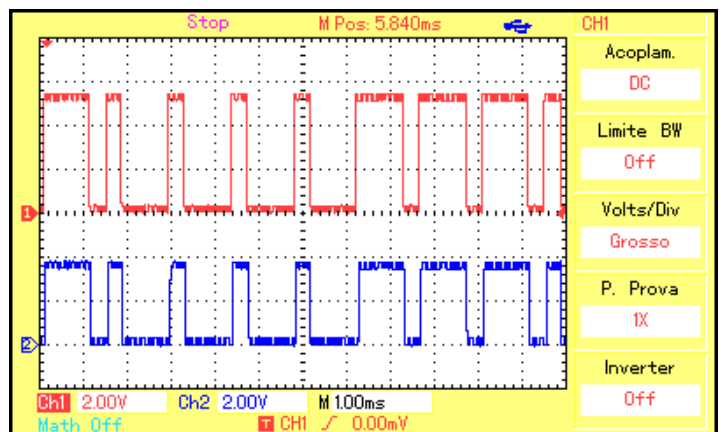


Figura 6: Sinal no transmissor e receptor. Fonte: Autores, (2018).

Verificando um dos bits representando o valor 1, o tempo do bit (T_b) é medido em aproximadamente $7,2 \text{ divisões} \times 200\mu\text{s} \cong 1,44\text{ms}$. Figura 7.

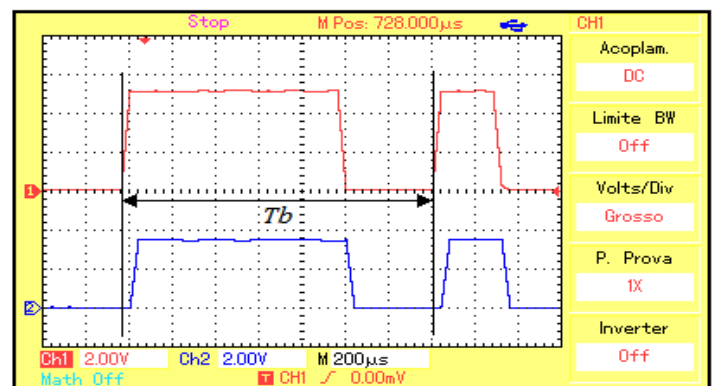


Figura 7: Imagem do primeiro valor alto da sequência. Fonte: Autores, (2018).

Verificando da mesma forma um dos bits representando o valor 0, tem-se o tempo do bit (T_b) de aproximadamente de $7 \text{ divisões} \times 200\mu\text{s} \cong 1,4\text{ms}$, próximo ao tempo do bit 1. Na Figura 8 é visto a imagem do primeiro valor baixo da sequência.

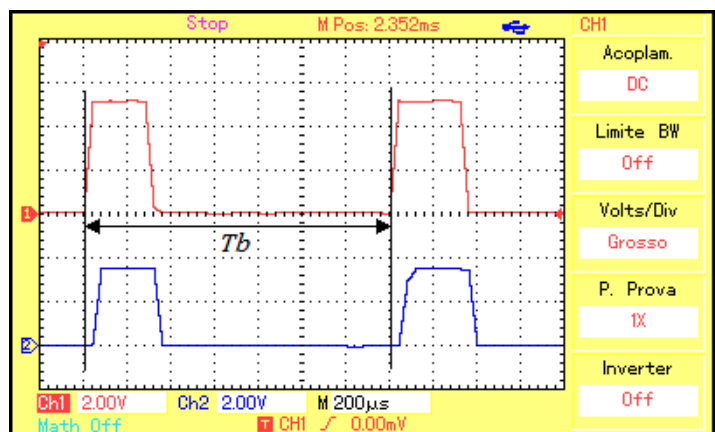


Figura 8: Imagem do primeiro valor baixo da sequência. Fonte: Autores, (2018).

Analisando o surgimento de um bit no transmissor, e verificando o mesmo na informação do sinal demodulado. Pode-se observar um atraso de $1,6_{\text{divisões}} \times 50\mu\text{s} = 80\mu\text{s}$ entre a transmissão e a recepção da informação. Na Figura 9 têm-se os pontos marcados nos sinais.

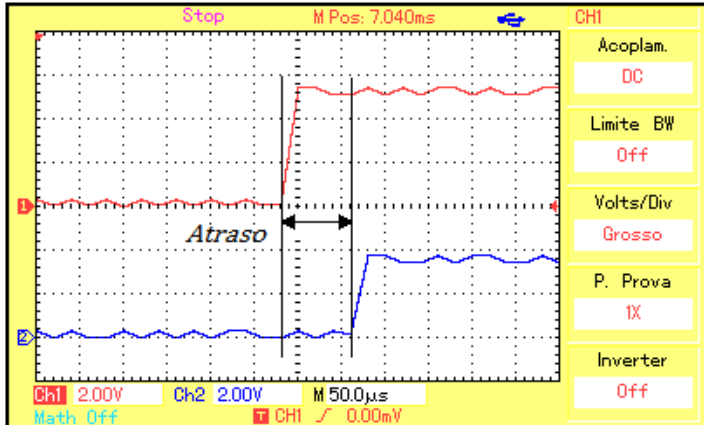


Figura 9: Passagem do 4º Zero para o 2º Um da sequência.
Fonte: Autores, (2018).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises sobre a frequência de operação dos módulos, potência de alcance e a taxa de informações que o sistema pode transmitir serão métricas de teste, que indicam a eficiência do dispositivo montado e o quanto sua comunicação é capaz de operar adequadamente ao seu propósito.

IV.1. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Na Figura 10 é possível visualizar o dispositivo com o Arduino pro-mini alimentado por uma fonte de 5V, sensores conectados nas portas analógicas, o módulo TX ligado em outra fonte com 12V e conectado à uma antena feita por um fio de cobre.

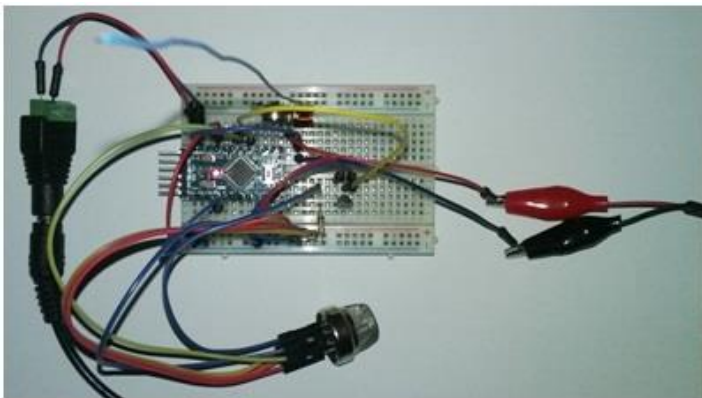


Figura 10: Dispositivo para leitura e envio de dados.
Fonte: Autores, (2018).

Esta parte do protótipo tem por finalidade realizar a leitura dos sensores de temperatura e concentração de gás no ambiente, fazendo o processamento das medidas de acordo com as condições definidas no programa para seleção da informação, e realizará a transmissão dos sinais ao receptor. Na Figura 11 é visto o dispositivo com o Arduino Uno alimentado por uma fonte de 9 V, conectado ao Display LCD, periférico de saída, para

informar a situação captada e o módulo RX alimentado com 5 V no próprio Arduino.

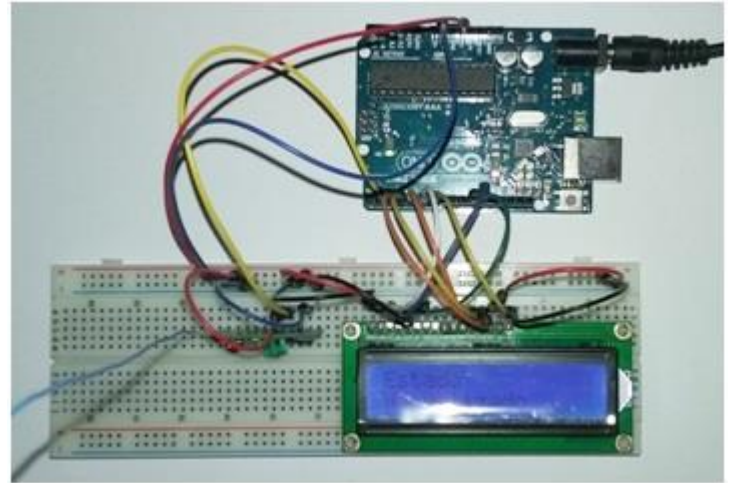


Figura 11: Dispositivo para recebimento e informação.
Fonte: Autores, (2018).

Esta parte do protótipo irá captar os sinais enviados pelo transmissor, processará os dados para escolha da mensagem que indica a leitura do ambiente e mostrará de forma escrita para leitura do usuário. As respostas das leituras são demonstradas no Display e podem ser vistas na Figura 12, onde são mostradas três situações que podem ocorrer.



Figura 12: Estado normalizado (a), alta temperatura (b) e vazamento de gás (c).
Fonte: Autores, (2018).

As condições para as informações de “Estado Normalizado”, “Alta Temperatura” e “Vazamento de Gás” observadas na Figura 12, foram descritas na seção III.2.

IV.2. FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO

Os módulos devem operar na frequência nominal de 433,92 MHz, visto que no espectro o sinal está operando em 433,97 MHz, foi encontrada uma variação de aproximadamente 50,00 kHz, tal problema pode ser irrelevante ao se tratar de um dispositivo simples com custo reduzido e de fácil configuração. A faixa de frequência de operação, assim como outras de 315 MHz e 292 MHz, está cada vez mais utilizada, e as faixas livres

também perdem espaço de banda por conta da necessidade de mais banda larga para uso em telefonia móvel, com isso as informações devem ser codificadas da melhor forma possível para que os dispositivos trabalhem apenas entre si, sem interferir ou sofrer interferências de outros sinais.

IV.3. POTÊNCIA E ALCANCE

Trabalhando com tensão de 12V no módulo transmissor, o sistema obteve um alcance de aproximadamente 45 metros, não sendo um bom alcance por ter apresentado uma distância inferior ao que se esperava, sendo em torno de 100 m, mas a utilização em ambientes residenciais não interfere na aplicação por cobrir uma

área menor. Na tabela 1 é visto as potências médias das medições e o intervalo de confiança de 90% para cada teste, aferidas nos limites de espaço do laboratório de sistemas de telecomunicações do IFAM-CMDI, a partir de análises da potência do sinal recebida, com variação na quantidade de bits da mensagem e a distância entre 1 e 5 metros do transmissor ao receptor, apenas para efeito de verificação em ambiente fechado.

Durante os testes, em um momento a leitura da potência não era realizada, pois o sinal não chegava ao analisador de espectro, provavelmente devido às interferências de equipamentos próximos, mas com o ajuste da antena foi possível capturar o sinal para a verificação da potência.

Tabela 1: Valores de potência (dBm) entre distâncias e número de bits.

Distância (m)	3 bits			16 bits			32 bits		
	Potência Média	Lim Inf	Lim Sup	Potência Média	Lim Inf	Lim Sup	Potência Média	Lim Inf	Lim Sup
1	-33,40	-33,49	-33,31	-43,03	-43,99	-42,08	-43,77	-44,83	-42,71
2	-37,47	-37,61	-37,32	-45,37	-45,70	-45,03	-45,70	-45,95	-45,45
3	-41,77	-41,91	-41,62	-46,07	-46,26	-45,87	-46,27	-46,38	-46,16
4	-46,29	-46,46	-46,12	-48,43	-48,65	-48,21	-48,53	-48,59	-48,48
5	-48,77	-48,88	-48,66	-48,87	-48,92	-48,81	-49,43	-49,49	-49,38

Fonte: Autores, (2018).

Tanto a distância, quanto a quantidade de bits na informação interferem na potência, visto na tabela 1 que os testes com os envios de 3, 16 e 32 bits na informação estabelecem uma relação comum com as medidas de potência do analisador, sendo a potência inversamente proporcional ao número de bits.

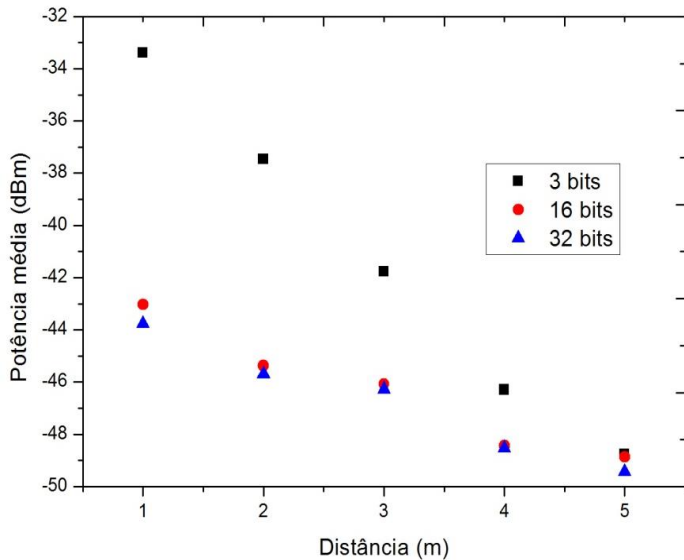


Figura 13: Gráfico da potência com variação da distância e dos dados. Fonte: Autores, (2018).

Os dados da tabela plotados no gráfico da Figura 13, gerado pelo software Origin [7], ilustra para melhor compreensão o comportamento da potência visto que há uma relação inversa com a distância entre os módulos, sendo a potência cada vez menor à medida que são distanciados, salvo em algumas situações em que há interferência dos obstáculos naturais, como o ar.

IV.4. TAXA DE TRANSMISSÃO

A quantidade de bits por segundo que o padrão é capaz de transmitir é calculada pelo inverso do período do bit e também pela razão do número de bits que contém na informação sobre o período do trem de pulsos.

$$R_b = \frac{1}{T_b} = \frac{N_{bits}}{T_{trem \ de \ pulsos}} \quad (2)$$

$$R_b = \frac{8}{12ms} = 666,7 \cong 0,67kbps$$

Foi mensurada a quantidade de informações recebidas com auxílio da ferramenta Serial Monitor do software Arduino para leitura e coleta das informações em intervalos de tempos determinados e a ferramenta Excel da Microsoft para contagem das amostras, verificando o recebimento da informação por meio do envio de dados com tamanhos diferentes (3, 16 e 32 bits) analisadas em três tempos (5, 10 e 15 segundos). As mensurações resultantes no teste estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Números de sinais recebidos variando o tempo e número de bits.

Tempo (s)	3 bits	16 bits	32 bits
5	156	72	43
10	311	145	87
15	465	219	131

Fonte: Autores, (2018).

A quantidade de bits está diretamente proporcional ao tamanho do canal disponível para tráfego, visto que houve um maior consumo de canal (banda) de comunicação para quando há mais bits. Com os dados da tabela 2 plotados no gráfico da Figura 14, é possível ver que informações com menor números de bits

são mais rapidamente tratadas quanto a envios e recepções em comparação a informações de maior tamanho, observado que os números de recebimentos de dados com três bits estão sempre acima das demais nas três amostras de tempo.

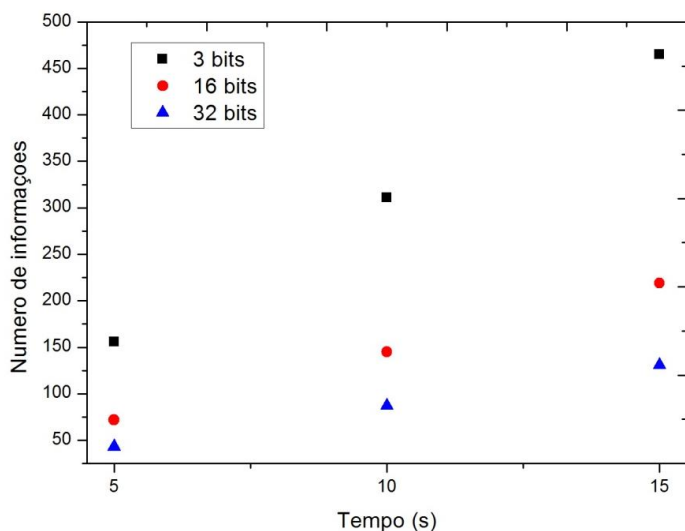


Figura 14: Gráfico do número de informações no tempo.
Fonte: Autores, (2018).

O envio de sinais com menor número de bits resulta em uma maior taxa de transmissão como pode ser visto no gráfico da figura 14, assim é possível que haja um melhor acompanhamento das leituras do ambiente com mais informações em menos tempo. Em contrapartida, para que se tenha uma melhor codificação é preciso que sejam utilizados mais bits.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar a partir de módulos RF 433 MHz, os sinais transmitidos e capturados de uma comunicação via rádio frequência, os quais foram aplicados em um protótipo de dispositivo para detectar vazamento e temperatura da botija de gás.

Para realizar esta análise foram necessários estudos do sinal de Rádio Frequência quanto à sua forma de modulação e características como potência, alcance e tamanho dos dados, onde foi encontrado como resultado através de equipamentos de medição, o comportamento adequado da forma de onda, do espectro, da variação de potência e da quantidade de bits para transmissão.

O valor de potência é inverso aos valores da distância e do tamanho da informação, onde a potência é -33,4 dBm para um pacote de 3 bits enviados ao receptor em 1m, enquanto um pacote com 32 bits enviados a uma distância de 5m possui uma potência de -49,38 dBm.

Em segundo momento, para verificar o sinal quanto à perda de dados, com o envio de pacotes com grande quantidade de bits, utilizou-se a IDE do próprio Arduino, onde foi encontrado como resultado a relação entre dados e quantidade de informações em intervalos de tempo, verificado que pacotes de 3 bits chegam com mais frequência relacionados a pacotes com 16 e 32 bits, tendo que os módulos operaram de forma adequada durante testes em ambiente fechado, sem erros de informação.

Os valores medidos com os equipamentos e softwares estão de acordo com a modulação simples ASK/OOK e a comunicação possui baixo ruído. A utilização dos módulos no dispositivo mostrou um grau de funcionamento adequado, uma

vez que todos os sinais transmitidos são recebidos e as métricas abstraídas, através dos equipamentos, estão de acordo com o comportamento teórico.

Estudos que buscam verificações de espectro são cada vez mais consultados, pois a cada dia novas tecnologias sem fio surgem e algumas condições devem ser analisadas, como garantia de uma codificação correta das informações e instalação de equipamentos próximos de outros com os módulos de mesmas características.

Com este trabalho espera-se fomentar a análise de redes que utilizem módulos RF em diversas faixas, uma vez que este tipo de comunicação tem se mostrado eficiente a curtas distâncias, apresentando um baixo custo de aquisição.

Como trabalhos futuros, é sugerido que sejam aplicadas comunicações via Wi-Fi (IEEE 802.11) e testes que contemplem a comparação entre esta comunicação e a utilizada neste trabalho, com o intuito de elencar as principais diferenças entre essas tecnologias de comunicação sem fio largamente utilizadas no mercado.

VI. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI).

VII. REFERÊNCIAS

- [1] RIBEIRO, José Antônio Justino. **Engenharia de micro-ondas: fundamentos e aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2008.
- [2] MONTEIRO, Tiago; SOUZA, Weiber; Et.al. **Controle sem Fio de uma Esteira Transportadora Através de Computador**. João Pessoa: II CONNEPI 2007.
- [3] LINDAU, Marcos. **Software de análise da qualidade de comunicação de dispositivos sem fio**. Departamento de Engenharia Elétrica - UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- [4] PENIDO, E. de C. C.; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores**. Rede E-Tec Brasil: Ouro Preto, 2013.
- [5] **Arduino UNO**. Disponível em: <<https://www.Arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>> Acesso em: 22 set. 2015.
- [6] **Módulo RF Transmissor + Receptor 433MHz AM**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-am/>> Acesso em: 22 set. 2015.
- [7] **Instalação do Origin 8.1**. Disponível em: <www.iqm.unicamp.br/informatica/instalacao-do-origin-81> Acesso em 14 dez. 2015.

A hardware-software architecture for computer vision systems

Antônio Otavio Fernandes¹, Luiz Fernando E. Moreira², Glauber Tadeu S. Carmo³, José M. Mata⁴

¹Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

²Invent Vision Sistemas de Imagem e Visão, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

^{3,4}Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

Email: otavio@dcc.ufmg.br, luizf@ivision.ind.br, glaubertadeu@gmail.com, mata@dcc.ufmg.br

Received: January 16th, 2018.

Accepted: February 14th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Computer vision systems are based on capture and processing of images, from which information for the application is extracted. This paper presents a hybrid platform which can be easily configured and efficiently used for a large number of applications in computer vision. It consists of a dedicated processor integrated to the capture element, connected to a general-purpose computer for the high-level application processing. The camera module consists of a DSP executing a middleware which provides all the basic functions, such as image capture, low-level image processing, control, and communication. Experiments showed that good performance is obtained with this platform, and the framework presented may simplify the development of computer vision systems. An application for the hardware-software architecture presented here would be the validation and prototyping of computer vision systems.

Keywords: Computer vision platform, Low-level image processing, Smart camera.

I. INTRODUCTION

Computer vision systems are based on capture and processing of images, from which information for the application is extracted. Applications include surveillance cameras, automated visual inspection, and microscopy [7]. Traditional computer vision systems consist of a camera connected to a

general-purpose computer which runs the application. The result of the processing can activate complementary actuators or go to the output device (Figure 1). The whole system can be integrated in one component, the smart-camera, which includes image capture, processing, and output (Figure 2).



Figure 1: Traditional computer vision system.

Source: Authors, (2018).

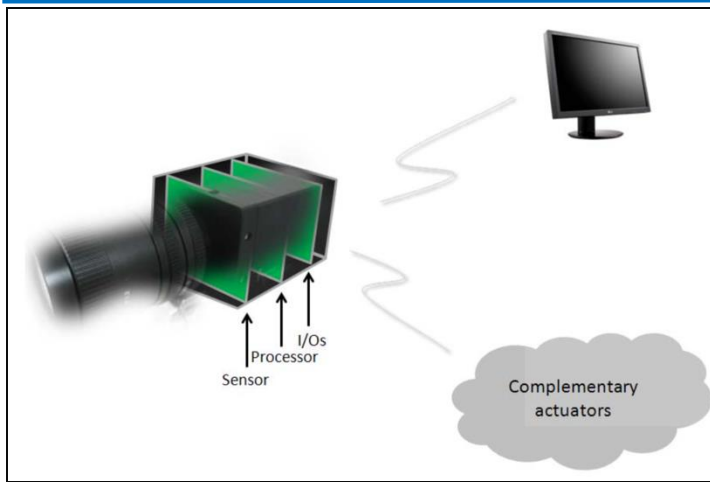


Figure 2: Smart camera.
Source: Authors, (2018).

Image representation requires a huge amount of memory, and image processing requires strong processing power. In the traditional vision system, the time for transmission between camera and computer may be extremely long. In the smart-camera, communication camera-processor is direct, significantly reducing the time between capture and processing.

Expressive image processing power is obtained through the use of dedicated processors and especial architectures. On the other hand, high-level applications run better on general purpose computers. The development of applications in these dedicated platforms requires from the developer detailed knowledge of all its resources; high-level applications may not fit well in these dedicated processors.

We propose a hybrid architecture, consisting of a dedicated processor integrated to the capture element, for the low-level image processing, connected to a general-purpose computer for the high-level application processing (Figure 3).

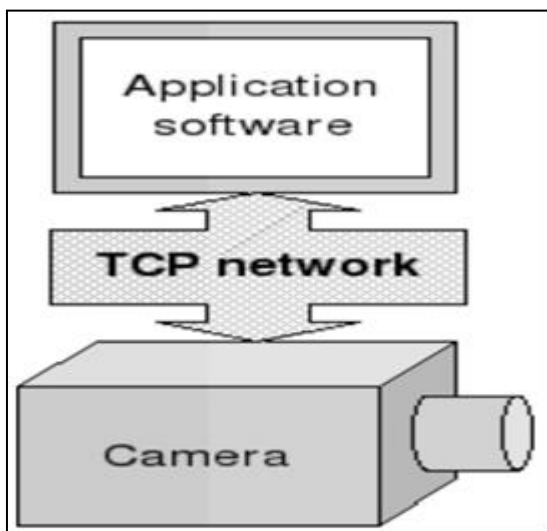


Figure 3: Hybrid architecture.
Source: Authors, (2018).

In order to ease the programming of the dedicated processor, we provide a framework for the development of applications, which did not require detailed knowledge of the platform. The framework consists of a middleware running in the dedicated processor and configuration software running in the

general-purpose processor. The middleware provides all the basic functions, such as image capture, low-level image processing, control, and communication.

II. COMPUTER VISION SYSTEMS

II.1. REQUIREMENTS

Of the five senses, vision is the one that provides most of the data we receive. Its function provides us a detailed description of the surrounding tridimensional world, which changes constantly. Although it involves a huge amount of information and complex processing, the human visual system (eye-brain) can interpret this information easily. Efforts have been made to get machines to do this work, but the power of these machines is still far from the power of the human vision [6].

Computer vision can be seen as inverse computer graphics. In computer graphics the main motivation is the generation of images, transforming abstract descriptions into images. In computer vision the abstract description is obtained from the image, allowing object recognition. The description of a scene, besides identification of each object, includes position, color, orientation, and other aspects.

In order to understand the difficulties of implementing machine vision, let's consider the object recognition problem. Recognition involves image capture by the camera, grabbing image (digitize and store), preprocess (suppress noise and regularize the image data), and pattern recognition. These tasks are complex and demand large space and processing time.

An important feature of most of the applications of computer vision is that they take place in real time: machine vision must be able to keep up with the ongoing process.

There is a need for tools (hardware and software) to help the developer of computer vision systems. Hardware platforms must achieve all the application requirements, and software tools should ease the programming task. It is desirable that a computer vision system include other benefits like modularity, portability, extensibility, and configuration and operation facilities. This demand led to studies for a better understanding of the steps of the vision process and to new computer vision development models, new hardware and software architectures, new dedicated processors, and new design techniques.

II.2. OPERATIONS

A computer vision system consists basically of three elements: capture, processing and output. Figure 4 shows the block diagram of a smart camera [3].

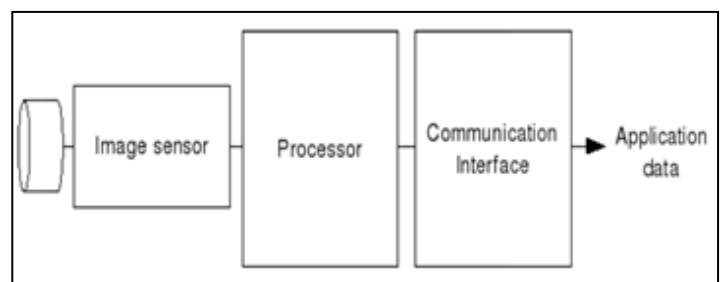


Figure 4: Block diagram of a smart camera.
Source: Authors, (2018).

Capture corresponds to transformation of the image into an abstract description; this is done by sensors (cameras). The main characteristics of available sensors are resolution (number of pixels), speed (frames per second), and number of colors.

The tasks of a computer vision application may be classified into three levels (low, medium, and high), according to the type of processing, the data access mode, and the control mode [12]. The type of processing refers to the used resources and data structures [5][9][12].

Low-level operations work directly with the image or part of it, being usually called image processing. They are characterized by the large amount of data processed, although acting on a few pixels each time. Access to the image is usually made in an ordered and predictable form. There is possibility of executing these operations in parallel. Smooth and convolution are examples of low-level operations.

Medium-level operations usually operate only on a region of the image; the aim is to extract and to organize information, like in the segmentation operation. Most of the time access to the image is also made in an ordered and predictable form, but the possibility of parallelism is not always evident.

High-level operations make part of the application; they operate on data structures extracted from the image, obtaining information for decision making. They consist of complex and sequential algorithms; access to the image information is random and non-deterministic. An example of this kind of operation is object recognition.

The complete processing in a computer vision application involves three steps. In the first step, low-level operations are applied to the captured image, with the aim to eliminate noise, and to get better contrast and other aspects that emphasize a given characteristic important for the application. The second step consists of extraction of information relevant to the application, using medium-level operations. In the third step decisions dictated by the application are made, using high-level operations, based on the information obtained in the second step.

II.3. ARCHITECTURE

Analyzing the process of a computer vision application, one can perceive that the different tasks demand different efforts from the various computational resources. One can conclude that a single processor architecture may not be able to carry all these operations efficiently; there is a need for a hybrid processing configuration, with specific architectures for each level [11].

Architectures for low-level operations are heavily explored, due to their specific characteristics and the large amount of data involved. There is a trend to use SIMD (single instruction multiple data) parallel architectures for low-level processing, and a second architecture for medium and high-level operations. Digital signal processors (DSPs) have also been used for low-level operations, with good performance [2]. Architectures for medium and high-level operations have many characteristics in common with general purpose processors.

Another important aspect is the availability of software, which should be easy to use and able to fully explore the hardware capabilities. There are several software packages for computer vision, like OpenCV (Open Source Computer Vision) [8], which is a library of programming functions.

III. DSCAM PLATFORM

We developed a hybrid platform which can be easily configured and efficiently used for a large number of applications in computer vision. It consists of a dedicated processor integrated to the capture element, for the low-level image processing, connected to a general-purpose computer for the high-level application processing (Figure 5).

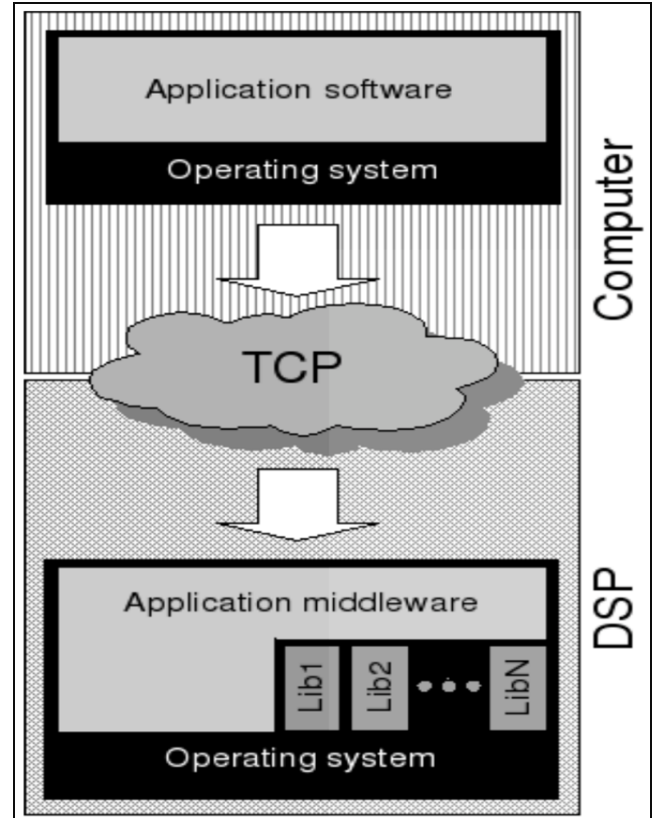


Figure 5: DSCAM platform.

Source: Authors, (2018).

The camera module consists of a DSP executing a middleware which provides all the basic functions, such as image capture, low-level image processing, control, and communication. The middleware is responsible for management of all the tasks executed in this module. The execution flow is defined in a file sent by the application module. There is a library of image processing functions; most of the functions were implemented with the use of the package OpenCV.

The DSP Blackfin 537 from Analog Devices [1] provided the best cost/benefit relation for the intended applications. Access to the DSP interfaces is simplified by the use of the platform Ez-Kit BF537. Management of hardware and software is provided by the mini operating system uLinux [10].

The configuration and operation software, running on the general-purpose processor, offers to the user an interface that allows access to all the platform resources and ways to define the flow of execution of the operations.

The independence between these two modules allows independent development and extension. Due to the modular structure of the platform, extensions can be easily incorporated. We included, for example, user authentication.

Communication with the sensor can be done in the Blackfin DSP through the PPI interface. In our prototype, this

communication was not implemented; experiments were made considering that the image was already stored in a file.

IV. EXPERIMENTS

Two experiments were made, running different benchmarks on different platforms. The first experiment had the goal of comparing different platforms, and the second one had the goal of measuring the performance of the camera module (low-level operations). For the first experiment, we used part of the DARPA image understanding benchmark [13], and for the second experiment we used a simple computer-generated image on which low-level operations could be applied. Reference [4] presents a detailed description of the experiments.

Five different platforms were used for the experiments, including a PC (personal computer) with a 1.8GHz Celeron processor, SuSE Linux 9.2 operating system, DSP (digital signal processor) Blackfin 537, uClinux embedded Linux

1. PC + Linux;
2. PC + middleware + Linux;
3. DSP;
4. DSP + uClinux;
5. DSP + uClinux + middleware.

As we were interested in the performance of the processing and control operations, access to input/output devices was no included in the measurements. Image representation was previously loaded in the memory.

The DARPA image understanding benchmark specifies algorithms that involve all three levels of operations on images; it is used to validate processing architectures, especially parallel architectures. Its algorithms refer to applications close to real practice, involving location of rectangular objects in an image.

The first experiment was divided into three parts, comparing the execution of the DARPA benchmark algorithms on different platforms. In the first part, we compared platforms 1 and 2, in the second part platforms 4 and 5, and in third part, platforms 1 and 4.

Analyzing the results, we concluded:

- we can neglect the overhead introduced by the middleware, in both PC and DSP;
- medium-level or high-level algorithms have better performance on the PC;
- low-level algorithms have similar performance on both platforms;
- uClinux introduces an overhead when there are many mathematical operations;
- cache memory size has influence on the performance.

In the second experiment, we compared platforms 3 and 4, trying to evaluate the performance of the camera module, running low-level algorithms on simple images. Analyzing the results, we concluded again that uClinux introduces an overhead, due to mathematical and logical operations, cache use, and other factors.

V. CONCLUSION

In this work, we explored hardware and software platforms for computer vision systems. In especial we explored the software architecture for the camera module. Our experiments showed once more that dedicated processors and especial architectures,

like DSPs, are indicated for low-level image processing, whereas medium and high-level operations can be executed with good performance on general-purpose processors.

A framework as presented here may simplify the development of computer vision systems. The middleware running in the camera module introduces no significant overhead to the system. Special attention must be given to the performance of the embedded operating system used.

An application for the hardware-software architecture presented here would be the validation and prototyping of computer vision systems. Due to the modularity and extensibility of the platform, prototyping of computer vision applications would be simplified.

VI. REFERENCES

- [1] Analog Devices, “**Blackfin processors**,” [Online]. Available: <http://www.analog.com/en/embedded-processing-dsp/blackfin/processors/index.html>
- [2] D. Baumgartner, P. Rossler, W. Kubinger, “**Performance benchmark of dsp and fpga implementations of low-level vision algorithms**,” in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition”, Minneapolis, June 2007.
- [3] A. N. Belbachir, “**Smart cameras**,” Springer, 2009.
- [4] G. T. S. Carmo, “**DSCAM: uma plataforma hardware-software para operações de visão computacional**,” M.S. Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, June 2009.
- [5] A. Choudhary, J. Patel, N. Ahuja, “**Netra: a hierarchical and partitionable architecture for computer vision systems**,” in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 4, no. 10, pp. 1092-1104, October 1993.
- [6] E. R. Davies, “**Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities**,” Morgan Kaufmann, 3rd edition, 2005.
- [7] InventVision, **Sistemas de Imagem e Visão**. www.inventvision.com.br.
- [8] OpenCV: **Open Source Computer Vision, version 2.1**, April 2010, [Online]. Available: <http://opencv.willowgarage.com/wiki>
- [9] N. K. Ratha, A. K. Jain, “**Computer vision algorithms on reconfigurable logic arrays**,” in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 10, no. 1, pp. 29-43, January 1999.
- [10] uClinux, “**Embedded Linux/Microcontroller Project**,” [Online]. Available: <http://www.uclinux.org/>
- [11] C. L. Wang, P. Bhat, V. Prasanna, “**High-performance computing for vision**,” in Proceedings of the IEEE, Vol. 84, no. 7, pp. 931- 946, July 1996.
- [12] C. Weems, “**Architectural requirements of image understanding with respect to parallel processing**,” in Proceedings of the IEEE, Vol. 79, no. 4, pp. 537-547, April 1991.

[13] C. Weems, E. Riseman, A. Hanson, A. Rosenfeld, “**The DARPA image understanding benchmark for parallel computers,**” in *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. 11, no. 1, pp. 1-24, January 1991.



Application of the TIC's in the design

Olga Elina Feria Ruesga¹

¹Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería N°. 15 (EMPROY 15). Santiago de Cuba, Cuba.

Email: oeruesga@emproy15.co.cu

Received: November 27th, 2017.

Accepted: January 08th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

The present work is carried out on the operating system Windows, using Microsoft Office ACCESS for the handling of a database (BD) as Agent that gathers relative information to the fields corresponding to the Application of the Services of Design CAD in the Enterprise of Projects (EMPROY 15). The Documental Information is achieved with bigger feasibility, dependability and effectiveness of the process of Administration of all the Digital Information that it is generated in the Services of Design CAD being achieved a saving of time and guaranteeing the continuation of those that are in Execution or Finished obtaining a saving of resources and materials, that which has an economicenvironmental impact.

Keywords: Database, Computer system that Negotiates the Information, Computer Systems, Services CAD (Design Attended for Computer) and Information and Communication Technologies (TIC's).

Aplicación de las TIC's en el Diseño

RESUMEN

El presente trabajo se realiza sobre el Sistema Operativo Windows, utilizando Microsoft Office ACCESS para el manejo de una Base de Datos (BD) como Gestor que recopile información relativa a los campos correspondiente a la Solicitud de los Servicios de Diseño CAD en la EMPROY 15. Se logra la Información Documental con mayor factibilidad, confiabilidad y eficacia del proceso de Gestión de toda la Información Digital que se genera en los Servicios de Diseño CAD lográndose un ahorro de tiempo y garantizando la trazabilidad de los que están en Ejecución o Terminados obteniendo un ahorro de recursos y materiales lo cual tiene un impacto económico-ambiental.

Palavras Chaves: Base de Datos, Sistema Informático que Gestione la Información, Sistemas Informáticos, Servicios CAD (Diseño Asistido por Computadora) y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's).

I. INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Informatización y las Comunicaciones (TIC's) han permitido que las organizaciones sean más flexibles, reflejado esto en una producción más eficiente, rápida y económica, convirtiéndose éstas en un instrumento cada vez más indispensable que tiene como finalidad elevar la cultura informática, donde pueden realizar múltiples funcionalidades. En el Siglo XXI y ante la presencia de una nueva era donde impera el desarrollo de la Informática, de nuevos hardware y software de mayor prestancia aun cuando muchos países no estén preparados para ello, Cuba, en la actualidad, encara um gran reto de informatizar la sociedad con la perspectiva

“integrarse absolutamente a la infraestructura global de información, así como hacer uso óptimo de las nuevas tecnologías” [1].

A fin de alcanzar gran seguridad en el proceso para tratamiento de la información, es necesario la aplicación de los sistemas automatizados de tratamiento de datos, los cuales se caracterizan por prestar gran atención hacia su estructura y almacenamiento; ésta es la premisa por la que trabajan los diseñadores de Sistemas de Gestión de Base de Datos (Sistemas Informáticos). “Esto se explica ya que por médio de las construcciones de estructuras óptimas y por medio de la creación de Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), se puede

lograr una alta efectividad en el proceso de tratamiento de la información” y su diseño.

Particularmente, la EMPROY 15 es la Empresa dedicada al Diseño de Obras de Arquitectura e Ingeniería, Investigaciones, Topografía y Servicios de Dirección y Administración de Inversiones y Obras que tiene como finalidad ofertar servicios competitivos con una alta eficiencia que satisfaga las expectativas de los clientes, cumpliendo con todos los requisitos y legislación vigente reafirmando nuestro liderazgo territorial. Para hacer válida esta política, la organización cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad, Medio Ambiente y de Seguridad y Salud del Trabajo certificados conforme a la NC - ISO 9001: 2008, NC - ISO 14001:2004, NC 18001:2005 y NC- ISO 3001:2007 para asegurar que los niveles de calidad, seguridad y medio ambiente se cumplen y mejoran continuamente, fijando objetivos y metas que permitan el cumplimiento de esta política.

Con relación a lo anterior, resulta imprescindible que todos los datos, elementos y estudios que puedan orientar, divulgar y brindar conocimientos a todos los usuarios inmersos en el proceso de diseño, se encuentren en un estado y manera que logren adaptarse a los nuevos cambios que están ocurriendo; es decir, archivar, almacenar y resguardar toda la información de manera digital, de forma tal que pueda ser fácil acceder a la misma, con seguridad, fiabilidad y rapidez, logrando mantener de esta forma una trazabilidad acorde a la calidad del producto que se elabora digitalmente en los Servicios CAD (Diseño Asistido por Computadora) referido a toda la documentación gráfica, textos, cálculos, etc., para obtener una base documental y de consulta por los Usuarios (Clientes Internos o Externos), a los Registros de todos los Servicios que se desarrollan dentro de la entidad desde que comienza en el proceso de Contratación hasta la entrega al Inversionista y la salva definitiva.

II. DESARROLLO

La Informatización de los Proyectos de Arquitectura, Ingeniería e Industriales es una innovación de la tecnología de proyección, que origina una forma de actuación laboral y un nuevo pensamiento profesional para la Gestión y toma de decisiones en la tecnología e innovación que permite generar nuevas estrategias y mejoras en los procesos para el desarrollo de la entidad y fortalecer el conocimiento.

Esta Base de Datos (BD) está ubicada en el Servidor principal de la Empresa que tiene instalado como Sistema Operativo Windows Server 2000 con 16 GB de RAM lo que permite su acceso desde cualquier terminal de la red utilizando Microsoft Office ACCESS para el diseño de la misma que durante el proceso de Gestión de la información de los Servicios de Diseño CAD en la EMPROY 15 garantiza la trazabilidad del producto, fiabilidad en los resultados y fácil localización, el acceso es limitado de solo lectura para los Usuarios de la red y total para los Administradores.

La BD se realiza sobre Plataformas Propietarias y actualmente se trabaja como se refleja en la Recomendaciones llevarlo a MSQl.

En base a lo antes analizado se define como el problema, Insuficiente Aplicación de las TIC's en la Gestión de la Información Documental de los Servicios CAD EMPROY 15.

El Objeto el Sistema Informático que Gestione la Información Documental de los Servicios CAD en la EMPROY 15.

El Objeto General evaluar la Aplicación de las TIC's en el Diseño de la Gestión de la Información Documental de los Servicios CAD EMPROY 15.

El Objetivo Específico evaluar rapidez de acceso y trazabilidad en la Gestión de la Información Documental de los Servicios CAD con la Aplicación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) en el Diseño en la EMPROY 15.

El campo de acción, el Sistema que Gestione la Información Documental de los Servicios ejecutados de Diseño en la EMPROY 15.

Hipótesis:

- Si se implementa Sistema de Gestión de la Información de los Servicios CAD se facilitará la gestión de la información documental con mayor factibilidad, confiabilidad y eficacia en el momento preciso, disminuyendo las insuficiencias en dicho proceso.

Para el desarrollo del Sistema Informático se desarrollaron las siguientes tareas:

1. Diagnóstico.
2. Caracterizar históricamente, conceptualmente y en la actualidad, un Sistema Informático que Gestione la Información Documental de los Servicios CAD en la EMPROY 15.
3. Caracterizar el Sistema Informático que Gestione la Información Documental de los Servicios.
4. Desarrollar un Sistema Informático que Gestione la Información Documental de los Servicios en la EMPROY 15.
5. Evaluar el Sistema Informático propuesto a partir de las valoraciones de Especialistas en la EMPROY 15.

Técnicas y métodos empleados en la investigación:

- Análisis documental
- Observación
- Entrevistas
- Histórico Lógico
- Análisis y Síntesis
- Diseño y programación.

El aporte práctico de la investigación está dado en un sistema informático que gestione la información existente en la EMPROY 15 de Santiago de Cuba.

Significación práctica de la investigación el sistema informático propuesto contribuye a lograr una mayor eficiencia, especificidad, facilidad y seguridad al analizar toda la información existente.

Con esta automatización se crean las bases de datos para posteriormente afrontar mayores empeños en cuanto a la informatización de los procesos en los Servicios CAD, lo que redundará en una gestión más confiable en todo el proceso y su perfeccionamiento constante.

El sistema propuesto puede ser aplicable a otras empresas similares que tengan implantado el Sistema de Gestión Integrado de Calidad, lo que posibilitaría una plataforma eficiente y confiable además propiciará la capacitación a estudiantes y adiestrados así como al personal que trabaja directamente con los proyectos que se ejecutan en la empresa.

El principal rasgo distintivo de dicho sistema es el hecho de que por primera vez se realiza un Sistema Informático que

Gestione la Información Documental de los Servicios que garantice los fines antes expuestos.

II.1. PROCESO DE SISTEMA INFORMÁTICO QUE GESTIONE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL DE LOS SERVICIOS CAD

II.1.1. CARACTERIZACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA CONCEPTUAL DEL PROCESO DE SISTEMA INFORMÁTICO QUE GESTIONE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL DE LOS SERVICIOS CAD EN LA EMPROY 15

II.1.1.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA EMPROY 15

La EMPROY 15 es una entidad dentro del Grupo Empresarial dedicada al Diseño de Obras de Arquitectura em Ingeniería, Investigaciones, Topografía y Servicios de Dirección y Administración de Inversiones y Obras.

En dicha empresa se identifican dos procesos:

- Proceso principal: Son todos los procesos asociados al servicio principal que desarrolla la entidad.
- Proceso de apoyo: Son todos los procesos que tributan a los servicios principales.

II. 1.1.2. SERVICIOS CAD

Los servicios CAD se encuentran enmarcados dentro de la Gestión de Desarrollo y responde a la actividad del proceso desde que entra el servicio (proyecto) por el Inversionista a la Dirección de Negocios hasta que se le entrega la documentación al mismo en formato digital o impreso.

Control de las actividades en los Servicios CAD en los Servicios CAD intervienen varias áreas en correspondencia con la estructura de la entidad y los niveles de jerarquía que se tienen implantados, por lo que cada una le corresponde una actividad determinada y una responsabilidad diferente.

II.1.1.3. SISTEMAS INFORMÁTICOS

Un sistema informático es el conjunto de hardware, software y de un soporte humano; éste se vale de una computadora y ésta a su vez suele estar formada por una unidad central de proceso (CPU de sus siglas en inglés Central Processing Unit), dispositivos de entrada, dispositivos de almacenamiento y dispositivos de salida. La CPU incluye una unidad aritmético-lógica (ALU), registros, sección de control y bus lógico. La unidad aritmético - lógica efectúa las operaciones aritméticas y lógicas.

Los registros almacenan los datos y los resultados de las operaciones. La unidad de control regula y controla diversas operaciones. El bus interno conecta las unidades de la CPU entre sí y con los componentes externos del sistema. En la mayoría de las computadoras, el principal dispositivo de entrada es el teclado. Dispositivos de almacenamiento son los discos duros, flexibles (disquetes) y compactos (CD).

Dispositivos de salida que permiten ver los datos son los monitores e impresoras.

Principales elementos que forman parte de un sistema informático:

- Software.
- Hardware.

- Persona.
- Base de Datos.
- Documentación.

II.1.1.4. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA INFORMÁTICO

El análisis y diseño de Sistema Informático es el proceso de estudio de la situación de una organización o empresa, con la finalidad de observar cómo trabaja y decidir si es necesario realizar una mejora.

El proceso de creación de un sistema informático consta de un conjunto de tareas diferentes de forma secuencial. Las etapas de este proceso son las siguientes:

- Reconocimiento de la necesidad de cambios
- Estudio de la factibilidad técnico económica
- Análisis detallado de la situación actual
- Diseño y desarrollo.
- Implantación y prueba del sistema.
- Implantación definitiva.
- Perfeccionamiento del sistema.

En la actualidad existen varios SGBD entre los que pueden mencionarse: Oracle, SQL Server, MySQL, Postgresql, FoxPro, Clipper, dBase y Microsoft Access, entre otros.

En esta investigación se selecciona para el trabajo el Microsoft Access por las características de programación visual, así como las facilidades que presenta en la construcción de Consultas, Formularios e Informes ganando en eficiencia en la elaboración del producto.

Las características principales del Microsoft Access son las siguientes:

- Incorpora características nuevas para facilitar el diseño y uso de bases de datos y hacerlas más potentes.
- Posibilita la creación de bases de datos con la ayuda del Asistente para bases de datos, lo cual le sirve al programador para hacer rápidamente sus bases de datos partiendo de muchas plantillas.
- Facilita la optimización del rendimiento de las bases de datos; utilizando el Analizador.
- Establece las propiedades de la base de datos, dando la comodidad de que el programador pueda ver, cambiar y definir las propiedades de la base de datos.
- Se pueden crear aplicaciones personalizadas fácilmente usando las nuevas propiedades de inicio para especificar si se muestra automáticamente un formulario determinado al abrir la base de datos o controlar si se muestran los menús personalizados o los incorporados, la ventana de la base de datos o la barra de estado.

II.1.2. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DEL PROCESO DE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL DE LOS SERVICIOS CAD EN LA EMPROY 15

La EMPROY 15 fue fundada en el año 1975. El sistema de perfeccionamiento es aprobado en el año 2002 y el Sistema de Gestión Integrado de la Calidad se certifica por primera vez en el año 2002. A finales de Septiembre de 2001 que se establece oficialmente el Procedimiento PEC 06. A1. SOLICITUD DEL SERVICIO CAD PARA SERVICIOS DE DISEÑO.

II.2. CARACTERIZACIÓN DEL ACTUAL PROCESO DEL SISTEMA INFORMÁTICO QUE GESTIONE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL DE LOS SERVICIOS CAD EN LA EMPROY 15

Actualmente los Servicios CAD en la EMPROY 15, es llevado en los Registros plenamente identificados en el proceso de Gestión de la Calidad, una vez que este proyecto sale de ejecución o es declarado como paralizado se procede a la salva definitiva en CD/DVD. La solicitud del Servicio CAD, es realizada personalmente por el Usuario autorizado según está descrito.

El Registro es llenado manualmente donde aparece detallado todos los datos necesarios para identificar un Servicio de Diseño determinado especificando los Sistemas, Sub Sistemas y Especialidades por cada uno conjuntamente con el equipo de trabajo.

Cuando es necesario realizar alguna modificación ésta tiene que ser solicitada en el Registro con fecha y firma de cuando se realiza, especificando el tipo de la misma, es decir:

- Cambio del Proyectista General o Proyectista Responsable. Cambio del Jefe del Taller de Diseño.
- Aumentar o quitar un Sistema o Sub Sistema.
- Aumentar o quitar una especialidad determinada.
- Aumentar o quitar a uno o varios miembros del Equipo de Trabajo.
- Cambio del Código del Proyecto.
- Cambio del nombre del Fichero.

Estos registros tienen que ser guardados de por 5 años para que exista la evidencia de los proyectos en los que se há trabajado así como el contenido de los mismos.

De lo anterior se evidencia que lo que se tiene establecido actualmente trae algunas desventajas en cuanto al correcto funcionamiento de un proceso dentro de la entidad y el constante movimiento que se genera en búsqueda de información o datos de los proyectos, creando esto molestias por pérdida de tiempo con relación a la generación de servicios con una alta competitividad, fiabilidad y fluidez en los mismos, lo cual constituye la razón de ser de la entidad.

Por otra parte, existe un movimiento constante de forma general del Cliente interno o externo, para consultar cualquier información o dato del Proyecto, ya sea, de la información que está en ejecución en esos momentos o la que se tiene almacenada en CD/DVD como ya terminada.

De lo planteado anteriormente se evidencia la necesidad de resolver tal situación, siendo una de las vías, la creación de una Base de Datos estructurada correctamente teniendo en cuenta la Tecnología de la Informatización y las Comunicaciones (TIC's) con la cual se podría alcanzar un adecuado manejo de toda la información que se elabora digitalmente, una vez identificados los problemas actuales y sus posibles mejoras.

III. SISTEMA INFORMÁTICO DE GESTIÓN DE LOS SERVICIOS EXISTENTE EN LA EMPROY 15

A continuación se realiza una descripción del Sistema Informático durante el desarrollo de la propuesta del software empleado que conducen a la obtención de un producto terminado acorde al problema planteado inicialmente para ser empleado directamente en el proceso productivo de nuestra empresa.

III.1. CAPA DE DATOS

Valiéndose de Microsoft Access, se logra disponer de toda la información desde un único archivo de base de datos. Dentro del registro, se alcanza fragmentar los datos en contenedores de almacenamiento independientes llamados tablas; puede ver, añadir y renovar datos de la tabla por medio de formularios; consigue además, buscar y rescatar sólo los datos que deseé por medio de consultas; y puede examinar o imprimir datos con un diseño específico por medio de informes.

III.2. ANÁLISIS DE DATOS

A toda la información y los datos recopilados sobre los Registros de Solicitud CAD y los Procedimientos vigentes acordes al Sistema Integrado de Gestión implantado, se le realizó un análisis que permitió clasificar los Servicios que se ejecutan de acuerdo a las características del sistema, desde el comienzo del producto, su tiempo de ejecución y grado de protección, creando un inventario físico que soportaría la información en cuanto a solicitudes, modificaciones, validaciones y salva en CD/DVD en correspondencia a la estructura de las diferentes Direcciones de Proyecto.

III.2.1. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

A continuación se muestra el Diagrama Entidad-Relación (DER) que recoge toda la semántica del problema tomando en consideración los requisitos del cliente, así como las restricciones impuestas al flujo de información documental que ejecuta en la EMPROY 15. Figura 1 (a) Diagrama Entidad - Relación del diseño de la Base de Datos.

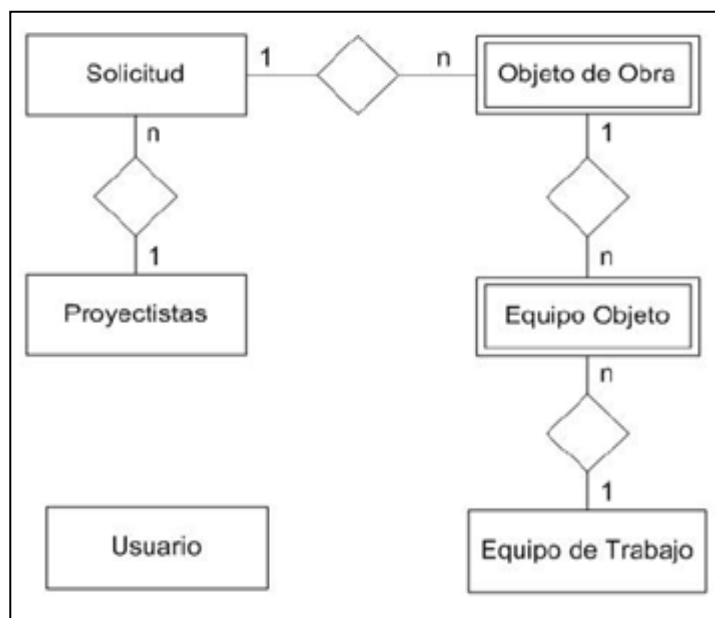


Figura 1: Diagrama Entidad - Relación del diseño de la Base de Datos.

Fuente: Autor, (2018).

En el proceso de transformación del DER a tablas quedó el esquema de base de datos siguiente:

- Usuario (Usuario, Contraseña, Roles, Activo) Proyectistas (IdProyectista, NombreProyec) EquipoDeTrab (IdNombre, NombreEqTrab) EquipoObjeto (IdEqTrab, IdProyecto, NombreObjeto, Fecha, FechaEquipo) Solicitud (IdProyecto,

NombProyecto, Código, Fichero, ...) ObjetosDeObra (IdProyecto, NombreObjeto, Fecha, Sist, Subsist, PG, AR, CD). Posteriormente se normalizaron cada una de las tablas de la base de datos hasta la Forma Normal de Boyce-Codd, por lo tanto, se garantiza que cumple con las formas normales anteriores (1FN, 2FN y 3FN), de modo que se asegura que el determinante es una superllave, se eliminaron las dependencias transitivas entre atributos no llaves, se eliminaron las dependencias parciales con respecto a la llave, se eliminaron los grupos repetitivos y se asevera la atomicidad de los atributos.

Realizado todo este proceso se puede afirmar que el diseño de la base de datos se encuentra en Forma Normal de Boyce-Codd.

III.3. CREACIÓN DE LOS OBJETOS DE LA BASE DE DATOS

Una base de datos es una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa, es el conjunto de todas las Tablas y otros objetos (tales como: Consultas, Formularios, Informes, Macros y Módulos) que se utilizan para gestionar datos.

II.3.1. CREACIÓN DE LAS TABLAS

Mediante la utilización del asistente que brinda Microsoft Access o haciendo uso del modo diseño, se especifica cada uno de los campos que conformará la tabla, así como cada uno de los tipos de datos correspondientes. Figura 2 (b) Ejemplo de Tabla de Solicitud.

Solicitud : Tabla		
Nombre del campo	Tipo de datos	
IdProyecto	Autonumérico	
NombProyecto	Texto	Nombre del Proyecto
Código	Texto	Código del Proyecto
Carpeta	Texto	Nombre de la Carpeta del Proyecto
Fichero	Texto	Nombre del Fichero del Proyecto
IdProyectista	Texto	Proyectista General o Proyectista Responsable
Etapas IE	Si/No	Etapas del Proyecto
Etapas IC	Si/No	Etapas del Proyecto
Etapas EP	Si/No	Etapas del Proyecto
Etapas IT	Si/No	Etapas del Proyecto
Etapas AP	Si/No	Etapas del Proyecto
Etapas PE	Si/No	Etapas del Proyecto
Director	Número	J' Taller de Diseño
FechaSolicitud	Fecha/Hora	Fecha en que se realiza la Solicitud del Servicio
Observaciones	Memo	Observaciones necesarias a realizar en la Solicitud, e) falta código
Estado	Texto	Ejecución Paralizado por Quemar
IdREF	Si/No	Uso de Referencia Externa
FechaSalvaCD	Fecha/Hora	Fecha en que se Salva el CD
NoCD	Texto	Número del CD

Figura 2: Ejemplo de Tabla de Solicitud.

Fuente: Autor, (2018).

III.3.2. CREACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE LAS TABLAS

Después de haber creado todas las tablas que componen la base de datos es necesario crear las relaciones que existen entre ellas. Para este fin se toma en cuenta el DER empleado en el diseño de la base de datos, así como los requerimientos del cliente.

A continuación se muestra la implementación de las relaciones entre las tablas en Microsoft Access. Figura 3 (c) Relaciones de la BD en Microsoft Access.

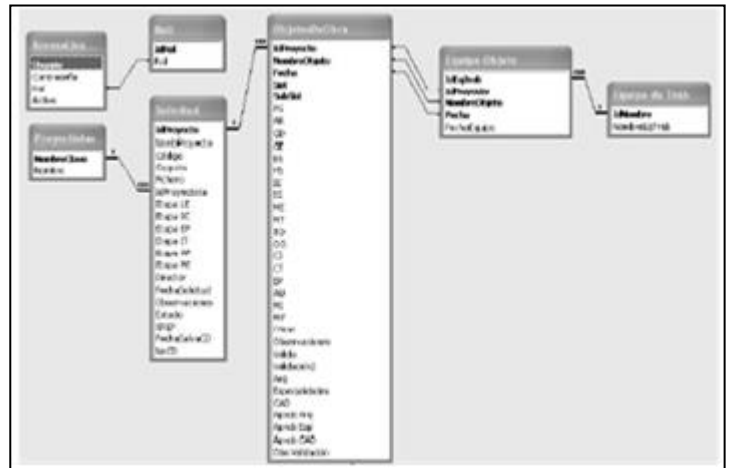


Figura 3: Relaciones de la BD en Microsoft Access.

Fuente: Autor, (2018).

III.3.3. CREACIÓN DE LOS FORMULARIOS

Permite mostrar e introducir los datos de forma más cómoda y visiblemente más atractiva. Para crearlos normalmente se utiliza el asistente y luego en vista de diseño es personalizado.

III.3.4. CREACIÓN DE LAS CONSULTAS

Es una herramienta para hacer preguntas y realizar acciones sobre los datos en las tablas. Además permite gestionar grandes cantidades de datos. La vista de diseño fue el estilo de trabajo fundamental en la creación de las consultas.

III.3.5. CREACIÓN DE LOS INFORMES

Permiten imprimir o ver previamente los datos de forma personalizada. Para su elaboración se utilizó fundamentalmente el asistente y posteriormente la vista de diseño para personalizarlo según los intereses del cliente.

III.3.6. CREACIÓN DE LOS MÓDULOS

Mediante la programación en Visual Basic se elaboraron funciones y procedimientos que complementaron las funcionalidades que tiene el sistema, a continuación se mencionan los siguientes:

- Procedimiento GeneraArbolCarpeta: Utilizado para generar la estructura del árbol de carpetas, teniendo en cuenta el nombre del proyecto especificado en el campo carpeta a partir del cual se genera el sistema, sub sistema, especialidades y subcarpetas por cada especialidad según la solicitud realizada.
- Función DevSemestre: Devuelve el número del Semestre dada una fecha.
- Función DevTrimestre: Devuelve el número del Trimestre dada una fecha.

III.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INFORMÁTICO

El sistema tiene el objetivo de sustituir los Registros del Servicio CAD que se llevan manualmente por un sistema informático que permita mantener actualizado toda la información que se procesa con la celeridad que requiere, disponer de un

mayor control de la información de los servicios que se ejecutan, teniendo en cuenta un mayor nivel de información y actualización del estado en que se encuentran los Servicios en ejecución o están terminados.

Todo esto permite una mayor relación hombre máquina en la informatización de los procesos, así como en el uso de la INTRANET y el correo electrónico.

III.5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Al ejecutar el sistema este se inicia con el siguiente formulario. Figura 4 (d) Formulario de acceso.



Figura 4: Formulario de acceso.
Fuente: Autor, (2018).

El “Formulario de Acceso” solicita el nombre del usuario y contraseña, información que se valida en una tabla que recoge estos datos, que a su vez contiene el rol asignado a cada usuario (administrador, usuario avanzado o usuario) determinándose de esta forma a qué funcionalidades tiene acceso en el sistema.

Una vez realizada la validación se muestra el formulario principal del Servicio CAD donde aparecen las opciones siguientes: Figura 5 (e) Menú Principal.

Es válido señalar que esta BD se trabajó hasta el 2009 con campos que no brindan toda la información importante a tener de un Proyecto o Servicio y como acción de mejora y ante los inconvenientes que confrontamos respecto a que los Registros de la Solicitudes CAD se conservan solo por 5 años que esto trae aparejado que al desaparecer los mismos se pierde la trazabilidad de los Proyectos provoca modificar la misma al crear nuevos campos.

III.5.1. MENÚ PRINCIPAL



Figura 5: Menú Principal.
Fuente: Autor, (2018).

En el Menú Principal se observa que está dividido em Servicios antes del 2010 y a partir del 2010 lo cual aparece fundamentado anteriormente.

III.5.1.1. VISUALIZAR SOLICITUDES SERVICIOS CAD ANTES DEL 2010

La selección de esta opción carga el formato “Solicitud del Servicio CAD”. El mismo permite a los usuarios consultar todo lo correspondiente a los campos declarados, ej. Nombre del Proyecto, Código. Proyectista General o Responsable y otros dándole información si están en Ejecución, en fase de quema (para Auditar) o bien Paralizado, por otra parte, les aportan datos a los usuarios para la organización de los ficheros dentro de la carpeta del proyecto. También cuenta con la posibilidad de enviar por correo electrónico alguna consulta de un proyecto determinado.

Todos los campos de este formulario se encuentran bloqueados para impedir que cualquier dato sea modificado.

III.5.1.2. SERVICIOS ANTES DE 2010 EN CD/DVD

Al cargar el olicitud Servicio CAD Antes del Con solo introducir un campo de igual forma descrito anteriormente localizamos rápidamente en que CD/DVD se encuentra permitiendo que el Usuario solicite el mismo y a través de la red acceda a buscar la información deseada.

III.5.2. NUEVA SOLICITUD DEL SERVICIO CAD

Cuando se solicita un nuevo Servicio por parte del Director de Proyecto, el Proyectista General o Proyectista Responsable, aparecen nuevos campos que no se contemplaban en la de antes de 2010 como anteriormente se explica.

Una vez introducido este Servicio pasamos a crear un *.pdf y guardarlo en la Carpeta correspondiente al Director de Proyecto con el objetivo de que cada Especialista que interviene en el mismo conozca los campos necesarios al nombrar el Fichero cosa esta que esta descrita en el Procedimiento SOLICITUD DEL SERVICIO CAD PARA SERVICIOS DE DISEÑO. PEC.06.A1.

III.5.3. MODIFICACIÓN Y CD/DVD A PARTIR DE 2010

A partir de estos Formularios y con el objetivo que creamos esta modificación en la BD es que se notan los cambios fundamentado en las acciones de mejora en busca de identificar lo que realmente además de lo que teníamos debíamos controlar. En este caso se comporta de forma diferente a las del antes de 2010 ya que nos brinda más información por ej. Objetos de Obra, Especialidades y Equipo de Proyectos Solicitado cosa esta importante para mantener una trazabilidad del Servicio. Figura 6 (f) Modifica el Servicio CAD salvados a partir de 2010.

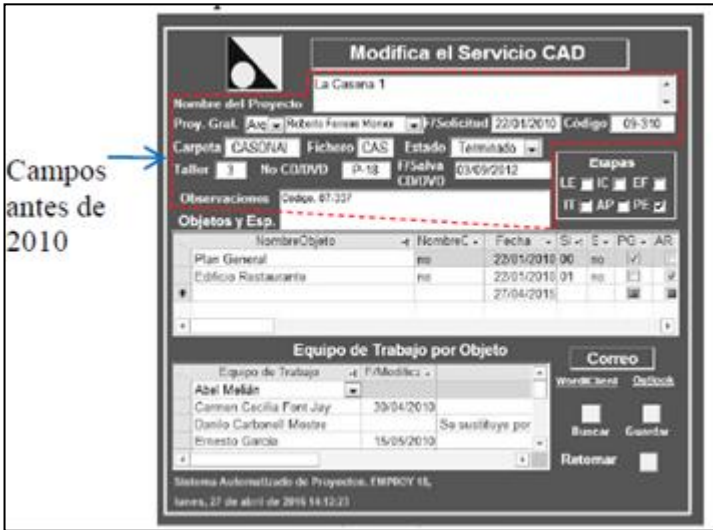


Figura 6: Modifica el Servicio CAD salvados a partir de 2010. Fuente: Autor, (2018).

El resto de los Campos no contenidos dentro de los límites señalados corresponde a los creados.

En esta ventana como su nombre lo identifica nos permite realizar modificaciones en lo correspondiente a aumentar Objetos de Obra, Especialidades y Equipo de Trabajo, solamente por los autorizados, además ya no es necesario consultar otro Formulario para ver si está en CD/DVD ya que automáticamente nos muestra en cual esta y en caso que salga por cualquier Modificación aparece en las Observaciones.

III.5.4. INFORMES

Muestra todo lo que hasta el momento necesitamos para los procesos que llevamos dentro del sistema Informativo. Figura 7 (g) Informes.



Figura 7: Informes. Fuente: Autor, (2018).

Muestra todos los Informes que se necesitan para el Sistema Informativo y los Procesos a partir de 2010. Figura 8 (k) Ejemplo de un Informe.

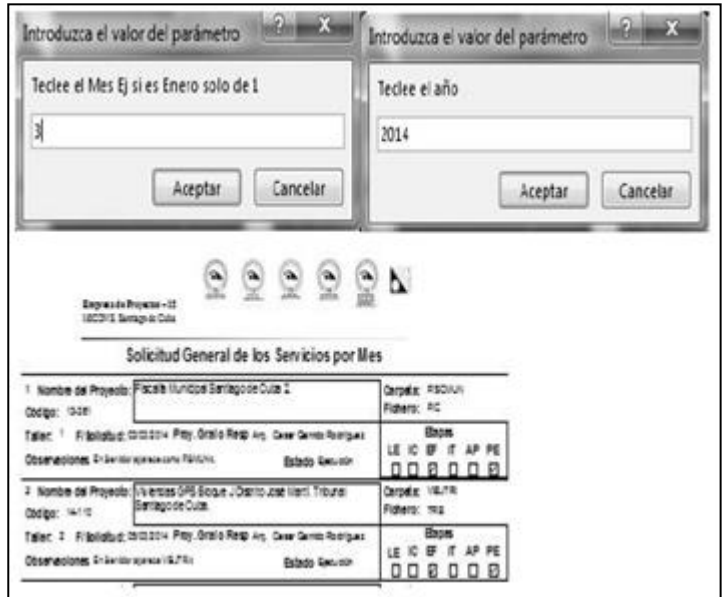


Figura 8: Ejemplo de un Informe. Fuente: Autor, (2018).

En este caso se escoge Solicitud de Servicio a partir de 2010 por Mes, la cual nos da la cantidad de Servicios solicitados por Mes y Año. De esta misma forma nos dará según el Informe que se desee.

IV. IMPACTO ECONÓMICO

Es difícil realizar un cálculo de lo que se ahorra con Aplicación de las TIC's en el diseño de la Gestión de la Información Documental de los Servicios CAD EMPROY 15 sin embargo me referiré solamente al ahorro de papel sin contar el tiempo que el solicitante del Servicio utiliza en llenar el mismo y moverse de su puesto de trabajo ya actualmente como acción de mejora se hace la Solicitud por correo.

Se parte de 1 Paquete trae 200 hojas.

Tabla 1: cálculo de gastos.

Registros	Costo CUC	Gasto
4600	15.25	350.75
Registros	Costo MC	Gasto
4600	19.75	454.25

Fuente: Autor, (2018).

Se evidencia el ahorro con esta acción tomada al igual que se guarda como evidencia en la Carpeta de cada Servicio mientras está en Ejecución o ya al ser Terminado y el Registro llevado manualmente desaparece a los 5 Años.

El presente trabajo se encuentra en el Servidor de la Empresa que tiene como Sistema Operativo Windows Server 2000 con 16 GB de RAM lo que permite revisar o consultar cualquier Servicio de Diseño en qué estado está en el momento que lo necesitan, permitiendo una eficiencia, fiabilidad, ahorro de tiempo de trabajo y eficacia de la Información Documental ya que cada Usuario de la red tiene en su escritorio un acceso directo y es compatible con cualquier versión de Office, siendo el uso de memoria de la PC ínfimo, evitando su movimiento a otro puesto de trabajo.

V. CONCLUSIONES

El sistema informático facilita la gestión de la información documental con mayor factibilidad, confiabilidad y eficacia en el momento preciso, disminuyendo las insuficiencias en dicho proceso.

La informatización de todas las actividades que desarrolla y su proceso principal, ha contribuido a elevar sostenidamente sus indicadores de gestión económica y de recursos en general, de igual forma esto ha requerido una mayor organización de la información para su rápida identificación y trazabilidad.

Ahorrar los recursos puestos a nuestra disposición para mitigar el impacto que sobre el medio ambiente tiene el desarrollo de los procesos, elevar la calidad de la información, mejorar los métodos de trabajo, aumentar la eficacia y eficiencia en el tiempo dedicado por el proyectista al servicio, contribuir a la disminución de los plazos de ejecución del proyecto y aumentar la productividad fueron los criterios y necesidades de la entidad tenidos en cuenta para desarrollar el trabajo, lo que evidencia que como solución computacional es efectiva ya no se contaba con ninguna.

Esta propuesta se ha convertido en un magnífico instrumento en manos de los Usuarios para el desarrollo de una mejor gestión que redunde en la satisfacción de nuestros clientes Internos y Externos.

VI. RECOMENDACIONES

Implementar el Sistema Informático en un servidor SQL con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en la concurrencia, seguridad y usos de los recursos que proporciona el sistema de gestión de base de datos Microsoft SQL Server.

VII. AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido al apoyo brindado por mi esposo y en especial a la EMPROY 15.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Colectivo de Autores, **Informática Médica. Editorial Ciencias Médicas**, 1999. Tomo 1 pp 16-77 ISBN 959-7132-06-0. Cuba.
- [2] C. N. Prague, W.C. Amo and J.D. Foxall. **Los Secretos de Access 97**. Editorial Anaya Multimedia. 01/01/1997, pp. 25-48, 2010.
- [3] M. Castelles. **El impacto de las nuevas tecnologías en la economía internacional: implicaciones para la economía española**, Madrid: Instituto de Estudios de Prospectiva. 1990, p.p. 461-491.
- [4] M. Castelles. **La ciudad informacional. Tecnologías de la información estructuración económica y el proceso urbano-regional**, Madrid: Alianza Editorial, 1995, p.p. 125-129.
- [5] A. Simpson, and E. Olson. **La Biblia del Access 97**, Editorial: Anaya Multimedia, Madrid 1997, p.p. 233-240.
- [6] PEC. 06. **Organización de los Proyectos Digitalizados. EMPROY 15**. Feria, OE, 2007.

[7] PEC.06.A1. **Solicitud CAD para Servicios de Diseño. EMPROY 15**. Feria, OE, 2007.

[8] T. García. **Los Sistemas de Información en las Organizaciones**. Oct. 10-15, 2002, Cuba.

[9] V. Muñiz, “**Estrategia de Superación, una alternativa para elevar la preparación del instructor de los Joven Club de Computación y Electrónica**” Dept. Elect. Universidad de Oriente, Cuba, 2007.

[10] S. Caraballo, and R. Cicala. (2010, May. 5). “**Hacia una didáctica de la Informática**”, Available in: http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0601c_esp.htm

[11] I. Cisneros, and C. García ,” ? Sociedad de la información, ? Sociedad del conocimiento?”. Available in: <http://tecnologiaedu.us.es/edutec/paginas/43.htm>.

[12] D. Pérez. (2007, Oct. 26). “**?Qué son las bases de datos**”, Available in: <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos>.

[13] ohamygood (2010, Jun. 17). Foro todoexpertos “**Control de usuarios**”. Available in: <http://www.todoexpertos.com/categorias/tecnologia-e-internet/bases-de-datos/microsoft-access/respuestas/173814/control-de-usuarios>.

[14] ainhi (2003, Mar.22). Foro forosdelweb “**Conectar a una base de datos access desde visual basic**”. Available in: <http://www.forosdelweb.com/f69/conectar-base-datos-access-desde-visual-basic-475315>.



Relation of environmental problems with human health in agro-extractive settlement projects in the Eastern Amazon

Danilo José Franco Coutinho¹, Elias José Tuma Filho²

^{1,2}Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Rodovia Murutucum s/nº, Souza – Belém-PA-Brasil.

Email: danilo.coutinho@blm.incra.gov.br, elias.tuma@blm.incra.gov.br

Received: January 11th, 2017

Accepted: February 24th, 2017

Published: March 30th, 2017

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Risks to human health are closely related to environmental damage resulting from anthropization. Agroextractive Settlement Projects are important geographical territory spaces from Pará. The present work had as objective reporting changes on human health influenced by environmental factors in this mode of settlement. They analyzed the health changes related to existing environmental problems in six projects, both located in Cametá, Pará State. Using database software Excel spreadsheets for the correlation of the health and environmental data. Of the total of 927 79% use water bodies extraction for human consumption of water, 70% did not make any treatment or just the strainer. With regard to sanitation, in 87% of households there is treatment of human waste. As for the fate of the residential waste 95% organic and not burn the 96% employ the organic animal feed. It was concluded that inappropriate environmental practices compromise human health in these islands.

Keywords: Environment, human health, agro-extractive settlement projects, traditional populations.

Relação de problemas ambientais com a saúde humana em projetos de assentamento agroextrativista na Amazônia Oriental

RESUMO

Riscos à saúde humana estão estreitamente relacionados aos danos ambientais resultantes da antropização. Projetos de Assentamento Agroextrativista são importantes espaços geográficos do território paraense. O presente trabalho teve como objetivo relatar modificações na saúde humana influenciadas por fatores ambientais nessa modalidade de assentamento. Analisaram-se as alterações de saúde relacionadas a problemas ambientais existentes em seis Projetos, todos localizados em Cametá, estado do Pará. Utilizou-se banco de dados de planilhas do software Excel para a correlação dos dados de saúde e ambientais. Do total de 928 extrativistas, 83% utilizam corpos hídricos para consumo humano da água, 70% não fazem tratamento algum ou apenas a coagem. No tocante ao esgotamento sanitário, em 85% das residências não há tratamento dos dejetos humanos. Quanto ao destino do lixo residencial, 87% queimam o não orgânico e 88% empregam o orgânico para alimentação animal. Concluiu-se que práticas ambientais inadequadas comprometem a saúde humana nestas ilhas.

Palavras Chaves: meio ambiente, saúde humana, projetos de assentamento agroextrativista, populações tradicionais.

I. INTRODUÇÃO

A Amazônia Brasileira tem sido estudada em seus mais diversos aspectos, e dentre eles um dos mais importante se refere aos fatores ambientais, uma vez que estes afetam diretamente a vida dos habitantes desse bioma. Igualmente relevante é a saúde

humana das populações inseridas nos muitos ecossistemas dessa região.

As populações rurais da Amazônia brasileira por vezes são expostas a condições ambientais das mais variadas, tais como contaminação de águas superficiais, alimentos e do solo. O contato direto dessas pessoas com essa problemática ambiental

pode ocasionar várias enfermidades, como diarreia, infecção gastro-intestinal, hepatite, doença de pele, verminose, dor no corpo, dor de cabeça, febre, anemia, vômito, hemorragia, amebíase, dermatite crônica.

Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE) é uma modalidade de assentamento destinado a populações tradicionais, para exploração de riquezas extrativas, por meio de atividades economicamente viáveis, socialmente justas e ecologicamente sustentáveis, introduzindo a dimensão ambiental às atividades agroextrativistas [1].

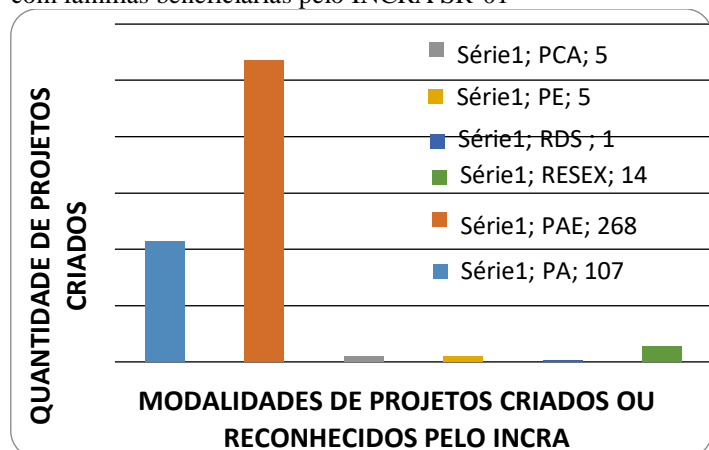
No Brasil, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA é uma autarquia federal criada com a missão de realizar a reforma agrária, manter o cadastro nacional de imóveis rurais, administrar as terras públicas da União e contribuir para o desenvolvimento rural sustentável [2]. Nas suas diretrizes possui a criação e implantação de assentamentos rurais sustentáveis além da busca da qualificação dos assentamentos rurais [3].

A degradação ambiental tem sido motivo de preocupação da comunidade científica, uma vez que a inércia humana diante das recentes constatações resultará em consequências danosas irreversíveis para diversas formas de vida existentes no mundo.

A realização de estudos que apontem a relação da degradação ambiental com a saúde de comunidades rurais é de extrema importância para a sociedade, uma vez que as informações geradas com as pesquisas servirão de subsídios para atores direta ou indiretamente envolvidos com saúde pública no Brasil, em especial a Amazônia Legal.

O estado do Pará possui o maior número de PAE's criados em termos nacionais [4]. Na área de atuação da Superintendência Regional do INCRA no Pará esta modalidade de assentamento se destaca quantitativamente em relação às demais, conforme se observa no gráfico 1, evidenciando-se assim a importância de se estudar temas que envolvam as comunidades residentes nestas áreas.

Figura 1: Gráfico - Quantitativo atual de projetos criados e/ou com famílias beneficiárias pelo INCRA SR-01



Fonte: Sistema de Informações de Projetos de Assentamento da Reforma Agrária – INCRA (2016).

No presente estudo foi analisada a alteração do estado de saúde decorrente de aspectos ambientais, especialmente o saneamento básico em PAE, tendo como objetivo contribuir para o bem estar da população na Amazônia a partir do conhecimento dos processos de antropização.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entre múltiplos aspectos que oferecem risco à saúde humana está a interface com a questão ambiental, pela antropização de grandes áreas [5].

Diversos trabalhos já foram publicados abordando a relação saúde x meio ambiente. [6] analisaram teores de mercúrio (Hg) e arsênio (As) existentes em seres humanos em localidades da Amazônia.

Para [7] afirmam que a expansão do agronegócio resulta em condições degradantes aos trabalhadores rurais que atuam nesse segmento produtivo aumentando a quantidade de intoxicações e acidentes de trabalho.

O trabalho de [8] mostrou risco real aos turistas de uma praia localizada no nordeste brasileiro, expostos à esquistossomose mansoni, doença transmitida por *Biomphalaria glabrata*, caramujo com proliferação devido às intervenções humanas ao meio ambiente.

Segundo [9] concluíram que o uso de água de má qualidade em irrigação de cultivos vegetais pode influenciar diretamente a contaminação dos alimentos, acarretando em sérias implicações à saúde dos consumidores.

Notam-se, portanto, as múltiplas consequências à saúde humana decorrentes de alterações ambientais no meio natural existente.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

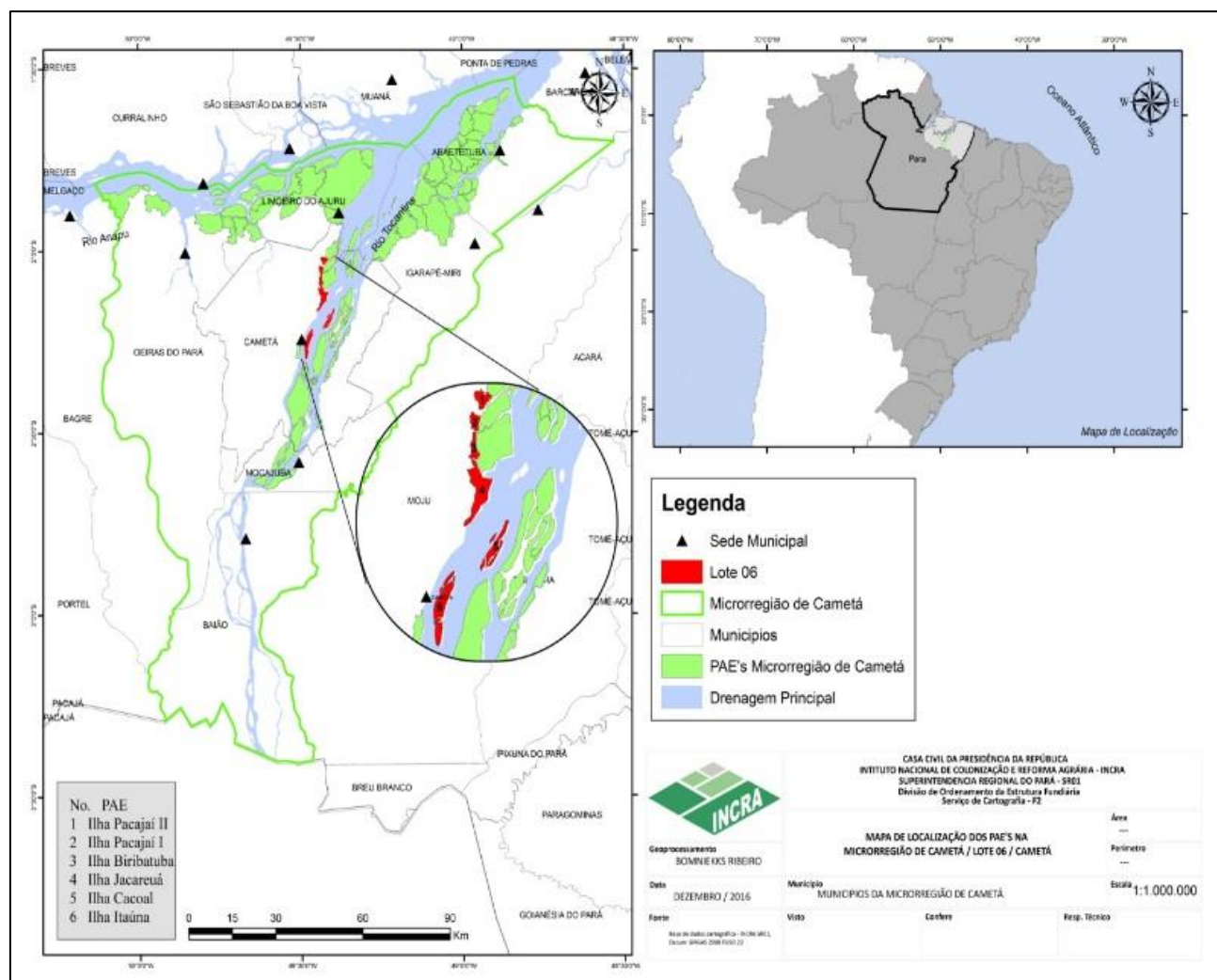
Para realização da abordagem analítica, a partir de dados secundários, foram utilizadas informações coletadas pelo Instituto de Assessoria Técnica Social e Agroambiental da Amazônia (IATAM), entidade essa prestadora de serviço de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), contratada pelo INCRA para este fim, com a execução de atividades voltadas aos beneficiários da Reforma Agrária, no tocante a aspectos socioambientais, culturais e econômicos das famílias residentes em projetos de assentamento agroextrativista na região do Baixo Tocantins, município de Cametá, estado do Pará.

Fez-se uma pesquisa documental com estudo analítico, realizada no município de Cametá-Pará, com área de delimitação em seis PAE: Pacajá II, Biribatuba, Pacajá I, Cacoal, Jacareuá e Itaúna, como é possível ver na Figura 1. Na coleta de dados o IATAM realizou entrevistas com as famílias, aplicando instrumento pré-estruturado denominado “questionário socioeconômico e ambiental” elaborado pelo INCRA. Para a análise utilizou-se banco de dados de planilhas do software Microsoft Excel para a correlação dos dados de saúde x ambientais, a partir dos relatórios entregues pelo IATAM ao INCRA.

I. I

N
T
R

Figura 1: Mapa de Localização dos PAE's na Microrregião de Cametá.



Fonte: INCRA (2016).

A tabela 1 apresenta os dados de área, total de famílias entrevistadas e porcentagem da amostra utilizada para o presente estudo, essa última com bom nível de significância, visto que foram entrevistados pelo IATAM 83,50% do total de famílias existentes numa área de 3.255,0061 ha.

Tabela 1- Dados gerais dos PAE estudados.

Nº	PAE (ILHA)	ÁREA (ha)	TOTAL DE FAMÍLIAS	TOTAL DE ENTREVISTAS	% DE ENTREVISTAS
1	Pacajai II	328,8881	38	36	94,7
2	Biribatuba	287,4486	174	162	93,1
3	Pacajai I	224,4334	57	49	86,0
4	Cacoal	520,1800	298	253	84,9
5	Jacareuá	773,5151	196	143	73,0
6	Itaúna	1.120,5409	336	275	81,8
	TOTAL	3.255,0061	1.099	918	83,5

Fonte: IATAM (2015).

Cametá está inserido no perímetro da Amazonia Legal. Segundo [10] o referido município possui uma população total estimada de 132.515 habitantes, sendo 56% vivendo na zona rural [11].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta dados percentuais referentes às ações da comunidade sobre o ambiente em que vivem. Para a utilização da água 69,68% não fazem tratamento algum ou apenas a coagem e 82,30% usam recursos hídricos de rios ou igarapés para o próprio consumo. No tocante ao esgotamento sanitário, em 87,27% das residências não há tratamento dos dejetos humanos. Quanto ao destino do lixo residencial 86,51% queimam o não orgânico e 87,37% empregam o orgânico para alimentação animal. A falta de água potável é agravada pela contaminação de corpos hídricos por dejetos humanos, resíduos das famílias e embarcações. Isso tudo aliado à precariedade de serviços de saúde reflete na ocorrência de doenças como viroses, verminoses, infecção intestinal, problemas estomacais e outros.

Tabela 2 – Ações dos moradores dos PAE sobre o meio ambiente.

Projeto de Assentamento Agroextrativista	Quantitativo de Famílias dos PAE entrevistadas por ação sobre o meio ambiente				
	Utilização dos rios para consumo de água	Sem tratamento de água	Destinação do lixo		Sem tratamento dos dejetos humanos
			Alimentação de animais	Queimado	
PAE Ilha Biribatuba	117	114	158	157	131
PAE Ilha Cacoal	244	232	244	246	239
PAE Ilha Itaúna	232	141	271	265	230
PAE Ilha Jacareuá	93	90	137	134	133
PAE Ilha Pacajá I	45	45	-	-	46
PAE Ilha Pacajá II	32	24		30	
Sub Total	763	646	810	832	779
Total de famílias entrevistadas	918	918	918	918	918
% em relação ao total de famílias entrevistadas	83,11	70,37	88,23	90,63	84,85

Fonte: IATAM (2015), adaptado pelos autores.

Nas figuras 2 e 3 pode-se observar a forma de armazenamento para o consumo de água e tipo de banheiro mais frequentemente construído pelos ribeirinhos dos PAE em estudo.



Figura 2 - Água do rio acondicionada em caixas de PVC.
Fonte: IATAM (2015).

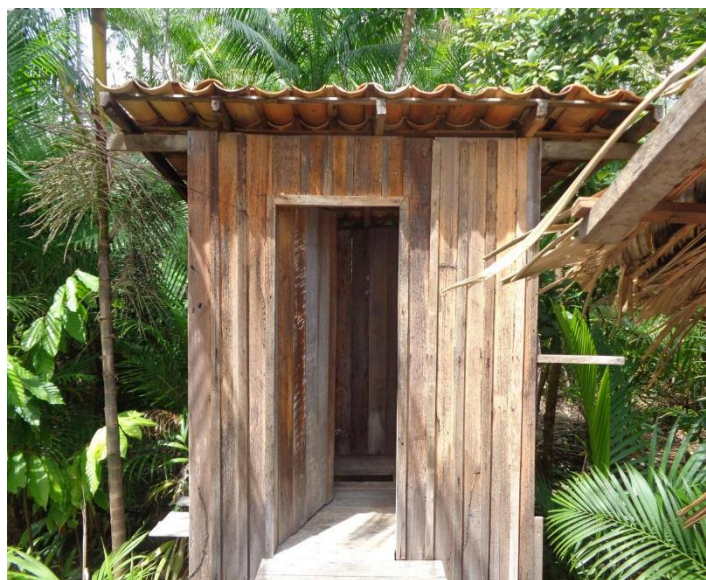


Figura 3: Tipo de banheiro utilizado pelos moradores do PAE.
Fonte: IATAM (2015).

IV.1 CONSIDERAÇÕES POR PAE ESTUDADO

IV.1.1 PACAJÁ II

Foram entrevistadas pela prestadora de ATER IATAM 36 famílias de um total de 38 famílias assentadas com informações abaixo descritas [12].

O PAE possui uma área total de 328,8881 ha. Não há posto de saúde na comunidade.

As principais doenças existentes na ilha, de acordo com os relatos dos moradores, são hipertensão, diabetes, doenças de pele, asma, verminoses, viroses e hipertensão. Algumas dessas doenças estão intimamente ligadas às questões de falta de saneamento básico, tais como a má qualidade da água consumida ou o contato direto com a água do rio durante o banho.

Com referência à água para o uso na residência, a principal fonte é dos rios, ou seja, todas as famílias utilizam a água do rio para uso da residência, inclusive para o consumo, no entanto, algumas famílias buscam água na cidade de Cametá para o consumo. Outras ainda consomem água de cacimba.

IV.1.1.1 FONTES DE ÁGUA PARA O CONSUMO/USO NA RESIDÊNCIA - FONTE: LEVANTAMENTO DE CAMPO DO IATAM (2015):

Rios/Córregos/Igarapés-83%, Nascente-12%, Busca na cidade-5%.

Com relação ao tratamento de água, a maior parte dos assentados faz a coagem da água com tecido limpo e 13 famílias fazem a cloração com pingos de hipoclorito de sódio na água a consumir. Ainda há 08 famílias que não fazem tratamento algum sobre a água consumida.

IV.1.1.2 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO - FONTE: LEVANTAMENTO DE CAMPO DO IATAM (2015):

Sem Tratamento-18%, Coagem-45%, Cloração-25%, Fervura-6%, Filtragem-6%.

Em relação aos dejetos humanos, das 36 residências visitadas, 30 possuem banheiros sem tratamentos do esgoto sanitário e apenas três possuem as fossas sépticas que são necessárias para o tratamento correto dos dejetos humanos. Essa falta de tecnologias para tratamento de dejetos humanos é um fator primordial na incidência de doenças de veiculação hídricas nas ilhas, uma vez que o consumo de água ou contato direto durante o banho pode provocar tais doenças.

IV.1.1.3 FORMAS DE TRATAMENTO DOS DEJETOS HUMANOS - FONTE: LEVANTAMENTO DE CAMPO DO IATAM (2015)

Sem Tratamento-77%, Fossa Simples-3%, Fossa Séptica-9%, Fossa Incompleta/Fossa Negra-11%.

Quanto à destinação do lixo, a parte orgânica é utilizada para a alimentação de animais. O lixo inorgânico, é, na maioria das residências queimado ou enterrado. Uma família citou que vende alguns resíduos recicláveis. A falta de políticas de destinação de lixo por parte do poder público obriga que as comunidades rurais do Município de Cameté garantam a destinação incorreta dos resíduos, causando impactos diretos sobre as diversas matrizes ambientais: água, solo, biodiversidade e o ar.

No que se refere aos problemas ambientais, a maior parte dos entrevistados citou o assoreamento dos rios, a poluição dos rios e o depósito de lixo a céu aberto. Todos esses aspectos geram impactos negativos e levantam longos debates nas reuniões do PAE, onde os agricultores indicam a necessidade de pesquisas e projetos que ataquem diretamente esses problemas.

IV.1.1.4 PROBLEMAS AMBIENTAIS EXISTENTES NOS LOTES - FONTE: LEVANTAMENTO DE CAMPO DO IATAM (2015):

Assoreamento dos rios-33%, Poluição dos rios ou nascentes-19%, Deposição inadequada do lixo-12%, Erosão-1%, Queimada-1%.

IV.1.1.5 PROBLEMAS AMBIENTAIS

Os problemas ambientais, amplamente discutidos também levantaram a demanda da instalação de um programa de coleta seletiva de lixo semanal na ilha e redondezas.

Os agricultores demonstraram grande interesse em atividades de educação e recuperação ambiental, principalmente relacionadas à conservação da água.

IV.1.2 BIRIBATUBA

O IATAM realizou entrevistas com 162 famílias de um total de 174 assentados existente na ilha resultando em informações abaixo detalhadas [13]. A área geográfica da ilha totaliza 287,4486 ha.

IV.1.2.1 SAÚDE

Atualmente os principais serviços de saúde disponibilizados para os assentados se resumem aos agentes comunitários de saúde (ACS) e as campanhas de vacinação. Apesar disso, nem toda a população é atendida pelos ACS.

As principais doenças citadas que acometem os agricultores foram o diabetes, viroses e dores no corpo e febre.

IV.1.2.2 SANEAMENTO

A principal fonte de água para o uso doméstico na residência é dos rios. São 117 famílias que utilizam diretamente água dos rios no dia-a-dia. Algumas famílias buscam água na cidade para o consumo, outras que moram na Vila ou próximo utilizam água encanada pública.

Principais formas de tratamento de água: Sobre o tratamento de água, destaque para a coagem em pano-54 famílias, a cloração por meio de adição de hipoclorito de sódio-37 famílias, outras formas que incluem a adição de sulfato de alumínio também são praticados por 11 famílias, mas há 60 famílias que não fazem nenhum tratamento na água.

IV.1.2.3 DESTINAÇÃO DE LIXO E DEJETOS HUMANOS

O lixo, também um grave problema, não possuindo destinação adequada, pois o lixo não orgânico é queimado em 157 residências. Já o lixo orgânico familiar é disponibilizado aos animais.

Os dejetos humanos se constituem um dos maiores problemas de saneamento e saúde, posto que não há tratamento eficiente e eles acabam chegando aos cursos hídricos, que, como citado anteriormente, é ingerido pelas famílias sem tratamento adequado, uma fossa séptica.

Destino dos dejetos humanos/Formas de Tratamento: Sem Tratamento-131, Fossa Simples-9, Fossa Séptica-8, Fossa Incompleta/Fossa Negra-12, Rede de Esgoto, não responderam-2.

Não obstante o problema do lixo é um agravante, pois pela falta de coleta de resíduos sólidos estes são queimados ou depositados nos próprios cursos de água. Os veículos aquáticos também poluem os rios com a deposição de óleos combustíveis em suas águas.

O lixo inorgânico poderá ser coletado via um programa de coleta seletiva que uma cooperativa da cidade de Cameté está desenvolvendo em áreas de terra firme.

IV.1.3 PACAJÁ I

Entrevistadas 49 famílias de um total de 57 famílias assentadas dentro de uma área geográfica da ilha totalizando 224,4334 ha. Detalhamento a seguir [14].

IV.1.3.1 SAÚDE

O PAE não possui postos de saúde. O serviço de agente comunitário de saúde não contempla todas as famílias.

Principais doenças e problemas de saúde identificados pela entidade de ATER: Dores na cabeça ou no corpo, hepatite, viroses, verminoses, febre, gastrite, problemas estomacais/intestinais.

No ano 2012 houve uma epidemia de malária com 217 casos confirmados no PAE e nas proximidades, nesta ocasião houve ações da Secretaria de Saúde que distribuiu mosquiteiros para rede e para a cama e fez um processo de pulverização na área para combater o mosquito transmissor. Os agricultores informaram também que entre os anos 2012 e 2014 ocorreram dezenas de casos de hepatite, mas os dados não são oficiais.

IV.1.3.2 SANEAMENTO

Em se tratando de água para o uso na residência, a principal fonte é dos rios-45 famílias e o restante de outras formas.

A forma de tratamento da água mais comum no PAE é coagem com pano, mas há famílias que fazem uso da cloração por meio de adição de hipoclorito de sódio na água apanhada do rio. Foi identificada também a filtração da água em filtros de barro, a fervura e o uso de sulfato de alumínio como tratamento da água para o consumo.

Principais formas de tratamento de água: Coagem-33, Cloração-13, outros-3.

Ao serem questionados se a água dos rios é suficiente para o uso na residência, a maior parte dos entrevistados (65%) respondeu negativamente. Isto porque não há tratamento para consumo humano e das atividades domésticas, bem como o movimento das marés também impede em alguns momentos a disponibilidade de água medianamente limpas para lavagem de roupas e outros serviços.

IV.1.3.3 DESTINAÇÃO DE LIXO E DEJETOS HUMANOS

Conforme se nota na figura 4, os dejetos humanos não tem tratamento e/ou destinação adequados em 46 das 49 residências, o que também é fator de reclamação quanto à disponibilidade de água para consumo doméstico. Em três residências possuem fossa negra e/ou incompleta. Este problema é grave e coloca em risco a saúde e a vida das famílias assentadas e deverá ser discutido em outros fóruns de debate e outras discussões de políticas públicas, haja vista, incomodar pessoas de todas as idades.



Figura 4: de Banheiro sem Tratamento – PAE Pacajaí I.
Fonte: IATAM (2015)

O lixo produzido no PAE tem dois destinos: o orgânico é dado aos animais para a sua alimentação e o não orgânico é queimado no lote. As famílias reivindicam coleta de lixo regular.

IV.1.3.4 PROBLEMAS AMBIENTAIS

No que concerne aos problemas ambientais existentes nos lotes, a maioria dos entrevistados citou a assoreamento dos rios, poluição dos rios ou nascentes e deposição inadequada do lixo e a erosão como os maiores problemas nos lotes. Outros problemas: Contaminação do Solo, Desmatamento e Queimada.

IV.1.4 CACOAL

Entrevistadas 253 famílias de um total de 298 famílias assentadas. Área total do PAE perfazendo 520,18 ha. Abaixo apresentam-se as informações coletadas pelo IATAM [15].

IV.1.4.1 SAÚDE

Não há posto de atendimento à saúde, segundo o relatório do IATAM.

Ocorrem campanhas de vacinação e visitas de Agentes Comunitários de Saúde ao PAE, segundo os relatos coletados nas entrevistas do IATAM. São três profissionais que atendem as famílias com visitas regulares, distribuem hipoclorito de sódio para o controle da qualidade de água para consumo humano, distribuem preservativos para controle de natalidade, fazem controle de pesagem de crianças.

Doenças de infecção estomacal e intestinal, viroses, doenças respiratórias e crônicas foram as mais listadas pelos extrativistas.

Principais problemas de saúde identificados: Asma, Diabetes, Febre, Vermioses, Hipertensão/Hipotensão, Viroses, Hepatite, Anemia, Colesterol Alto ou Baixo, Diarreia/Vômitos, Dores na cabeça ou no corpo, Problemas Estomacais ou intestinais, Gastrite.

Algumas dessas doenças estão intrinsecamente ligadas à falta de saneamento básico, especialmente aquelas relacionadas ao consumo ou contato com água contaminada por patógenos.

IV.1.4.2 SANEAMENTO BÁSICO

O saneamento básico envolve o conjunto de serviços de infraestrutura de abastecimento e tratamento de água, manejo de resíduos sólidos, esgotamento sanitário e ainda manejo de água da chuva [16].

No concernente à água para o uso na residência, a principal fonte é dos rios, no entanto, algumas famílias buscam água na cidade de Cameté para o consumo, pois entendem que a água do rio não atende os parâmetros de qualidade para sua saúde, porém ficam preocupados, pois quando as crianças estão na escola não tem acesso à água tratada.

As formas de tratamento da água listadas pelos agricultores, têm se demonstrado insuficientes ao objetivo, pois não chegam a garantir potabilidade da água para consumo. A maior parte dos assentados faz a coagem da água e cloração e quatro famílias utilizam hipoclorito de sódio na água depois de coada.

Principais Formas de Tratamento de Água para consumo: coagem-179, outros-cloração, sem tratamento, cloração, fervura, filtragem.

IV.1.4.3 DESTINAÇÃO DE LIXO E DEJETOS HUMANOS

A maioria das residências visitadas não possui tratamentos do esgoto sanitário-239, um morador relatou possuir uma fossa simples e três famílias informaram dar outra destinação aos resíduos, se referindo a buracos feitos no fundo dos lotes onde a água não alcança em maré alta, o que eles consideram uma maneira diferente de cuidar dos dejetos, que não se encaixa em nenhum modelo de fossa.

Os banheiros são casinhas feitas em madeira e os dejetos humanos são jogados diretamente sobre o solo e/ou água; quando a maré está alta piora a situação, pois o fluxo de maré carrega as fezes para o rio, poluindo a água do mesmo; a falta de tecnologias para tratamento de dejetos humanos é um fator primordial para incidência de doenças de veiculação hídrica nas ilhas.

Quanto aos resíduos sólidos, a principal destinação do lixo orgânico é a alimentação de animais, sendo também utilizado para compostagem. Existem cinco famílias que relataram queimar esse

tipo de lixo. O lixo não orgânico, é queimado pela maioria das famílias ou é descartado no rio. A falta de políticas públicas na gestão de resíduos sólidos obriga os assentados a realizarem destinação incorreta dos resíduos causando impactos diretos sobre as matrizes ambientais: água, solo, biodiversidade e o ar.

IV.1.4. 4 PROBLEMAS AMBIENTAIS

A maioria dos entrevistados apontou o assoreamento dos rios como problema ambiental mais incidente do PAE, seguido da poluição dos rios ou nascentes, deposição inadequada do lixo, erosão, contaminação do solo, desmatamento e queimada.

IV.1.5 JACAREUÁ

Entrevistadas 143 famílias de um total de 196 famílias assentadas, para uma área total de 773,5151 ha. Os dados descritos seguem abaixo [17].

Entre os serviços de saúde disponibilizados no PAE, é mais comum relatos de realização de campanhas de vacinação e presença cotidiana dos profissionais Agentes Comunitários de Saúde, pois não há posto de saúde. Os serviços destes últimos são basicamente a realização de visitas regulares, distribuição de preservativos para controle de natalidade, distribuição de hipoclorito de sódio para tratamento da água, fazem controle de pesagem de crianças e direcionamento de doentes crônicos para acompanhamento e monitoramento no hospital na sede urbana de Cametá.

Relatos sobre as maiores incidências de problemas de saúde indicam problemas respiratórios e viroses. As principais doenças crônicas encontradas: hepatite, que pode estar relacionada ao consumo de água de má qualidade, haja vista que muitas famílias consomem água diretamente do rio e com pouco ou nenhum tratamento, hipertensos e diabéticos.

IV.1.5.1 SAÚDE

Principais problemas de saúde/Principais doenças crônicas: hepatite, hipertensão/hipotensão, colesterol, diabetes.

Outras doenças e problemas de saúde considerados menos preocupantes e, que raramente fazem com que os agricultores procurem ajuda médica: Gripes e viroses estão entre os problemas de saúde mais comum. Viroses e gastrite, gripe e anemia, febre, problema estomacais e dores na cabeça/corpo.

IV.1.5.2 – FONTE DE CONSUMO

A fonte mais utilizada se refere aos rios, inclusive para o consumo, no entanto, algumas famílias buscam em um distrito ou na Cidade de Cametá para o consumo. Há moradores que se beneficiam do sistema de rede pública via poço artesiano instalado em um distrito.

Não há relatos de tratamento de água eficaz em relação aos problemas de falta de saneamento básico, pois a coagem e cloração realizadas na maioria das casas não é realizada de maneira correta no sentido de garantir a potabilidade da água para consumo.

De toda forma, apresentam-se os relatos de tratamento de água que os agricultores realizam. Via de regra eles usam mais uma medida dessas, por exemplo, coa e ferve, ou coa e filtra, ou filtra e uso o cloro. Inclusive, o tratamento de água para consumo e cozimento de alimentos é uma demanda apresentada pelas famílias a equipe de ATER junto com outros órgãos públicos possam buscar

soluções palpáveis, além da implantação de um sistema de abastecimento de água para o PAE.

IV.1.5.3 DESTINAÇÃO DE LIXO E DEJETOS HUMANOS

Outro grande problema de saúde e meio ambiente relacionados, diz respeito ao tratamento dos dejetos humanos, pois das 143 residências visitadas, 133 não realizam nenhum tratamento e as demais informaram uma destinação de dejetos, que efetivamente também não trazem resultados positivos, ou dão destinação adequado, de forma que essa falta de tecnologias para tratamento de dejetos humanos é um fator primordial para incidência de doenças de veiculação hídrica nas ilhas, uma vez que o consumo de água ou contato direto durante o banho podem provocar doenças.

O lixo, problema que deverá virar matéria prima para artesanato e ser elemento para capacitação sobre sua melhor destinação, pois já fora solicitado serviços de ATER nesse sentido, bem como fora solicitado serviço de coleta regular de lixo reciclável. Situação esta que esta sendo negociada com a Cooperativa de Recicladores de Cametá, via IATAM (prestadora de ATER). A principal destinação do lixo orgânico é para a alimentação de animais-137 e o lixo não orgânico circula pelos rios-8 ou é queimado/enterrado-134.

IV.1.5.4 PROBLEMAS AMBIENTAIS

Em referências aos problemas ambientais existentes nos lotes, a maioria dos entrevistados-120 famílias citou o assoreamento dos rios, seguido da poluição dos rios-98 famílias, deposição inadequada do lixo-54 famílias, erosão-20 famílias, contaminação do solo-14 famílias, desmatamento-3 famílias e queimadas-3 famílias.

4.1.5 ITAÚNA

Abaixo são exibidas as informações oriundas das entrevistas realizadas com 275 famílias de um total de 336 [18].

O PAE possui uma área total de 1.120,5409 ha.

IV.1.6.1 SAÚDE

Os moradores não têm estruturas de atendimento em saúde dentro da localidade. Internamente são disponibilizados os serviços de dois Agentes Comunitários de Saúde, que visitam, entregam hipoclorito de sódio, orientam sobre o uso da água e agendam consultas de rotina e odontológicas na zona urbana e as campanhas de vacinação de crianças e animais.

Os principais problemas descritos foram as hepatites, pressão alta ou baixa e diabetes. Outros problemas como viroses, gastroenterites, anemia, malária, gastrite, hemorragia, amebíase, dengue, dermatite crônica, problema de pele.

IV.1.6.2 SANEAMENTO

Em se tratando de água para o uso na residência, a principal fonte é dos rios, ou seja, a maioria das famílias utiliza a água do rio para uso da residência, inclusive para o consumo, no entanto, uma grande parte das famílias busca água na Cidade de Cametá para o consumo.

Não há relatos de tratamento de água eficaz em relação aos problemas de falta de saneamento básico, pois a coagem e cloração realizadas na maioria das casas não é realizada de maneira correta no sentido de garantir a potabilidade da água para consumo. Inclusive, o tratamento de água para consumo e cozimento de alimentos é uma demanda apresentada pelas famílias para que equipe de ATER junto com outros órgãos públicos possam buscar soluções palpáveis, além da implantação de um sistema de abastecimento de água para o PAE. Todas as famílias que disseram tratar a água antes de consumir citaram utilizar mais de um método de tratamento.

IV.1.6.3 DESTINAÇÃO DE LIXO E DEJETOS HUMANOS

Em relação aos dejetos humanos, 230 residências não oferecem destinação adequada aos seus dejetos, pois os banheiros são aqueles do tipo casinha e não dispõem de fossas sépticas.

Formas de tratamento de dejetos humanos: sem tratamento-230, fossa simples-34, fossa incompleta/fossa negra-6, fossa séptica-5.

Já com relação ao lixo, as famílias queimam e/ou disponibilizam para os animais os resíduos do lote. Os resíduos não orgânicos (plásticos, metais, vidros, papel e etc.) são queimados; os orgânicos (restos de comida, restos vegetais e etc.) são jogados no lote para a alimentação dos animais. Todos os produtos listados no lixo podem e devem ser reaproveitados após capacitações que os agricultores solicitaram para a equipe de ATER. Algumas famílias utilizam restos alimentares nas plantas, enterram ou jogam nos quintais e outras levam vidros e latas para vender na cidade.

IV.1.6.4 DESTINAÇÃO DE LIXO E DEJETOS HUMANOS

Formas de deposição do lixo/Destino do lixo:

- não orgânico: queimado-271, enterrado-2, outros-2.

- orgânico: queimado-265, outros-10.

Em relação aos problemas ambientais existentes nos lotes, a maioria citou a poluição dos rios o assoreamento dos rios, deposição inadequada do lixo como os maiores problemas nos lotes.

IV.1.6.5 PROBLEMAS AMBIENTAIS

Problemas ambientais existente no lote: poluição/contaminação de nascentes-rios-córregos, assoreamento de rios/córregos/igarapés, deposição de lixo de forma inadequada (a céu aberto), contaminação do solo por uso de agrotóxicos/destinação inadequada de embalagens, desmatamentos, queimadas, outros.

Quanto ao meio ambiente lideram como preocupações dos moradores, os resíduos sólidos, os dejetos humanos e assoreamento.

Percebe-se que a falta de estrutura sanitária denota possibilidade de contaminação do solo e água nestes ambientes, fato esse corroborado por [19] que em seu estudo concluiu ser necessária adoção de medidas no sentido de conscientizar a população de assentamento rural na Amazônia Brasileira sobre práticas danosas ao meio ambiente e como consequência o próprio bem-estar dessas pessoas.

V. CONCLUSÃO

A partir dos resultados analisados é possível afirmar que:

- há possibilidade de estas enfermidades relatadas pelos ribeirinhos possuírem uma relação direta ou indireta com os problemas ambientais informados pelos próprios moradores dos PAE's objeto do estudo.

- o uso de práticas inadequadas e não condizentes com a sustentabilidade contribui para a degradação ambiental que compromete a saúde, a recreação, a vivência cotidiana, a economia e as atividades produtivas.

- o diagnóstico elaborado serve de subsídio para adoção de mecanismos mais eficazes de informação, monitoramento, controle, fiscalização conjunta do INCRA com os órgãos ambientais e de saúde, buscando reforçar o cumprimento da legislação ambiental.

VI. AGRADECIMENTOS

Ao INCRA pela disponibilidade de dados para elaboração deste trabalho. Ao Engº Civil e Sanitarista/Ambiental Marcelo José Cunha Arbage pela confecção do Mapa de Localização dos PAE na Microrregião de Cametá.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] INCRA. Diretoria de Assentamento. **Projetos de Assentamento Agro-Extrativistas**. Brasília, s/d.
- [2] BRASIL. **Decreto-Lei nº 1.110**. Cria o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), extingue o Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, o Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário e o Grupo Executivo da Reforma Agrária e dá outras providências. Brasília, 09/07/1970.
- [3] INCRA. **Competências**. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/competencias>. Acesso em: 18/jun./2016.
- [4] LE TORNEAU & BURSZTYN, M. **Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental**. Ambiente e Sociedade, Campinas, v.13, n.1, p.111 a 130, 2010.
- [5] Alcântara, J.V. **Saúde ambiental de ribeirinhos no Baixo Acará**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará. Belém-PA.
- [6] SANTOS, E. C. O., et al. **Exposição ao mercúrio e ao arsênio em Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA**. Rev. Bras. Epidemiol. V. 6, Nº 2, p 171-185, 2003.
- [7] FERREIRA, M. J. M., VIANA, M.M. **A expansão do agronegócio no semiárido cearense e suas implicações para a saúde, o trabalho e o ambiente**. Interface, Botucatu-SP, V.20, Nº 58, p 649-60, 2016.
- [8] BARBOSA, C. S., et al. **Turismo de risco para esquistossomose mansônica em Porto de Galinhas, Estado de Pernambuco, Brasil**. Rev. Pan-Amaz. Saúde, Belém-PA, v. 6, nº 1, p 51-58. 2015

[9] SILVA, A. F. S., et al. **Análise bacteriológica das águas de irrigação de horticulturas.** Rev. Ambient. Água, Taubaté, v. 11 nº 2, p 428-438, Apr. / Jun. 2016

[10] IBGE. 2016. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/1502103>. Acesso em 15/jun./2016

[11] ARNAUD, M. J. C. **Gestão Ambiental no Baixo Tocantins: dos movimentos ambientalistas à elaboração do PPDJUS.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará. 136p. 2010.

[12] INCRA/IATAM. **Autodiagnóstico PAE Ilha Pacajaí II.** Cametá, 2015.

[13] INCRA/IATAM. **Autodiagnóstico Projeto de Assentamento Agroextrativista Ilha Biribatuba.** Cametá, 2015.

[14] INCRA/IATAM. **Autodiagnóstico PAE Ilha Pacajaí I.** Cametá, 2015.

[15] INCRA/IATAM. **Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental PAE Ilha Cacoal.** Cametá, 2015.

[16] LELIS, M.P.N. **Plano de Saneamento básico.** Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/download/apresentacoes/pmat/9ap1_Plano_Saneamento_junho_2011_RJ.pdf. Acesso em 16/10/2016.

[17] INCRA/IATAM. **Autodiagnóstico PAE Ilha Jacareuá.** Cametá, 2015.

[18] INCRA/IATAM. **Autodiagnóstico PAE Ilha Itaúna.** Cametá, 2015

[19] SILVA, H.C.H; et al. **A qualidade do saneamento ambiental no assentamento rural Amparo no município de Dourados-MS.** Soc. Nat., Uberlândia-MG, v.26, no.3, Sep./Dec.2014.



Implantation of TUBOLUZ natural lighting system in a bottled gas cooking company in Amazonas

Izabel Pinheiro Andion¹, Marcelo da Silva Andion¹

¹Universidade Paulista de Manaus. Avenida Mário Ypiranga, 4390, Parque 10 de novembro. Manaus-AM – Brasil.

Email: marceloandion1@gmail.com

Received: December 16th, 2017

Accepted: January 16th, 2017

Published: March 30th, 2017

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

We experience a time when the planet is experiencing a power crisis, the search for alternatives that reduce consumption is the obligation of all. Today more than ever, we need to offer conditions so that energy is used in the most rational and least costly possible way, taking advantage of natural resources in contrast to the use of conventional electricity in buildings, housing industries and companies, for they can remain competitive in the market, and mitigate environmental impacts from the use of conventional electricity. This work has the general objective to present the case and the solution for reducing power consumption in a gas filling plant in the city of Manaus. The specific objectives of the implementation of this new system will be presented throughout this work.

Keywords Natural lighting. Energy saving. Economic scenario. Environment.

Implantação de Sistema de iluminação natural TUBOLUZ em empresa envasadora de Gás de Cozinha no Amazonas

RESUMO

Vivenciamos uma época em que o planeta vive uma crise de energia, a busca por alternativas que diminuam o consumo é obrigação de todos. Hoje mais do que nunca, é preciso oferecer condições para que a energia seja utilizada da forma mais racional e menos dispendiosa possível, aproveitando os recursos naturais em contrapartida ao uso da energia elétrica convencional em edifícios que abrigam indústrias e empresas, para que com isso, as mesmas possam se manter competitivas no mercado e ainda mitigar impactos ambientais advindos do uso da energia elétrica convencional. Este trabalho, tem o objetivo geral de apresentar o estudo de caso e a solução apresentada para a redução do consumo de energia elétrica em uma planta de enchimento de gás na cidade de Manaus. Os objetivos específicos da implantação deste novo sistema serão apresentados ao longo deste trabalho.

Palavras Chaves: Iluminação Natural. Economia de energia elétrica. Cenário econômico. Meio ambiente.

I. INTRODUÇÃO

A incorporação da variável ambiental se apresenta como um fator importante a ser considerado no planejamento estratégico das organizações, podendo, em função das características do mercado, constituir-se em vantagem comercial.

O problema político econômico, no setor elétrico brasileiro, traz consigo um aumento no tarifário de energia elétrica, agravado com os condicionantes de aumento dos equipamentos e mão de obra, com isso, fazendo com que todo o processo de manutenção fique cada vez mais oneroso em todos os aspectos. O caso específico de área classificada com manuseio de gás inflamável faz com que todo esse processo de manutenção

com luminárias com encapsulamento especial fique ainda mais delicado e demande uma mão de obra e tempo compatíveis à essa realidade.

Com a utilização dos recursos naturais, em particular a luz do sol, abundante em um país tropical como o Brasil, podemos substituir parte do consumo voltado a iluminação, como forma de aumentar a sua competitividade, revertendo este ganho econômico na otimização de outros processos e mitigando impactos ambientais advindos da geração da energia fornecida pelas concessionárias.

A implantação do sistema de iluminação natural em ambiente empresarial pretende resolver todos os problemas mencionados acima. Segundo [1] “*os edifícios não residenciais em geral são os que apresentam maior potencial de economia energética, nos usos finais de iluminação e ar condicionado*”. Elimina a periculosidade em áreas classificadas a zero por se tratar de uma luminária não elétrica, dispensa a utilização de energia elétrica para iluminação diurna, reduz significativamente a manutenção dos equipamentos, aumenta a vida útil dos equipamentos elétricos uma vez que serão utilizados somente nos turnos onde não há sol, tem um impacto térmico muito abaixo de qualquer luminária elétrica trazendo mais conforto térmico para o trabalhador, além de ter uma qualidade de iluminação insuperável para os funcionários.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vivenciamos uma época em que, a busca por alternativas que diminuam o consumo é obrigação de todos. Hoje mais do que nunca, é preciso oferecer condições para que a energia seja utilizada da forma mais racional e menos dispendiosa possível, aproveitando os recursos naturais em contrapartida ao uso da energia elétrica convencional em edifícios que abrigam indústrias e empresas, para que com isso, as mesmas possam se manter competitivas no mercado e ainda mitigar impactos ambientais advindos do uso da energia elétrica convencional.

A iluminação natural ou zenital, tem a característica de gerar ambientes agradáveis e saudáveis, tendo em vista que a sua presença nos ambientes pode diminuir ou até mesmo eliminar germes, bactérias e fungos, fazendo com que a presença de mofo seja reduzida, evitando assim que aconteçam doenças geradas por estes tipos de agentes.

Os sistemas de iluminação zenitais que são formados por superfícies horizontais, requerem maior manutenção que os sistemas de superfícies verticais, tendo em vista que os níveis de transmissão da energia solar reduzem rapidamente, devido ao acúmulo de poeira, fator que reduz com a inclinação da superfície, de forma que a limpeza é realizada por meio das chuvas que escorrem por elas [2].

A localização dos sistemas de iluminação zenitais normalmente é nos planos horizontais de cobertura das edificações. De forma geral, são utilizados em casos onde se requer uma iluminação mais uniforme e onde não é possível utilizar iluminação através de aberturas laterais [3].

Uma razão importante para a utilização da iluminação zenital é a facilidade de colocar a iluminação natural na posição em que se deseja, facilitando o layout do local. Destaca-se também que o sistema é de fácil integração com a iluminação artificial, pois a iluminação pode ser instalado no espaço vindo do forro, em ambos os casos [3].

O custo inicial para a instalação da iluminação zenital é elevado, o que representa uma barreira para sua instalação. Igualmente, em alguns casos, apresenta maiores dificuldades para limpeza, além de possibilitar dificuldade para o controle de infiltrações das chuvas [4].

A utilização da iluminação natural como sistema de ventilação passiva também é possível, facilitando a renovação adequada do ar e evitando a presença de odores desagradáveis no ambiente [5].

Também pode ser considerada como uma das características deste tipo de iluminação, a distribuição de forma uniforme no espaço, que ocorre por meio da utilização da difusão da luz natural, evitando o contraste excessivo da iluminância no ambiente [6].

Já na perspectiva do desenvolvimento sustentável, devem ser contemplados dois aspectos importantes, que são: uso racional de combustíveis que se esgotam (não renováveis) e substituição evolutiva destes por energéticos do tipo renovável. A energia solar, neste ponto, pode contribuir de forma decisiva para o desenvolvimento sustentável [7].

A utilização de sistemas de iluminação natural zenital permite o ganho imediato de iluminâncias no ambiente. O ingresso e incidência da radiação solar direta pode alterar este padrão, dependendo da configuração do ambiente [8].

De acordo com a abertura da área, os sistemas de iluminação natural zenitais apresentam maior eficiência luminosa, sendo suficiente para a iluminação total do ambiente, tornando desnecessária as aberturas laterais [9].

Para [4] os ângulos externos de instalação da superfície captadora são fatores relevantes para o resultado da captação de e distribuição das iluminâncias no ambiente.

Segundo [10], um dos aspectos importantes sobre a iluminação natural, é o índice elevado de radiação solar, captado nas superfícies horizontais dos sistemas, que pode gerar um aquecimento excessivo do ambiente. Desta forma, um dos grandes desafios para a instalação da iluminação natural é encontrar a relação adequada entre os níveis de iluminação captados e os ganhos térmicos gerados, sendo necessário que cada projeto seja planejado de forma a utilizar as melhores características para aquele ambiente [11].

A figura do projetista, na elaboração de projetos com iluminação natural é fundamental para o desempenho do projeto. Um dos maiores desafios para este profissional, será a dificuldade de controlar o aspecto térmico. No verão, onde as temperaturas são mais altas, dependendo da instalação das aberturas, o ambiente pode ficar com temperaturas por demais elevadas, causando desconforto térmico. Já no inverno, esta característica seria inversa [4].

Para [8] enfatiza a necessidade de se levar em conta a enorme carga térmica que existe sobre as coberturas dos edifícios. Para [12] é necessário que seja projetado de forma correta o dimensionamento das aberturas, de forma a se obter somente a quantidade de luz necessária ao ambiente, sem ganho extra de calor, de forma a evitar que o ambiente fique desagradável.

Com o aprofundamento das pesquisas na área de iluminação, novos sistemas vêm sendo estudados. Os sistemas de iluminação precisam estar baseados em dois conceitos simples: aproveitar o potencial do brilho da luz do sol e possibilitar o redirecionamento do fluxo luminoso de acordo com a necessidade do local.

Os sistemas de iluminação solar permitem a otimização e a distribuição da luz natural em um espaço, permitindo ainda o controle da iluminação direta da radiação solar e também o controle de problemas que possam ser gerados nos aspectos de conforto térmico-luminoso do usuário [1].

De acordo com [13] quanto maior for o ângulo da altura solar, maior será a incidência de radiação da luz natural disponível. Em condições de céu claro, o desempenho dos sistemas de iluminação natural zenital, irá depender da trajetória solar e dos ângulos de incidência direta da radiação sobre a superfície de captação. Nas regiões equatoriais, as aberturas horizontais mostram-se mais eficientes em relação à captação de radiação solar.

Existem vários tipos de iluminação natural, mas nenhum deles é universal e genérico às necessidades ambientais. Desta forma, não existe projeto de iluminação genérico, que possa ser utilizado para todo tipo de instalação. Cada um deve ser projetado, levando em conta as características do local e as necessidades específicas do projeto, sejam elas econômicas, físicas, funcionais ou climáticas. Para [13], a utilização de sistemas de iluminação natural podem ser apropriadas nos seguintes casos:

- ✓ Quando a visão do céu é bloqueada pelo entorno da construção;
- ✓ Para ambientes muito profundos, em que os sistemas de aberturas laterais, como janelas, não produzem a iluminação adequada;
- ✓ Em climas ensolarados, para limitar a incidência direta da luz solar;
- ✓ Em locais onde se faz necessário maior controle da iluminação como escritórios, bibliotecas, museus etc.

Para [6] a iluminação natural e suas aberturas zenitais são parte do projeto arquitetônico, enriquecendo o interior do espaço e sua percepção, por meio da luz captada e incorporada no ambiente.

Segundo [4] a iluminação natural é útil principalmente nos ambientes onde as paredes fazem parte da área de trabalho de construções amplas, ambientes onde a segurança é requerida através do fechamento das paredes laterais ou a visão do entorno direto é indesejada.

Historicamente são encontrados inúmeros exemplos de organizações que incorporam à sua estratégia a utilização de iluminação natural, como forma de aprimorar a iluminação interna de seus ambientes, de acordo com [14].

A iluminação com luz natural é fundamental para a definição do local de execução de tarefas, observando melhores condições de segurança e salubridade, podendo ser considerada fundamental na projeção de edificações, sendo o objeto de estudo de pesquisadores que buscam a solução de problemas ocasionados pelo ofuscamento, ou ainda pelo contraste entre áreas iluminadas com este tipo de iluminação [15].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a implantação deste novo sistema de iluminação, os objetivos específicos foram:

- ✓ Implantar o sistema de iluminação natural gradativamente na área de enchimento de botijões de gás, de forma a aproveitar a energia solar produzida;

- ✓ Reduzir os custos relacionados ao consumo de energia elétrica;
- ✓ Minimizar os riscos em áreas classificadas.

Para implantação deste trabalho foi elaborado um plano de ação, com atividades que deveriam ser executadas de forma sequencial, até que a instalação total das novas luminárias fosse concluída.

Iniciou-se a instalação pelas áreas onde havia maior utilização de iluminação elétrica diurna. Esta fase deu-se em aproximadamente quatro dias de trabalho, já que a substituição pelas novas luminárias, só poderia ser realizada aos domingos, dia em que não havia atividade produzida na fábrica de enchimento.

Finalizado o processo de implantação inicial, passou-se a acompanhar diariamente o consumo de Energia Elétrica e avaliar a viabilidade ou não de continuar a implantação do novo modal. Depois de comprovada a viabilidade do novo modal, iniciou-se a substituição das demais luminárias da fábrica de enchimento. Esta segunda fase, deu-se em aproximadamente três meses de trabalho.

A estratégia de implantação do sistema em etapas, utilizando a fase de intervenção no telhado existente com máquinas de corte que gerem eventuais fagulhas nos momentos onde não há utilização da fábrica para o manuseio do gás de cozinha. Em seguida, a implantação dos sistemas no telhado já com intervenção, que não gera fagulhas em hipótese alguma, durante os dias da semana pela parte superior do telhado sem gerar interferências no processo fabril de enchimento das botijas.

Foi determinado os domingos como momentos em que não há utilização da fábrica para enchimento de botijões de gás como o momento oportuno para a cesura no telhado e implantação das chapas de suporte para as bases, e em seguida às quintas-feiras como momento para implantação dos sistemas nos locais onde houvera sido feita as implementações no telhado.

O retorno financeiro do investimento (ROI) realizado na implantação do novo sistema está estimado para um período entre 4 e 5 anos após a implantação do sistema.

Todos os colaboradores da empresa terceirizada que fez a implantação do novo sistema estão atualizados com os Cursos de segurança em altura, manuseio em eletricidade e outros cursos, necessários para a implantação do referido projeto. Igualmente, foi acompanhado a utilização de EPIs e equipamentos coletivos de segurança em todas as atividades.

Este trabalho, tem o objetivo geral de apresentar o estudo de caso e a solução apresentada para a redução do consumo de energia elétrica em um plano de enchimento de gás na cidade de Manaus, através da aplicação de tecnologias relacionadas à sustentabilidade e eficiência energética em iluminação buscando minimizar os impactos ambientais e emissão de gases nocivos ao meio ambiente.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de iluminação elétrico é utilizado atualmente na fábrica em dois turnos definidos para os dias de semana e dois turnos definidos para os sábados, conforme apresenta os dados da Tabela 1.

Tabela 1: Horário de trabalho da Fábrica.

USO DA FÁBRICA			
SEGUNDA À SEXTA	Início	Fim	Total
Turno 1	07:12	17:00	09:48
Turno 2	17:20	01:40	08:20
TOTAL			18:08
SÁBADOS	Início	Fim	Total
Turno 1	7:12	11:30	4:18
Turno 2	14:00	22:20	8:20
TOTAL			12:38

Fonte: Os Autores, 2016.

Com isso, temos um total de uso semanal de 18:08h vezes os cinco dias da semana, totalizando 90:40h mais o sábado totalizando o uso da fábrica 103 horas e 18 minutos. Partindo disso, o uso da fábrica mensalmente é de 413 horas e 12 minutos e anualmente, utiliza-se a fábrica em média 4.958 horas e 24 minutos, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Tempo total em horas utilizado na Fábrica.

Utilização do sistema elétrico de iluminação				
Descrição	Semanal	Mensal	Mensal	Horas Ano
Uso Iluminação SEM Tuboluz	103h18m	413h12	413,20	4.958
Uso Iluminação COM Tuboluz	46h40	186h40	186,67	2.240

Fonte: Os Autores, 2016.

Na Tabela 2 pode-se perceber o efeito da redução na carga horária de uso na segunda linha, levando em conta o horário de autonomia do sistema de iluminação natural quando há sol, nesse caso, há uma redução de mais de 2.518 horas diante do uso convencional, com isso, uma redução de mais da metade do uso das luminárias elétricas.

A área fabril da empresa, antes da implantação do sistema de iluminação natural tem um consumo somente com as luminárias de aproximadamente 124 MW no período de um ano. A equipe de manutenção apresentou um custo de manutenção com essas luminárias com encapsulamento blindado (obrigatórias para iluminação de áreas classificadas) de aproximadamente R\$ 5.000,00 (cinco mil reais por mês) levando em conta a utilização do equipamento de iluminação convencional de 413 horas por Mês, tendo em vista que a vida útil das lâmpadas é medida em horas. A Tabela 3 apresenta a quantidade de lâmpadas utilizadas no local e o consumo das horas estimadas anteriormente.

Tabela 2: Utilização de luminária convencional.

Sistema	Potência (W/h)	Quantidade	Pot. Total (Kw/h)
Lamp. Eletr. 250W*	250	100	25

Custos com o sistema de iluminação atual			
Sistema	Cons. (Kw/h) / Ano	Manutenção / Ano	Custo Anual
LEDHIBAY	123.960	R\$ 60.000,00	R\$ 115.764,65

Fonte: Os Autores, 2016.

Com a redução da utilização do sistema elétrico, a lâmpada vai ficar desligada por um período muito maior, mais da metade do período de utilização atual, com isso, pode-se considerar uma redução significativa na manutenção das lâmpadas uma vez que a vida útil tende a aumentar, refletindo diretamente nos custos com manutenção para o local.

Com as informações apresentadas até então, pode-se perceber as considerações específicas do uso da fábrica, custos com manutenção e consumo de energia elétrica. Para efeito de comparativo, foi utilizada a taxa atual de energia elétrica considerando o AME de 0,44986, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 3: Ensaio de consumo de Energia Elétrica em R\$ com a utilização de iluminação natural.

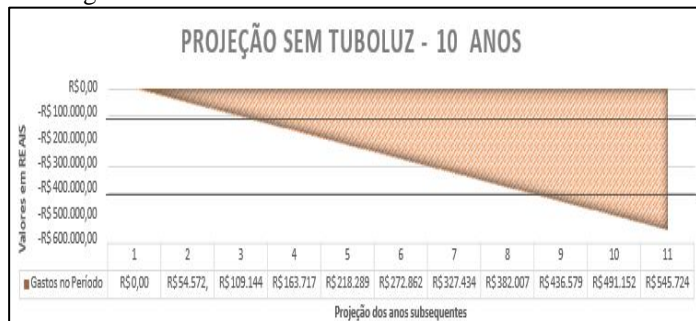
Ensaio com o Sistema Tuboluz			Redução Anual		Retorno do Investimento	
Consumo (Kw) / Ano	Manutenção / Ano	Custo Anual	Redução (R\$)	Red. Perc.	Meses	Anos
56.000	R\$ 36.000,00	R\$ 61.192,16	R\$ 54.572,49	47,14%	27	2 anos e 3 meses

Fonte: Os Autores, 2016.

Não estão sendo considerados para esse estudo os aumentos no tarifário de energia elétrica que certamente acontecerão no período, e certamente isso vai fazer com que o ROI aconteça antes do previsto, com a possibilidade de privatização da concessionária de energia elétrica, esse aumento pode chegar a mais que o dobro do valor hoje praticado, com isso, fazendo com que além do retorno do investimento, a empresa vai aumentar a lucratividade e competitividade no mercado por conta de não ter impactos tão elevados no tarifário de energia elétrica.

Na figura 1 observa-se a projeção de gastos utilizando o sistema convencional de energia elétrica para o período de dez anos. Após o período a empresa vai gastar R\$ 545.724,00 (quinhentos e quarenta e cinco mil, setecentos e vinte e quatro reais).

Figura 1: Projeção de gastos utilizando o sistema convencional de energia elétrica.

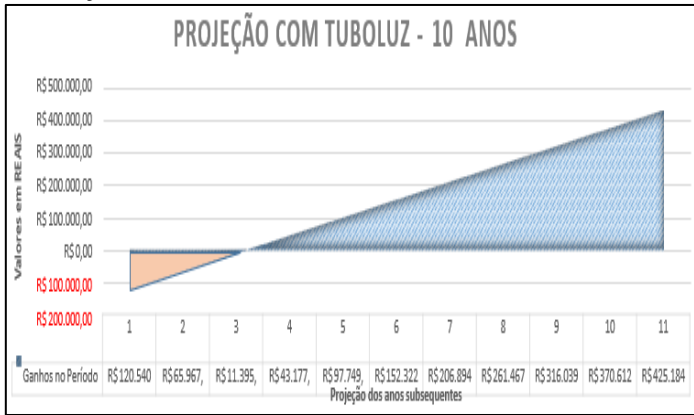


Fonte: Os Autores, 2016.

Na Figura 6 observa-se o investimento inicial de R\$ 120.540,00 (cento e vinte mil quinhentos e quarenta reais) e a recuperação do investimento em 2 anos e 3 meses. Após o período de dez anos, houve um ganho financeiro para a empresa

de R\$ 425.184,00. Este valor pode ser ultrapassado, se forem consideradas as reduções com a manutenção em lâmpadas do sistema convencional.

Figura 2: Recuperação do investimento com a implantação de iluminação natural.



Fonte: Os Autores, 2016.

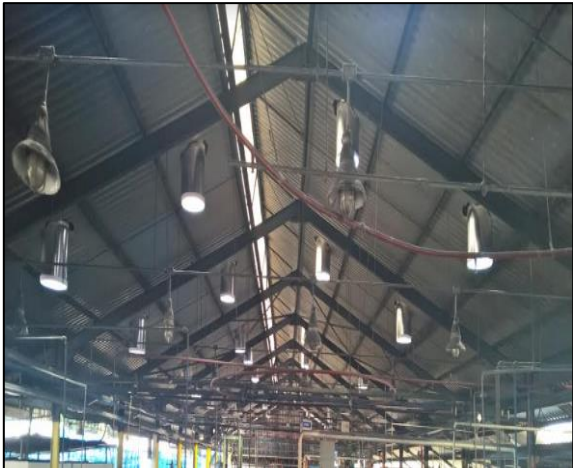
Nas Figuras de 3 a 5 observa-se o novo sistema de iluminação instalado na fábrica.

Figura 3: Sistema de Iluminação natural instalado.



Fonte: Os Autores, 2016.

Figura 4: Sistema de Iluminação natural instalado.



Fonte: Os Autores, 2016.

Figura 5: Sistema de Iluminação natural instalado.



Fonte: Os Autores, 2016.

As Figuras 6 e 7 apresentam a comprovação entre a luximetria e a temperatura, antes e depois de instalado o sistema de iluminação natural.

Figura 6: Luximetria e Temperatura do ambiente com o sistema convencional de iluminação.



Fonte: Os Autores, 2016.

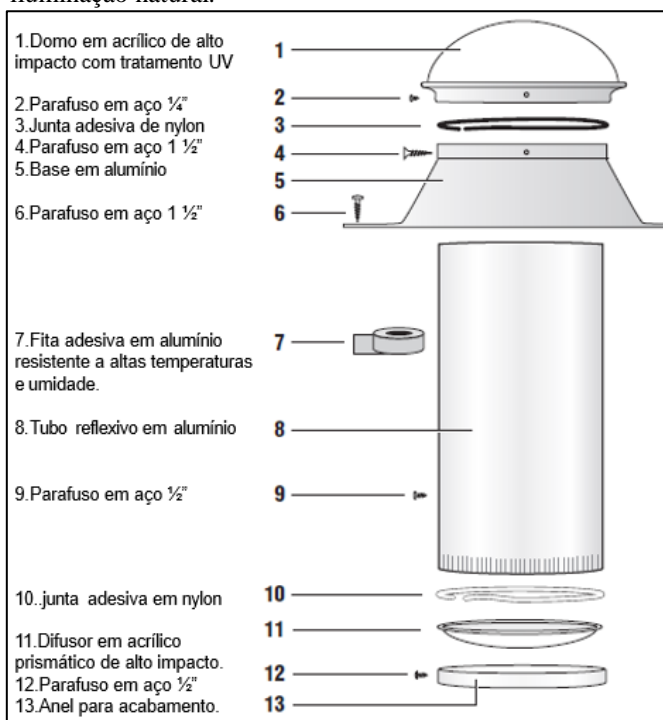
Figura 4 - Luximetria e Temperatura do ambiente com o sistema de iluminação natural.



Fonte: Os Autores, 2016.

Na Figura 8 são mostrados os materiais utilizados para a implantação do sistema de iluminação natural na fábrica.

Figura 8: Material utilizado na instalação do sistema de iluminação natural.



Fonte: Os Autores, 2016.

V. CONCLUSÃO

O uso de iluminação zenital ou luz do sol em ambientes fabril traz extrema vantagem competitiva e ganhos ambientais frente a iluminação artificial, visto que o sol está disponível na natureza em especial na região Amazônica, O estudo apresentado

e implementado em galpão de enchimento de gás de cozinha demonstra que houve aumento de lux e melhoria na temperatura do galpão.

Com o aumento dos custos nas tarifas de geração de energia elétrica o sistema de iluminação zenital ou iluminação natural com auxílio da luz do sol representa a médio e longo prazo um investimento extremamente rentável, pois a economia vai ser refletida na conta de energia da concessionária

Acompanhado a todas vantagens foi obtido ganhos relacionados a manutenção em área classificada, visto que toda e qualquer intervenção teria que ser com a planta totalmente parada e controlada através de medidores de gás para manter a segurança dos operadores envolvidos devido o risco de explosão, já com o novo modelo essa preocupação não se faz necessária pois não existe corrente elétrica o sistema funciona com os raios de luz que passam através de lentes e tubos com paredes especialmente polida que refletem e ampliam os raios do sol.

VI. AGRADECIMENTOS

A Universidade Paulista pelo apoio à pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] GARROCHO, J. and C. AMORIM, **Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras.** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004. **10**.
- [2] Tregenza, P. and D. Loe, **The design of lighting.** 2013: Routledge.
- [3] Okimoto, M.L.L.R., S.R. Marchi, and E.L. Krüger, **Influência da Cor das Paredes e do Layout das Aberturas no Aproveitamento da Luz Natural do Ambiente.** Estudos em Design, 2015. **16(1)**.
- [4] Robbins, C.L., **Daylighting. Design and analysis.** 1985.
- [5] Webb, A.R., **Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light.** Energy and Buildings, 2006. **38(7):** p. 721-727.
- [6] Sarmiento, P., **Energía solar en arquitectura y construcción.** 2007: RIL Editores.
- [7] Rodríguez, P.S. and S.E. de la Costa Atlantica, **Energía solar para todos.** 1991: Centro El Canelo de Nos.
- [8] Mascaró, L.A.R., **Luz, clima e arquitetura.** 1983: Livraria Nobel.
- [9] Puppo, E., et al., **Acondicionamiento natural y arquitectura: ecología en arquitectura.** 1972: Marcombo.
- [10] MOORE, F., **Concepts and practice or architectural daylighting.** New York: VNR Comp, 1985.

- [11] Lam, W.M., **Sunlighting as formgiver for architecture**. 1985.
- [12] CABÚS, R.C. and F.O.R. PEREIRA, **Avaliação através de método gráfico da distribuição de iluminâncias em ambientes**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997. **4**: p. 328-332.
- [13] Baker, N. and K. Steemers, **Daylight Design of Buildings: a handbook for architects and engineers**. 2014: Routledge.
- [14] Chirarattananon, S., S. Chedsiri, and L. Renshen. **Daylighting through light pipes in the tropics**. Solar Energy, 2000. **69**(4): p. 331-341.
- [15]Junior, G. and S.F.C. Giardino. **Estudo de redirecionamento da luz natural utilizando equipamento tipo “lightshelf”**, 2000.

Inverse Dynamic Control of a 2-DOF Driving Simulator Platform

Julio Javier Avalos García¹, Eduardo Izaguirre Castellanos², Luis Hernández Santana³

¹Docente – Grupo de Automatización Robótica y Percepción (GARP). Departamento de Automática. Facultad de Ingeniería Eléctrica – Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Cuba.

Email: javalos@uclv.cu

Received: November 28th, 2017

Accepted: January 14th, 2018

Published: March 30th, 2018

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Dynamic modelling is the basic element for controller design of robotics' mechanisms. In this paper, a dynamic equation of a 2-DOF Parallel Driving Simulator Platform has been derived by the Newton-Euler formulation. The proposed model leads to decoupling dynamic characteristics, in which the complexity of the controller design can be significantly reduced. A model-based Computed-Torque Control strategy with a PD Controller in the Cartesian space is implemented in order to obtain the desired performance of the system. The Cartesian control performs an accurate positioning of the end effector, according to the desired task-space specifications. The proposed control strategy is simulated using the MATLAB software package, where simulation results prove that the designed control motion simulator is adequate to perform different driving situations according with the performance specifications of the system.

Keywords: 2-DOF, Cartesian space, Computed Torque, Parallel Robot, PD, Platform.

Control por Modelo Dinámico Inverso de Simulador de Conducción de 2 Grados de Libertad

RESUMEN

El modelado dinámico de mecanismos robóticos constituye la base para el diseño del Control. En este trabajo se halla una ecuación dinámica de una Plataforma de Simulación de Conducción basada en un mecanismo Paralelo de 2 GDL usando el método de Newton-Euler. El modelo propuesto presenta características dinámicas desacopladas, por lo que se reduce considerablemente la complejidad al diseñar el Controlador. Para lograr el desempeño deseado del sistema se implementa la estrategia de Control por Modelo Dinámico Inverso acompañada por un Controlador PD en el espacio Cartesiano. El control Cartesiano brinda un correcto posicionamiento del elemento final de acuerdo con las especificaciones deseadas en el Espacio de Tareas. La estrategia de control propuesta es simulada en MATLAB, donde los resultados muestran que el diseño del Control para el Simulador es adecuado al desarrollar diferentes situaciones de conducción según las especificaciones físicas del sistema.

Palabras Claves: 2 GDL, Espacio Cartesiano, Control por Modelo Dinámico Inverso, Robot paralelo, PD, Plataforma.

I. INTRODUCCIÓN

Generalmente las plataformas de simulación de movimiento están basadas en estructuras de cadenas cinemáticas cerradas, típicas de los robots paralelos. El movimiento de la

plataforma de simulación está dado por los grados de libertad (GDL) con que consta el sistema.

Uno de los aspectos importantes en el diseño y control de un robot paralelo es la obtención del modelo dinámico del mismo, lo cual posibilita implementar técnicas de control requeridas para gobernar el sistema y lograr el posicionamiento deseado de la

plataforma móvil en el espacio cartesiano. Existen numerosos obstáculos en la obtención del modelo dinámico, entre ellos, la aparición de parámetros desconocidos, el efecto de las interacciones dinámicas, así como otros aspectos difíciles de estimar como las fuerzas de fricción, variaciones de carga, etc. [1]. Algunos autores dejan de considerar el sistema completo desde el punto de vista dinámico, considerando que cada actuador puede ser controlado independientemente con leyes de control más robustas que el simple PID [2]. Un control basado en modelo dinámico exige alta calidad para el modelo obtenido, aspecto difícil de lograr en la práctica por los elementos antes mencionados, por ello frecuentemente se efectúan aproximaciones con el fin de obtener un modelo más práctico, fácil de implementar y que cumpla con las exigencias de tiempo real asociadas a este tipo de sistemas.

No obstante, para lograr el control es imprescindible un modelo dinámico que se acerque lo más fielmente posible al comportamiento real del sistema mecánico. Modelo dinámico que además sea factible de implementar, simular y que permita diseñar una estrategia de control adecuada basada en dicho modelo.

Este trabajo, no se presenta una dinámica con alto nivel de exactitud sino simplificada, para lograr así una menor complejidad en la implementación y diseño del controlador.

No son pocas las formulaciones que clásicamente se usan para la realización del modelo dinámico. Entre ellas podemos mencionar el clásico método de Newton-Euler [3], el método de Lagrange-Euler basado en el balance de energía [4], las ecuaciones de Gibbs-Appell [5], y el principio del Trabajo Virtual [6], muy empleado en aplicaciones de tiempo real.

El más común de los métodos basados en vectores es la aproximación de Newton-Euler, donde cada cuerpo rígido de un sistema mecánico es cortado libre y las ecuaciones dinámicas son derivadas al solucionar balances de fuerzas y torques. Para robots de tipo serie su formulación recursiva es muy efectiva, pero en el caso de los robots paralelos la formulación no-recursiva del método de Newton-Euler es más apropiada [7]. Una ventaja importante del método Newton-Euler es la forma lineal de los parámetros del sistema dinámico de modo que permite el uso de estimadores lineales en el proceso de identificación [8].

En la formulación de Newton-Euler, las fuerzas y torques de reacción entre todas las partes móviles, incluyendo las demandas de los actuadores pueden ser fácilmente calculadas, proveyendo un modelo excelente para análisis y estudios de la estructura mecánica. Debido al alto número de ecuaciones y su gran complejidad, la eficiencia computacional del modelo puede ser considerada pobre, haciéndolo difícil de aplicar en control de tiempo real cuando el mecanismo cuenta con más de tres GDL [9].

Una vez obtenido el modelo dinámico del robot se puede entonces pasar al diseño del control. El control dinámico tiene por misión procurar que las trayectorias articulares realmente seguidas por el robot $q(t)$ sean lo más parecidas posibles a las deseadas $q_d(t)$, lo cual tiene relación con el control desde el punto de vista cinemático. Este mismo análisis se puede efectuar en el espacio cartesiano, donde entonces el vector $x(t)$ debe seguir al vector deseado $x_d(t)$, minimizando el error espacial de posicionamiento de la plataforma móvil [10]. Para ello hace uso del conocimiento del modelo dinámico del robot y de las herramientas de análisis y diseño aportadas por la teoría de control [11].

El control por dinámica inversa es una herramienta valiosa

que puede producir un buen desempeño del sistema [12][13], mejor aun cuando el modelo completo del sistema es usado con mayor exactitud en los parámetros. No obstante, siempre existirán incertidumbres no consideradas en el modelo dinámico debido a la dificultad de identificar con precisión los parámetros del modelo, o por naturales simplificaciones asumidas al modelar [14]. Por lo tanto, el desempeño ideal del método de control por dinámica inversa suele degradarse. Para resolver este problema se hace necesario introducir otra estrategia de control que trabaje a la par, en este caso un PD [15][16].

En este artículo se presenta el procedimiento de modelado dinámico seguido para describir el comportamiento de un simulador de conducción de 2 GDL accionado por cilindros neumáticos, se plantea el control del mismo para lograr el adecuado posicionamiento de la plataforma móvil, según las exigencias relativas a la aplicación de simulador industrial de movimiento, para finalmente simular los resultados derivados de la estrategia de control implementada.

II. DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA SIMPRO DE 2 GDL

El objeto de aplicación de este trabajo se corresponde con una plataforma de dos GDL producida en el Centro de Investigación y Desarrollo de Simuladores "CIDSIM", la misma permite la realización de dos movimientos rotacionales sobre los ejes (x,y), denominados cabeceo y alabeo respectivamente, y se logran mediante el accionar de dos cilindros neumáticos (actuadores lineales) que conforman las cadenas cinemáticas cerradas que unen la base fija con la plataforma móvil .

El simulador de marca SIMPRO está compuesto por una cabina de conducción con los mandos reales que simulan el comportamiento al cual se enfrenta el conductor y un monitor para visualizar el entorno virtual. La Tabla 1 resume algunos datos y principales especificaciones del simulador de conducción. Se considera que la masa total de la cabina incluye el propio peso de la cabina y del conductor cuya masa se estima en 70 Kg.

Tabla 1: Datos Mecánicos del Simulador.

Parámetro	Valor
Masa total de la cabina	500 Kg
Posición centro de masa (CM) (x,y,z)	(0, 0, 700) mm
Distancia del origen a cada cilindro	560 mm
Elongación de los cilindros	± 150 mm
Ángulos de ladeo	-13° a 19°
Ángulos de cabeceo	13° a -19°
Aceleración máx. actuadores	1000 mm/s ²

Fuente: Autores, (2010).

La base móvil sobre la cual se coloca la cabina conducción pivotea sobre una columna central mediante una articulación universal pasiva, ver Figura 1. El movimiento de la plataforma móvil se logra mediante la acción de dos cilindros FESTO DNC-100-400 de doble efecto, cuyos desplazamientos son gobernados por una válvula solenoide proporcional de flujo MPYE-5-3/8.



Figura 1: Simulador industrial de conducción SIMPRO de 2 GDL.
Fuente: Autores, (2010).

En los extremos de las articulaciones prismáticas, se encuentran uniones universales que permiten lograr los grados de movilidad necesarios para obtener las orientaciones de la plataforma móvil. Los desplazamientos lineales de los cilindros se traducen en el elemento final en rotaciones alrededor de los ejes (x',y') del sistema de referencia móvil, las cuales producen en el mismo variaciones en el ángulo de cabeceo (rotación respecto al eje x') y ángulo de alabeo (rotación respecto al eje y'); gracias a lo cual se pueden simular las pendientes del mundo virtual que a su vez son visualizadas en un monitor [17].

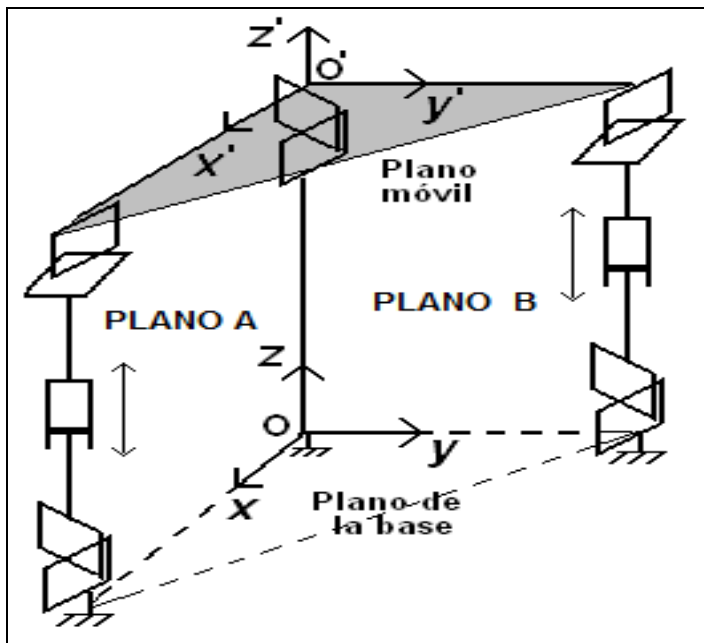


Figura 2: Orientaciones del Vehículo en el Espacio.
Fuente: Autores, (2010).

Como premisa para la obtención del modelo dinámico resulta necesario disponer de las relaciones cinemáticas que caracterizan el robot. Para el caso que nos ocupa, las expresiones cinemáticas de este sistema se obtienen considerando trabajos previos publicados, donde se modela y simula el comportamiento cinemático-dinámico de este robot [18]. No

obstante el modelo dinámico aquí planteado parte de evaluar las expresiones de la cinemática diferencial, considera el sistema desacoplado, y además se expresa en el espacio articular. Por consiguiente no resulta práctico a la hora de implementar seguimiento de trayectoria.

III. MODELO DINÁMICO DE LA PLATAFORMA

La aproximación dinámica se obtendrá mediante el empleo del método Newton-Euler. Para ello se considera que toda la masa de la cabina está contenida en el centro de masa, ubicado a 0,5 m del punto de giro sobre el pedestal, distancia definida por la variable CM, donde se define l como la longitud del punto de giro al punto en que se ejerce la fuerza.

La ecuación en el espacio articular es como sigue:

$$f = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) \quad (1)$$

Donde:

$f = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$: Fuerza aplicada por los cilindros neumáticos.

$q = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix}$: Desplazamiento de los cilindros neumáticos.

En el espacio de tareas la ecuación (1) queda de la forma:

$$f_x = M_x(x)\ddot{x} + C_x(x, \dot{x})\dot{x} + G(x) \quad (2)$$

Donde:

$f_x = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix}$: Momento producido por cada cilindro.

$x = \begin{bmatrix} \alpha \\ \sigma \end{bmatrix}$: Desplazamiento angular producido por cada cilindro, siendo α y σ los ángulos de rotación en los planos A y B respectivamente.

Se considerará que la velocidad de desplazamiento del sistema es baja, por tanto:

$$C_x(x, \dot{x}) = C(q, \dot{q}) = 0$$

Para valores pequeños de α y σ se cumplirá:

$$d_1 = l\alpha \text{ y } d_2 = l\sigma;$$

por tanto, la matriz Jacobiana simplificada del sistema queda:

$$J = \begin{bmatrix} l & 0 \\ 0 & l \end{bmatrix} \quad (3)$$

III.1. ANÁLISIS DESACOPLADO

El análisis desacoplado se desarrolla sin considerar interacciones entre las fuerzas de los actuadores como se indica en la Figura 3 (a) y (b).

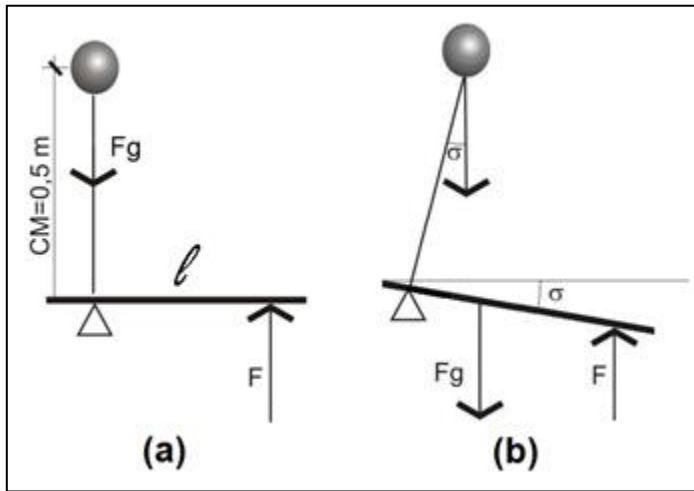


Figura 3: Vista perpendicular al Plano B (a) con masa concentrada en el centro de masa (b) girada con ángulo σ . Fuente: Autores, (2015).

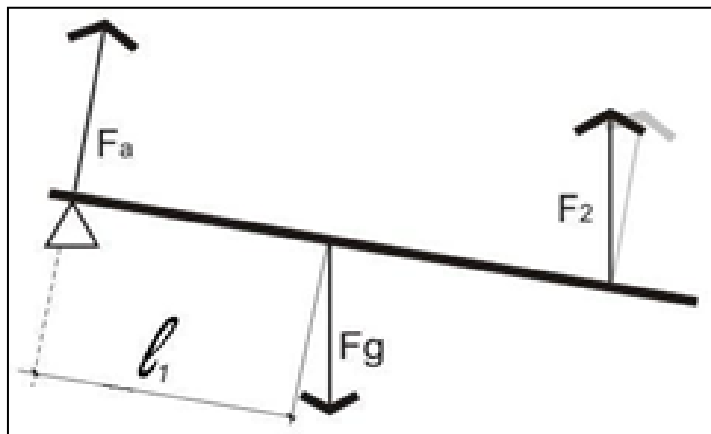


Figura 4: Diagrama de fuerzas correspondiente al análisis desacoplado. Fuente: Autores, (2015).

l_1 : Distancia del punto de giro al punto en que se ejerce la fuerza de gravedad.

F_2 : Fuerza ejercida por el cilindro 2.

F_a : Fuerza del sistema sobre el apoyo.

F_g : Fuerza de gravedad.

$$l_1 = CM \tan \sigma \quad (4)$$

$$F_a + F_2 \cos \sigma = mg \cos \sigma \quad (5)$$

$$mgl_1 \cos \sigma - F_2 l \cos \sigma = 0 \quad (6)$$

$$mgl_1 - F_2 l = 0 \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{mgCM \tan \sigma}{l} \quad (8)$$

$$\tau_2 = mgCM \tan \sigma \quad (9)$$

$$F_1 = \frac{mgCM \tan \alpha}{l} \quad (10)$$

$$\tau_1 = mgCM \tan \alpha \quad (11)$$

III.2. ANÁLISIS ACOPLADO

Al desarrollar el análisis acoplado del sistema se debe considerar primero el caso en el cual $\alpha = \sigma = 0$, donde $\tau_1 = \tau_2 = 0$ y por consiguiente no hay giro en ninguno de los planos.

Mientras que, al girar α sin ejercer fuerza en el punto "b" por parte del cilindro 2 se llega al análisis de la Figura 5 (b) donde la distancia del centro de masa al punto de apoyo se ve afectada por el factor $\cos \alpha$.

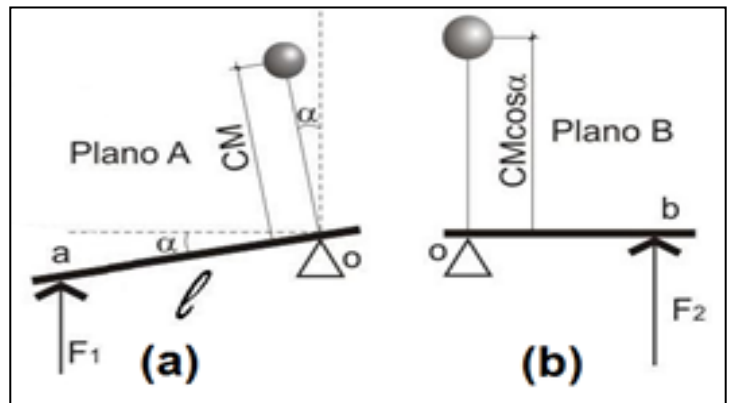


Figura 5: (a) Vista perpendicular al Plano A con ángulo α (b) Vista perpendicular al Plano B con ángulo α . Fuente: Autores, (2015).

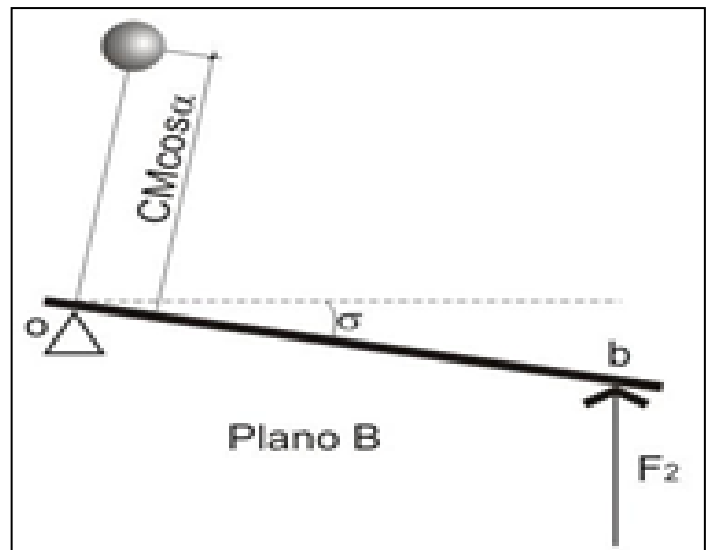


Figura 6: Vista perpendicular al Plano B girados los ángulos σ y α . Fuente: Autores, (2015).

Entonces aplicando fuerza en el punto “b” con el ángulo α girado como muestra la Figura 6 y considerando las ecuaciones desacopladas se puede llegar al siguiente desarrollo:

$$F_2 = \frac{mgCM \cos \alpha \tan \sigma}{l} \quad (12)$$

Donde τ_2 queda definido por:

$$\tau_2 = mgCM \cos \alpha \tan \sigma \quad (13)$$

Por simetría:

$$F_1 = \frac{mgCM \cos \sigma \tan \alpha}{l} \quad (14)$$

$$\tau_1 = mgCM \cos \sigma \tan \alpha \quad (15)$$

La fuerza aplicada en el punto “a” de la Figura 5 (a) hace girar el sistema alrededor del eje “ob”, por tanto el término de aceleración por α sería $I_{ob}\ddot{\alpha}$; donde I_{ob} es el momento de inercia del sistema alrededor del eje “ob”.

$$I_{ob} = mCM^2 \quad (16)$$

Por simetría el término de aceleración por σ sería $I_{oa}\ddot{\sigma}$ entonces:

$$I_{oa} = mCM^2 \quad (17)$$

Sobre esta base la ecuación dinámica del sistema queda:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mCM^2 & 0 \\ 0 & mCM^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\alpha} \\ \ddot{\sigma} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} mg \cos \sigma \tan \alpha \\ mg \cos \alpha \tan \sigma \end{bmatrix} \quad (18)$$

Para valores pequeños de α y σ donde $\sin \alpha \approx \alpha$ con $\cos \alpha \approx 1$ y $\sin \sigma \approx \sigma$ con $\cos \sigma \approx 1$, el sistema linealizado queda:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mCM^2 & 0 \\ 0 & mCM^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\alpha} \\ \ddot{\sigma} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} mg \\ mg \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \sigma \end{bmatrix} \quad (19)$$

IV. APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL

El control dinámico en el espacio de tareas utilizando el método de Control por Modelo Dinámico Inverso, para la plataforma de dos grados de libertad se describe a continuación.

Primeramente, sería útil reescribir la ecuación del modelo dinámico en el espacio de tareas como se presenta en (2):

$$\tau = M_x(x)\ddot{x} + C_x(x, \dot{x})\dot{x} + G(x)$$

Puesto que se desprecian las fuerzas Centrípetas y de Coriolis, las cuales conforman la matriz C_x , la ecuación del modelo ahora queda:

$$\tau = M_x(x)\ddot{x} + G_x(x) \quad (20)$$

Esta ecuación a su vez puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\tau = M_x(x)u + G_x(x) \quad (21)$$

donde u es el vector de entrada al lazo interno de control (teniendo en cuenta que el esquema presenta la forma lazo interno/lazo externo) y tiene unidades de aceleración. Se asume que no existen disturbios, fuerzas externas que afecten el desempeño del sistema. Esto nos lleva a un esquema de control como el que se muestra en la Figura 7 donde se implementa la estrategia de Control por Modelo Dinámico Inverso acompañado de un controlador PD.

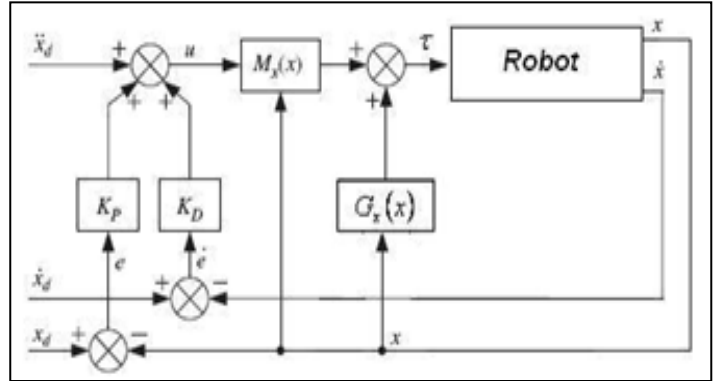


Figura 7: Diagrama en bloques del Esquema de Control por Modelo Dinámico Inverso.

Fuente: Autores, (2017).

Siendo x_d la trayectoria deseada para la plataforma móvil,

K_P y K_D ganancias del controlador.

Con $\ddot{x} = u$ entonces la señal de referencia r se define por:

$$r = \ddot{x}_d + K_D\dot{x}_d + K_P x_d \quad (22)$$

De esta forma el vector de entrada al lazo interno de control será:

$$u = \ddot{x}_d + K_D(\dot{x}_d - \dot{x}) + K_P(x_d - x) \quad (23)$$

siendo x la trayectoria real seguida por la plataforma móvil.

Sustituyendo (23) en $\ddot{x} = u$ se obtiene la ecuación diferencial de segundo orden del error:

$$\ddot{e} + K_D\dot{e} + K_P e = 0 \quad (24)$$

Donde $e = x_d - x$ es el error de desplazamiento en la trayectoria.

En el diagrama anterior Figura 9 se muestra claramente que el método de Control por Modelo Dinámico Inverso se encuentra acompañado de un controlador Proporcional-Derivativo (PD) cuyas ganancias K_P y K_D deben ser sintonizadas considerando que [19][3]:

$$K_P = \text{diag}(K_P) = \text{diag}(w_n^2) \quad (25)$$

$$K_D = \text{diag}(K_D) = \text{diag}(2\zeta w_n) \quad (26)$$

Dado que el control se diseña para una estructura mecánica es conveniente hacer la respuesta críticamente amortiguada, para lo cual se fija la razón de amortiguamiento $\zeta = 1$, eliminando así sobrecrestas indeseadas. Más aun, para evitar que el sistema caiga en resonancia y oscilaciones estructurales existe el criterio de definir la frecuencia natural (w_n) nunca mayor a la mitad de la frecuencia de resonancia estructural (w_s) del mecanismo paralelo [15].

Tomando que w_s es 6 Hz entonces w_n sería:

$$w_n = 2\pi \times 3\text{Hz} = 18.85\text{rad/s} \quad (27)$$

Así se pueden sintonizar K_P y K_D como:

$$K_P = 355.3 \quad (28)$$

$$K_D = 37.7 \quad (29)$$

V. SIMULACIÓN

Se desarrolló en MATLAB el diagrama de bloques del sistema y se simuló su respuesta ante una trayectoria prefijada, la función seno.

El diagrama de la Figura 7 se implementó en Simulink con el fin de simular la respuesta del sistema y el error ante seguimiento de trayectoria.

La señal de entrada es la función seno con amplitud de 0.5 y a una frecuencia de 0.1 rad/seg. El diagrama en Simulink se muestra en la Figura 8.

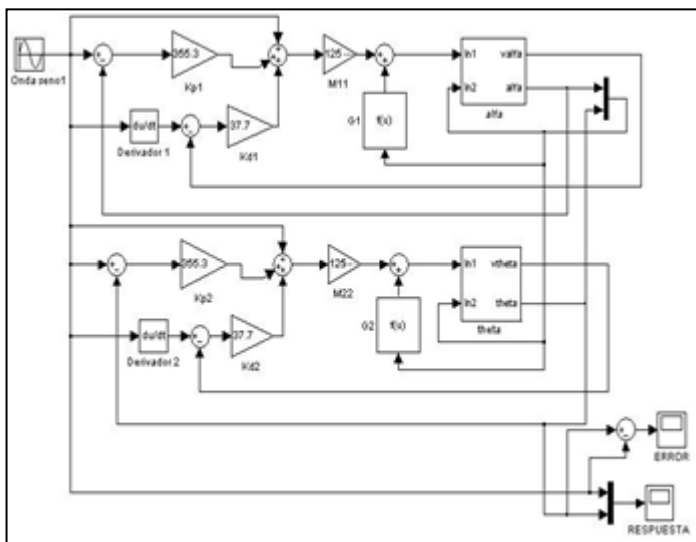


Figura 8: Diagrama de bloques en Simulink.

Fuente: Autores, (2017).

Los resultados de la simulación se muestran en las Figura 9 y Fig. 10.

Se puede apreciar en estas figuras la pequeñez del error que, al sintonizar de esta forma las ganancias, ocurre en el seguimiento de trayectoria.

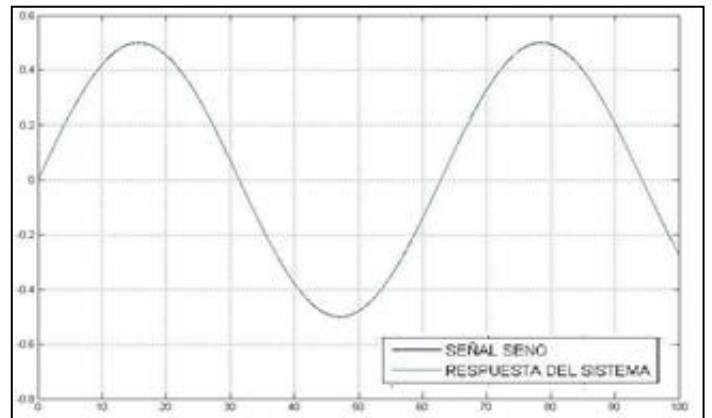


Figura 9: Respuesta del sistema contra la trayectoria deseada.

Fuente: Autores, (2017).

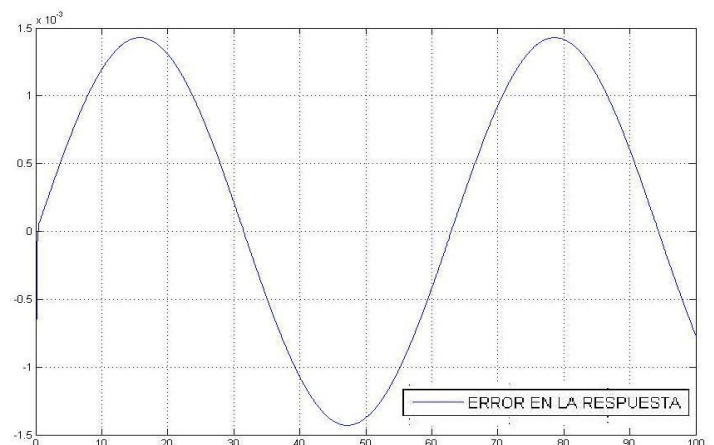


Figura 10: Gráfica del error.

Fuente: Autores, (2017).

Como se aprecia en las Figura 9 y Figura 10 el sistema controlado describe un seguimiento de trayectoria, con muy pequeño error, del orden de 1.5×10^{-3} metros, lo cual es totalmente imperceptible para los sentidos humanos cuando se manipula la plataforma de simulación.

VI. CONCLUSIONES

El modelo dinámico del sistema juega un papel fundamental en el buen desempeño del control. En la medida que el modelo represente el comportamiento dinámico del robot así será la exactitud con que se logrará controlar y la respuesta que se obtendrá.

A su vez el control en el espacio de tareas, o espacio cartesiano, resulta eficaz en mecanismos paralelos como el que se ha tratado. Esto es así siempre que se cuente con un sistema de medición rápido y efectivo que brinde la información de las variables que definen la pose de la plataforma.

La simulación del sistema controlado permite conocer de antemano el comportamiento del mecanismo sin la necesidad de implementar el sistema de control físico evitando con ello

posibles daños en la estructura mecánica del robot durante las pruebas experimentales.

VII. REFERENCIAS

- [1] K. M. Chen Zhengsheng, Liu Ming and You Wei, "Dynamic Modelling and Trajectory Tracking of Parallel Manipulator with Flexible Link," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 10, pp. 328-337, 2013.
- [2] J.-P. Merlet, **Parallel Robots**, 2 ed. France: Springer Editorial, 2006.
- [3] S. H. Mark W. Spong, and M. Vidyasagar, **Robot Dynamics and Control**, 2 ed., 2004.
- [4] B. H. Housse Abdellatif, "Computational efficient inverse dynamics of 6-DOF fully parallel manipulators by using the Lagrangian formalism," *Science Direct*, vol. 44, pp. 192-207, 2008.
- [5] S. P. V. Mata, J.L. Cuadrado and F. Valero "Inverse dynamic problem in robots using Gibbs-Appell equations," *Robotica*, vol. 20, pp. 59-67, 2002.
- [6] R. C. Limón, "Modelo Matemático de un Robot Paralelo de Seis Grados de Libertad," Ph. D. Thesis, Computer, Electronics, Physics and Innovation, University of Americas, Puebla, 2006.
- [7] L.-W. Tsai, **Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators**, 1 ed. United States of America: John Wiley & Sons, INC, 1999.
- [8] P. A. M. Jens Kroneis, Steven Liu, "Dynamic Modeling and Identification of a Complex-structured Parallel Robot," in *17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, 2008, p. 6.
- [9] S. C. T. F. E. L. L. Cabral, "Dynamics and Jacobian Analysis of parallel architecture robot: The Hexa," *ABCAM Symposium Series in Mechatronics*, vol. 2, pp. 166-173, 2006.
- [10] V. V. Yogesh Singh, M. Santhakumar, , "Dynamic Modelling and Control of a 3-DOF Planar Parallel Robotic (XYθZ Motion) Platform," presented at the International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering, ICAMME 2014, 2014.
- [11] L. F. P. Antonio Barrientos, Carlos Balaguer, Rafael Aracil, **Fundamentos de Robótica**, 1 ed. España: McGraw-Hill/Interamericana, 1997.
- [12] W. a. D. Khalil, E. , "Modeling, identification and control of robots," *Hermes Penton Science*, 2002.
- [13] B. C. Santhakumar Mohan, "Inverse dynamics and trajectory tracking control of a new six degrees of freedom spatial 3-RPRS parallel manipulator," *Mechanical Sciences*, vol. 8, pp. 235-248, 2017.
- [14] M. K. Mohamadreza Homayounzad, Mostafa Ghobad, "A Robust Tracking Controller for Electrically Driven Robot Manipulators: Stability Analysis and Experiment," *International Journal of Automation and Computing*, vol. 12, pp. 83-92, 2015.
- [15] Q. X. Yangmin Li, "Dynamic modeling and robust control of a 3-PRC translational parallel kinematic machine. ," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Elsevier*, 2008.
- [16] S. C. Weiwei Shang, "Nonlinear computed torque control for a high-speed planar parallel manipulator," *Mechatronics*, vol. 19, pp. 987-992, 2009.
- [17] E. R. Eduardo Izaguirre, Sandor E. Dominquez, "Modelo Cinemático y Dinámico para Robot Paralelo de Dos Grados de Libertad," in *Conferencia Internacional de Ingeniería Eléctrica*, 2008.
- [18] E. I. C. Orlando Urquijo Pascual, Luis Hernández Santana, "Control de trayectoria en el espacio cartesiano de robot paralelo de 2GDL usando modelo cinemático vectorial," *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones RIELAC*, vol. 38, pp. 72-82, Mayo – Agosto 2017.
- [19] V. S. a. A. L. R. Kelly, **Control of Robot Manipulators in Joint Space**, 1 ed. ed. Germany: Springer, 2005.



Implementation of scada system to the central liquor factory

José Enrique García Arteaga¹, Samy Brito Barroso², Liodán Valdivia Coca³, Orlando Urquijo Pascual⁴, Lisdán Herrera García⁵

^{1,2,3,4,5} UCLV, Cuba, Calle 9na. # 411, e/ 4ta. y 6ta., Rpto Universitario, Santa Clara V.C, Cuba.

Email: arteaga@uclv.edu.cu, samyb@uclv.edu.cu, coca@vc.copextel.com.cu, orlandop@uclv.edu.cu, lherrera@pdvcupetsa.cu

Received: November 28th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: February 02th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The implementation of a SCADA application on the Central Liquor Factory "Agustin Rodriguez Mena" belonging to the Company Cubaron has eliminated the low interconnectivity between machines installed and it has avoided the need to establish control strict on ingredients used in the elaboration of the final product. After completion of preliminary studies on the particularities of the industry and instrumentation contained therein, the identification of main control variables in the PLC has taken place and modifications were made in the PLC program for the variables that would be reflected in the SCADA and OPC server for communication. The control and monitoring of the overall process of rum manufacturing will increase efficiency, it will allow for rapid detection of faults in the system and it will make easier the work of operators.

Keywords: Label, OPC, PLC, SCADA, supervise.

Implementación del sistema scada en la fábrica central de licores

RESUMEN

La realización de una aplicación scada en la Ronera central "Agustín Rodríguez Mena" del Municipio de Santo Domingo perteneciente a la Empresa Cubaron elimina la baja interconectividad entre las máquinas instaladas y la necesidad de establecer un control estricto en la materia prima utilizada en la elaboración del producto final. Finalizados los estudios preliminares sobre las particularidades de la industria y la instrumentación contenida en ella; se procedió a la identificación en el PLC de las principales variables a controlar y se realizaron modificaciones en el programa del mismo para obtener las variables que serían reflejadas en el SCADA y en el servidor opc para la comunicación. El control y la supervisión de todo el proceso de fabricación del ron, aumentará la eficiencia, permitirá una rápida detección de fallas en el sistema y hará más fácil el trabajo de los operadores.

Palabras Claves: enjuagadora, etiquetadora, OPC, PLC, SCADA, supervisión.

I. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo la tecnología ha evolucionado hasta desarrollar varios sistemas y arquitecturas para el control, supervisión y la adquisición de datos en todo tipo de industria o proceso. Los sistemas SCADA aportan, fiabilidad, flexibilidad, aumento de la producción y mejoras en las condiciones de operación de las plantas. Además, disminuyen las pérdidas, los accidentes por concepto de errores humanos, aumentan la eficiencia y la calidad del producto con una disminución de los costos de producción.

Actualmente es posible acceder e intercambiar gran cantidad de datos de producción entre diferentes niveles de la fábrica, por ejemplo; en presencia de una adecuada arquitectura

de red, un operador en el nivel administrativo podría ganar acceso a los datos del nivel de campo o control y usar los mismos en algún tipo de procesamiento en línea para generar diagramas de tendencia en tiempo real, útiles para predecir la cantidad de suministros requeridos para encarar un periodo de producción definido. Obviamente, estos datos se pueden almacenar en una base de datos histórica, lista para ser usada en procedimientos de análisis de pos procesamiento sucesivo [1][2].

La utilización de SCADA en la industria ha originado una tendencia creciente [3-6] y la industria licorera no se ha quedado atrás [7], la Planta COPLAN y Planta "El Tiro" de la Firma Osbourne (La empresa S.G.A. Distribuciones Especializadas, S.L. ha desarrollado el sistema automático de control de tres líneas de

embasado en la planta embotelladora “El Tiro” perteneciente a la empresa Osbourne.)

En Cuba, se han comenzado a introducir en algunas plantas como ejemplo está la utilización de un SCADA en la Ronera de San José, en la provincia de la Habana, que se dedica a la producción de rones tintos de alta calidad.

En la Ronera Central, se producen distintos tipos de rones (Havana Club, Cubay en sus variedades) para el mercado nacional y extranjero. La decisión de realizar este proyecto se originó porque en la fábrica no se explotaban las potencialidades con las que cuenta; la gestión, la comunicación a nivel empresarial y la supervisión de la producción se encontraban en un nivel muy bajo, además de no existir visualización del proceso productivo. También se hacía necesario establecer un control riguroso de la materia prima utilizada para la elaboración del producto, la cual es de importación y resulta muy costoso adquirirla.

II. METODOLOGÍA

II.1 FUNCIONALIDADES DE UN SISTEMA SUPERVISORIO

En la actualidad los proveedores de los SCADA diseñan sistemas que son pensados para resolver las necesidades de muchas industrias, con módulos de software específicos disponibles para proporcionar las capacidades requeridas comúnmente. Los sistemas SCADA constituyen parte integral de la estructura de dirección y gerencia de cualquier empresa. Estos sistemas no son vistos por la gerencia como herramientas operacionales de supervisión y control, sino como un importante recurso de información corporativa sin el cual sería imposible administrar correctamente una empresa.

Los sistemas SCADA utilizan la computadora y tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y el control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos, ya que puede recoger la información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente, y la presentan a un operador de una forma amigable. Estos sistemas mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales rápidas [8].

El objetivo fundamental de un sistema supervisorio es brindar los medios al operador humano para controlar y comandar un proceso altamente automatizado. Así, la supervisión de los procesos industriales incluyen un conjunto de tareas que ayudan a controlar los procesos y supervisar sus operaciones [9].

Los SCADA se comportan como un sistema industrial de mediciones y control que consiste según el criterio de distintos especialistas de una computadora principal o máster (generalmente llamada Estación Principal, o MTU); una o más unidades de control obteniendo datos de campo (comúnmente llamadas estaciones remotas, o RTU's), sistema de comunicación y la interface hombre máquina [2][9].

A través de los mismos se puede conocer el estado de una instalación, centralizando la información de los emplazamientos remotos en uno o varios puestos de control. Los equipos de control situados en las estaciones analizan los parámetros más importantes recogiendo los valores aportados por los diferentes sensores. Cuando se identifica una situación de alerta estos equipos realizan la operación adecuada y advierten del mismo al puesto de control, desde donde se procesa la información y se genera de forma automática la señal de mando apropiada. Desde el puesto central se puede obtener, en tiempo real, cualquier información relativa a las estaciones.

Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten generar planes de mantenimiento y eficaces procedimientos de actuación para los operadores. Estos facilitan el trabajo del personal de mantenimiento permitiendo automatizar procesos de muy alta complejidad.

En la literatura científica se encuentran diversas tendencias en el uso de sistemas SCADA entre ellas se puede mencionar: S. A. Avlonitis & al [10], han presentado la estructura e instalación de un sistema SCADA flexible y de bajo costo que incluye una PC con su software e interfaces ordinarias que operan el sistema.

Patel & al. [11], han presentado un sistema SCADA que permite la comunicación con varios dispositivos E/S en los sistemas de energía renovables y componentes de instalaciones de prueba RESLab. Este sistema SCADA difiere de los tradicionales sistemas SCADA en que se apoya en un entorno operativo que cambia continuamente en función de la prueba a realizar; el mismo se basa en el concepto de tener un servidor Máster de E/S y múltiples sistemas informáticos como clientes. Los autores han descrito las principales características y ventajas de este sistema SCADA dinámico, las conexiones de los dispositivos de campo diferentes al servidor máster de E/S, los servidores de dispositivos y el software de múltiples funciones utilizadas en el sistema.

Presentan un trabajo sobre la adquisición de datos de tiempo real y la evaluación de control avanzado utilizando la plataforma de código abierto científica Scilab, se discute en el mismo la implementación y visualización de datos en línea con la caja de herramientas Scicos y la utilización de la tecnología OPC [12]. La viabilidad y eficacia de la metodología propuesta se demostró por medio de la aplicación de controladores difusos en un proceso de precipitación de la enzima bromelina instrumentado con dispositivos de la Fundación Fieldbus. Los resultados confirmaron Scilab / Scicos adecuado para HMI y sistemas de control aplicados en pequeñas aplicaciones industriales.

Abordan en su trabajo principalmente el entorno de seguridad único y los problemas inherentes a la red SCADA radial de los sistemas de energía eléctrica. El enfoque está dirigido a la utilización del método de cifrado simétrico, en la mayor parte del trabajo se limita a la gestión de claves de cifrado y proporcionar una solución para el período óptimo de distribución de claves [13].

Ha desarrollado la idea de que los sistemas SCADA están siendo rápidamente integradas con redes corporativas, pero las ramificaciones de una violación SCADA son mucho más preocupante que la interrupción de la producción [14].

Aydogmus [15], ha presentado un sistema SCADA a través de PLC para un sistema de control de nivel de fluido con un controlador borroso. Para este fin, se ha reunido un conjunto del control de nivel de líquido y el PLC. El PLC utilizado no tiene software o módulo borroso, para el mismo ha sido desarrollado un algoritmo borroso de tipo Sugeno para completar el estudio.

El objetivo principal de este trabajo es presentar una aplicación que se ha realizado sin software/módulo de controlador de lógica difusa aplicando este tipo de control.

II.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL SISTEMA SCADA

La línea de producción a la cual se le realizará la supervisión se encuentra situada en un espacio relativamente pequeño. Está conformada por cuatro etapas:

Primera etapa: área de descarga, en la cual se reciben los pallets de botellas, se verifica que sean las indicadas para la

producción que se está desarrollando en ese momento y se incorporan a la estera transportadora.

Segunda etapa: se desarrolla en la máquina denominada Monobloque, en la cual se realizan cuatro operaciones. Primero ocurre el lavado de las botellas con agua previamente tratada con cierto grado de alcohol, para evitar afectar la calidad del producto final. Luego se realiza el llenado de las botellas en la máquina llenadora para en los últimos dos pasos, insertarles los tapones de presión y de rosca por ese orden.

Tercera etapa: se realiza el proceso de etiquetado donde se le adhieren a la botella la etiqueta, contra etiqueta, collarín y sello de calidad.

Cuarta etapa: se encarga de la confección de las cajas y del llenado de las mismas para su posterior traslado. El movimiento de las botellas en todo el proceso se realiza a través de esteras transportadoras. La figura 1 muestra el flujo de producción de la línea.



Figura 1: Línea de producción.

Fuente: Los Autores, (2018).

El principal problema que presenta la filial de Cuba Ron SA. en el centro del país es el control sobre la materia prima y la producción, ya que no se conoce con certeza el lugar donde ocurren las ilegalidades y tampoco existe la posibilidad de realizar reportes de producción con datos reales. Además, el nivel de visualización del proceso es mínimo, la comunicación a nivel empresarial no se encuentra implementada y aunque la línea de producción trabaja de forma automática, no existe conectividad entre las máquinas que intervienen en el proceso de embotellado.

Con el objetivo de interconectar las máquinas de la línea se realizaron búsquedas en manuales y planos eléctricos de las mismas; no se obtuvo una solución razonable. Además, se definieron y recolectaron las variables deseadas del proceso, muchas de las cuales están siendo usadas por los PLC's que controlan la línea y se encuentran almacenadas en sus respectivas memorias.

Después de este estudio se propuso implementar un sistema supervisor para poner fin a las deficiencias existentes en dicha empresa. Para la implementación del sistema era necesario obtener las principales variables del proceso y para esto se tomó la opción de no modificar el funcionamiento de la línea, pues esta no presentaba dificultades.

La implementación de un sistema SCADA para la supervisión y control de la línea de fabricación, permitirá la obtención de los registros históricos de las variables; el conteo de etiquetas, las contraetiquetas, los sellos y las botellas que entran y salen de la línea, la generación de alarmas, la detección de fallas y averías eficazmente, entre otras soluciones, permitiendo resolver la problemática de dicha industria.

En la línea de fabricación donde se desarrolla este proyecto no existe similitud entre la tecnología y maquinaria instalada, puesto que la etiquetadora y el mono bloque pertenecen a la OMROM y la conformadora y empacadora a la Siemens. En tal caso es necesario estandarizar la comunicación entre los distintos dispositivos de campo (PLC's) y el sistema supervisor utilizando un servidor OPC.

En la actualidad los fabricantes de sistemas SCADA no encuentran en la adopción de OPC una opción, es simplemente una necesidad por lo que su uso se ha generalizado rápidamente

[16]. En el proyecto se ha utilizado el KEPServerEx 4.0 de Kepware's como servidor OPC.

Este software permite una rápida configuración en la comunicación con los sistemas de control a través de una larga lista de drivers de dispositivos disponibles, también provee una interfaz amigable al usuario que ha garantizado su adopción por parte del personal de planta sin rechazo.

La aplicación desarrollada en el software KEPServerEX 4.0 ha facilitado la comunicación entre las diferentes máquinas del proceso, logrando esto con total transparencia para el SCADA y el usuario, siendo el sistema supervisor un cliente OPC de la aplicación implementada.

Con el paso del tiempo, nuestro país ha llevado a cabo la realización de diferentes proyectos de automatización incorporando sistemas de control y supervisión. El desarrollo en el estudio de estas herramientas ha hecho posible la ejecución y montaje de estos sistemas por las diferentes empresas que se encargan de esta labor, como Copextel, CEDAI, entre otras. En su gran mayoría han sido implementados con el software Movicon, proporcionado por Progea, el cual se ha convertido en una herramienta fundamental para los técnicos cubanos por las prestaciones que este brinda.

En el proyecto desarrollado se ha utilizado el Movicon X2 como software de desarrollo del sistema SCADA, constituye una herramienta para las compañías que trabajan en el campo de la automatización y el control de procesos y edificios inteligentes. Permite la adquisición de datos a través de su comunicación con el PLC, red y bus de campo, así como la configuración de herramientas y sensores. Los datos adquiridos se coleccionan dentro de una base de datos en tiempo real (RTDB) para luego estar disponibles por los objetos y recursos para crear de forma animada, sinópticos, alarmas, recetas, gráficos y reportes.

Los PLC que controlan la máquina etiquetadora (SYSMAC CPM2A) y el mono bloque (SYSMAC CQM1H) pertenecen a la firma OMROM, para mejorar el funcionamiento del mismo y mostrar en el SCADA datos necesarios en el control de la materia prima, se procedió al estudio y mejora del programa de cada PLC. La herramienta de software utilizada para la programación de las secciones de programa necesarias para cumplimentar los objetivos, es el CXProgrammer versión 3.0. CX-Programmer es una herramienta de programación para la creación, prueba y mantenimiento de programas asociados con PLCs de OMROM cuyas series sean CS/CJ, CV y C. Proporciona las instalaciones de los dispositivos PLC, los modos de comunicación con los PLC de OMROM y permite la configuración con diferentes tipos de red.

II.3 DESARROLLO DEL SCADA

Como primer paso se realizó el estudio del proceso productivo, así como del funcionamiento y las características del Movicon X2. Se tomaron fotos de las máquinas y de las líneas de producción en general, con el objetivo de que al realizar la interfaz gráfica (HMI) esta se asemejara lo más posible al proceso y los operarios se adaptaran al sistema con mayor facilidad. Fue presentado por parte de la empresa un bosquejo de las necesidades de los operarios y técnicos en toda la línea de producción. A raíz de esto se analizaron cuáles eran las variables de mayor importancia a supervisar y controlar en cada máquina y en toda la línea de producción. Por su importancia en la línea de fabricación se concentran los esfuerzos en las etapas dos y tres del proceso.

Para la segunda etapa se decidió reflejar en una pantalla principal llamada "Monobloque" (Figura 2), (con un ambiente

muy parecido a la realidad de la máquina), la mayor cantidad de variables posibles que manejaba esta máquina. Se tuvo en cuenta un orden de prioridad, de esta forma se reflejaban las variables más importantes y no se carga la pantalla con demasiada información. Se crearon otras pantallas donde el operador tiene la posibilidad de acceder a datos más detallados del proceso, como es el caso de las dedicadas a las Alarmas, Enjuagadora, Térmicos, Conteo de Botellas, etc. Además se creó una barra de “Menú”, visible en la parte superior de la pantalla “Monobloque” en modo de ejecución, desde donde se puede acceder a la información que se necesite manejando las propiedades dinámicas de estos.

La figura 2 muestra el sinóptico que el operador estará visualizando la mayor parte del tiempo. Constituye la pantalla que más información ofrece. Muestra los principales elementos de la máquina, como el estado del Motor Principal y el de Cinta transportadora, la velocidad con que opera la misma, además del reconocimiento de las principales paradas y reducciones de velocidad. Se muestran también datos particulares de las diferentes secciones que integran el Monobloque y se introdujo a petición de los operadores un botón de emergencia, el cual fue necesario programar en el PLC. Desde esta pantalla es posible acceder a los demás sinópticos que se encuentran disponibles gracias a un Menú que se divisa en la parte superior de la misma. También se muestra la fecha y hora, como un requisito indispensable.

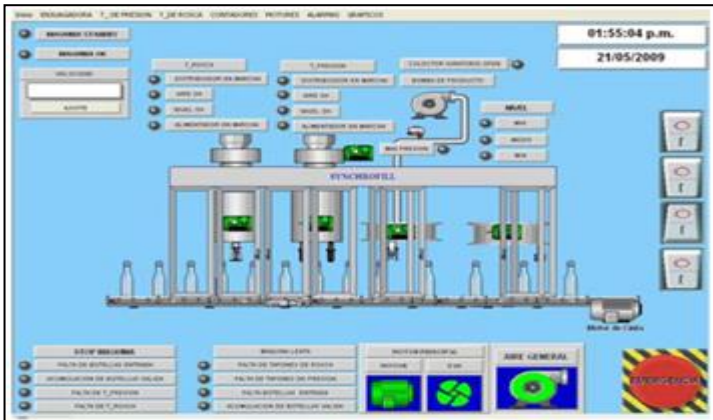


Figura 2: Monobloque.
Fuente: Los Autores, (2018).

Dentro del Monobloque a la máquina de la “Enjuagadora” (Figura 3) se dedicó un sinóptico recreando algunos de los eventos que pueden ocurrir en esta parte del Monobloque como la falta de presión en los diferentes tratamientos de enjuague, la fricción en las estrellas de entrada y de salida, el correcto funcionamiento de la máquina, el estado de la bomba de tratamiento y la alarma de contraguía sinfín en la Enjuagadora.

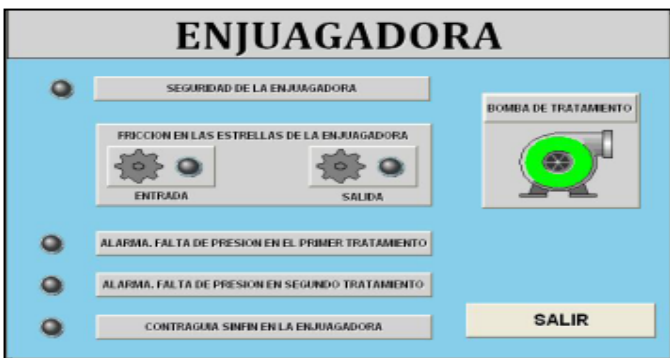


Figura 3: Enjuagadora en el monobloque.
Fuente: Los Autores, (2018).

A los distintos contadores se dedicó también su interfaz, separándolos en Conteo de Botellas y Mermas (Figuras 4 y 5).



Figura 4: Conteo de botellas en el monobloque.
Fuente: Los Autores, (2018).



Figura 5: Conteo de mermas en el monobloque.
Fuente: Los Autores, (2018).

Para la tercera etapa en la máquina etiquetadora se creó una pantalla principal llamada “Etiquetadora” (Figura 6), desde donde el operario supervisará de manera general el proceso de etiquetado, existen otras ocho pantallas dentro de esta con las demás especificaciones de dicho proceso. Este sinóptico muestra la máquina etiquetadora, las tres máquinas alimentadoras del juego de etiquetas (collarín, etiquetas, contraetiquetas) con sus motores, dos casillas de edición con la hora (en modo solo lectura) y fecha (asociadas a variables del sistema), las esteras transportadoras, un símbolo destinado a alertar al trabajador que existe un fallo en la comunicación y el botón de emergencia, con el cual se manda a detener el sistema de forma inmediata ante cualquier situación que el operador considere anormal.

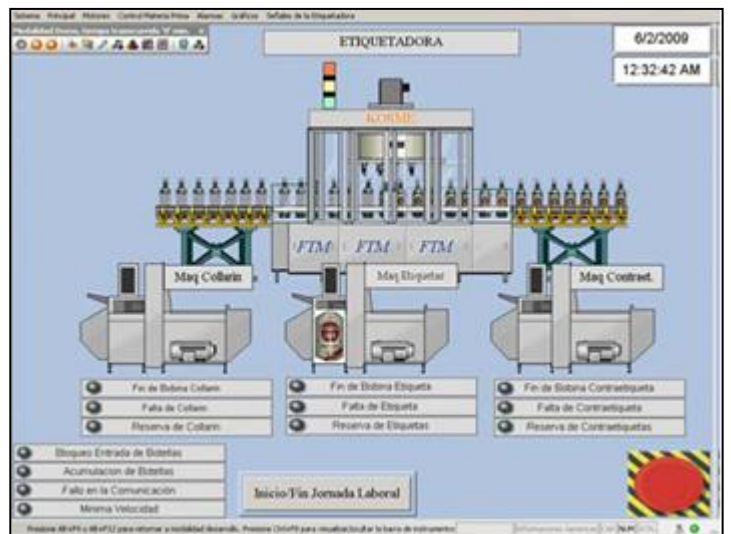


Figura 6: Etiquetadora.
Fuente: Los Autores, (2018).

En el proceso de etiquetado se creó una pantalla (Figura 7 que nos da el índice de botellas de entrada contra el juego d etiquetas. Es decir muestra e control de la producción (botella etiquetadas cantidad de cajas) con respecto a materia prim (collarín, etiqueta, contraetiqueta). En este sinóptic se muestran los respectivos contadores de botellas la entrada, el número d botellas etiquetada correctamente así como incorrectamente representados por casillas de edición. Los botones d reset para poner en cero los contadores ante mencionados. Además se muestra una casilla d edición para representar el tiempo perdido y u pulsador de reset (tiempo sin trabajar la máquina).

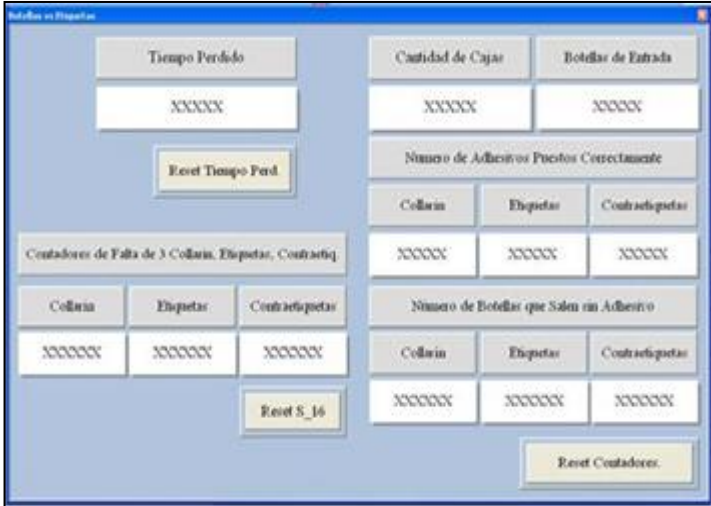


Figura 7: Pantalla de control de la materia prima y de la producción.

Fuente: Los Autores, (2018).

Otra pantalla de gran ayuda para la supervisión e la dedicada al tratamiento de las alarmas (figura 8). La misma aporta datos importantes como el estado de la alarma, el momento en que ocurrió, el tiempo de duración, una breve descripción y el lugar de origen. Consta con propiedades de sonido, para llamar la atención del operador con mayor rapidez.



Figura 8: Pantalla de alarmas.

Fuente: Los Autores, (2018).

Este sinóptico se activará de manera automática en la computadora dependiendo de la prioridad que se le otorgue a la alarma. Eventos de envergadura como las averías en los motores y la falta de comunicación con el PLC fueron categorizados de prioridad uno, y los mismos activaran de manera inmediata la pantalla para que el operador realice la acción que estime conveniente en el menor tiempo posible. Se creó además, la pantalla de Data Logger (Figura 9), en la cual se podrá conocer el estado de las variables que estén asociadas a esta de acuerdo con el tiempo de refrescamiento que se programe a la variable.



Figura 9: Pantalla del data logger.

Fuente: Los Autores, (2018).

Se implementaron además pantallas gráficas de reportes históricos con datos como la producción, el tiempo perdido, la merma de materia prima (botellas, juego de etiquetas etc.) previamente definidos en los data loggers. Además presenta en la parte inferior botones que facilitan la revisión y análisis de los datos históricos (valores máximos y mínimos) así como la impresión de estos.

Para la supervisión de la planta era necesaria la inclusión en la programación de los PLC, de algunas líneas de código que garantizaran cumplir con el objetivo planteado. Como resultado del trabajo, quedaron implementados cambios que permitieron una disminución del tiempo de ejecución del programa, la obtención de las variables más importantes que serían visualizadas en el SCADA y el conteo de las materias primas que entran y salen de las diferentes maquinas, lo cual no se llevaba a cabo anteriormente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este artículo, se han presentado las características y funcionalidades del sistema SCADA realizado para la línea de embotellado y etiquetado de la empresa “Agustín Rodríguez Mena”, el mismo cumple con los requisitos deseados de supervisión y control y mejora la calidad de la información que se obtiene del proceso lo cual resulta beneficioso desde el punto de vista económico. Los segmentos de programa y los nuevas variables adicionadas a los PLC, ayudaron a la realización del sistema SCADA y mejoraron el funcionamiento de la línea de producción. Se incrementó el nivel de información, control y supervisión de la producción y la materia prima en toda la línea de producción. El Movicon X2 demostró ser una herramienta que ofrece la posibilidad de realizar potentes y compactos sistemas de supervisión y control con agradables interfaces HMI.

Para futuras etapas se prevé utilizar el sistema de reportes “Crystal Report” para generar los reportes en la empresa. También se propone la exportación de la aplicación SCADA a un servidor web para facilitar la gestión operativa y empresarial.

Actualmente se realizan propuestas preliminares para extender las aplicaciones SCADA a otras ramas de la economía.

IV. REFERENCIAS

- [1] Adamo, F., Attivissimo, F., Cavone, G., Giaquinto, N., “**SCADA / HMI Systems in Advanced Educational Courses**”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 56, (1), pp. 4-10, 2007.
- [2] Thomas, M. S., Kumar, P., Chandna, V. K., “**Design, Development, and Commissioning of a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Laboratory for Research and Training**”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, (3), pp. 1582-1588, 2004.

- [3] Köstner, S., “**Control and Operation of the LHCb Readout Boards Using Embedded Microcontrollers and the PVSS II SCADA System**”, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record*, pp. 759-762, 2006.
- [4] Ordean, M., Chiorean, D., Rogoz, I., Lehene, C., Stoian, I., Stancel, E., “**SCADA Systems – Support for the Maintenance Management of Hydro Power Plants**”, *Automation, Quality and Testing, Robotics, IEEE International Conference*, Vol. 1, pp. 238- 242, 2006.
- [5] Haijing, Y., Yihan, Y., Dongying, Z., “**The Structure and Application of Flexible SCADA**”, *Power Engineering Society General Meeting*, pp. 4, 2006.
- [6] Giacchini, M., Mastinu, P.F., Gramegna, F., Gadea, A.R., “**VPS—Versatile Power Supply Control System**”, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 53, (3), 2006.
- [7] Benavides, J. L., “**Propuesta de Automatización de una fábrica de licores de Ecuador**”. Tesis de Maestría, Departamento Automática, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2007.
- [8] Rodríguez, A., Loreto, J. L., “**Distributed Control Implementation in CVG EDELCA Hydroelectric Power Plants**”, 2006.
- [9] Lakhoua, M.N., “**Application of Functional Analysis on a SCADA System of a Thermal Power Plant**”, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, Vol. 9, (2), pp. 90-98, 2009.
- [10] Avlonitis, S.A., Pappas, M., Moutesidis, K., Avlonitis, D., Kouroumbas, K., Vlachakis, N., “**PC based SCADA system and additional safety measures for small desalination plants**”, *Desalination 165*, pp.165-176, 2004.
- [11] Patel M., Cole G. R., Pryor T. L., Wilmota N. A., “**Development of a novel SCADA system for laboratory testing**”, *ISA Transactions 43*, pp.477-490, 2004.
- [12] Costa, T. V., Fileti , A. M., Silva F., “**Scilab/Scicos: Na Alternative Tool for Real-Time Monitoring and Advanced Control of Fieldbus Industrial Systems**”, *Computer Aided Chemical Engineering* Vol. 27, pp. 1617-1622, 2009.
- [13] Kang, D.J., Lee, J.J., Kim, B.H., Hur, D., “**Proposal strategies of key management for data encryption in SCADA network of electric power systems**”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2009.
- [14] Munro K., “**SCADA - A critical situation**”, *Network Security*, Vol. 2008, (1), pp.4-6, 2008.
- [15] Aydogmus Z., “**Implementation of a fuzzy-based level control using SCADA**”, article in press, *Expert Systems with Applications: An International Journal*, Vol. 36, (3), pp 6593-6597, 2009.
- [16] Sahin, C., Bolat, E.D., “**Development of remote control and monitoring of web-based distributed OPC system**”,
- Computer Standards & Interfaces* Vol. 31, (5), pp. 984-993, 2009.



Selection of the artificial pollution procedure for polymer isolation in the conditions of the atmospheric environment in Cuba

Ramón G. Guevara¹, José A. M. Barbado², Raiza J. Quiñones³ and Miguel A. R. Moreno⁴

^{1,2,3,4} Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). Havana, Cuba.

Email: ramon@electrica.cujae.edu.cu, jamb@electrica.cujae.edu.cu, rjarel@electrica.cujae.edu.cu, mangel@electrica.cujae.edu.cu

Received: November 08th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: January 11th, 2018.

Published: March 13th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



In the work different variants of artificial contamination in the polymeric isolation are analyzed using the technique of the deposited layer, keeping constant the amount of inert substance and varying the quantities of active substance in each solution and the amounts of pollutants applied on the surface of the insulators For each of these variants, the Equivalent Density of Deposited Salt (DESD) is determined to the polluting solutions obtained. The results obtained are processed, using statistical techniques, in order to compare them with the classification already established in the specific conditions imposed by the atmospheric environment in our country and select the variant that most closely matches the requirements of natural pollution levels. Finally, the procedure is elaborated detailing the requirements of the selected contamination technique and highlights those aspects considered most important to achieve satisfactory results.

Keywords: Artificial Contamination; Equivalent Density of Deposited Salt (DESD); Statistical Techniques.

Selección del procedimiento de contaminación artificial para el aislamiento polimérico en las condiciones del medio atmosférico en Cuba

RESUMEN

En el trabajo se analizan diferentes variantes de contaminación artificial en el aislamiento polimérico utilizando la técnica de la capa depositada, manteniendo constante la cantidad de sustancia inerte y variando las cantidades de sustancia activa en cada solución y las cantidades de contaminantes aplicadas en la superficie de los aisladores. Para cada una de estas variantes se determina la densidad equivalente de sal depositada (desd) a las soluciones contaminantes obtenidas. Se procesan los resultados obtenidos, utilizando técnicas estadísticas, con el objetivo de compararlos con la clasificación ya establecida en las condiciones específicas que impone el medio atmosférico en nuestro país y se selecciona la variante que más se acerque a las exigencias de los niveles de contaminación natural. Por último, se elabora el procedimiento donde se detallan los requerimientos de la técnica operatoria de contaminación seleccionada y se destacan aquellos aspectos considerados de mayor importancia para lograr resultados satisfactorios.

Palabras Claves: Contaminación Artificial; Densidad Equivalente de Sal Depositada (DESD); Técnicas Estadísticas

I. INTRODUCCIÓN

La validez de la hipótesis teórica que plantea que independientemente del origen y la combinación de

contaminantes atmosféricos en cualquier región, los mismos pueden ser representados artificialmente por la mezcla de una sustancia inerte responsable de sus cualidades adhesivas y absorbentes y otra eléctricamente activa que al humedecerse se

disocia en iones, proporcionándole a la capa de contaminación sus cualidades conductivas, signífico un gran avance en los estudios de contaminación en condiciones de laboratorio.

Fue posible, a partir de este momento, preparar soluciones con contaminación artificial, realizar ensayos y obtener mayor número de resultados en menor tiempo, quedando solo por resolver la cuestión de lograr la mejor simulación de las condiciones de contaminación natural, donde la reproducibilidad y representatividad de los resultados tienen un papel protagónico. La introducción del aislamiento polimérico ha demostrado que los polímeros utilizados, hasta estos momentos, presentan problemas en condiciones específicas de operación.

Algunos de los fenómenos perjudiciales en este tipo de aislamiento tienen su origen en las condiciones superficiales del aislador, a saber altos niveles de incidencia de rayos ultravioleta, alto contenido de humedad, descargas por contaminación, etc. Otros fenómenos, debido al mayor número de interfases tienen su explicación interna [1-4]. El desarrollo de estos fenómenos perjudiciales disminuyen las propiedades aislantes y los requerimientos mecánicos llegando a situaciones extremas en las cuales el aislador falla.

Los ensayos artificiales en el aislamiento polimérico permiten simular diferentes condiciones, tales como: diferentes regímenes de humedecimientos, calentamientos prolongados de su superficie, lluvias de diferentes intensidades, incidencia de nieblas salinas, radiación solar, estudio de variables sinérgicas, diferenciar comportamientos de aisladores en ambientes de igual severidad, entre otros. Algunas normas relacionadas con esta temática son referenciadas en [5-7].

La IEC y otras instituciones trabajan en la dirección de lograr resultados que permitan una simulación más representativa de los fenómenos que perjudican el comportamiento de los aisladores en condiciones de operación y la comunidad científica internacional, relacionada con esta temática junto con los fabricantes persiguen la estrategia central de obtener nuevos compuestos que sean capaces de soportar disímiles y severas condiciones de operación.

Nuestro país, se caracteriza por tener un clima tropical húmedo y condiciones específicas meteorológicas que pueden resultar extremas en distintas épocas del año, tales como: alta incidencia de rayos ultravioleta, regímenes severos y prolongados de humedecimiento, influencia directa de aerosoles marinos, fuertes vientos huracanados, alta incidencia de descargas atmosféricas, etc.

Es por ello que en el trabajo se realizan esfuerzos en el sentido específico de lograr la mejor representación de nuestros niveles de contaminación del aislamiento en el laboratorio utilizando la técnica de la capa predepositada [8] y evaluando, por medio de la DESD [9], el nivel de contaminación para de esta forma poder determinar con más exactitud la influencia de la intensidad de la contaminación atmosférica.

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En todas las soluciones contaminantes preparadas para la ejecución de las variantes de ensayos se mantienen constantes las cantidades de material inerte, utilizando 40 g de caolín y un litro de agua desmineralizada, variando las cantidades de cloruro de sodio, utilizado como material activo.

En cada una de las soluciones preparadas para simular las condiciones de contaminación natural se practican 3 variantes de ensayos diferenciándose entre sí por las cantidades de material activo añadido según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Variantes de ensayos para las soluciones contaminantes

Soluciones Contaminantes	Substancia activa		
	1	2	3
1	0,8	1,0	1,2
2	2,0	3,2	4,8
3	6,2	8,0	9,4
4	11,2	14,0	16,2

Fonte: Autores, (2018).

Los ensayos se realizan sobre el aislador que se muestra a continuación en la figura 1.



Figura 1: Aislador ensayado.

Fonte: Autores, (2018).

Se definen las variables involucradas en el experimento como:

- Variable dependiente: DESD.
- Variables independientes: Temperatura, conductividad electrolítica de la solución contaminante, medios de medición, el aislador seleccionado, personal que realiza el ensayo.

Planteamiento de la hipótesis H_0 .

No existen diferencias significativas entre los valores de DESD, cuando se varía en pequeñas cantidades la sustancia activa de las soluciones de contaminación artificial para las zonas estudiadas.

Las mediciones de conductividad electrolítica se realizan con un conductímetro digital GMH 3410. Con el valor de conductividad referido a 20° C, el área de la superficie lavada del

aislador y el volumen de agua empleado, se calcula el valor de DESD por medio de las expresiones (1) y (2).

$$S_a = (5.7 * \Gamma_{20^\circ C})^{1.03} \quad (1)$$

Donde:

S_a : Salinidad de la solución (kg/m³).

$\Gamma_{20^\circ C}$: Conductividad electrolítica referida a 20°C (S/m).

$$DESD = \frac{S_a \times V}{A} \quad (2)$$

Donde:

A- Área lavada del aislador (cm²).

V – Volumen de la solución (400 cm³).

III. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO - INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de varianza (ANOVA) [10] se expresa mediante la aplicación del estadístico de Fisher, el cual permite indagar sobre la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de DESD para las cantidades de sustancia activa empleadas. En el análisis estadístico se realiza la exploración de los datos utilizándose las medidas resumen y se verifican las premisas del ANOVA, como la aleatoriedad e independencia de las observaciones, homogeneidad de la varianza y normalidad de la muestra de datos experimentales obtenidos. En todos los casos se cumplieron las premisas.

Las tablas de la 2 a la 7 muestran los resultados del ANOVA para las cuatro soluciones estudiadas.

Tabla 2: Análisis de varianza de la solución No. 1.

	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado medio	F	Sig.
Entre Grupos	7,5x10 ⁻⁵	2	3,8x10 ⁻⁵	2,01	0,168
Dentro de grupos	2,8x10 ⁻⁴	15	1,9x10 ⁻⁵		
Total	3,6x10 ⁻⁴	17			

*gl: Grados de libertad.

Fonte: Autores, (2018).

Tabla 3: Análisis de varianza de la solución No. 2.

	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado medio	F	Sig.
Entre Grupos	4,86x10 ⁻⁴	2	2,43x10 ⁻⁴	7,93	0,05
Dentro de grupos	4,29x10 ⁻⁴	14	3,06x10 ⁻⁵		
Total	9,15x10 ⁻⁴	16			

Fonte: Autores, (2018).

Tabla 4: Prueba de Duncan.

Prueba de Duncan		$\alpha = 0,05$	
Cod 2	N	1	2
1	5	2,06x10 ⁻²	
2	6	2,17x10 ⁻²	
3	6		3,23x10 ⁻²
Significación		0,751	1,00

Fonte: Autores, (2018).

Tabla 5: Análisis de varianza de la solución No. 3.

	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado medio	F	Sig.
Entre Grupos	2,74x10 ⁻⁴	2	1,4x10 ⁻⁴	3,763	0,047
Dentro de grupos	5,47x10 ⁻⁴	15	3,6x10 ⁻⁵		
Total	8,21x10 ⁻⁴	17			

Fonte: Autores, (2018).

Tabla 4: Prueba de Duncan.

Prueba de Duncan		$\alpha = 0,05$	
Cod 3	N	1	2
1	6	4,16x10 ⁻²	
2	6	4,35x10 ⁻²	4,35 x10 ⁻²
3	6		5,07x10 ⁻²
Significación		0,594	0,058

Fonte: Autores, (2018).

Tabla 7: Análisis de varianza de la solución No. 4.

	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado medio	F	Sig.
Entre Grupos	1,5x10 ⁻⁴	2	7,6x10 ⁻⁵	1,86	0,19
Dentro de grupos	6,2x10 ⁻⁴	15	4,1x10 ⁻⁵		
Total	7,7x10 ⁻⁴	17			

Fonte: Autores, (2018).

En los resultados mostrados se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas en las soluciones 1 y 4 con un 95 % de confiabilidad, al ser la Sig. mayor que el nivel de significación fijado para el error ($\alpha=0,05$). Lo que representa que entre los valores de DESD promedio obtenidos a partir de variar la cantidad de la componente activa en las tres variantes de ensayos no difieren apreciablemente entre sí, aceptándose en estos casos la hipótesis H_0 .

En el caso de las soluciones 2 y 3 si se detectan diferencias estadísticamente significativas entre los valores de DESD promedio, por lo que fue necesario recurrir a la prueba de Duncan con el objetivo de diferenciar entre que DESD promedio estas se manifestaban.

Para la solución 2 no se observan diferencias entre las variantes de ensayo de 2,0 y 3,2 g de material activo, pero ambas si muestran diferencias respecto a la variante 3 (tabla 4).

Por otra parte, la solución 3 muestra un comportamiento que difiere de la solución 2. Las variantes de ensayo de 6,2 y 9,4 g de material activo difieren entre sí significativamente, pero a su vez ambas no se diferencian de la variante 8,0 g (tabla 6).

En base al análisis anterior y considerando que desde el punto de vista práctico es más aconsejable realizar el pesaje de mayores cantidades de sustancias buscando una mayor exactitud, se decide seleccionar como cantidades de material activo para la preparación de las diferentes soluciones las indicadas en la tabla 8. En tal sentido, este resultado se encuentra en concordancia con los intervalos de DESD determinados en las condiciones de contaminación natural en nuestro país [11].

Tabla 8: Análisis de varianza de la solución No. 2.

Soluciones contaminantes	Sustancia activa NaCl (g)	Niveles de Contaminación DESD (mg/cm ²)
1	1,2	≤0,02
2	3,2	0,02 – 0,04
3	8	0,04 – 0,06
4	16,2	0,06 – 0,08
5	> 16,2	> 0,08

Fonte: Autores, (2018).

IV. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE CONTAMINACIÓN ARTIFICIAL. TÉCNICA OPERATORIA

La técnica operatoria del procedimiento de contaminación propuesto, consta de siete pasos:

1 - Se lava el aislador cuidadosamente con detergente u otra sustancia apropiada y se enjuaga posteriormente con agua corriente para eliminar cualquier traza de grasa y/o polvos.

2 – Se introduce el aislador en un horno eléctrico a una temperatura de 50 - 60°C.

3 – Posteriormente se pone el aislador en la posición de ensayo y se le deposita una capa de contaminante en su superficie, utilizando un pulverizador manual a una distancia entre 20 - 40 cm desde la salida del pulverizador y el borde de la aleta del aislador y agitando la solución constantemente para lograr la mayor disolución de sus componentes.

4 – Se deja reposar y enfriar la capa contaminante por un tiempo de 10 a 15 minutos.

5 - Se repiten las instrucciones establecidas en el paso 2.

6 – Se coloca el aislador en la posición de ensayo y se procede a depositar la segunda capa de contaminante tal y como se explica en el paso 3.

7 – Finalmente el aislador debe estar en reposo durante 24 horas antes de proceder al lavado de su superficie y realizar las mediciones y cálculos correspondientes.

V. CONCLUSIONES

1. Las mediciones, procesamiento estadístico e interpretación de los resultados realizados muestran como variante más apropiada para simular los niveles de contaminación natural existentes en nuestro país, la que consiste en añadir 1,2 g, 3,2 g, 8,0 g y 16,2 g de sustancia activa para la preparación de las soluciones 1, 2, 3, y 4 respectivamente. Todas con la adición de 40 g. de caolín como sustancia inerte y la deposición de dos capas de contaminante sobre la superficie de los aisladores.

2. Se elabora un procedimiento de contaminación artificial donde se detalla la técnica operatoria a realizar. Como aspectos importantes se destacan la aplicación de una capa de contaminación base para facilitar la deposición posterior y la necesidad de contar con personal especializado que extirpe los cuidados para lograr una correcta aplicación del contaminante.

3. La simulación y representatividad de las condiciones naturales de contaminación en los ensayos de laboratorio significa realizar una correcta ponderación del comportamiento de diferentes tipos de aisladores en distintos niveles de contaminación, lo que se traduce en un impacto económico beneficioso para el sector eléctrico y para el país.

VI. RECOMENDACIÓN

Utilizando como soporte estadístico las mediciones ejecutadas, se recomienda continuar ampliando el universo de mediciones en otros tipos de aisladores de diferentes configuraciones, para perfeccionar, aun más, la reproducción de las condiciones reales de operación en el laboratorio.

VII. REFERENCIAS

- [1] Fernando M. and Gubanski S. **Performance on Nonceramic Insulator under Tropical Field Conditions**, IEEE on Power Delivery, Vol. No. 1, 2000.
- [2] Kim S-H and Hackman R. **Effects on saline-water flow rate and air speed on leakage current in RTV coatings**. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 10 No. 4 October 1995, p.p. 1956-1963.
- [3] Gorur R.S. Chang, J.W. Amburguey O.G. **Surface hydrophobicity of polymers used for outdoor insulation**. IEEE Transactions on Power delivery, Vol. 5, No 4, 1990, p.p. 1923-1928.
- [4] Koshino Y. and et. Al. **Recovery Behaviour of Hydrophobicity of silicone Rubber for Polymer Insulator Housing Deposited with Contaminant**. Transaction on IEE Japan. Vol. 121-A, No.9, 2001.
- [5] IEC 61109: 1992. **Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000v**. Definitions, test methods and acceptance criteria.

[6] ANSI/IEEE 1024. **Recommended practice for specifying distribution composite insulators (suspension type).**

[7] ANSI C29.11. **Composite suspension insulators for overhead transmission lines with voltage greater than 1000 V.**

[8] IEC 60507 “Artificial pollution test on high voltage insulator to be used ac systems”, 1991.

[9] CIGRE Insulator Pollution Monitoring. **CIGRE Task Force 33.04.03 Electra No.152**, February 1994, p.p. 79-90.

[10] Sigarroa, A. **Biometría y Diseño Experimental. Parte 1 y 2.** Edición Cubana 1985.

[11] Castro F. M., González G. R, Cuervo L. H., Durán V. J.; **Mapa de niveles de contaminación del aislamiento de la República de Cuba:** trabajo experimental (I), Revista Ingeniería Energética, Vol.XIII, No.3, 1992. ISSN:0534-2608.

Faults Diagnostic using Hopfield Artificial Neural Network in front of Incomplete Data

Raquelita Torres Cabeza¹, Orestes Llanes Santiago², Egly Barrero Viciado³ and Valery Moreno Vega⁴

^{1,2,3,4} Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría (CUJAE). Havana, Cuba.

Email: rtorresc@electrica.cujae.edu.cu, orestes@electrica.cujae.edu.cu, egly@electrica.cujae.edu.cu, valery@electrica.cujae.edu.cu

Received: December 01th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: February 01th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



In this work, Hopfield Artificial Neural Network's performance in faults diagnostic in industrial process is evaluated when there is missing data. The diagnostic of two classes with different levels of overlapping data is done. As main result, Hopfield has a good performance in the implemented tests getting over architectures like the Probabilistic Neural Network, that's why it is a good option to use it in faults diagnostic.

Keywords: Incomplete data, Faults diagnostic, Hopfield artificial neural network.

Diagnóstico de fallos empleando una red neuronal artificial Hopfield ante datos incompletos

RESUMO

En este trabajo, el rendimiento de la Red Neuronal Artificial de Hopfield en el diagnóstico de fallas en procesos industriales se evalúa cuando faltan datos. Se realiza el diagnóstico de dos clases con diferentes niveles de datos superpuestos. Como resultado principal, Hopfield tiene un buen desempeño en las pruebas implementadas superando arquitecturas como la Red Neuronal Probabilistic, por eso es una buena opción usarlo en el diagnóstico de fallas.

Palavras Chaves: Datos incompletos, diagnóstico de fallas, red neuronal artificial Hopfield.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el diagnóstico de fallos ha adquirido gran importancia en procesos de ingeniería debido a las ventajas potenciales que pueden obtenerse en la reducción de costos de mantenimiento y reparación, el mejoramiento de la productividad y el aumento de la seguridad y disponibilidad de los procesos industriales [16]. Una rápida detección e identificación de los fallos que afectan a un proceso puede ayudar a tomar decisiones correctas y reducir el daño que estos pueden ocasionar al sistema, por lo que las técnicas de diagnóstico permiten mejorar no sólo la eficiencia del proceso, sino además, la fiabilidad de los sistemas [11].

Frecuentemente en los procesos industriales cuando un SCADA adquiere los datos en tiempo real provenientes de cualquier subproceso, puede suceder que haya pérdida de información, o sea, los datos característicos de estos procesos se encuentran incompletos debido a problemas en el canal de medición, perturbaciones externas y otras razones [1][2][4][8]

[15][18]. Los métodos de diagnóstico de fallos basados en datos históricos se ven afectados por esta problemática que a menudo se presenta en las industrias, de ahí la necesidad que el diagnóstico sea robusto, evitando así falsas alarmas y clasificaciones erróneas del estado del sistema que conllevan la pérdida de confiabilidad en el sistema de diagnóstico [11-13].

Las redes neuronales artificiales (RNA) representan una de las herramientas más utilizadas dentro de las técnicas basadas en datos históricos, debido a sus resultados en la clasificación correcta de patrones de fallos provenientes de los procesos industriales [13] y a la robustez que presentan respecto a datos incompletos [11]. Ellas proveen una interesante y útil alternativa para los métodos clásicos porque son capaces de manejar situaciones complejas que presentan gran dificultad para los algoritmos determinísticos. Además, son capaces de operar con problemas no lineales y una vez entrenadas pueden realizar predicciones y generalizaciones con una gran confiabilidad [11].

Dentro de los diferentes modelos de redes neuronales se encuentra la RNA Hopfield desarrollada por John Hopfield en el

año 1982, basándose en los modelos de redes de McCulloch y Pitts y la Red Neuronal Probabilística desarrollada por Donald F. Specht en 1989, que se basa en la regla de clasificación Bayesiana aplicando el método de Parzen con Kernel Gaussiano [5], [10]. Una de las aplicaciones principales de estas redes está en el reconocimiento y clasificación de patrones, por lo que pueden ser empleadas en el diagnóstico de fallos [14].

La red Hopfield constituye una interesante arquitectura a utilizar para el reconocimiento y clasificación de patrones en el diagnóstico de fallos de un sistema por su rápida capacidad computacional en virtud de la naturaleza altamente paralela del proceso de convergencia y sus ventajas referentes a su funcionamiento como memoria asociativa.

En este trabajo se diseña un sistema de diagnóstico de fallos basado en estos modelos de redes neuronales artificiales para evaluar el desempeño de estas arquitecturas ante datos incompletos cuando son entrenadas con diferentes niveles de pérdida de información de los datos en diferentes situaciones, con el objetivo de lograr un sistema de diagnóstico más robusto y confiable.

El trabajo se organiza como sigue, en la sección II se presenta la RNA Hopfield, la Red Neuronal Probabilística y los aspectos necesarios para sus correspondientes diseños entrenamientos. Posteriormente en la sección III se describen las diferentes situaciones en las que se encuentran los datos a emplear y el diseño de las arquitecturas. La sección IV está dedicada al diseño de experimentos. En la sección V se discuten los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

II. MODELOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Las RNA constituyen un sistema de procesadores elementales interconectados, que realizan funciones tales como: aprendizaje, memorización, generalización o abstracción de características esenciales, representando de esta forma una estructura distribuida, de procesamiento paralelo [9].

En las redes neuronales se define el aprendizaje como el proceso mediante el cual se produce el ajuste de los parámetros libres de la red a partir de estimular el entorno que rodea a la misma. En la mayoría de las ocasiones el aprendizaje consiste simplemente en determinar un conjunto de pesos sinápticos que permita a la red realizar correctamente el tipo de procesamiento deseado.

Existen dos tipos básicos de aprendizaje: el supervisado y el no supervisado. Ambas modalidades pretenden estimar funciones entrada-salida multivariables o densidades de probabilidad, pero mientras que en el aprendizaje supervisado se proporciona cierta información sobre estas funciones (como la distribución de las clases, etiquetas de los patrones de entrada o salidas asociadas a cada patrón), en el no supervisado no se proporciona información alguna. Las reglas de aprendizaje supervisadas suelen ser computacionalmente más complejas, pero también más exactos sus resultados [7][9]

II.1 RED NEURONAL HOPFIELD

Uno de los modelos de redes realimentadas más populares es el modelo Hopfield, que cuenta con el interés añadido de que su análisis y aplicación fue una de las causas del renacimiento de los sistemas neuronales artificiales a principios de los años ochenta. La RNA Hopfield se divide en dos modelos: el modelo discreto y el modelo continuo [3][6][7][9][17][20].

En el caso del modelo discreto se aprovechan las ventajas que ofrece el funcionamiento de la red como memoria asociativa para el reconocimiento y clasificación de patrones. Este modelo resuelve la limitante que tienen otras arquitecturas como Perceptrón Multicapa y Redes de Base Radial. Estas requieren de un número elevado de muestras de entrenamiento para la correcta clasificación, mientras que Hopfield no necesita de un gran número de muestras para el entrenamiento, debido a su funcionamiento como memoria asociativa [20].

La arquitectura consiste en una red monocapa, ver Figura 1, donde cada neurona se conecta con todas las demás.

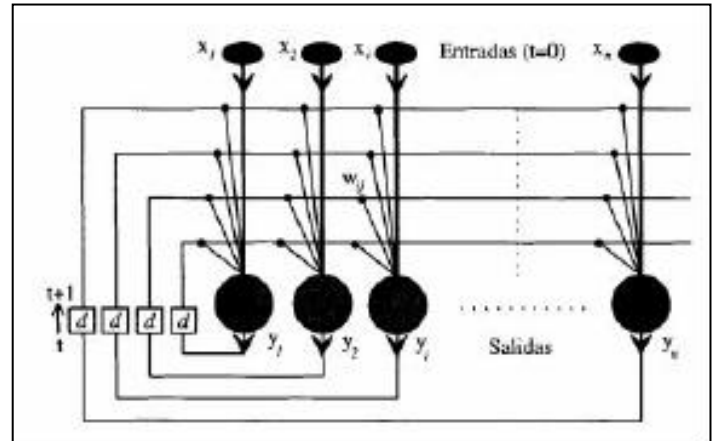


Figura 1: Arquitectura Hopfield.

Fuente: Los Autores, (2018).

La ecuación que caracteriza a la red es (1) [9].

$$y_i(t) = f(h_i(t)) = f\left(\sum_j W_{ij}X_j(t) - \theta_i\right) \quad (1)$$

donde:

W_{ij} : peso sináptico entre la neurona i y la neurona j ;

X_j : entrada j de la red;

θ_i : umbral de disparo correspondiente a la neurona i ;

h_i : campo local correspondiente a la neurona i ;

$f(\cdot)$: función de activación (generalmente función signo);

y_i : salida i de la red.

Esta red presenta un aprendizaje no supervisado, de tipo Hebbiano. La regla de aprendizaje que se define como regla de Hebb debe encontrar el conjunto de pesos sinápticos W que hacen que la red pueda almacenar como estados estables un conjunto de datos dado [6][9].

El modelo Hopfield opera como una memoria asociativa o denominada también memoria direccionable por contenido (Content Addressable Memory (CAM)) pues está ideada para asociar un patrón de entrada consigo mismo ya que si se presenta en la entrada un patrón almacenado en la memoria, la red ofrece como salida el propio patrón; de lo contrario, si no está almacenado, la red evoluciona hasta generar el patrón más parecido, lo cual permite separar y clasificar en grupos los diferentes estados del sistema [9].

En general, una red Hopfield, en cada iteración $iter$, pasa de un estado $x(iter)$ a otro estado $x(iter + 1)$. El proceso finaliza cuando se alcanza un estado estable o punto fijo de la red x^* , es decir, un estado que cumpla la siguiente condición a partir de un cierto $iter$

$$x(iter + 1) = x(iter) \equiv x^* \quad (2)$$

pues ello supondrá que la salida de la red ya no cambia, es decir, que la red se ha estabilizado. En ese momento se puede suponer que la red neuronal ha acabado de procesar el patrón original procedente del exterior $x(0)$, siendo x^* la respuesta final que proporciona [9].

En la fase de ejecución existen diferentes formas de actualizar el estado de una neurona, también conocidas como dinámicas de las neuronas de la red. Una primera forma es la dinámica asíncrona o modo serie, que consiste en que en un instante de tiempo solamente una neurona actualiza su estado y la otra forma es la dinámica síncrona o modo paralelo en la cual todas las neuronas de la red actualizan su estado en el instante *iter* [9].

Se determinó utilizar la dinámica de activación asíncrona por las características que esta ofrece [6][9], por lo que en cada instante de tiempo se activa sólo una neurona y el orden seleccionado para la actualización de las neuronas es 1, 2, ...,N, donde N es la cantidad de neuronas de la red.

La función de activación empleada en esta arquitectura es la función signo [9].

II.2 RED NEURONAL PROBABILÍSTICA

La Red Neuronal Probabilística (Probabilistic Neural Network (PNN)) es una RNA semi-supervisada, perteneciente a la familia de Redes Neuronales de Base Radial, la cual opera basada en el clasificador de Parzen y su aplicación a la estadística bayesiana.

Este modelo de red neuronal, debido a su funcionamiento como clasificador, se aplica en muchas ocasiones en el reconocimiento y clasificación de patrones, obteniendo buenos resultados [10], por lo cual puede ser aplicada en el diagnóstico de fallos.

La arquitectura consta de cuatro capas, ver Figura 2, una capa de entrada, la cual consiste en *d* neuronas (dimensión de los datos), una capa de datos, la cual consiste en N_i neuronas, una por cada vector representativo de las clases, una capa sumatoria de *k* neuronas, donde *k* es el número de clases y una capa de decisión, la cual consiste en una neurona [5][10].

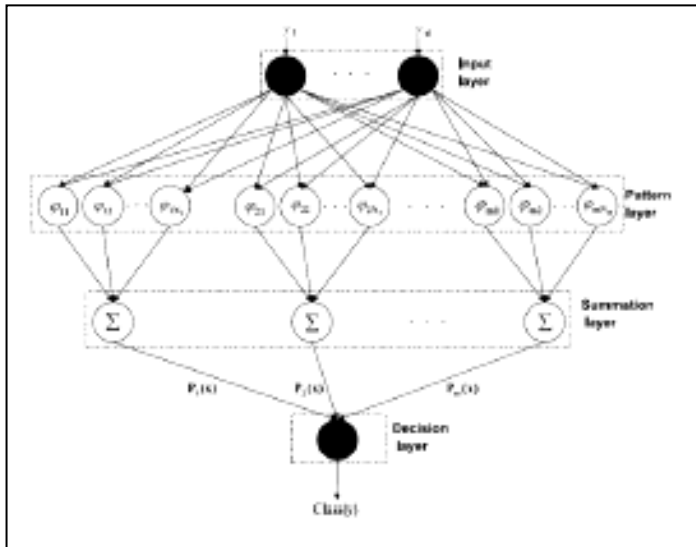


Figura 2: Arquitectura de la Red Neuronal Probabilística.

Fuente: Los Autores, (2018).

A diferencia del proceso de aprendizaje que se lleva a cabo en la mayoría de las Redes Neuronales Artificiales, en el cual se

realiza un ajuste de los parámetros: pesos y bias, en el caso de PNN no es necesario realizar ningún ajuste de pesos.

En este tipo de red sólo se determina a los patrones de salida mediante la comparación y el cálculo de las distancias de cada uno de los vectores de datos de entrada con cada uno de los datos representativos de cada una de las clases existentes. El algoritmo de entrenamiento consiste en adicionar una neurona en la capa de datos por cada dato de entrenamiento, adaptando sus pesos de entrada para que coincidan ambos, es decir, que los datos característicos de cada clase se correspondan con los datos de entrenamiento [5].

Cuando a la red se le presenta un vector a ser clasificado, la segunda capa se ocupa de calcular las distancias desde el vector de entrada hasta cada uno de los datos que caracterizan a las clases a través de la función φ_{ij} la cual funciona de acuerdo al kernel normal estándar utilizado como la función de densidad de probabilidad como se muestra en (3).

$$\varphi_{ij}(y) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} \sigma^d} \exp \left[-\frac{(y - X_{ij})^T (y - X_{ij})}{2\sigma^2} \right] \quad (3)$$

donde σ es el parámetro de dispersión, el cual toma valor entre 0 y 1 que debe ser definido por el diseñador y X_{ij} es el dato *j*-ésimo característico de la clase *i*.

En la tercera capa el término $P_i(y)$ indica la probabilidad condicional o verosimilitud de que el dato de entrada pertenezca a la *i*-ésima clase y es obtenido mediante (4).

$$P_i(y) = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \varphi_{ij}(y) \quad (4)$$

donde N_i constituye el total de datos de la clase *i*.

En la cuarta capa, que se corresponde con la capa de salida, el vector de entrada será asignado a la clase con mayor verosimilitud, cumpliendo con (5).

$$Clase(y) = \arg \max_i (P_i(y)) \quad (5)$$

donde Clase(y) es la clase a la que el dato de entrada pertenece [5][10].

III. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y DISEÑO DE LAS ARQUITECTURAS

Los datos empleados en este trabajo se generaron a partir de los datos de Fisher que se encuentran en las librerías de Matlab y para el diseño de las arquitecturas se utilizó este mismo asistente matemático y los aspectos descritos en la sección anterior.

III.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Se emplearon dos conjuntos de datos en determinadas situaciones, con los objetivos de comprobar el correcto diseño de ambas arquitecturas, además, evaluar el comportamiento de las mismas ante diferentes situaciones.

El primer conjunto representa cuando las clases se encuentran totalmente separadas, ver Figura 3 y el segundo cuando están mezcladas, ver Figura 4.

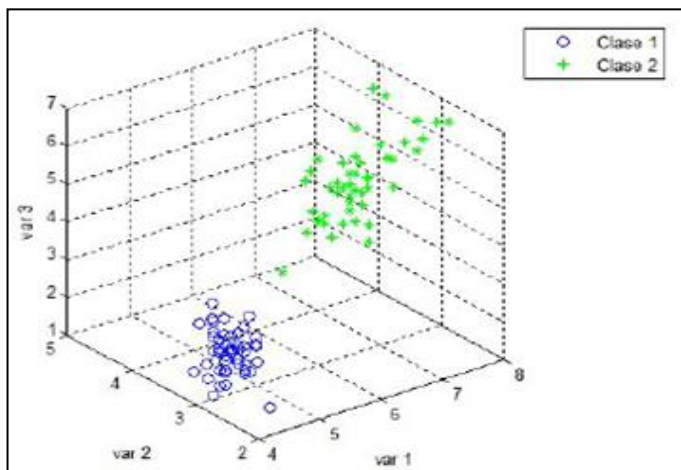


Figura 3: Clases totalmente separadas.

Fuente: Los Autores, (2018).

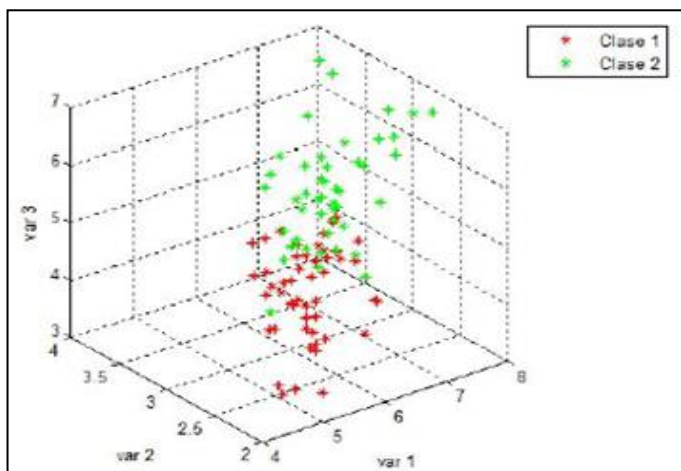


Figura 4: Clases mezcladas.

Fuente: Los Autores, (2018).

En cada caso, hay tres variables, dos clases y cada una de ellas tiene 50 datos, para un total de 100 muestras por cada conjunto de datos.

III.2 DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE HOPFIELD

Generalmente en el empleo de las RNA en el diagnóstico de fallos, el número de neuronas en la capa de entrada coincide con la cantidad de variables que se midan en el proceso, en este caso Hopfield es una arquitectura monocapa y tendrá tres neuronas en la capa de entrada pues los conjuntos de datos presentan tres componentes principales. En su única capa es donde se realiza el procesamiento y a la salida se brinda el dato recuperado que tiene la misma dimensión que el vector de entrada por lo que esta capa también está compuesta por tres neuronas.

Debido a que la red solamente proporciona un conjunto de datos a su salida, se necesita un mecanismo de clasificación posterior que permita agrupar los datos en las clases a las que pertenecen; para llevar a cabo este mecanismo, una vez que se obtuvieron todas las salidas de la red, se implementó el siguiente algoritmo:

- 1) Se determina la media correspondiente a los datos que representan a cada clase.
- 2) Se halla la distancia Euclídea de cada dato de salida (ofrecido por la red) con ese vector de media.
- 3) Se determina la menor distancia.

- 4) Se clasifica el dato en la clase donde se obtuvo la mínima distancia.

Se utilizó la distancia Euclídea por su sencillez y por ser la distancia más empleada en las redes neuronales artificiales [9].

III.3 DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE PNN

Se determinó utilizar para el cálculo de la densidad de probabilidad, el kernel Gaussiano, que constituye el kernel normal estándar más utilizado [5][10].

El parámetro de dispersión toma valor entre 0 y 1, por lo que se seleccionó $\sigma = 0.5$

Como el número de neuronas en la capa de entrada coincide con la cantidad de variables que se midan en el proceso, al igual que Hopfield, PNN tiene tres neuronas en la capa de entrada, en la capa de datos tiene 100 neuronas, debido a que son 2 clases, constituidas por 50 datos, la capa sumatoria presenta dos neuronas porque son dos clases las que se diagnostican y la capa de decisión está constituida por una sola neurona que brinda la clase a la que pertenece el dato de entrada.

IV. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se diseñaron dos tipos de experimentos:

- Entrenando las redes con datos diferentes a los de la simulación.
- Entrenando las redes con datos incompletos y simulando con el conjunto original.

El diseño de estos experimentos tiene como objetivo, evaluar la capacidad de generalización de las redes ante la presencia de nuevos datos.

Para la realización del primer experimento se entrenan las arquitecturas empleando el método de validación cruzada, dividiendo cada subconjunto en 10 particiones [19].

Para realizar el segundo experimento se entrenan las arquitecturas con el conjunto original de datos pero introduciendo varios porcentajes (10%, 20% y 30%) de pérdida de información en determinadas variables y determinados tiempos de muestreo y se simulan las redes con todo el conjunto de datos (100 muestras).

En [1][8][18] reflejan diferentes métodos para estimar los datos incompletos debido a la pérdida de los mismos como son: (1) reemplazar los valores perdidos por cero, método no recomendable pues el cero indica la ausencia de características esenciales en determinados procesos y en este caso puede representar un fallo; (2) reemplazarlos por la media de la variable que se encuentra incompleta del conjunto de datos original, este método es el que comúnmente se utiliza por los resultados que brinda y el empleado en este trabajo; (3) eliminar los datos donde al menos exista un valor incompleto de algunas de las variables, en este caso se trabajará con menos datos de los disponibles y (4) desarrollar un modelo que reconstruya los valores perdidos atendiendo a la relación entre las variables.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos aplicando el método de validación cruzada se muestran en la Tabla 1, donde para cada uno de los conjuntos de datos, se obtiene el porcentaje de error de clasificación de las arquitecturas empleadas.

Tabla 1: % de error de clasificación n con entrenamiento con validación Cruzada.

Arquitecturas	Conjunto 1	Conjunto 2
Hopfield	0%	10%
PNN	0%	18%

Fuente: Los Autores, (2018).

Los resultados para el experimento con datos incompletos se muestran en las Tablas 2 para cuando las clases están separadas y en III cuando están mezcladas, donde para cada uno de estos casos, se obtiene el porcentaje de error de clasificación de las arquitecturas ante el 10%, 20% y 30% de pérdida de información.

Para el conjunto 1:

Tabla 2: % de error de clasificación n con diferentes % de datos Incompletos con clases separadas.

Arquitecturas	10%	20%	30%
Hopfield	0%	0%	0%
PNN	0%	0%	0%

Fuente: Los Autores, (2018).

Tabla 3: % de error de clasificación n con diferentes % de datos incompletos con clases mezcladas.

Arquitecturas	10%	20%	30%
Hopfield	16%	16%	16%
PNN	19%	20%	19%

Fuente: Los Autores, (2018).

En los resultados obtenidos se muestra la capacidad de generalización de las arquitecturas de redes neuronales ante datos nuevos y su desempeño ante la presencia de varios porcentajes de datos incompletos en el entrenamiento. En el caso de los conjuntos de datos donde las clases están separadas, el porcentaje de error de clasificación es cero como era de esperarse, por lo que se considera que el diseño de las redes es correcto. Se puede observar que en todos los casos el porcentaje de error de Hopfield es menor o igual que el de PNN, teniendo mejores resultados en la clasificación de las clases, por lo que Hopfield representa una arquitectura eficiente con resultados satisfactorios en el reconocimiento y clasificación de patrones y se considera adecuada para emplearla en el diagnóstico de fallos en procesos industriales.

VI. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en cada experimento, el desempeño de Hopfield ante las diferentes situaciones que se presentaron es mejor que el de la Red Neuronal Probabilística, presentando buena robustez ante datos incompletos, siendo esta una característica deseada en un sistema de diagnóstico de fallos. Por lo cual la red neuronal artificial Hopfield puede ser aplicada con éxito al diagnóstico de fallos.

Para futuras investigaciones se desea utilizar otras distancias además de la Euclídea en el mecanismo de clasificación de Hopfield con el objetivo de comprobar si la distancia empleada afecta o no la clasificación, utilizar otros métodos para estimar datos incompletos y continuar comparando con otras arquitecturas.

VII. REFERENCIAS

- [1] Baraldi, P.; Di Maio, F; Genini, D. and Zio, E., "Reconstruction of missing data in multidimensional time series by fuzzy similarity," Applied Soft Computing, vol. 26, pp. 1-9, 2015.
- [2] Chen, Haibo; Grant-Muller, Susan; Mussone, Lorenzo and Montgomery, Frank, "A study of Hibrid Neural Network Approaches and the Effects of Missing Data on Traffic Forecasting," Neural Computing & Applications, vol. 10, pp. 277-286, 2001.
- [3] Elhadef, Mourad, "A Modified Hopfield Neural Network for Diagnosing Comparison Based Multiprocessor Systems Using Partial Syndromes," 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems, vol. 11, Abu Dhabi, Emiratos Arabes Unidos, 2011.
- [4] He, Xiao; Wang, Zidong and Zhou, D.H, "Robust fault detection for networked systems with communication delay and data missing," Automatica, vol. 45, pp. 2634-2639, 2009.
- [5] Khashei, Mehdi and Bijari, Mehdi, "Hybridization of the probabilistic neural networks with feed-forward neural networks for forecasting," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 25, pp. 1277- 1288, 2012.
- [6] Kumar, Somesh and Pratap Singh, Manu, "Study of Hopfield neural network with sub-optimal and random GA for pattern recalling of English characters," Applied Soft Computing, vol. 12, pp. 2593-2600, 2012.
- [7] Liukkonen, Mika; Havia, Elina and Hiltunen, Yrjo, "Computational intelligence in mass soldering of electronics - A survey," Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 9928-9937, 2012.
- [8] Markey, Mia K.; Tourassi, Georgia D.; Margolis, Michael and DeLong, David M., "Impact of missing data in evaluating artificial neural networks trained on complete data," Computers in Biology and Medicine, vol. 36, pp. 516-525, 2006.
- [9] Martin del Brio, Bonifacio and Sanz Molina, Alfredo, "Redes Neuronales y Sistemas Difusos," RA-MA, 2da edicion, 2001.
- [10] Miguez, Roberto; Georgiopoulos, Michael and Kaylani, Assem, "GPNN: A genetically engineered probabilistic neural network," Nonlinear Analysis, vol. 73, pp. 1783-1791, 2010.
- [11] Patan, Krzysztof, "Artificial Neural Networks for the Modelling and Fault Diagnosis of Technical Processes," 2008.
- [12] Patan, Krzysztof; Witczak, Marcin and Korbicz, Josef, "Towards Robustness in Neural Network Based Fault Diagnosis," Int. J. Appl. Math. Comput. Sci, vol. 18, no. 4, pp. 443-454, 2008.
- [13] Simani, Silvio; Fantuzzi, Cesare and Patton, Ron J., "Model Based Fault Diagnosis in Dynamic Systems using Identification Techniques," 2002.

- [14] Tatem, A.J.; Lewis, H.G.; Atkinson, P.M. and Nixon, M.S., “**Superresolution land cover pattern prediction using a Hopfield neural network**,” Remote Sensing of Environment, vol. 79, pp. 1-14, 2002.
- [15] van Lint, J.W.C.; Hoogendoorn, S.P. and van Zuylen, H.J., “**Accurate freeway travel time prediction with state-space neural networks under missing data**,” Transportation Research Part C, vol. 13, pp. 347-369, 2005.
- [16] Venkatasubramanian, Venkat; Rengaswamy, Raghunathan; Yin, Kewen and Kavuri, Surya N., “**A review of process fault detection and diagnosis**,” Computers and Chemical Engineering, 2003.
- [17] Wen, Ue-Pyng; Lan, Kuen-Ming and Shih, Hsu-Shih, “**A review of Hopfield neural networks for solving mathematical programming problems**,” European Journal of Operational Research, vol. 198, pp. 675-687, 2009.
- [18] Wu, Xuedong; Wang, Yaonan; Mao, Jianxu; Du, Zhaoping and Li, Chunhua, “**Multi-step prediction of time series with random missing data**,” Applied Mathematical Modelling, 2014.
- [19] Yaghini, Masoud; Khoshraftar, Mohammad M. and Fallahi, Mehdi, “**A hibrid algorithm for artificial neural network training**,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 26, pp. 293-301, 2013.
- [20] Zhiqiang, Liu; Li, Zhang; Xue, Lv and Jie, Chen, “**Evaluation Method about Bus Scheduling Based on Discrete Hopfield Neural Network**,” Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, vol. 11, no. 2, pp. 77-83, 2011.



Modeling and simulation of vacuum evaporation process through graphical interfaces

Adriana Martínez Gómez¹, Patricia Atempa Rosiles², Anselmo Osorio Mirón³, Miguel V. Teco Ja-come⁴, Luis A. Sánchez Bazán⁵, Joaquín Santos Luna⁶, Alejandra Velasco Pérez⁷

^{1,2,3,5,7} Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, México. Prolongación Oriente 6 No. 1009, Col. Rafael Alvarado, C. P. Orizaba, Veracruz, México. Tel/Fax (+52) 272 72 40120

⁴ Universidad Politécnica de Huatusco, México.

⁶ Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, México.

Email: amargo.89@hotmail.com, patty_156@hotmail.com, anosorio@uv.mx, mteco@hotmail.com, mc_bazan74@hotmail.com, joasantos@uv.mx, avelasco@uv.mx

Received: November 10th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: January 15th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



This article presents the development of a software with graphical interfaces for the simulation of the evaporation process in simple and multiple effects, as part of the construction of a virtual laboratory of unitary operations in distillation and evaporation. The design and construction of the user interfaces was carried out in the QtCreator application, later the coding of the calculation algorithms was developed in the Python programming language, due to the appropriate characteristics that it presents, in Regarding the construction of graphs and methods of solving equations. The calculations carried out in the software allow the determination of temperatures and pressures, the output flows and the corresponding enthalpies; presents in graphic form the dynamic behavior of the variables incorporated in the process model. With the developed system, it is possible to perform simulations of the evaporation process in a nonstationary state for simple and multiple effects, considering solutions of sodium hydroxide, sucrose, milk, sodium chloride and sulfuric acid.

Keywords: Dynamic evaporation, graphic interfaces, virtual laboratory, programming language.

Modelado y simulación del proceso de evaporación al vacío a través de interfaces gráficas

RESUMEN

En este artículo se presenta el desarrollo de un software con interfaces gráficas para la simulación del proceso de evaporación en simple y múltiple efecto, como parte de la construcción de un laboratorio virtual de operaciones unitarias en destilación y evaporación. El diseño y construcción de las interfaces de usuario se realizó en la aplicación QtCreator, posteriormente se desarrollo la codificación de los algoritmos de cálculo en el lenguaje de programación Python, debido a las características apropiadas que presenta, en cuanto a la construcción de gráficas y métodos de solución de ecuaciones. Los cálculos que se realizan en el software permiten la determinación de temperaturas y presiones, los flujos de salida y las entalpías correspondientes; presenta en forma gráfica el comportamiento dinámico de las variables incorporadas en el modelo del proceso. Con el sistema desarrollado, es posible realizar simulaciones del proceso de evaporación en estado no estacionario para simple y múltiple efecto, considerando soluciones de hidróxido de sodio

Palabras Clave: Evaporación dinámica, interfaces gráficas, laboratorio virtual, lenguaje de programación.

I. INTRODUCCIÓN

La Evaporación es una operación unitaria en la cual se lleva a cabo el aumento de concentración de una solución de un líquido, que se denomina solvente y uno o varios solutos sólidos

disueltos en dichos solventes. Para separar estos componentes, es necesario adicionar calor en forma de vapor saturado en un lado de una superficie de contacto para que el calor latente se transfiera por conducción a través de dicha pared y por convección en el seno del líquido[1].

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. El material que se evapora circula casi siempre por el interior de los tubos. Generalmente se utiliza vapor de agua a baja presión, inferior a 3 kg/cm², y el líquido hierve a un vacío moderado, superior a 70 mm Hg aproximadamente. Al disminuir la temperatura de ebullición del líquido, aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor condensante y el líquido que hierve como consecuencia, aumenta la velocidad de transmisión de calor en el evaporador. Cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente de la ebullición del líquido se condensa y se desprende. Este método se denomina evaporación en un simple efecto. Cuando el vapor procedente de un evaporador se introduce como alimentación a la caja de vapor de un segundo evaporador, y el vapor procedente de éste se lleva después a otro, y después a un condensador, recibe el nombre de triple efecto. El método general de incrementar la evaporación por kilogramo de vapor vivo utilizando una serie de evaporadores entre la línea de vapor y el condensador recibe el nombre de evaporación de múltiple efecto [2].

Al estudiar la operación unitaria de evaporación, resulta indispensable el conocimiento de los valores que asumen las diferentes propiedades físicas y termodinámicas y el comportamiento de variables como la masa, entalpías y concentración durante el periodo en el que se evapora.

Las propiedades físicas y químicas de la solución que se está concentrando y del vapor que se separa tienen un efecto considerable sobre el tipo de evaporador que debe usarse y sobre la presión y la temperatura del proceso. Un sistema puede ser descrito en términos de un modelo simple que comprende balances de materia y entalpías asociados con los componentes del proceso; Generalmente, los evaporadores se representan por modelos matemáticos basados en balances de masa y energía.

Así el objetivo del presente trabajo es describir el comportamiento dinámico del proceso de evaporación de uno y múltiple efecto al vacío, para la construcción de un Laboratorio Virtual de Operaciones Unitarias a través del diseño y desarrollo de interfaces gráficas de usuario en un lenguaje de programación

II. METODOLOGÍA

II.1 ELEMENTOS BÁSICOS

La idea general sobre la construcción de un simulador de procesos que considere a la operación unitaria de evaporación, se basa en la disposición de equipos piloto de uno y doble efecto para la realización de prácticas experimentales con alto costo en materia prima y consumo de energía. En este sentido, el desarrollo de un laboratorio virtual permitiera la reducción de costos de operación, y la posibilidad de realizar prácticas virtuales y la simulación de la operación en tiempo real para evaluar el desempeño del equipo ante diferentes condiciones de operación.

II.2 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA, Y PROPIEDADES

Se realizó inicialmente una recopilación de datos de las propiedades físicas y termodinámicas necesarias para la construcción de modelos dinámicos que describan el comportamiento del fenómeno de evaporación en operación continua y por lotes. Estos conjuntos de datos fueron evaluados y se eligieron los que presentaron menor grado de error en un análisis de correlación. Se utilizó el programa Polymath 5.1, para

realizar las correlaciones y el análisis de regresión de diferentes órdenes. Posteriormente, se codificaron estas funciones en un lenguaje de programación, para obtener los valores de las variables necesarias en los cálculos de la simulación del proceso.

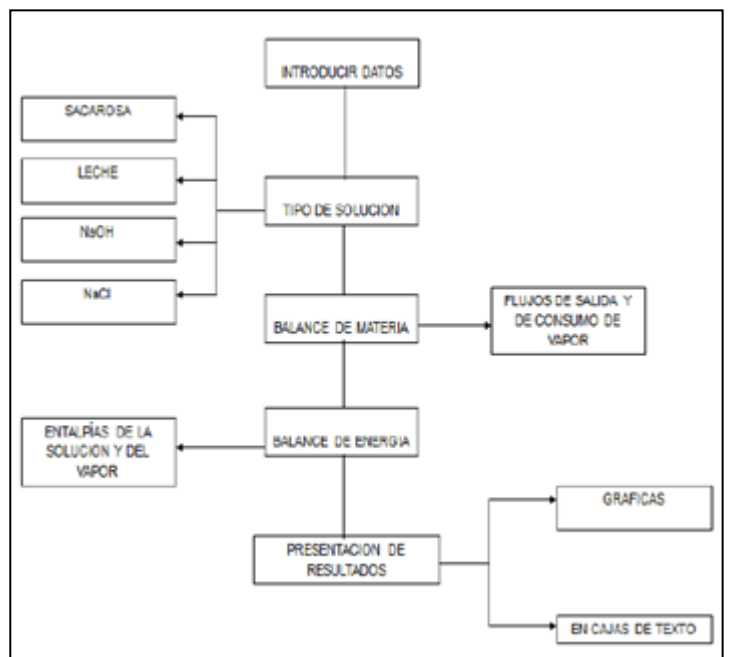
Se desplegaron los balances de materia y energía correspondientes al proceso de evaporación en uno y en múltiple efecto, para el caso en estado estacionario y para el caso dinámico.

II.3 INTERFACES GRÁFICAS DE USUARIO

Las interfaces gráficas de usuario se realizaron en el programa QtCreator, se introdujo la imagen de un evaporador, se colocaron cajas de texto en donde el usuario introducirá los datos numéricos correspondientes a los datos, variables y propiedades termodinámicas necesarias para la simulación del proceso. Posteriormente, estas interfaces se codificaron y transformaron a extensiones que el lenguaje de programación Python pudiera reconocer, para el cálculo numérico y presentación de resultados.

II.4 CÁLCULO NUMÉRICO

Se procedió a la construcción del código fuente para la solución numérica y gráfica de los modelos matemáticos, correspondientes a los balances de materia y energía. Se utilizó el método de Runge-Kutta de cuarto orden para la solución de las ecuaciones diferenciales resultantes y las correlaciones mencionadas líneas arriba. El programa de cómputo se desarrolla de acuerdo al algoritmo mostrado en la Figura 1.



Figural: Diagrama de flujo de la secuencia de cálculo.

Fuente: Los autores, (2018).

La codificación del algoritmo permite mostrar los resultados numéricos y gráficos en la interfaz de forma que el usuario puede observar los resultados numéricos, estacionarios o el comportamiento de las variables en el tiempo, según sea el caso, con la opción de guardarlos y abrirlos después con un formato de imagen.

El software desarrollado, describe el proceso de evaporación en estado estable, codificado en VisulaBasic, y en estado no estacionario, además presenta resultados en forma

gráfica de las variables de proceso, tal como la masa retenida en el evaporador, la entalpía y la concentración, como funciones del tiempo.

III RESULTADOS

La interfaz de operación, es la ventana principal desde donde se opera el programa. El usuario solo debe introducir los datos en las cajas de texto marcadas, para el caso de operación por lotes de simple efecto: concentración y temperatura del flujo de alimentación, presión del vapor saturado, área del evaporador, coeficiente de transferencia de calor y la concentración de salida deseada.

En el caso de operación continua, además se deben introducir características específicas como coeficientes de válvula y factores de geometría. Así mismo, para el inicio del cálculo numérico es necesario introducir las condiciones iniciales correspondientes a las variables de proceso representadas en las ecuaciones del modelo. El programa realiza el cálculo de las ecuaciones algebraicas necesarias para obtener los datos requeridos en la solución del modelo dinámico, y posteriormente resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales por medio del método de Runge-Kutta.

Una vez que el programa termina el cálculo, sobre el esquema del evaporador aparecen los valores numéricos de las variables calculadas, como entalpías, presiones o temperaturas y el flujo de vapor de alimentación y salida. También, es posible observar el valor numérico de la elevación del punto de ebullición que se tenga a las condiciones de operación establecidas en la simulación. Los botones de la parte derecha, en el caso de simple efecto, o en la parte de abajo, para efecto múltiple, hacen que se activen las gráficas para el análisis e interpretación del comportamiento de las variables de proceso, tal como la entalpía, la masa, la concentración, en un caso, y además, en el otro caso, la altura del líquido dentro del evaporador.

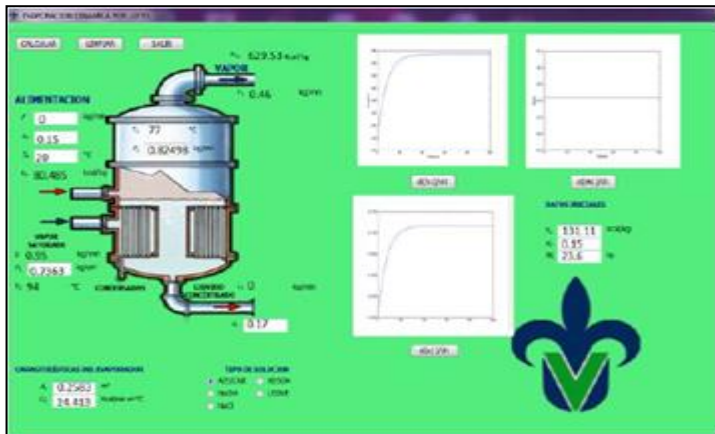


Figura 2: Interfaz gráfica de usuario de la evaporación de simple efecto en operación por lotes.

Fuente: Los autores, (2018).

Los resultados en forma gráfica de la simulación del evaporador de un solo efecto, para la operación por lotes, se presentan en forma ampliada en las Figuras 3, 4 y 5.

La entalpía de la solución a concentrar en el interior del evaporador, se muestra en la Figura 3. Mientras que, la variación de la masa del líquido en el evaporador, respecto al tiempo, se presenta en la Figura 4.

Además, en la Figura 5, se puede observar el comportamiento dinámico de la composición del líquido durante la operación del evaporador.

El análisis de los resultados gráficos que muestran los comportamientos dinámicos de las variables de proceso, permite observar y comentar que las variaciones son semejantes al comportamiento que se esperaría en forma experimental en el proceso real, bajo las condiciones establecidas en la simulación numérica.

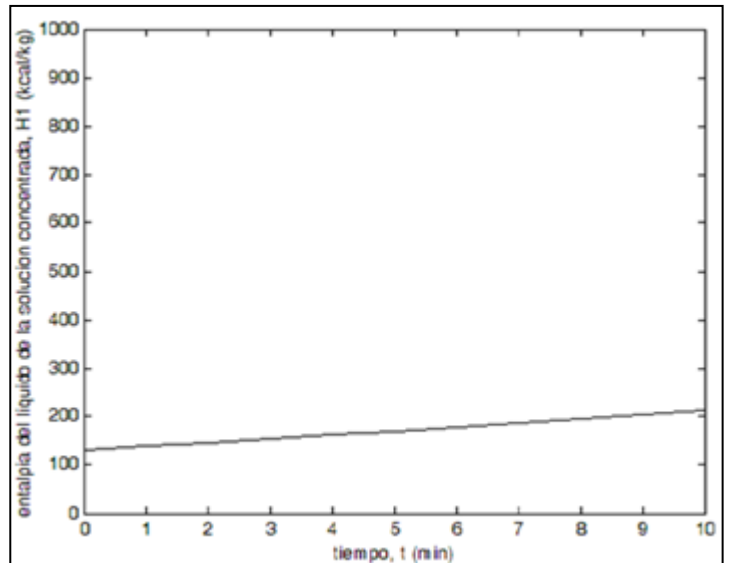


Figura 3: Gráfica entalpía del líquido en la solución contra el tiempo de procesamiento.

Fuente: Los autores, (2018).

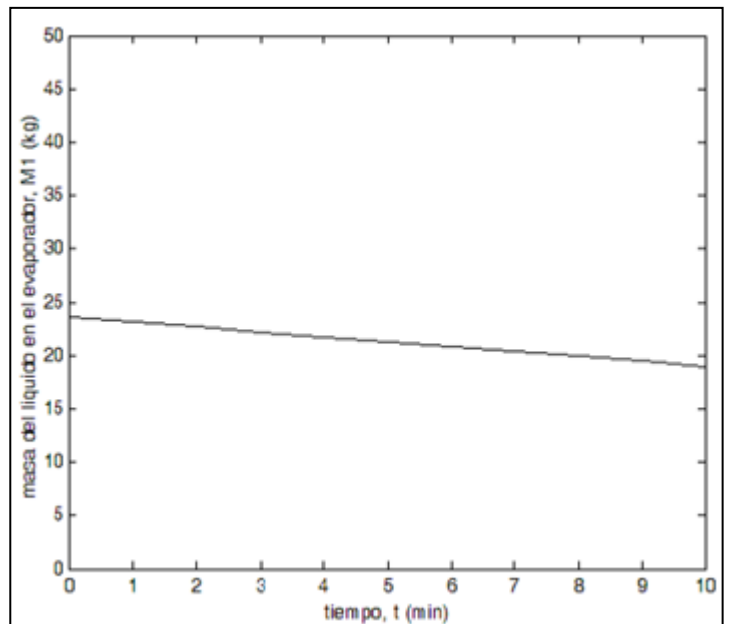


Figura 4: Gráfica masa de líquido en el evaporador contra tiempo de procesamiento.

Fuente: Los autores, (2018).

Para la operación en modo continuo, se utilizan las variables y parámetros que se muestran en la Tabla 1.

En el caso de la operación en múltiple efecto, la interfaz gráfica que se construyó para la presentación de los resultados numéricos se muestra en la Figura 6.

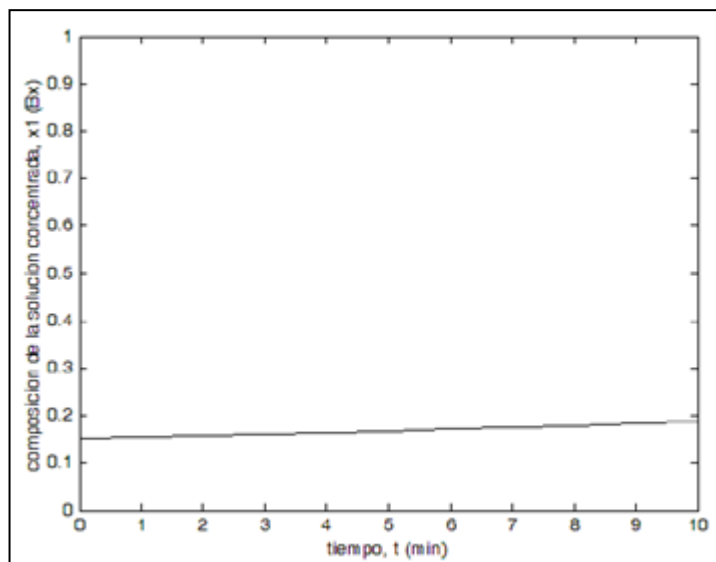


Figura 5: Gráfica composición del líquido en el evaporador contra tiempo de procesamiento.

Fuente: Los autores, (2018).

Tabla 1: Modo de operación continuo, variables y parámetros de proceso.

Pv	Presión en la cámara del evaporador
Pf	Presión en el fondo del tanque
Pe	Presión del flujo de alimentación de solución diluida
Hv	Entalpía de vapor
At	Área del evaporador
Ah	Área de transferencia de la chaqueta
ρ	Densidad del líquido
ρ_v	Densidad del vapor
U	Coefficiente global de transferencia de calor
Ts	Temperatura de condensación del vapor
Tref	Temperatura de referencia
Cp	Capacidad calorífica del líquido
Cv	Coefficientes de válvulas
f	Factor de geometría de la válvula
ML	Masa retenida
TL	Temperatura del líquido del evaporador
E	Flujo volumétrico de alimentación al evaporador
Vv	Flujo de evaporado que deja la fase líquida
V	Flujo de vapor a la salida del tanque
TG	Temperatura del líquido igual a la del vapor en la cámara

Fuente: Los autores, (2018).

Aquí se deben introducir los datos numéricos necesarios, así como las condiciones iniciales para resolver el modelo dinámico del evaporador, en cada uno de los efectos se introducen

las condiciones iniciales. Se dispone de un sistema de coordenadas para cada uno de los efectos del múltiple. En cada eje de coordenadas se muestra el comportamiento de las tres variables que constituyen el modelo matemático de la evaporación. Adicionalmente, se dispone de la opción para mostrar una sola variable con una escala apropiada, suprimiendo las otras dos.

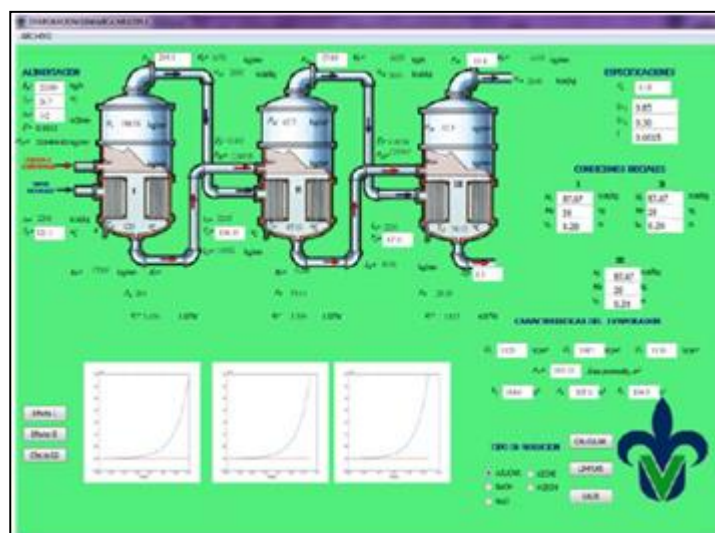


Figura 6: Interfaz gráfica para la simulación de un sistema de evaporación de triple efecto.

Fuente: Los autores, (2018).

IV. CONCLUSIONES

Las interfaces gráficas de usuario que se construyeron en la aplicación QtCreator permiten la descripción y análisis del comportamiento dinámico de las variables del proceso de evaporación para un solo efecto en operación por lotes y continua. Además, cuenta con la opción de seleccionar diferentes tipos de soluciones a concentrar.

La codificación de los algoritmos de cálculo se realizó, en el caso de estado estacionario de un solo efecto en el lenguaje de programación Visual Basic, mientras que para el estado no estacionario, tanto en un solo efecto como en múltiple, los algoritmos se codificaron en el lenguaje de programación Python, debido a las características dinámicas que presenta, para la realización de gráficas y los métodos de solución de ecuaciones diferenciales integradas que posee.

El ambiente gráfico utilizado para la simulación del proceso de evaporación en uno y múltiple efecto representa un potencial didáctico para el análisis de esta operación unitaria, contribuyendo de esta forma al proceso enseñanza-aprendizaje en la currícula de Ingeniería Química.

V AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a: Fondo Mixto (FOMIX) CONACYT-Gobierno del Estado de Veracruz por el soporte para el desarrollo de este trabajo, Proyecto: 109491.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] McCabe, W.L., Smith J. C., and Harriott P., **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**, 6ed. México, McGraw Hill, 2002.
- [2] Perry, R.H., Green D. W., Perry's. **Chemical Engineers Handbook**, 7ed. Nueva York: McGraw Hill, 1998.
- [3] Geankoplis C. J., **Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias**, 4ed. México: CECSA, 2003.

[4] Ocon J., Tojo G. **Problemas de Ingeniería Química**. Tomo I. España: Aguilar, 1979.

[5] Holland C.D., Liapis, A. I., **Computer Methods for Solving Dynamic Separation Problems**. USA: Mc Graw Hill, 1983.

[6] Luyben W. L., **Process Modelling Simulation and Control for Chemical Engineers**, 2ed. USA: McGraw Hill, 1989.

[7] Stephanopoulos G., **Chemical Process Control**. USA: Prentice Hall Inc, 1984.

[8] Alonso P.A., López J., Salado M., Rocha J.A. **Simulación de Procesos en Ingeniería Química**. México: Plaza y Valdes Editores, 2000.

[9] "Qt-Creator". Octubre 2010;
<http://www.glatelier.org/2009/05/qt-creator-desarrollando-aplicaciones-rapidamente/> .



Development of an airline model with non-uniform parameters for coordination studies of isolation

Edgar Alejandro Uribe Guer¹, Germán Moreno O.²

¹Empresas Públicas de Medellín (EPM) – Medellín, Colombia.

²Universidad de Antioquia (UdeA) - Cl. 67 #53 - 108, Medellín, Antioquia, Colombia.

Email: edgar.uribe@epm.com.co, gmoreno@udea.edu.co

Received: November 10th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: January 15th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The modeling of the corona effect, the stresses induced by indirect atmospheric discharges and the non-uniformity of parameters in transmission lines have been modeled efficiently, usually separately, in studies that involve knowledge of the response of lines to transient disturbances. In this article, we present a line model that includes these phenomena simultaneously and with a high degree of precision. The dependence on the frequency of the parameters of the transmission line was considered. The consolidated model makes use of the wide variety of simulation structures available today, appropriately identifying the critical aspects in each of the phenomena to be evaluated. Sensitivity analyzes were carried out and evaluations of the main characteristics of each of the phenomena with the aim of validating the responses obtained before a set of selected disturbances. Good concordance was observed between the answers obtained and the expected theoretical answers.

Keywords: Corona effect, Indirect atmospheric discharges, transmission lines.

Desarrollo de un modelo de línea aérea con parámetros no uniformes para estudios de coordinación de aislamiento

RESUMEN

El modelamiento del efecto corona, las tensiones inducidas por descargas atmosféricas indirectas y la no uniformidad de parámetros en líneas de transmisión han sido modeladas de forma eficiente, usualmente de forma separada, en estudios que involucran el conocimiento de la respuesta de líneas ante perturbaciones transitorias. En el presente artículo, se presenta un modelo de línea que incluye estos fenómenos de forma simultánea y con un alto grado de precisión. La dependencia con la frecuencia de los parámetros de la línea de transmisión fue considerada. El modelo consolidado hace uso de la amplia variedad de estructuras de simulación disponibles en la actualidad, identificando apropiadamente los aspectos críticos en cada uno de los fenómenos a evaluar. Análisis de sensibilidad fueron llevados a cabo y evaluaciones de las principales características de cada uno de los fenómenos con el ánimo de validar las respuestas obtenidas ante un conjunto de perturbaciones seleccionadas. Buena concordancia fue observada entre las respuestas obtenidas y las respuestas teóricas esperadas.

Palabras Claves: Efecto corona, Descargas atmosféricas indirectas, Línea de transmisión.

I. INTRODUCCIÓN

Los incrementos en las capacidades de procesamiento de los equipos empleados para el cálculo de transitorios electromagnéticos y la disponibilidad de modelos más precisos de los diferentes fenómenos de interés en un estudio de coordinación

de aislamiento, han desencadenado la creación de estructuras de simulación para elementos como líneas, aisladores, generadores, etc, mucho más complejas pero también más ajustadas a la realidad, y por consiguiente más confiables.

La forma habitual de modelar una línea de transmisión está basada en una serie de suposiciones o simplificaciones de la

disposición física y el comportamiento estático y dinámico de la línea bajo análisis. La revisión del modelo empleado para el efecto corona, la no uniformidad de parámetros de propagación y la inclusión del desempeño de la línea ante tensiones inducidas ocasionadas por descargas atmosféricas, es el núcleo del presente artículo.

En las primeras secciones del documento se abordan los diferentes modelos de los tres fenómenos analizados. En las siguientes secciones se evalúa la sensibilidad de la respuesta del modelo de línea construido ante variaciones de los parámetros internos del modelo, y ante alteraciones en la amplitud y la frecuencia de las perturbaciones consideradas. Además se efectúan los ajustes necesarios en cuanto a adecuación de las condiciones de simulación de los tres fenómenos de forma simultánea.

Los resultados obtenidos y los tiempos de procesamientos de información tomados por el modelo de línea para las simulaciones llevadas a cabo en relación con modelos típicos de línea, permiten evaluar bajo qué condiciones es apropiado emplear el modelo construido o cuando es mejor emplear las estructuras habituales de modelamiento.

II. MODELAMIENTO DEL EFECTO CORONA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS

El efecto corona cuenta con un variado conjunto de modelos [2] que permiten introducir el fenómeno apropiadamente en simulaciones que involucran la respuesta de una línea de transmisión. Sin embargo, todos los modelos disponibles tienen como objetivo primordial representar la característica v-q (ver Figura 1) de los conductores que componen la línea.

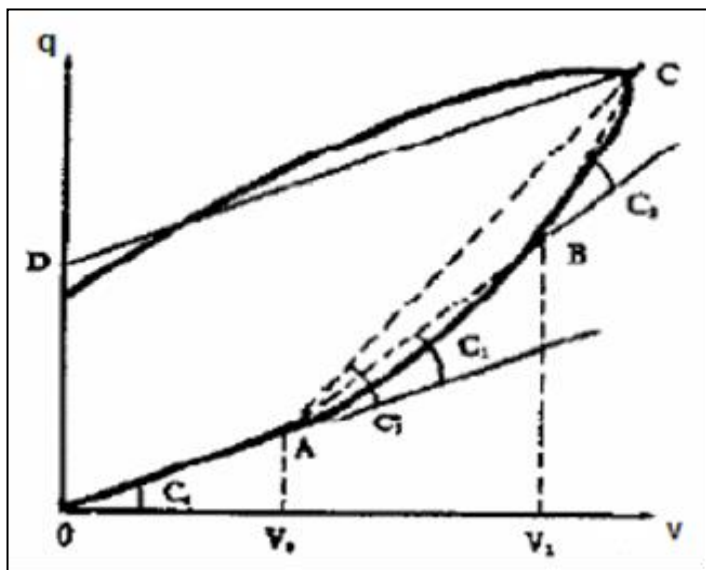


Figura 1: Curva v-q.
Fuente: Los Autores, (2017).

C_0 = Capacitancia Geométrica de la línea. V_0 = Voltaje de Ignición del Efecto Corona. C_1, C_2, C_1' = Capacitancias incrementales. 0, A, B, C, D= Puntos de control de ajuste de la característica v-q.

Los dos grandes grupos de modelos empleados son los que reconstruyen la curva a partir de equivalentes analógicos circuitales, representando la presencia del efecto corona mediante elementos como resistencias, capacitancias, fuentes, diodos, entre otros elementos circuitales típicos; y aquellos que consideran el efecto mediante elementos no lineales calculados a partir de la solución completa de la red en el punto donde ha sido

concentrado el efecto de forma distribuida. El principal inconveniente que se ha encontrado en el uso de los equivalentes circuitales del efecto corona son las oscilaciones numéricas propias del swicheo de los diodos que se emplean en las ramas que modelan la aparición del fenómeno como tal. En ambos casos, las curvas v-q son aproximadas mediante tramos de línea recta y ajustadas para la característica experimental obtenida del desempeño de los conductores en pruebas de laboratorio [3]. Mediante una serie de suposiciones físicas [2,3,4] propias del fenómeno, es posible calcular los parámetros de líneas reales a partir de los resultados obtenidos mediante pruebas de laboratorio. Usando estas técnicas fueron calculados los parámetros de ajuste para el efecto corona considerado en la línea bajo estudio seleccionada (Figura 1). Para cada tramo, con una geometría de línea particular y por consiguiente una capacitancia diferente, se efectúa el ajuste de la capacitancia obtenida [2,3], logrando de esta forma la construcción de un puente directo entre el modelamiento del efecto corona de una forma semidistribuida y la metodología de modelamiento de líneas no uniformes adoptada.

Las simulaciones efectuadas fueron llevadas a cabo mediante el uso del programa ATP. El método de compensación incluido en dicho software facilitó la obtención de los equivalentes de Thévenin en los diferentes puntos a lo largo de la red en los que se concentró el efecto corona y donde fueron conectadas las ramas correspondientes. La longitud de los tramos de línea entre los que deben ubicarse las ramas corona es de alrededor de unos 50 ó 100 m [2]. Esta selección sugerida, es independiente del tipo de perturbación a la cual se someta la línea. En general, la respuesta exhibida para tramos con longitudes menores de 50 m no mostró variaciones apreciables para una sobretensión del tipo rayo [2] en una línea con características similares. Para excitaciones más lentas o de menor frecuencia equivalente se pueden esperar valores de longitud mínima de tramo superiores para los cuales no se observen variaciones considerables en las respuestas de la línea en presencia del corona. Se ilustra en la Figura 2 el esquema circuital de ATP empleado:

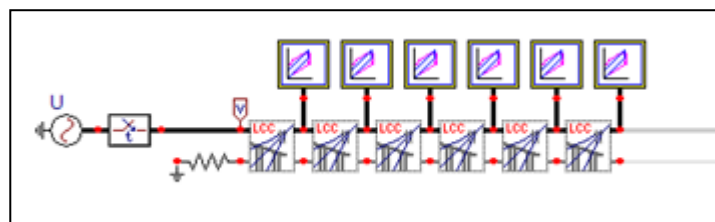


Figura 2. Equivalente Circuital empleado en la representación del efecto corona.

Fuente: Los Autores, (2017).

III. MODELAMIENTO DE TENSIONES INDUCIDAS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS INDIRECTAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS

Se seleccionó el modelo expuesto en [1] por la forma como introducen las tensiones inducidas en la línea, a partir de dos fuentes en los extremos o apoyos más cercanos del punto de impacto de la descarga como se muestra en la Figura 3. Bajo esa concepción, se tiene que la magnitud de las tensiones inducidas en los extremos de una línea será independiente del número de tramos que sean considerados para representar la no uniformidad de la línea; el efecto neto de la variación del número de tramos de línea se verá reflejado sobre las características de propagación de las tensiones inyectadas en los extremos de la línea.

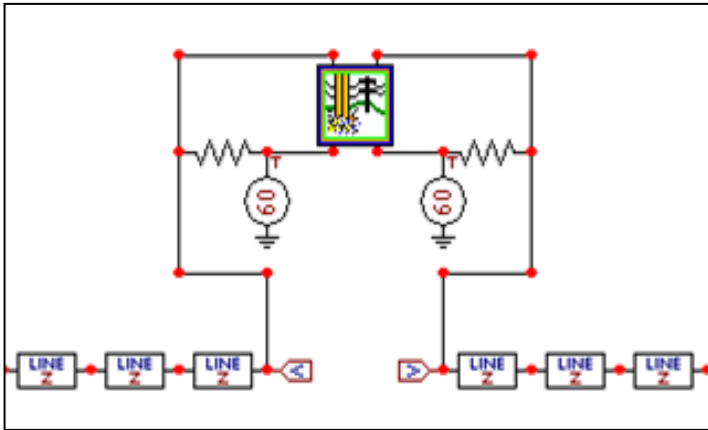
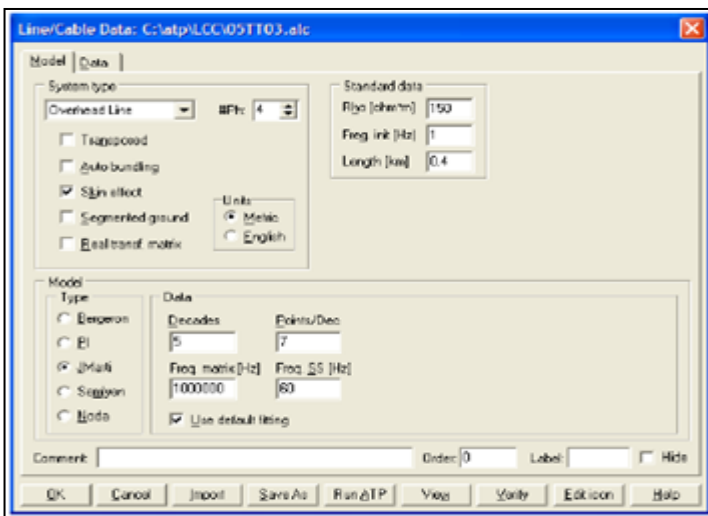


Figura 3: Equivalente circuitual modelo de tensiones inducidas por descargas indirectas.
Fuente: Los Autores, (2017).

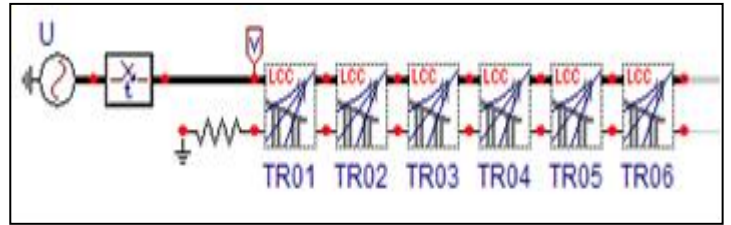
IV. NO UNIFORMIDAD EN LOS PARÁMETROS DE PROPAGACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN AÉREA

La no uniformidad en una línea de transmisión es algo propio de su naturaleza física. Las irregularidades del terreno, la existencia de vanos prolongados, las variaciones en las condiciones atmosféricas, etc son factores que afectan enormemente las características de propagación de una línea de transmisión. Los grandes avances que se han alcanzado en torno al modelamiento de líneas de transmisión uniformes, en cuanto a precisión y a tiempo de cálculo, permiten pensar que la mejor forma de incluir la no uniformidad de una línea de transmisión o de un tramo de ésta, es mediante una colección finita de líneas de transmisión uniformes [5,6].

El problema se convierte entonces en una colección finita de reflexiones y transmisiones de onda viajera, en las cuales los coeficientes de reflexión y transmisión son dependientes de la posición y de la geometría del tramo de línea. La solución de este problema es equivalente a ubicar una serie de tramos de línea en cascada con parámetros físicos o eléctricos diferentes. La dependencia de la frecuencia se obtiene como resultado del efecto acumulado de todos los tramos uniformes, cada uno de los cuales es dependiente de la frecuencia. Tal fue la solución que se empleó y de la cual se muestra en la Figura 4 la forma como fue simulado:



(a)



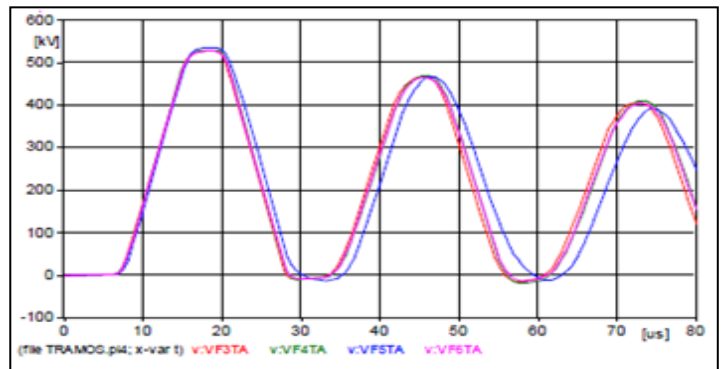
(b)

Figura 4: (a) Detalle del ajuste empleado en al ATP para un tramo de línea. (b) Equivalente Circuitual de una línea no uniforme representada por 6 tramos de línea en cascada, de parámetros uniformes.

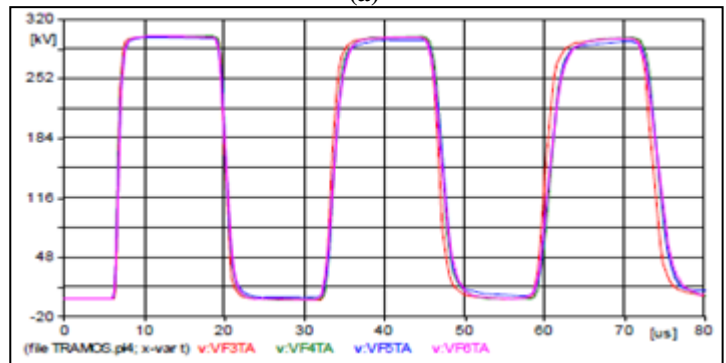
Fuente: Los Autores, (2017).

En general, las variaciones en la tensión a lo largo de un circuito similar al mostrado en la figura 4, variando el número de tramos pero manteniendo la longitud total, y ajustando las posiciones como las coordenadas promedio en el tramo representado, no fueron muy apreciables.

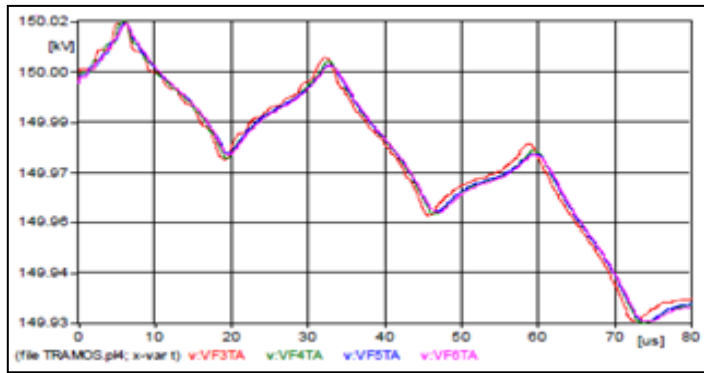
Se percibieron variaciones mínimas en cuanto a magnitud y de atraso en las señales observadas el final de la línea. Esta observación permite concluir que, al menos para una corriente de excitación tipo rayo, maniobra o de estado estacionario, como las incluidas en el presente análisis, no es relevante modelar una línea como uniforme o como no uniforme ya que las respuestas dinámicas y de estado estacionario ante perturbaciones de tipo transitorio no son muy significativas. Es importante señalar que lo expuesto con anterioridad es válido, siempre y cuando, se evalúe el desempeño en líneas cuya longitud total sea la misma, y en las cuales se adopten un número diferente de tramos uniformes de línea independiente ante una y sólo una perturbación similar a las estudiadas, para efectos de comparación de las respuestas. Sin embargo, como se muestra en la Figura5, una misma línea responderá de una forma coherente con la frecuencia del tipo de perturbación a la cuál es sometida, lo que se verifico fue el efecto que sobre dicha respuesta tuviera considera mas o menos tramos.



(a)



(b)



(c)

Figura 5: Respuesta al final de la línea cuando es modelada mediante 3, 4, 5 y 6 tramos (VF3TA, VF4TA, VF5TA y VF6TA, respectivamente). (a) Perturbación Tipo descarga atmosférica. (b) Perturbación tipo maniobra. (c) Detalle de la respuesta a frecuencia industrial (60 Hz).

Fuente: Los Autores, (2017).

V. MODELO DE LÍNEA AÉREA CONSOLIDADO

Por modelo consolidado se entiende la estructura de simulación que incluye las tres características analizadas en el presente artículo. La línea que fue considerada se asimila a una salida de un pórtico de una subestación a una estructura de transmisión en tendido horizontal. La distribución analizada se muestra en la Figura 6:

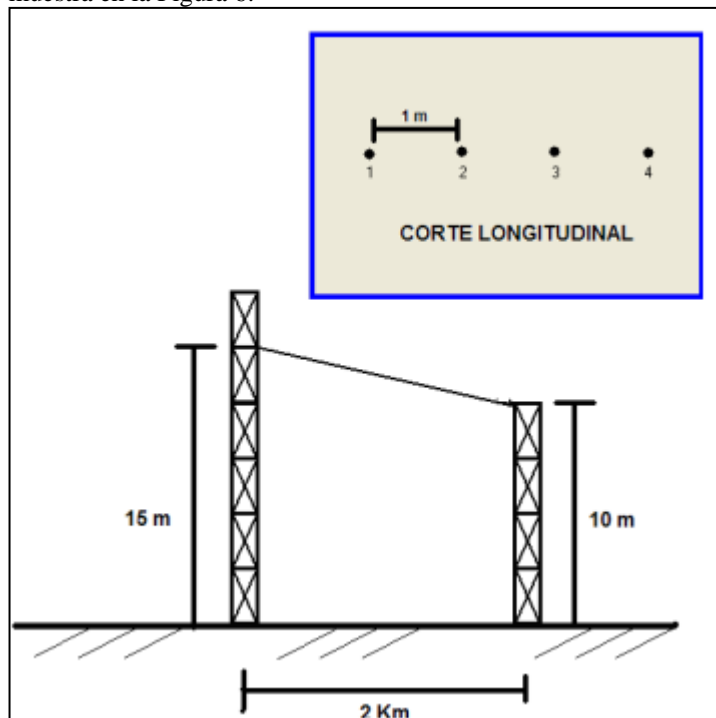


Figura 6: Afloramiento de línea.

Fuente: Los Autores, (2017).

Fue seleccionada de tal forma que fuera un tramo particularmente no lineal en cuanto a la variación de la altura de cada uno de los conductores a medida que se avanza de forma longitudinal en la línea. Teniendo en cuenta que tanto para el modelamiento del efecto corona, como para considerar la no linealidad de la línea deben considerarse tramos en serie, es importante conocer cuál es el número de tramos apropiados para considerar ambos fenómenos. Esto sin sacrificar la precisión de los resultados o incrementar demasiado el tiempo de cálculo de las respuestas del modelo.

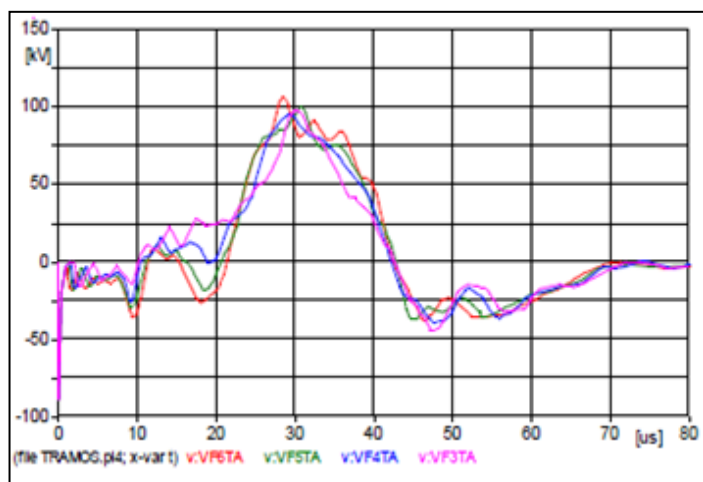
Para el caso del efecto corona, como ya se había señalado con anterioridad, se tiene que según [2] a partir de tramos de línea de 50 m no se aprecian variaciones significativas en las respuestas obtenidas. Por tal razón se varió el número de tramos que componían la línea hasta que ninguna variación significativa fuera observada en las tensiones a lo largo de la línea. De esta forma fue posible evaluar la concordancia entre el modelo construido y la respuesta esperada según [2].

Un aspecto de vital importancia en el proceso de consolidación del modelo, es la selección del tamaño de paso (Δt) y del tiempo total de la simulación (T_{max}). Debe asegurarse que dichos tiempos sean congruentes con las constantes de propagación de los tramos de línea que se consideren para efectos de la no linealidad, así como con los algoritmos internos de alguno de los modelos tenidos en cuenta, en los cuales pueda ser importante elegir un tamaño de paso en particular. Para nuestro caso, se eligió un tiempo máximo en cada simulación de por lo menos 4 veces el tiempo de viaje total de una perturbación que atravesara la totalidad de la línea viajando a la velocidad de la luz en el vacío (c_0). Sin embargo, es importante señalar que las velocidades de propagación obtenidas para los tramos de línea estuvieron siempre por debajo de la referencia empleada para la selección del tamaño máximo, como era de esperarse. De esta forma, es posible tener presentes todas las reflexiones que afectan en mayor medida el desempeño de la línea y compensar los pequeños retrasos asociados con el efecto corona sobre las perturbaciones que sobrepasen la tensión de ignición del fenómeno, ya que como es característico, además de presentarse una atenuación en las señales de tensión que se propagan bajo la presencia del fenómeno, también se esperaría, debido a la ionización en torno a los conductores, un efecto de “frenado” sobre las ondas de tensión en tránsito. Con el fin de disminuir el tamaño de las reflexiones de onda en los extremos de la línea se incluyeron impedancias cercanas a las impedancias típicas de los circuitos de transmisión analizados, al final del arreglo de los tramos dispuestos en serie. De igual forma, el tiempo total de simulación puede variarse en cada caso dependiendo las necesidades como en el caso de las tensiones inducidas por descargas indirectas en las cuales debido a dinámicas muchísimo más rápidas y locales pueden seleccionarse tiempos totales mayores, como se muestra al final de la presente sección.

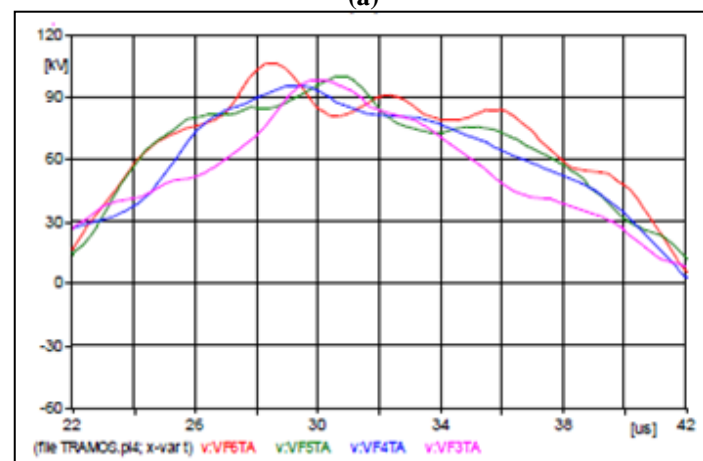
Para la selección del tamaño de paso de la simulación es necesario considerar que mientras más pequeño sea el tamaño seleccionado, mucho más tiempo tomará la simulación. Además de que incluir un mayor número de tramos de línea también acarreará mayores tiempos de cálculo. En el caso del efecto corona, es importante señalar que la inclusión del fenómeno se hace por tensión y no por tiempo, y que la dependencia con la frecuencia del fenómeno fue considerada al momento de ajustar las diversas características v-q obtenidas en [2,4] a la geometría de la línea, mediante la metodología sugerida en [4]. En el caso de las tensiones inducidas, el modelo seleccionado cuenta con un tamaño de paso y un número máximo de pasos a considerar propios de la rutina de inyección de la tensión inducida en cada una de los extremos; para este caso el tamaño de paso se eligió igual al empleado para el resto de la simulación y el número máximo de pasos, se escogió de tal modo que la ventana de tiempo que generara siempre fuese menor que el tiempo máximo total seleccionado para la simulación completa de la respuesta de la línea. Cabe señalar que fue el modelo de las tensiones inducidas el que impuso el tamaño de paso requerido. La razón fundamental de esto, es que el modelo de tensiones inducidas considera la respuesta particular de un tramo de línea mediante un acercamiento a la condición de acople entre el canal de la

descarga vertical del rayo y un tramo de línea en particular, de longitud comparable a la distancia hasta el punto de impacto del rayo; de esta forma, se requieren tramos de línea que sean apropiados para distancias mínimas de impacto de unos 30 ó 50 m al eje de la línea.

A pesar de que podría elegirse un tamaño de paso específico para transitorios del tipo rayo, maniobra o frecuencia industrial, se tomaron los tamaños de paso y los tiempos máximos impuestos por el modelo de tensiones inducidas, con el ánimo de capturar en cualquier tipo de simulación dinámicas de muy corta duración, así como permitir un nivel de detalle superior de las no linealidades de la línea, a través de la admisión de tramos de línea de hasta unos 15 ó 20 m, valores muy por debajo de los mínimos de longitud de los tramos sugeridos para el modelamiento del efecto corona y para un nivel de detalle apropiado para efectos de modelar las no linealidades de la línea. A continuación puede verse la respuesta transitoria ante la misma perturbación tipo rayo (90 kV, 8 μ s tiempo de frente y 120 μ s tiempo de cola), en la fase A del extremo de una línea que fue modelada mediante 3,4,5 y 6 tramos (VF3TA, VF4TA, VF5TA y VF6TA, respectivamente). Las tensiones obtenidas se muestran a continuación (Figura 7).



(a)



(b)

Figura 7: Detalle de la respuesta del modelo consolidado de línea ante una perturbación tipo descarga atmosférica, en la fase A del extremo de una línea que fue modelada mediante 3,4,5 y 6 tramos (VF3TA, VF4TA, VF5TA y VF6TA, respectivamente). (a) Respuesta completa (0-80 μ s). (b) Detalle en el pico de tensión obtenido (22-42 μ s)

Fuente: Los Autores, (2017).

Las tensiones alcanzadas con los modelos donde fueron incluidos más tramos son mayores. De la fig6, se puede observar

una diferencia de unos 15 kV entre las tensiones al final de la línea para el modelamiento con 6 y 5 tramos. De esta manera se justifica entonces el uso de un mayor número de tramos, para afinar algunos ejercicios de modelamiento en los cuales se requiera de un nivel de precisión especial; sin embargo, para la mayoría de las simulaciones bastaría con un pequeño número de tramos debido a que los errores en las respuestas podrían ser compensados con los factores de seguridad empleados en la definición de los niveles de protección de los equipos. De todas formas, el mayor consumo de tiempos de cálculo y el sobredimensionamiento habitual en sistemas de aislamiento eléctrico, sugieren el uso de modelos de línea uniformes ajustadas a cada problema en particular. La construcción de dichos criterios de decisión se sustenta en el uso de modelos ampliamente comprobados para cada uno de los fenómenos empleados y en la adopción de un criterio que permita obtener respuestas rápidas sin sacrificar precisión.

Cabe señalar que el modelo de cada tramo dependiente de la frecuencia fue seleccionado de manera que el número de polos fuera un poco mayor que el recomendado usualmente [6,7] para el rango de frecuencias seleccionado. Esto con el fin de garantizar que las respuestas en frecuencia requeridas de los tramos de línea, representen fielmente el comportamiento transitorio en el rango de frecuencia estudiado (1-1000 kHz) sin exhibir oscilaciones numéricas o algún inconveniente asociado a la etapa de ajuste.

Para el caso de las tensiones inducidas, se eligió en cada caso el tramo más cercano al punto de impacto de la descarga indirecta y en ese sitio fueron inyectadas las perturbaciones en forma de fuentes de tensión en los dos apoyos más cercanos. Se probó la respuesta exhibida para efectos de verificación en la misma línea cuando era modelada mediante tres tramos. En la Fig8 se exhibe la tensión inducida en cada uno de los extremos de la línea no uniforme. El tamaño de paso y el tiempo máximo empleados en la simulación fueron $2e^{-9}$ s y $5e^{-7}$ s, respectivamente:

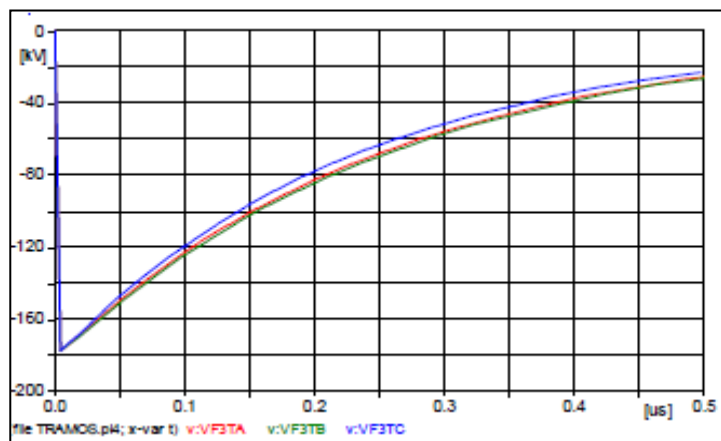


Figura 8: Tensión inducida en una línea no uniforme modelada mediante tres tramos uniformes de igual longitud.

Fuente: Los Autores, (2017).

Es importante señalar que la respuesta exhibida corresponde exclusivamente a la tensión inducida inyectada en los extremos de la línea terminada en un par de impedancias equivalentes para prevenir la reflexión de alguna porción de la onda incidente y evaluar la magnitud de las tensiones obtenidas. La descarga indirecta se modeló impactando en la tierra a 500 m de la línea, con una corriente de rayo de 35 kA, un tiempo de frente de 1,2 μ s y un tiempo de cola de 50 μ s. Es importante señalar que el modelo de línea construido puede ser empleado para diferentes tipos de perturbaciones y que las tensiones inducidas por descargas indirectas serían sólo un tipo de

perturbación para la cual fue adaptado el modelo de tal forma que fuera capaz de reproducir un fenómeno del cual no se cuenta con modelos estándar disponibles acoplados a modelos de línea. Por tal razón, podría estar presente o no en alguna simulación, dependiendo del alcance del estudio en el cual se emplee el modelo en el futuro.

VI. CONCLUSIONES

Tres importantes características del funcionamiento de una línea de transmisión fueron analizadas. Modelos probados del funcionamiento aislado de cada uno de los modelos fueron seleccionados y adicionados a un único modelo de línea que respondiera apropiadamente a las condiciones de simulación seleccionadas. Análisis de sensibilidad fueron llevados a cabo sobre la respuesta exhibida por la línea cuando fue representada como una colección finita de tramos de línea uniformes con parámetros de propagación dependientes de la frecuencia. Se adoptó como criterio de precisión que al incrementar el nivel de detalle de las no uniformidades de la línea no se acarrearán variaciones considerables en las respuestas obtenidas de las simulaciones llevadas a cabo y que no se eliminarán dinámicas propias y particulares de cada uno de los fenómenos considerados.

Contar con modelos de línea uniformes bastante flexibles y precisos, sumado al incremento en las capacidades de cálculo de las herramientas actuales, permite elaborar modelos modulares complejos de líneas de transmisión, como se mostró a lo largo del trabajo. Para cada caso es primordial evaluar el número apropiado de tramos por considerar y ser riguroso en la selección y evaluación de los parámetros de los fenómenos que quieren ser representados al correspondiente nivel de detalle.

VII. REFERENCIAS

[1] H.K. Hoidalén, “**Analytical Formulation of Lightning-Induced Voltages on Multiconductor Overhead lines Above Lossy Ground**”, IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, Vol. 45, No.1, February 2003, pp. 92-100.

[2] J. Sandoval Carneiro, J.R. Martí, “**Evaluation of Corona and Line Models in Electromagnetic Transient Simulations**”, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.6, No.1, January 1991, pp. 334-342.

[3] P. Sarma Maruvada, D.H. Nguyen, & H. Hamadami-Zadeh, “**Studies on Modeling Corona Attenuation of Dynamic Overvoltages**”, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.4, No.2, April 1989, pp. 1441-1449.

[4] M. Mihailescu-Suliciu, I. Suliciu, “**A Rare Type Constitutive Equation for the Description of the Corona Effect**”, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol.100, No.8, August 1981, pp. 3681-3685.

[5] A.I. Ramirez, A.Semlyen, & R.Iravani., “**Modeling Nonuniform Transmission Lines for Time Domain Simulation of Electromagnetic Transients**”, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.18, No.3, July 2003, pp. 968-974.

[6] A.Semlyen, “**Some Frequency Domain Aspects of Wave Propagation on Nonuniform Lines**”, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.18, No.1, January 2003, pp. 315-322.

[7] J.R. Martí, “**Accurate Modeling Of Frequency-Dependent Transmission Lines in Electromagnetic Transient Simulations**”, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol.101, No.1, January 1982, pp. 147-157.

Dynamic Model of 6 DOF for a Catamaran

Homero J. Oria-Aguilera¹, Yunier Valeriano-Medina², Luis Hernández³

^{1,2,3} Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV) – Santa Clara, Villa Clara.

Email: homerooria@gmail.com, yunierv@uclv.edu.cu, luishs@uclv.edu.cu

Received: November 10th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: January 06th, 2018.

The need to expand the exploitation and preservation of marine resources makes the interest in marine surface vehicles increases. Subjects such as modeling, simulation and control are now open research lines. In this research a nonlinear dynamic model of six degrees of freedom, which represents the main dynamic characteristics of two hull catamaran. The effect of environmental factors is included. The model has been obtained for the purpose of developing a training simulator for this vessel. In this paper the equations representing the dynamics of the vehicle from which the nonlinear model is obtained by applying an analytical and semi empirical method are defined. The validity of the model is found by simulation using *MATLAB Simulink*.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Keywords: Catamaran; Simulator; Dynamic model; Simulation.



Modelo Dinámico de 6 GDL para un Catamarán

RESUMEN

La necesidad de expandir la explotación y preservación de los recursos marinos aumenta el interés en los vehículos de superficie marina. Temas tales como modelado, simulación y control ahora son líneas de investigación abiertas. En esta investigación se trata de un modelo dinámico no lineal de seis grados de libertad, que representa las características dinámicas principales de dos catamaranes de casco. El efecto de los factores ambientales está incluido. El modelo se ha obtenido con el propósito de desarrollar un simulador de entrenamiento para este buque. En este trabajo se definen las ecuaciones que representan la dinámica del vehículo a partir del cual se obtiene el modelo no lineal aplicando un método analítico y semi empírico. La validez del modelo se encuentra mediante simulación usando *MATLAB Simulink*.

Palabras Claves: Catamarán; Simulador; Modelo dinámico; Simulación.

I. INTRODUCCIÓN

El término vehículo de superficie engloba a barcos, embarcaciones de alta velocidad, así como otros vehículos que posean una estructura vacía que flote sobre la superficie con propósitos de transporte y navegación [1]. Específicamente, los catamaranes son embarcaciones de dos cascos, habitables o no, unidos entre sí por una estructura o plataforma [2].

El Centro de Investigación y Desarrollo de Simuladores (*SIMPRO*) y el Grupo de Automatización, Robótica y Percepción (*GARP*) se han propuesto desarrollar un simulador de entrenamiento para un vehículo de superficie tipo catamarán.

La aplicación debe asegurar un adecuado entrenamiento del personal en el manejo del vehículo para distintos tipos de maniobras, donde las condiciones del viento, de las corrientes

marinas y del oleaje pueden ser alteradas. Para poder llevar a cabo este proyecto resulta necesario modelar la dinámica de la embarcación, así como de los factores medioambientales que lo afectan para evaluar su desempeño en los seis grados de libertad (6 *GDL*). En esta tarea se ha aprovechado la experiencia de *GARP* de haber obtenido un modelo no lineal de 6 *GDL* para el vehículo autónomo subacuático *HRC-AUV* [3][4].

Los modelos se utilizan para la predicción y simulación en tiempo real, y para el diseño de observadores y controladores.

Atendiendo a su complejidad y al número de ecuaciones diferenciales que utilizan pueden distinguirse tres tipos de modelos [1]: modelo de simulación, modelo para el diseño del control y modelo para el diseño del observador. En la literatura se reportan numerosos ejemplos de investigaciones que se realizan con el propósito de obtener modelos dinámicos de

vehículos marinos útiles en la simulación [5][6], así como en el diseño de los controladores y observadores [4][7-9].

El modelo dinámico de 6 *GDL* incluye el efecto de las perturbaciones marinas y el viento, así como el modelo de los actuadores que controlan la dirección del vehículo. En esta investigación se obtiene un modelo utilizando un procedimiento analítico y semi empírico, donde a partir de las características geométricas y estructurales de la embarcación se calculan algunos de los coeficientes hidrodinámicos. Otros fueron obtenidos a partir de experimentos [10] y tablas [11] referidas a vehículos que se consideran prototipos en las investigaciones científicas. La validez del modelo se evalúa mediante la simulación de un conjunto de maniobras típicas de vehículos marinos.

Este artículo sigue la siguiente estructura. En la Sección II se presenta la descripción general del vehículo. La estructura del modelo dinámico de 6 *GDL* se expone en la Sección III.

La Sección IV describe la obtención de los parámetros necesarios, así como el modelo de los actuadores. En la Sección V, se presenta el cálculo de estos parámetros. El comportamiento mediante simulación del modelo ante distintas maniobras es mostrado en la Sección VI. Finalmente, las conclusiones son presentadas en la Sección VII.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CATAMARÁN DE SIMPRO

La estructura del vehículo de superficie tipo catamarán, para el cual la empresa *SIMPRO* tiene previsto desarrollar un simulador, es similar a la del catamarán *DELFIN* [2].

Está compuesto por 2 flotadores o cascos, paralelos entre sí, unidos por estructuras delgadas ubicadas en popa y proa. Estos elementos sujetan, de igual manera, a un cuerpo cilíndrico que puede ser liberado cuando se desee. Estos cascos poseen forma cilíndrica y terminaciones oblicuas en proa.

El sistema de actuadores del catamarán está compuesto por dos hélices propulsadas por motores *Yamaha E40XMH* de 40 *hp* cada uno. Estos motores incluyen una pequeña superficie vertical que origina un ángulo de deflexión en los mismos.

Los motores tienen dos modos de trabajo:

- Modo común, cuando las velocidades de giro de los motores son iguales.
- Modo diferencial, cuando las velocidades de giro de los motores son diferentes.

Los modos de trabajo de los motores permiten manipular la velocidad y orientación del vehículo. Si el catamarán sigue una línea recta, es debido a que los motores se encuentran trabajando en modo común y no existe ángulo de deflexión alguno. Si por el contrario, las maniobras presentan giros, es porque los motores se encuentran operando en modo diferencial y/o existe un valor de ángulo de deflexión.

Las especificaciones geométricas e inerciales son mostradas en la Tabla 2.

Como cada uno de los componentes de la estructura del catamarán generan fuerzas y momentos independientes, es necesario conocer la ubicación de estos con respecto al centro de gravedad del vehículo. Estos datos se reflejan en la Tabla 2.

Tabla 1: Características del catamarán de *Simpro*.

Parámetros	Descripción	Valor
m	Masa	2300 <i>kg</i>
u_0	Velocidad crucero	4.5 <i>m/s</i>
n	Revoluciones de los motores	91 <i>rps</i>
L	Largo	10 <i>m</i>
B	Ancho	2.82 <i>m</i>
D_c	Diametro de un flotador	0.94 <i>m</i>
T	Calado	0.7 <i>m</i>
D	Diametro de las helices	0.23 <i>m</i>
Parámetros	Descripción	Valor
δr	Angulo de deflexion de los motores	$\pm 45^\circ$
I_{xx}	Momento de inercia	2820 <i>kgm²</i>
I_{yy}	Momento de inercia	1450 <i>kgm²</i>
I_{zz}	Momento de inercia	1040 <i>kgm²</i>
I_{xz}	Momento de inercia	680 <i>kgm²</i>

Fuente: [11].

Tabla 2: Distancias de cada elemento con respecto a la referencia del Catamarán.

	Casco 1	Casco 2	Motor 1	Motor 2
x	0	0	-3.88 <i>m</i>	-3.88 <i>m</i>
y	-0.94 <i>m</i>	0.94 <i>m</i>	-0.94 <i>m</i>	0.94 <i>m</i>
z	0	0	0	0

Fuente: [11].

III. MODELO DINÁMICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA EL CATAMARÁN DE *SIMPRO*

Para obtener el modelo dinámico no lineal de 6 grados de libertad de este vehículo, se utiliza un procedimiento analítico y semi empírico. Este método se basa en principios físicos junto con valores numéricos determinados mediante experimentos o calculo numérico.

Para describir la trayectoria de un vehículo marino de superficie es conveniente introducir dos sistemas de referencia: uno inercial con respecto a tierra $\{U\}$ y otro respecto al propio vehículo $\{C\}$ [2]. Las posiciones relativas de $\{U\}$ respecto a tierra o de $\{C\}$ respecto al catamarán pueden ser arbitrarias.

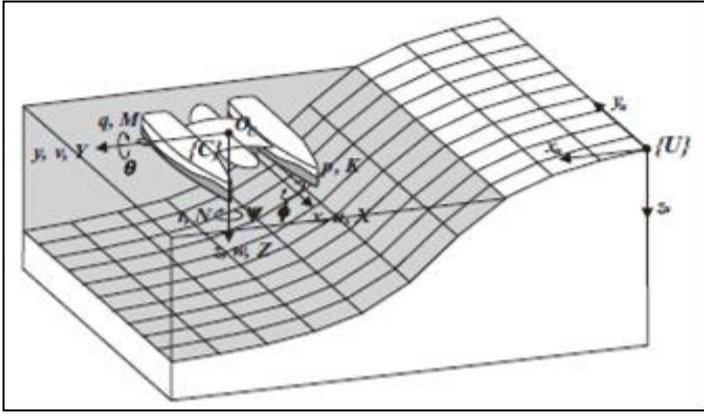
En la Figura 1, se muestra los sistemas de referencia $\{C\}$ y $\{U\}$ utilizados para el cálculo de las ecuaciones dinámicas del modelo. El origen del sistema de referencia $\{C\}$ coincide con el centro de gravedad. Por lo que la distancia entre el origen de coordenadas y el centro de flotabilidad del vehículo queda definido por el vector r_B .

La Tabla 3 resume la nomenclatura estándar empleada para describir el movimiento de vehículos marinos [12].

Tabla 3: Notación utilizada para vehículos marinos.

Movimiento	Fuerza	Velocidad	Posición
Avance	X	u	x
Desplazamiento lateral	Y	v	y
Arfada	Z	w	z
Balaceo	K	p	ϕ
Cabeceo	M	q	θ
Guiñada	N	r	ψ

Fuente: Los Autores, (2015).


Figura 1: Sistemas de referencias $\{U\}$ y $\{C\}$.

Fuente: Los Autores, (2015).

Los seis grados de libertad del catamarán pueden ser divididos en dos grupos: el plano horizontal y el plano vertical. En la Tabla 4 aparecen los estados asociados a ambos planos.

Tabla 4: Notación utilizada en cada plano de los 6 grados de libertad.

Plano horizontal	Plano vertical
$\eta_1 = [x, y, \psi]^T$	$\eta_2 = [z, \phi, \theta]^T$
$\nu_1 = [u, v, r]^T$	$\nu_2 = [\omega, p, q]^T$
$\tau_1 = [X, Y, N]^T$	$\tau_2 = [Z, K, M]^T$

Fuente: Los Autores, (2015).

Todos los estados dinámicos del catamarán se encuentran referenciados respecto al sistema $\{C\}$, con excepción de la posición, que se diferencia de los demás estados por estar referenciado respecto al sistema $\{U\}$.

La velocidad $\eta = [\eta_1, \eta_2]^T$ y la posición $\nu = [\nu_1, \nu_2]^T$ expresados en uno u otro sistema, pueden trasladarse y rotarse usando las transformaciones de ángulos de Euler [1][2].

$$\dot{\eta} = J(\eta)\nu \quad (1)$$

donde $J(\eta)$ es la matriz de transformación de ángulos de Euler.

Las ecuaciones dinámicas se obtienen aplicando las leyes de *Newton* que determinan el movimiento del vehículo en el mar [11]. Para ello es necesario asumir que el vehículo es un cuerpo rígido y el sistema de referencia fijado en tierra es inercial [13].

Agrupando las expresiones que caracterizan la dinámica de un cuerpo rígido que se mueve en un medio líquido se obtiene la siguiente expresión:

$$M_C \dot{\nu} + C_C(\nu)\nu = \tau \quad (2)$$

donde M_C representa a la matriz de masa del cuerpo rígido [2] y C_C constituye la matriz que agrupa los términos de fuerzas centrípetas y de Coriolis.

El término τ designa a las fuerzas y momentos externos a causa de la interacción con el fluido y elementos medioambientales como el viento, las corrientes y las olas, así como la acción provocada por los actuadores. La fuerza generalizada aplicada a la embarcación está dada por [2]:

$$\tau = \tau_H - g(\eta) + \tau_W \quad (3)$$

donde:

- τ_H constituye la fuerza generalizada resultante de la interacción con un fluido.
- $g(\eta)$ representa la fuerza resultante del campo gravitacional terrestre y las presiones hidrostáticas. Es relativamente fácil de calcular y depende de una forma estática de la posición η .
- τ_W es la fuerza resultante de la interacción con el viento. Se calcula a partir de la posición y la velocidad del catamarán.

Las fuerzas hidrodinámicas generalizadas τ_H aplicadas a la embarcación están dadas por:

$$\tau_H = \tau_{HNW}(\nu_r, \dot{\nu}_r, n_c, n_d, \delta r) + \tau_{FK}(\chi_F) \quad (4)$$

donde:

- ν_r y $\dot{\nu}_r$ corresponden a la velocidad del catamarán respecto al fluido irrotacional y su derivada en el tiempo.
- τ_{HNW} representa las fuerzas hidrodinámicas generalizadas aplicadas al catamarán en ausencia de olas.

$$\tau_{HNW} = [\tau_{1HNW}, \tau_{2HNW}]^T = \tau_A + \tau_D \quad (5)$$

donde τ_A representa las fuerzas por masas añadidas y τ_D la acción de los términos lineales y cuadráticos de las fuerzas amortiguadoras.

- τ_{FK} representa la fuerza generalizada de *Froude-Krylov*, generado por el campo de presiones de las olas.

$$\tau_{FK} = M_F \chi_F \quad (6)$$

siendo τ_F la aceleración del fluido medida en $\{U\}$ y expresada en $\{C\}$ y M_F la matriz de masa del fluido que ocuparía el volumen del cuerpo según 8:

$$M_F = \begin{bmatrix} m_F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_F & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_F & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -m_F z_B & m_F y_B & 0 & 0 & 0 \\ m_F z_B & 0 & -m_F x_B & 0 & 0 & 0 \\ -m_F y_B & m_F x_B & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

donde x_B , y_B y z_B son las respectivas posiciones del centro de flotabilidad $r_B = [x_B, y_B, z_B]^T$ respecto al origen de coordenadas O_C .

En la Figura 2, se presenta el diagrama general que representa la dinámica del catamarán, el cual está formado por cinco bloques principales.

IV. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO

IV.1 PARÁMETROS DEL CUERPO RÍGIDO

Atendiendo a la disposición estructural del catamarán de (*SIMPRO*), y a las consideraciones realizadas, la matriz M_C puede ser calculada como:

$$M_C = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_x & 0 & -I_{xz} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{xz} & 0 & -I_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

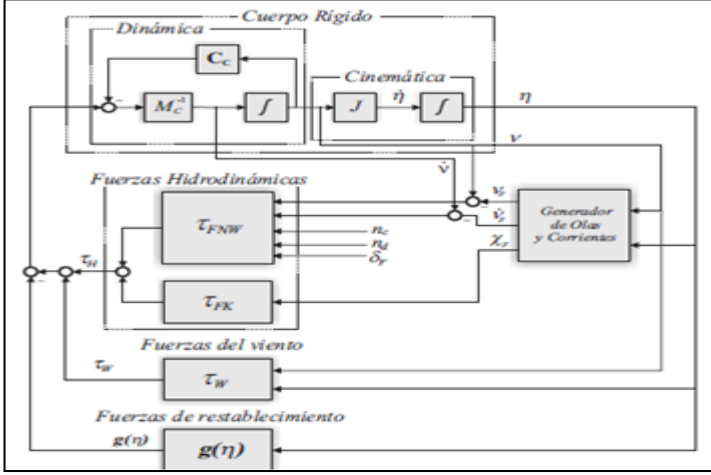


Figura 2: Diagrama general para el modelo dinámico del catamarán.
Fuente: Los Autores, (2015).

y la matriz C_C puede ser obtenida como:

$$C_C = \begin{bmatrix} 0 & -mr & mq & 0 & 0 & 0 \\ mr & 0 & -mp & 0 & 0 & 0 \\ -mq & mp & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{xz}p - I_zr & -I_yq & -I_yq \\ 0 & 0 & 0 & I_{xz}r - I_xp & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

IV.2 TÉRMINOS HIDRODINÁMICOS

Para calcular las fuerzas y momentos totales de origen hidrodinámico aplicados al catamarán τ_{HNW} , es necesario analizar por separado las fuerzas y momentos en cada uno de los elementos estructurales que forman parte de la embarcación e interactúan con el mar. En el caso del catamarán de *SIMPRO*, los cascos y los motores constituyen los elementos a analizar.

1) *Cascos*: Para los cascos, las fuerzas de masas añadidas y amortiguamiento, así como resistencia al fluido juegan un papel decisivo en el comportamiento dinámico del vehículo.

Los coeficientes de masas añadidas se pueden obtener aproximando cada flotador a un semi elipsoide con dimensiones aumentadas en un 20%, cuyos semiejes se calculan a partir de las características físicas de la embarcación.

La fuerza generalizada de las masas añadidas se encuentra dada por las ecuaciones de energía cinética planteadas por *Krichhoff* [14]. Esta fuerza se define como:

$$\tau_A = -M_A \dot{\psi} - C_A \dot{v} \quad (10)$$

donde M_A representa la matriz de masas añadidas del cuerpo rígido:

$$M_A = \text{diag}\{A_{11}^{elip}, A_{22}^{elip}, A_{33}^{elip}, A_{44}^{elip}, A_{55}^{elip}, A_{66}^{elip}\} \quad (11)$$

y la matriz C_A queda de la forma:

$$C_A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & A_{33}^{elip}w & -A_{22}^{elip}v \\ 0 & 0 & 0 & -A_{33}^{elip}w & 0 & A_{11}^{elip}u \\ 0 & 0 & 0 & A_{22}^{elip}v & -A_{11}^{elip}u & 0 \\ 0 & A_{33}^{elip}w & -A_{22}^{elip}v & 0 & A_{66}^{elip}r & -A_{55}^{elip}q \\ -A_{33}^{elip}w & 0 & A_{11}^{elip}u & A_{66}^{elip}r & -A_{55}^{elip}q & 0 \\ A_{22}^{elip}v & -A_{11}^{elip}u & 0 & A_{55}^{elip}q & -A_{44}^{elip}p & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

El cálculo de cada uno de los coeficientes de los términos anteriores pueden ser encontrados en [14].

De acuerdo a los planteamientos analíticos para la obtención de los términos de amortiguamiento expresados en [10] y de resistencia abordados en [2], se pueden obtener las expresiones de los cascos dadas por los coeficientes dimensionales $X_{u,u}^c, X_{v,r}^c, \dots, N_{r|r}^c$.

$$\begin{aligned} X_{u,u}^c &= -A_{11}^c & X_u^c &= -R_u^c \\ X_{v,r}^c &= A_{22}^c & X_{u_3}^c &= -R_{u_3}^c \\ X_{v,q}^c &= -A_{53}^c & X_{v,v}^c &= \frac{1}{2}\rho L^2 X'_{v,v} \\ Y_v^c &= -A_{52}^c & Y_{v|v|}^c &= \frac{1}{2}\rho L T Y'_{v|v|} \\ Y_{w,q}^c &= A_{33}^c & Y_{v|r}^c &= \frac{1}{2}\rho L T^2 Y'_{v|r} \\ Y_{uv}^c &= \frac{1}{2}\rho L T Y'_{v^c} & Y_{r|r}^c &= \frac{1}{2}\rho L T^3 Y'_{r|r} \\ Y_{ur}^c &= -A_{11}^c + \frac{1}{2}\rho L^2 T Y'_{r^c} \\ Z_{vp}^c &= -A_{22}^c & Z_w^c &= -A_{33}^c \\ Z_{uq}^c &= A_{11}^c \\ K_p^c &= -A_{44}^c & K_{qr}^c &= A_{55}^c - A_{66}^c \\ K_{vw}^c &= A_{52}^c - A_{33}^c \\ M_q^c &= -A_{55}^c & M_{pr}^c &= A_{66}^c - A_{44}^c \\ M_{uw}^c &= A_{33}^c - A_{11}^c \\ N_r^c &= -A_{66}^c & N_{ur}^c &= \frac{1}{2}\rho L^3 T N'_{r^c} \\ N_{pq}^c &= A_{44}^c - A_{55}^c & N_{v^2r/u}^c &= \frac{1}{2}\rho L^3 T N'_{v^2r/u} \\ N_{uv}^c &= A_{11}^c - A_{52}^c + \frac{1}{2}\rho L^2 T N'_{v^c} & N_{r|r}^c &= \frac{1}{2}\rho L T^4 N'_{r|r} \end{aligned}$$

2) *Motores*: Las fuerzas y momentos originados por las hélices se calculan en base a los coeficientes de impulso K_T y binario K_Q , así como de los parámetros estructurales fundamentales de las hélices [2].

$$\begin{aligned} X_h &= X_{uu}^h u_h^2 + X_{un}^h u_h n + X_{nn}^h n^2 \\ Y_h &= Y_{uv}^h u_h v_h + Y_{vn}^h v_h n \\ N_h &= N_{ur}^h u_h r_h + N_{rn}^h r_h n \end{aligned} \quad (13)$$

Los términos $X_{uu}^h \dots N_{nn}^h$ pueden ser hallados utilizando las expresiones que aparecen en [2].

Los motores definen las fuerzas y momentos de control.

Todo motor fuera de borda típico, incluye una pequeña superficie vertical, que genera una fuerza lateral que provee estabilidad y control [15].

Las fuerzas y momentos que se producen debido al ángulo de deflexión de los motores pueden ser expresados mediante el producto vectorial del vector de fuerzas que se encuentran en función del ángulo de deflexión y la distancia a la que se encuentra el actuador respecto al origen O_C [16]. De acuerdo con la observado en la literatura [2][15], se obtienen las expresiones que definen la acción debido al ángulo de deflexión de los motores:

$$\begin{aligned}
 X_{\delta r} &= (X_{uu}^{\delta r} u_{\delta r}^2 + X_{un}^{\delta r} u_{\delta r} n + X_{nn}^{\delta r} n^2) \cos(\delta r) \\
 Y_{\delta r} &= (Y_{un}^{\delta r} u_{\delta r} n + Y_{nn}^{\delta r} n^2) \sin(\delta r) \\
 Z_{\delta r} &= K_{\delta r} = M_{\delta r} = 0 \\
 N_{\delta r} &= (N_{un}^{\delta r} u_{\delta r} n + N_{nn}^{\delta r} n^2) \sin(\delta r) x_h - \\
 &= (N_{uu}^{\delta r} u_{\delta r}^2 + N_{un}^{\delta r} u_{\delta r} n + N_{nn}^{\delta r} n^2) \cos(\delta r) y_h
 \end{aligned} \tag{14}$$

Los términos $X_{uu}^{\delta r} \dots N_{nn}^{\delta r}$ pueden ser calculados a partir de las expresiones que aparecen en [2].

IV.3 FUERZAS Y MOMENTOS HIDRODINÁMICOS TOTALES APLICADOS AL CATAMARÁN

Para estimar las fuerzas y momentos aplicados al catamarán al moverse en un fluido, es necesario expresar cada una de las contribuciones a partir de una referencia en particular en función de las velocidades de traslación y rotación propias. No obstante, estas fuerzas y momentos deben expresarse según el sistema de referencia del catamarán. Para ello, es necesario establecer valores de desplazamiento en los distintos ejes.

Las coordenadas de origen de las referencias de los elementos particulares en relación a la referencia general representadas como $x_{c1}, y_{c1}, \dots, x_{h2}, y_{h2}$ se encuentra en la Tabla 5.

Tabla 5: Coordenadas de origen de cada elemento con respecto a la referencia del catamarán.

	Casco 1	Casco 2	Hélice y timón 1	Hélice y timón 2
x	0	0	x_{h1}	x_{h2}
y	y_{c1}	y_{c2}	y_{h1}	y_{h2}
z	0	0	0	0

Fuente: Los Autores, (2015).

Las velocidades de rotación de las hélices n_1 y n_2 se sustituyen por sus velocidades respectivas según sus modos de trabajo:

$$n_c = \frac{n_1 + n_2}{2} \quad n_d = \frac{n_1 - n_2}{2}$$

Los coeficientes dimensionales de las ecuaciones de las fuerzas y momentos hidrodinámicos son:

$$\begin{aligned}
 X_{\dot{u}} &= 2X_{\dot{u}}^c & X_u &= 2X_u^c \\
 X_{vr} &= 2X_{vr}^c & X_{u^3} &= 2X_{u^3}^c \\
 X_{v^2} &= 2X_{v^2}^c & X_{ur^2} &= 6X_{u^3}^c y_c^2 \\
 X_{un_c} &= 2X_{un_c}^h & X_{n_c n_c} &= 2X_{nn}^h \\
 X_{wp} &= 2X_{wp}^c & X_{n_c n_c \delta r} &= 2X_{n_c n_c}^{dr} \\
 X_{u^2} &= 2X_{u^2}^h & X_{un_c \delta r} &= 2X_{un_c}^{dr} \\
 X_{r^2} &= 2X_{ur}^h y_h^2 & X_{rn_d} &= -2X_{un}^h y_h \\
 X_{un_d \delta r} &= 2X_{un_d}^{dr} & X_{u^2 \delta r} &= 2X_{uu}^{dr} \\
 X_{n_d n_d \delta r} &= 2X_{n_d n_d}^{dr} & X_{n_d n_d} &= 2X_{nn}^h \\
 \\ \\
 Y_{\dot{v}} &= 2Y_{\dot{v}}^c & Y_{vn_c} &= 2Y_{vn_c}^h \\
 Y_{ur} &= 2Y_{ur}^c + 2Y_{uv}^h x_h & Y_{v|v|} &= 2Y_{v|v|}^c \\
 Y_{uv} &= 2Y_{uv}^c + 2Y_{uv}^h & Y_{r|r|} &= 2Y_{r|r|}^c \\
 Y_{wq} &= 2Y_{wq}^c & Y_{rn_c} &= 2Y_{vn}^h x_h \\
 Y_{v|r|} &= 2Y_{v|r|}^c & Y_{n_c n_c \delta r} &= 2Y_{n_c n_c}^{dr} \\
 Y_{un_c \delta r} &= 2Y_{un_c}^{dr} & Y_{un_d \delta r} &= 2Y_{un_d}^{dr} \\
 Y_{n_d n_d \delta r} &= 2Y_{n_d n_d}^{dr} & \\
 \\ \\
 Z_{vp} &= 2Z_{vp}^c & Z_{uq} &= 2Z_{uq}^c \\
 Z_{\dot{w}} &= 2Z_{\dot{w}}^c & Z_q &= 2\rho L^2 T Z_q^m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{\dot{p}\dot{p}} &= 2K_{\dot{p}}^c & K_{vvv} &= 2K_{vvv}^c \\
 K_{uv} &= \rho T L^3 K_{uv}^{\prime co} & K_{vvv} &= \rho T L^3 K_{vvv}^{\prime co} \\
 K_{v|r|} &= \rho T L^4 K_{v|r|}^{\prime co} & K_{\frac{v^2}{u}} &= \rho T L^5 K_{v^2/u}^{\prime co} \\
 K_{\frac{u^3}{u}} &= \rho T L^6 K_{u^3/u}^{\prime co} & K_{\frac{u^2 r}{u}} &= \rho T L^4 K_{u^2 r/u}^{\prime co} \\
 K_{up} &= \rho T L^4 K_{up}^{\prime co} & K_{p|p|} &= \rho T L^5 K_{p|p|}^{\prime co} \\
 K_{pu|pu|} &= \rho T L^5 K_{pu|pu|}^{\prime co} & K_{\dot{r}} &= 2X_{\dot{u}}^c y_c^2 \\
 K_{p|p|} &= \rho T L^5 K_{p|p|}^{\prime co} & K_{r|r|} &= \rho T L^5 K_{r|r|}^{\prime co} \\
 K_{v|v|} &= \rho T L^3 K_{v|v|}^{\prime co} & K_{r|v|} &= \rho T L^4 K_{r|v|}^{\prime co} \\
 K_{r|r|} &= \rho T L^5 K_{r|r|}^{\prime co} & K_{\frac{r^3}{u}} &= \rho T L^6 K_{r^3/u}^{\prime co} \\
 K_{pr} &= 2K_{pr}^c & \\
 M_{\dot{q}} &= 2M_{\dot{q}}^c & M_{\dot{r}} &= 2X_{\dot{u}}^c y_c^2 \\
 M_{pr} &= 2M_{pr}^c & \\
 \\ \\
 N_{\dot{r}} &= 2N_{\dot{r}}^c + 2X_{\dot{u}}^c y_c^2 & N_{v^2 r/u} &= 2N_{v^2 r/u}^c \\
 N_{pq} &= 2N_{pq}^c & N_{u^2 r} &= 6X_{u^3}^c y_c^2 \\
 N_{uv} &= 2N_{uv}^c + 2Y_{uv}^h x_h & N_{r|r|} &= 2N_{r|r|}^c \\
 N_r &= 2X_{u^2}^c y_c^2 & N_{n_c n_c \delta r} &= 2N_{n_c n_c}^{dr} x_h \\
 N_{vn_c} &= 2Y_{vn_c}^h x_h & N_{n_c n_d} &= -4X_{nn}^h y_h \\
 N_{un_c \delta r} &= 2N_{un_c}^{dr} x_h & N_{un_d \delta r} &= 2N_{un_d}^{dr} x_h \\
 N_{rn_c} &= 2N_{rn_c}^h + 2X_{un}^h y_h^2 + 2Y_{vn}^h x_h^2 & N_{un_d} &= -2X_{un}^h y_h \\
 N_{n_d n_d \delta r} &= 2N_{n_d n_d}^{dr} x_h & N_{vr^2/u} &= 2N_{vr^2/u}^c \\
 N_{ur} &= 2N_{ur}^c + 2N_{ur}^h + 2Y_{uv}^h x_h^2 + 4X_{uu}^h y_h^2 & N_{r^3} &= 2X_{u^3}^c y_c^4
 \end{aligned}$$

IV.4 TÉRMINOS GRAVITACIONALES E HIDROSTÁTICOS

En la hidrodinámica, las fuerzas gravitacionales y de flotabilidad, o hidrostáticas, se conocen como fuerzas restauradoras [14]. Las fuerzas restauradoras son asociadas usualmente con la estabilidad metacéntrica. Se considera que los cambios en el fluido desplazado debido a las variaciones que se producen en z son pequeños y que ϕ , θ y z son pequeños. Atendiendo a estas consideraciones se pueden definir las fuerzas gravitacionales y de flotabilidad como:

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 1} \\ B_f \overline{GM}_T \phi \\ B_f \overline{GM}_L \theta \\ 0 \end{bmatrix} \tag{15}$$

donde:

- B_f representa la fuerza de flotabilidad definida por:

$$B_f = \rho g \nabla \tag{16}$$

siendo ∇ el volumen del vehículo sumergido y ρ es la densidad del agua.

- \overline{GM}_T y \overline{GM}_L representan las alturas metacéntricas transversal y longitudinal, las cuales definen la distancia entre el metacentro y el centro de gravedad r_G .

IV.5 FUERZAS Y MOMENTOS GENERADOS POR EL VIENTO

Las fuerzas y momentos provocados por el viento y que afectan la dinámica del catamarán se modelan a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau_W = \begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} \\ N_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \rho_w V_R^2 A_T C_X(\gamma_R) \\ \frac{1}{2} \rho_w V_R^2 A_L C_Y(\gamma_R) \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} \\ \frac{1}{2} \rho_w V_R^2 L C_N(\gamma_R) \end{bmatrix} \quad (17)$$

donde:

- ρ_w representa la densidad del aire.
- A_T , A_L y L definen el área transversal y lateral, así como la longitud del vehículo.
- V_w y ϕ_w representan la velocidad y la dirección del viento.
- V_R y γ_R representan el módulo y dirección de la velocidad del viento relativa al vehículo.
- C_X , C_Y y C_N definen los coeficientes de torque y fuerzas aerodinámicas hallados a partir de datos de pruebas experimentales analizados mediante técnicas de regresión múltiple [11].

Los términos del viento relativos al vehículo se calculan según:

$$\begin{aligned} V_R &= \sqrt{u_{rW}^2 + v_{rW}^2} \\ \gamma_R &= -\text{atan2}(v_{rW}, u_{rW}) = \psi_w - \psi \end{aligned} \quad (18)$$

donde u_{rW} y v_{rW} son las componentes de la velocidad del viento relativa al vehículo, y son calculados por:

$$\begin{aligned} u_{rW} &= V_W \cos \gamma_R - u \\ v_{rW} &= V_W \sin \gamma_R - v \end{aligned} \quad (19)$$

IV.6 GENERADOR DE OLAS Y CORRIENTES

Las fuerzas y momentos hidrodinámicos aplicados al catamarán dependen de la velocidad relativa ν_r y su respectiva derivada en el tiempo $\dot{\nu}_r$. Estos elementos dependen de las componentes u_F y v_F de la velocidad del fluido en ausencia del catamarán, así como de sus respectivas derivadas. Estos términos son obtenidos por:

$$\begin{aligned} \nu_F &= J^{-1}(\eta) \begin{bmatrix} v_{xF} \\ v_{yF} \\ \mathbf{0}_{4 \times 1} \end{bmatrix} \\ \dot{\nu}_F &= J^{-1}(\eta) \begin{bmatrix} v_{xF} \\ v_{yF} \\ \mathbf{0}_{4 \times 1} \end{bmatrix} + \chi_F + \\ & J^{-1}(\eta) P \begin{bmatrix} \frac{\partial v_x}{\partial x_u} & \frac{\partial v_x}{\partial y_u} & 0 \\ \frac{\partial v_y}{\partial x_u} & \frac{\partial v_y}{\partial y_u} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} P^T J(\eta) \nu \\ \chi_F &= J^{-1}(\eta) \begin{bmatrix} a_{xF} \\ a_{yF} \\ \mathbf{0}_{4 \times 1} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

donde:

- v_{xF} y v_{yF} son las componentes de velocidad del fluido en ausencia del catamarán medidas en $\{U\}$ y definidos por:

$$\begin{aligned} v_{xF} &= V_F \cos \psi_c \\ v_{yF} &= V_F \sin \psi_c \end{aligned}$$

siendo V_F la velocidad de las corrientes y ψ_c el ángulo de dirección de las mismas.

- a_{xF} y a_{yF} son las componentes de aceleración del fluido en ausencia del catamarán medidas en $\{U\}$.

- P es una matriz auxiliar utilizada en los cálculos matemáticos, definida como $P = [I_{3 \times 3}, \mathbf{0}_{3 \times 3}]^T$.

Las velocidades del fluido en ausencia del vehículo, son obtenidas a partir de la superposición de N ondas planas monocromáticas con una corriente uniforme y estacionaria.

Las componentes horizontales de la velocidad y aceleración del fluido, así como sus derivadas parciales están dadas por las expresiones que aparecen en [2].

V. VALORES NUMÉRICOS DEL MODELO DINÁMICO DEL CATAMARÁN

V.1 TÉRMINOS DEL CUERPO RÍGIDO E HIDROSTÁTICOS

Los datos presentados en la Tabla 2 sirven de base para el cálculo de los elementos del cuerpo rígido. La matrices de cuerpo rígido y de Coriolis son obtenidas según (8) y (9):

$$M_C = \begin{bmatrix} 4266 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4266 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4266 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2820 & 0 & -680 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1450 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -680 & 0 & -1040 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$C_G = \begin{bmatrix} 0 & -4266r & 4266q & 0 & 0 & 0 \\ 4266r & 0 & -4266p & 0 & 0 & 0 \\ -4266q & 4266p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1040r - 680p & -1450q \\ 0 & 0 & 0 & 680p - 1040r & 0 & 2820p - 640r \\ 0 & 0 & 0 & 1450q & 640r - 2820p & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

El vector de fuerzas y momentos gravitacionales definido en (15) resulta:

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 1} \\ 777236.4\phi \\ 20661.7\theta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

V.2 TÉRMINOS HIDRODINÁMICOS

Los coeficientes de masas añadidas del cuerpo rígido son: $X_{\dot{u}} = -173.4 \text{ kg}$, $Y_{\dot{v}} = Z_{\dot{w}} = -4291.2 \text{ kg}$, $K_{\dot{p}} = 0$ y $M_{\dot{q}} = N_{\dot{r}} = -26834 \text{ kgm}^2$. A partir de estos valores, las matrices de masas añadidas del cuerpo rígido y Coriolis quedan definidas, según (11) y (12):

$$M_A = \begin{bmatrix} 173.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4291.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4291.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 26834 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 26834 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$C_A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 4291.2w & -4291.2v \\ 0 & 0 & 0 & -4291.2w & 0 & 173.4u \\ 0 & 0 & 0 & 4291.2v & -173.4u & 0 \\ 0 & 4291.2w & -4291.2v & 0 & 26834r & -26834q \\ -4291.2v & 0 & 173.4u & 26834r & 0 & 0 \\ 4291.2v & -173.4u & 0 & 26834q & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Un esfuerzo importante en el cálculo de los parámetros de las fuerzas y momentos actuantes sobre el catamarán, radica en la búsqueda de los coeficientes hidrodinámicos adimensionales. Para el caso del catamarán de *SIMPRO* han

tenido que ser calculados por la vía analítica, utilizando las expresiones propuestas por Inoue en [10].

Los valores numéricos de los coeficientes dimensionales, referidos a las fuerzas y momentos hidrodinámicos correspondientes al catamarán de SIMPRO, se presentan a continuación:

$$\begin{array}{ll}
 X_{\dot{u}} = -346.7756 \text{ kg} & X_{n_c n_c} = 0.7465 \text{ kgm} \\
 X_{vr} = -8442.4 \text{ kg} & X_{n_c n_c \delta r} = 0.7465 \text{ kgm} \\
 X_{v^2} = -921.348 \text{ kgm}^{-2} & X_{u n_c \delta r} = -5.4427 \text{ kg} \\
 X_{u n_c} = -5.4427 \text{ kg} & X_u = -0.48 \text{ kgm}^{-1} \\
 X_{r n_d} = 5.1162 \text{ kgm} & X_{u^3} = -7.6 \text{ kgm}^{-2}
 \end{array}$$

Es válido aclarar que los términos cuyo valor numérico no aparece es porque son cero.

En el caso de la matriz de masas de fluido de Froude-Krylov, se calcula según (7), obteniéndose:

$$\mathbf{M}_F = \begin{bmatrix} 4266 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4266 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4266 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1493.1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1493.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

VI. COMPORTAMIENTO DEL MODELO OBTENIDO

En la realidad, los vehículos marinos están sometidos a efectos medioambientales como la acción de las corrientes, las olas y el viento. Estos elementos originan fuerzas y momentos que son determinantes en el comportamiento de los vehículos y en la forma en que siguen las trayectorias. Las olas y las corrientes influyen en las fuerzas y momentos hidrodinámicos, mientras que el viento afecta los movimientos de avance, desplazamiento lateral y guiñada.

En la Figura 3 se presenta en color negro la trayectoria en línea recta obtenida con el modelo sin considerar el efecto de las perturbaciones, mientras que en color gris se observa la salida del modelo teniendo en cuenta la acción de las olas, las corrientes marinas y el viento. Tal como se puede apreciar, las corrientes provocan una desviación en la trayectoria que debe seguir el vehículo. Durante la simulación la velocidad de giros de los motores se fijó en 60 rps, manteniendo a $\delta r = 0^\circ$. Las corrientes se simularon con valor de velocidad $VF = 0.5 \text{ m/s}$ y un ángulo de $\psi c = 30^\circ$. Por su parte, las afectaciones provocadas por el viento se simulan considerando una velocidad $VW = 0.5 \text{ m/s}$ y un ángulo de $\psi_w = 0^\circ$.

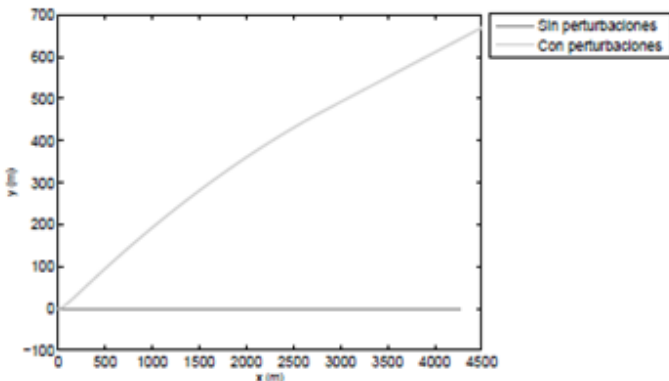


Figura 3: Simulación de una maniobra en línea recta con el modelo no lineal de 6 GDL con y sin perturbaciones. Fuente: Los Autores, (2015).

En una maniobra circular, la forma de la trayectoria depende del ángulo de incidencia y de la velocidad con que las perturbaciones afecten al vehículo. En la Figura 4, en color negro se muestra la simulación del modelo sin perturbaciones y en color gris la simulación del modelo considerando el efecto de las perturbaciones marinas. Durante la simulación, los motores giraron a 60 rps y tenían un ángulo de deflexión de $\delta r = 30^\circ$. La velocidad de las corrientes utilizada en la simulación es de $VF = 0.2 \text{ m/s}$, mientras que el ángulo es de $\phi c = 0^\circ$. El viento se simuló utilizando valores de $VW = 0.5 \text{ m/s}$ y $\phi_w = 0^\circ$.

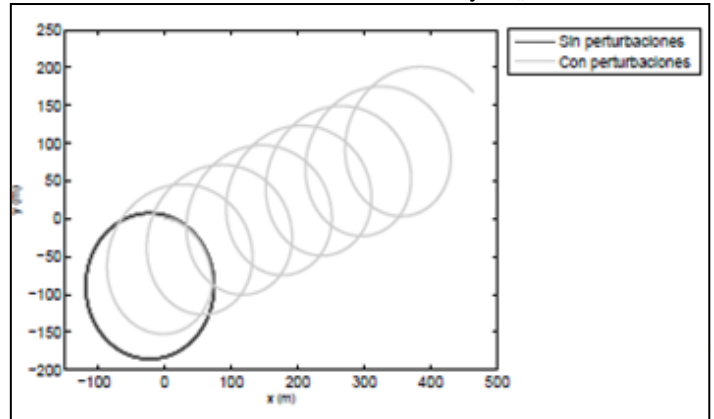


Figura 4: Simulación de una maniobra circular con el modelo no lineal de 6 GDL con y sin perturbaciones. Fuente: Los Autores, (2015).

Las maniobras circulares también se producen se utilizan velocidades de giro diferentes en cada motor, de esta manera se produce una descompensación de fuerzas y momentos que provoca el cambio en la dirección del vehículo. En las Figuras 5 y 6, se puede observar las componentes de posición y velocidad durante la simulación una maniobra circular provocada por las velocidades con que rotan los motores. Para provocar los giros en la trayectoria se coloca a un motor a trabajar a 60 rps y el otro a 10 rps, mientras que $\delta r = 0^\circ$. La velocidad de las corrientes se mantuvo en 0.2 m/s y la dirección de las mismas respecto al vehículo se estableció en 135° . Para simular los efectos provocados por el viento, se asigna un valor de $VW = 0.1 \text{ m/s}$ y de $\phi c = 10^\circ$.

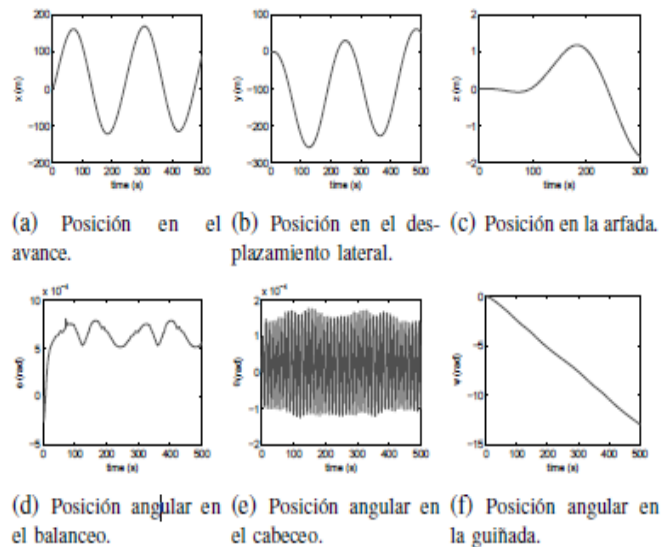


Figura 5: Componentes de la posición del catamarán durante la simulación de una maniobra circular. Fuente: Los Autores, (2015).

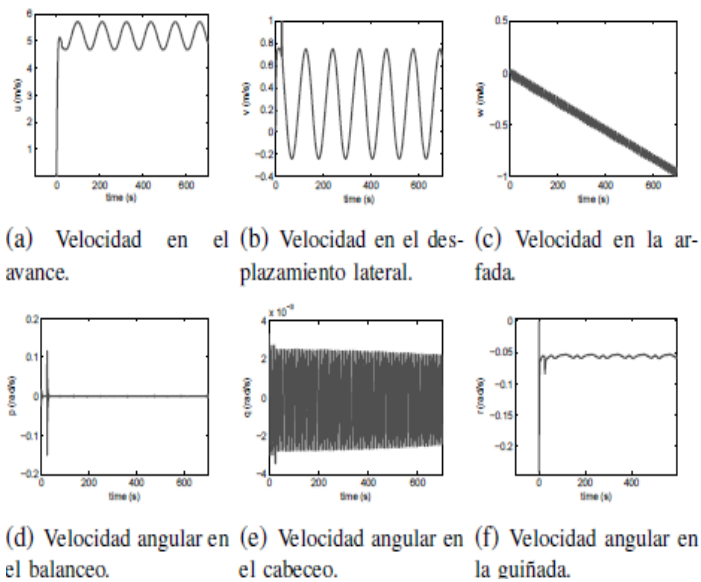


Figura 6. Componentes de velocidad del catamarán durante la simulación de una maniobra circular.
Fuente: Los Autores, (2015).

Por último, se repite la simulación de la maniobra en zigzag, para visualizar las diferencia que provocan las perturbaciones marinas. La Figura 7, muestra la curva gris oscuro del modelo sin efectos perturbadores y la curva gris claro la trayectoria del modelo contaminada con la acción de los elementos medioambientales. El ángulo de deflexión de los motores obedece el comportamiento de una onda cuadrada cuya amplitud varía en el rango de -35 a 35 . Los datos medioambientales se mantienen en $VF = 0.2 \text{ m/s}$, $\phi_c = 135^\circ$, $VF = 0.1 \text{ m/s}$ y $\phi_w = 10^\circ$. La inclusión en el modelo no lineal del catamarán de *SIMPRO* de los efectos que provocan el oleaje, el viento y las corrientes marinas permite recrear de manera más exactas las condiciones de operación del vehículo.

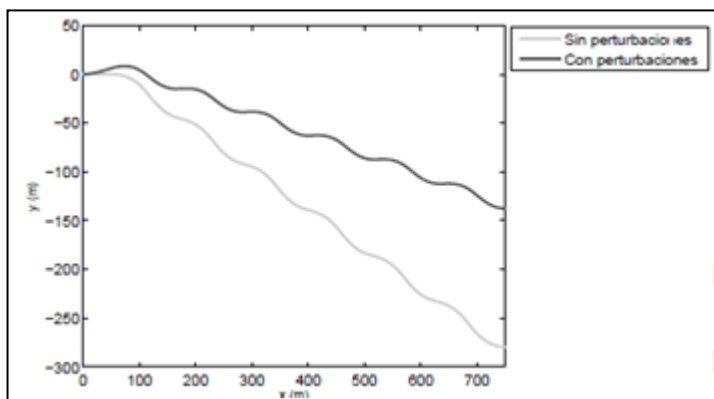


Figura 7: Modelo no lineal del Catamarán
Fuente: Los Autores, (2015).

En los resultados de las simulaciones se observa que para condiciones medioambientales no hostiles, el comportamiento del modelo no lineal de 6 *GDL* sigue siendo coherente con el desempeño que presentan vehículos de este tipo durante el desarrollo de maniobras en el mar.

VII. CONCLUSIONES

En esta investigación, se determina un modelo no lineal de 6 *GDL* para el vehículo de superficie tipo catamarán de

SIMPRO, que representa adecuadamente las características dinámicas del vehículo. Con este resultado, es posible la implementación en un simulador de este tipo de vehículos.

El modelo se obtuvo mediante un procedimiento analítico y semi empírico, utilizando solamente algunos resultados de experimentos evidenciados en la literatura y un costo computacional mínimo. El efecto de los actuadores, las olas y corrientes marinas, así como el viento, dotan al modelo dinámico del vehículo marino de un significado realismo a fin de cumplimentar con las exigencias de una aplicación de este tipo. La empresa *SIMPRO* se encuentra desarrollando el mundo virtual para acoplarla el modelo dinámico de 6 *GDL* del catamarán.

VIII. REFERENCIAS

- [1] T. I. Fossen, **Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control**. New York, United States: John Wiley & Sons., 2011.
- [2] M. G. de Sousa, “**Modelizaçã e controlo de um veículo oceanográfico autónomo**,” Master Thesis, Universidad Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, July 2004.
- [3] Y. Valeriano-Medina, A. Martínez, L. Hernández, H. Sahli, Y. Rodríguez, and J. R. Cañizares, “**Dynamic model for an autonomous underwater vehicle based on experimental data**,” *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems: Methods, Tools and Applications in Engineering and Related Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 175–200, 2013.
- [4] Y. Valeriano-Medina, “**Modelado dinámico de un vehículo autónomo subacuático**,” Master Thesis, Universidad Marta Abreu de las Villas, Villa Clara, Cuba, January 2014.
- [5] J. Fernández Ibarz, “**Modelo de simulación y control dinámico para un catamarán submarino con seis grados de libertad**,” PhD Thesis, Universidad de la Coruña, Spain, April 2003.
- [6] E. Lind and M. Meijer, “**Simulation and control of submarines**,” Master Thesis, Department of Automatic Control, Lund University, Sweden, 2014.
- [7] T. I. Fossen and A. Ross, **Advances in unmanned marine vehicles**. Great Britain: Peter Peregrinus LTD, 2006, vol. 69, ch. Nonlinear modelling, identification and control of UUVs, pp. 13–42.
- [8] J. E. da Silva, B. Terra, R. Martins, and J. B. de Sousa, “**Modeling and simulation of the LAUV autonomous underwater vehicle**,” in *13th IEEE IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*. Szczecin, Poland: IEEE Control Systems Society, 2007.
- [9] D. Garcia-Garcia, Y. Valeriano-Medina, L. Hernández, and A. Martínez- Laguardia, “**Wave filtering for heading control of an auv based on passive observer**,” *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, vol. 41, no. 6, pp. 540–549, 2012.

- [10] S. Inoue, M. Hirano, and K. Kijima, “**Hydrodynamic derivatives on ship manoeuvring**,” *International Shipbuilding Progress*, vol. 28, no. 321, pp. 112–125, May 1981.
- [11] T. I. Fossen, **Marine Control Systems Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles**. Norway: Marine Cybernetics, 2002.
- [12] SNAME, “**Nomenclature for treating the motion of a submerged body through a fluid**,” SNAME, New York, United States, Technical and Research Bulletin No. 1-5, April 1950.
- [13] T. I. Fossen, “**Nonlinear modelling and control of underwater vehicles**,” PhD Thesis, NTNU, Norway, 1991.
- [14] —, **Guidance and Control of Ocean Vehicles**. New York, United States: John Wiley & Sons., 1994.
- [15] C. R. Sonnenburg, “**Modeling, identification, and control of an unmanned surface vehicle**,” PhD Thesis, Universidad Estatal e Instituto Politécnico de Virginia, Virginia, United States, December 2012.
- [16] T. I. Fossen, T. A. Johansen, and T. Pérez, **Underwater vehicles**. Vienna, Austria: InTech, 2008, ch. A survey of control allocation methods for underwater vehicles, pp. 109–128.



Characterization of crystals growth in a crystallizer-evaporator through Digital image processing using the sobel filter

Juan Antonio Quintana Silva¹, Fabián Cabrera Sánchez², Abraham Téllez Morales³, Anselmo Osorio Miron⁴

^{1,2} Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación. México, Oriente 9 No. 818, Col. E. Zapata, C. P. 94320, Orizaba, Veracruz.

³ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México.

⁴ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. México, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, México. Prolongación Oriente 6 No. 1009, Col. Rafael Alvarado, C. P. Orizaba, Veracruz, México. Tel/Fax (+52) 272 72 40120

Email: jaquintanas@hotmail.com, levicabrera@hotmail.com, tellez_777@hotmail.com, anselmo_osorio@yahoo.com

Received: January 09th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 01th, 2018.

The sugar is consumed world widely, because it is one of the main sources of calories in the diets of every country. For its obtaining, a long process is required, since the cane seed germinates until the sugar is marketed nationally or internationally. Inside the obtaining process of the sugar it is found the stage of crystallization. The work presented in this article, proposes a digital image processing technique based on the Sobel filter. The obtained results let to characterize the sugarcane crystal growth in a simple effect evaporator-crystallizer in order to define when the crystallization process must be finished.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Keywords: Sugar, Characterization, Growth, Crystallization, Segmentation, Image.

Caracterización del crecimiento de cristales en un evaporador-cristalizador mediante procesamiento digital de imagen utilizando el filtro sobel

RESUMEN

El azúcar se consume en todo el mundo, ya que es una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa nacional o internacionalmente. Dentro del proceso de obtención del azúcar se encuentra la etapa de cristalización. El presente trabajo propone una técnica de procesamiento digital de imagen basada en el filtro Sobel. Los resultados obtenidos permiten caracterizar el crecimiento de cristales de caña de azúcar en un evaporador-cristalizador de simple efecto para definir el momento en que se debe finalizar el proceso de cristalización.

Palabras Clave: Azúcar, Caracterización, Crecimiento, Cristalización, Segmentación, Imagen.

I. INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera es una actividad relevante para la economía nacional según los recursos que absorbe su proceso laboral y comercialización, por el valor de su producción y por el tipo de consumo que experimenta su producto final. La caña de azúcar ha sido sin lugar a dudas uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial del continente americano y europeo. Contribuye con poco más de 0.5% en el producto nacional bruto; con el 2.32% en el producto del sector

manufacturero, y con el 12.5% en el producto del sector alimentario.

La agroindustria cañera genera alrededor de 300 mil empleos directos, distribuidos en las figuras de productores primarios directos, jornaleros, obreros fabriles y empleados de confianza. La mayor proporción de los empleos directos se ubican en el ámbito rural, esto es aproximadamente un 74%. Se estima que más de 3 millones de personas dependen directa o indirectamente de la agroindustria cañera.

A nivel nacional, la caña de azúcar al lado del café, naranja, plátano, alfalfa, coco y maguey, figura como uno de los

principales cultivos de producción continua del país. Los campos cañeros se encuentran distribuidos en 15 estados de la República: Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. Según estadísticas de la FAO y de la UNESCO, México es uno de los 10 países con mayor superficie cosechada y de mayor producción de caña de azúcar a nivel mundial [1].

El azúcar se consume en todo el mundo, ya que es una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países. En México tiene una considerable magnitud de mercado, su consumo es generalizado en el ámbito doméstico y tiene una importante demanda en el sector industrial, ejemplos de esto son la industria refresquera, galletera, alcohólica, dulcera y la de alimentos balanceados para alimentación animal. El azúcar es un producto de consumo básico para la población mexicana, junto con maíz, frijol, trigo y café [2].

Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa, nacional o internamente. Las etapas que más destacan son: Molienda o trapichado de la caña, purificación de los jugos, filtración, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y envasado.

El azúcar, en su etapa final, es un producto natural, sólido y que se manifiesta en forma de cristales [3]. La obtención de los mismos, se lleva a cabo mediante un proceso complejo. Esta complejidad surge debido a diversas circunstancias, entre las cuales destacan, la temperatura, el grado de saturación en la solución, agitación de la solución contenida en el cristizador, impurezas en la solución, etc. Se puede empezar a notar la presencia de cristales de azúcar cuando el jugo de caña se concentra y llega a un estado de sobresaturación.

La cristalización es un proceso por medio del cual se logra llevar a una sustancia a la forma de sólido cristalino partiendo de la misma sustancia fundida o de su disolución en un disolvente apropiado. Aunque pueden citarse algunos casos, también puede ser la cristalización de una sustancia partiendo de una fase vapor, sin pasar por el estado líquido. Es también importante como medio para purificar muchas sustancias y como método de fraccionamiento de mezclas de sustancias disueltas [4].

El interés químico-técnico de esta operación es que los sólidos cristalinos se manejan y transportan con más facilidad que las disoluciones y ocupan menos espacio, por lo cual esta forma es la preferida para la presentación de muchos productos. Entre las aplicaciones industriales de la cristalización, alcanzan gran importancia la obtención y purificación de sales minerales diversas, la de productos químicos, la de productos químico-farmacéuticos, la de productos intermedios para la industria químico-orgánica, el desparafinado de los aceites lubricantes para la obtención de estearinas para bujías, estearatos metálicos, etc.

En la industria metalúrgica, la forma de conducir la cristalización de las masas metálicas fundidas es decisiva para la calidad de los productos terminados, y en el caso en la industria de la alimentación, para obtener azúcar, mantequilla y margarinas, entre otros productos.

Los objetivos principales del proceso de cristalización se basan en tres elementos: el rendimiento, pureza elevada y distribución del tamaño de los cristales [5].

Estas características deben estar presentes durante todo el proceso donde se lleva a cabo la cristalización, sin embargo en la industria azucarera, el proceso es vigilado por una persona que es la responsable de decidir si el proceso de cristalización ha finalizado o si se debe continuar hasta obtener las condiciones necesarias para proseguir con el proceso de secado y envasado.

Esto da pauta para ofrecer al encargado del proceso de cristalización, una herramienta en la toma de decisiones, para reducir los errores basados en la experiencia subjetiva del personal y maximizar la calidad del producto. La herramienta a proponer se basa en el procesamiento digital de imágenes.

En este trabajo se propone la realización de la medición del tamaño de los cristales de azúcar de caña a través de esta técnica de procesamiento de imágenes, cuyo rango de aplicación abarca procesos en los cuales las entradas y las salidas son imágenes, en adición, abarca procesos que extraen atributos de las imágenes incluyendo el reconocimiento de objetos individuales [6].

II. METODOLOGÍA

Las corridas experimentales se desarrollaron en un evaporador-cristalizador de simple efecto. Este equipo es calentado con vapor que circula en el interior de la chaqueta del cristizador. De manera simultánea, un agitador mantiene uniforme a la solución dentro del mismo, Figura 1.

Las muestras obtenidas en el evaporador-cristalizador se observaron en un microscopio DC5-163, de National Instruments, que cuenta con un protocolo de comunicación mediante el puerto USB.

Este instrumento se conecta al ordenador para poder observar y adquirir las imágenes en la Figura 2.

El instrumento utilizado para medir la concentración de las distintas muestras, fue un refractómetro analógico manual, marca Atago, modelo 486284 en la Figura 3 [7].



Figura 1: Cristalizador-Evaporador.

Fuente: Los autores, (2018).



Figura 2: Microscopio National Instruments, DC5-163.

Fuente: Los autores, (2018).



Figura 3: Refractómetro analógico.
Fuente: Los autores, (2018).

Una vez que la muestra de la solución se obtiene del cristalizador se observa a través del microscopio, para su posterior procesamiento digital con ayuda de un algoritmo computacional. La forma en la que se logra medir el crecimiento de los cristales formados en la solución será mediante una técnica de segmentación basada en el filtro Sobel.

La manera en la cual se realiza el procesamiento de la imagen se plantea de la manera siguiente: se obtiene la imagen mediante el microscopio, se procesa la imagen y se aplica el algoritmo de segmentación, se mide el tamaño de los cristales y se compara el valor actual con el valor deseado para dar opción a dos posibles respuestas: continuar con el proceso de cristalización o detener el proceso dentro del cristalizador. En la Figura 4 se muestra un diagrama de flujo acerca del proceso elaborado en el tratamiento de la imagen.

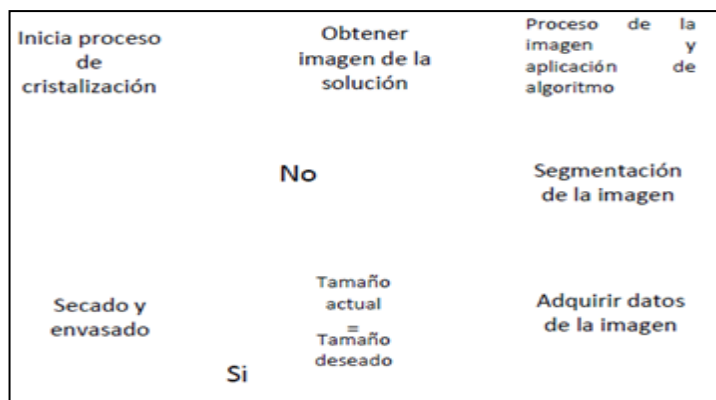


Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de cristalización y procesamiento de la imagen.
Fuente: Los autores, (2018).

El método mostrado ofrece una alternativa para poder determinar el momento en que la cristalización dentro del equipo piloto se ha realizado. Esto tendrá como respuesta un producto de mejor calidad en el mercado, reducción de los tiempos y costos, y el uso de tecnologías actuales implementadas en la generación de productos de un valor agregado alto.

III. RESULTADOS

Las imágenes que se presentan a continuación; manifiestan características que hacen más difícil el proceso de segmentación. Para corregir este problema se debe hacer un pre-procesamiento a la imagen para poder tratarla.

El proceso de cristalización, es un proceso complejo. Se tienen que conocer los eventos que conforman este suceso, así como las condiciones que tienen que estar presentes para poder lograr el crecimiento de cristales y poder observarlos a través de una imagen para su posterior tratamiento digital. Las imágenes presentadas muestran diferentes crecimientos de cristales, a distintas concentraciones en la solución. En la Figura 5, se muestra una imagen a una concentración de 69° Brix. En la Fig. 6, se tiene una imagen a 73° Brix mientras que una concentración de 80° Brix se observa en la Figura 7. Para 83° Brix, la imagen se puede ver en la Figura 8.

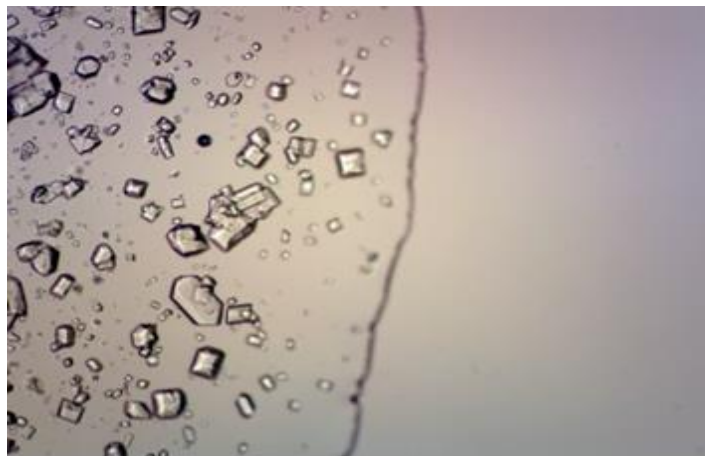


Figura 5: Solución a 69° Brix.
Fuente: Los autores, (2018).

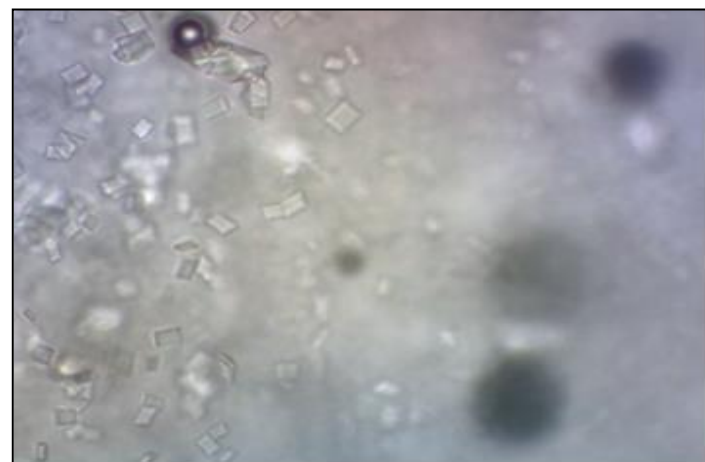


Figura 6: Solución a 73° Brix.
Fuente: Los autores, (2018).

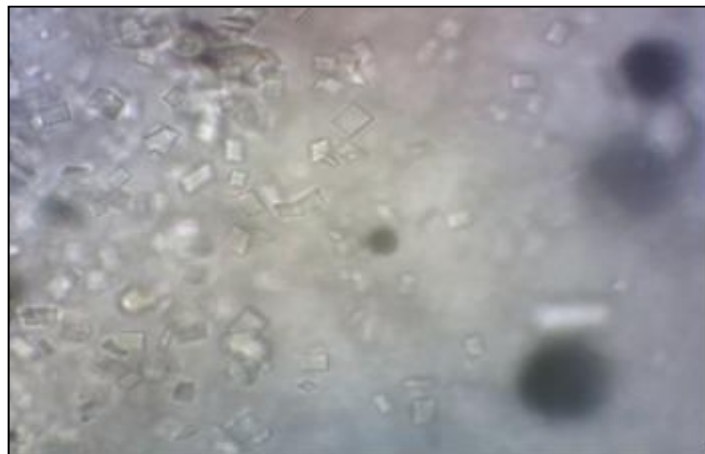


Figura 7: Solución a 80° Brix.
Fuente: Los autores, (2018).

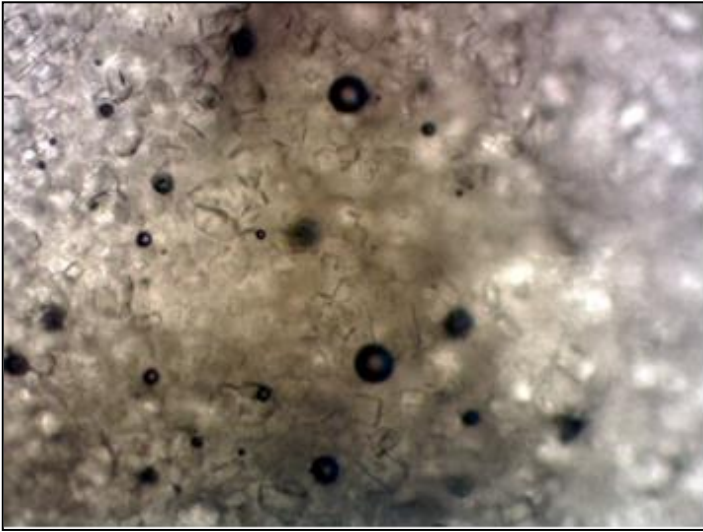


Figura 8: Solución a 80° Brix.
Fuente: Los autores, (2018).

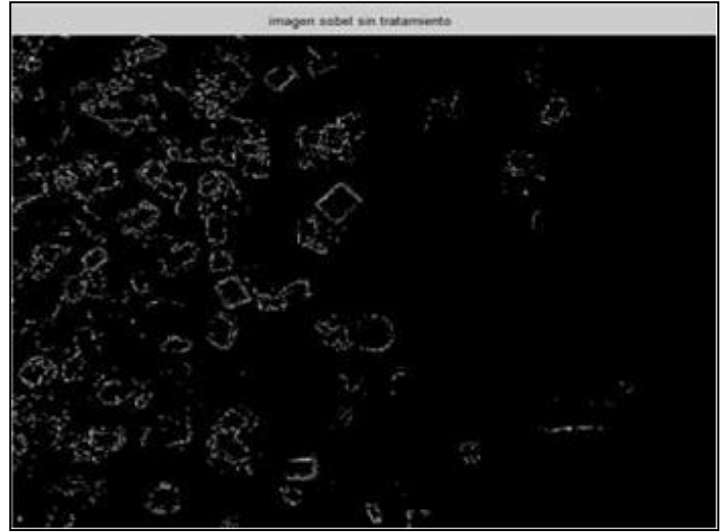


Figura 9: Imagen Segmentada.
Fuente: Los autores, (2018).

Las imágenes del crecimiento de cristales que se muestran en las figuras 5-8, proporcionan una idea de lo que se desea obtener para detener el proceso de cristalización. Sin embargo es necesario aclarar que lo que se busca, son cristales con un tamaño y forma específicos, que faciliten el procesamiento de la imagen. Por esta razón, la imagen de la Figura 5 es la que se proceso para obtener los datos requeridos y dar fin a la cristalización en el evaporador. Imágenes obtenidas con saturación inferior a 70° Brix no presentan crecimiento de cristales, o manifiestan solo algunos cristales. Imágenes superiores a 85° grados Brix, presentan una solución sobresaturada y repleta de cristales que impide que se observen claramente, debido a que forman una masa compacta, semejante a un caramelo. El rango idóneo, después de muchas pruebas; se pudo observar entre 77° y 82° Brix.

El procesamiento realizado a la imagen consiste en leer la imagen, convertirla a escala de grises, corregir los efectos de iluminación, incrementar los contrastes, para posteriormente aplicar el algoritmo de segmentación [8]. El programa usado para desarrollar el algoritmo es MATLAB versión 7.0. Se puede definir a la segmentación de una imagen, como un proceso de detección de objetos.

Los cambios en el contraste de una imagen pueden ser detectados con operadores que calculan el gradiente de una imagen. Este gradiente puede ser calculado y un umbral puede ser aplicado para crear un mapa binario que contenga los cristales.

Se denomina mapa binario a una imagen en donde se muestra un fondo negro con los contornos de los cristales en color blanco, Figura 9. Esta imagen se interpreta en MATLAB como datos con valores de 0's y 1's. [9].

A esta imagen segmentada se le aplica un proceso de dilatación debido a la aparición de brechas que están dentro del cristal mostrado. Figura 10.

Una vez dilatada la imagen se procede a rellenar la imagen para que muestre la figura de un cristal. Figura 11.

Se eliminan los elementos que se encuentren al borde de la imagen, mediante un comando que permite realizar esta acción. Figura 12. Enseguida se aplica un procedimiento de alisado a la imagen, a este proceso se le conoce como *Smooth*. Figura 13.

Finalmente se obtiene el tamaño promedio de los cristales visualizados en la imagen. El valor que se obtiene es de 211. 41 elementos de imagen.

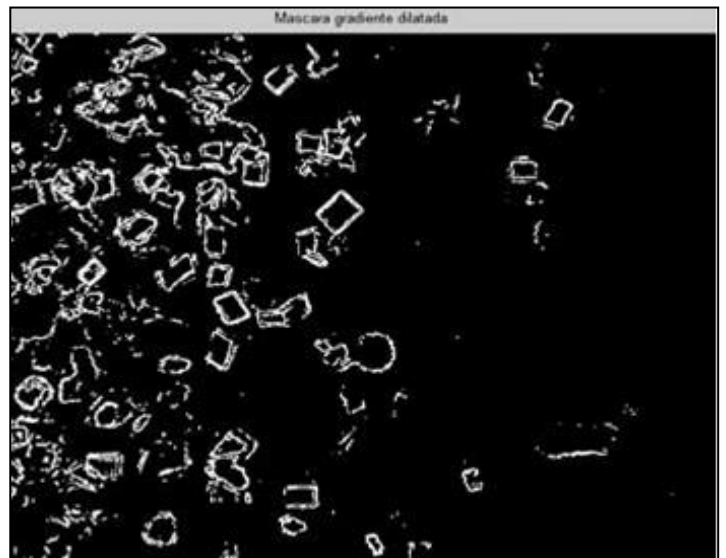


Figura 10: Imagen Dilatada.
Fuente: Los autores, (2018).



Figura 11: Imagen Rellenada.
Fuente: Los autores, (2018).

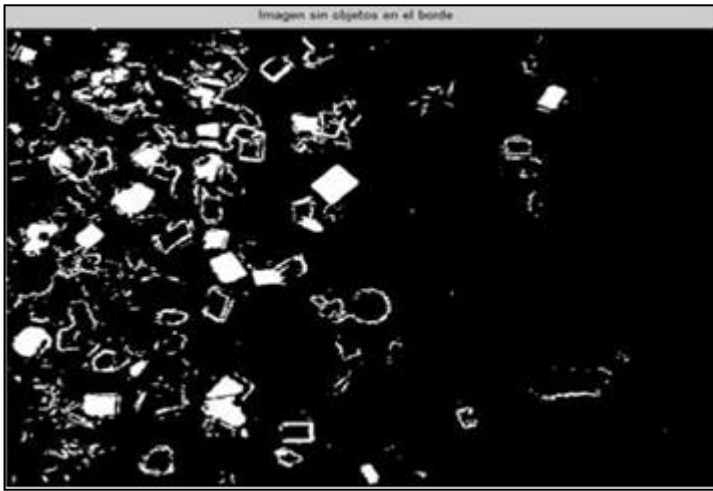


Figura 12: Imagen Sin Objetos en el borde.
Fuente: Los autores, (2018).

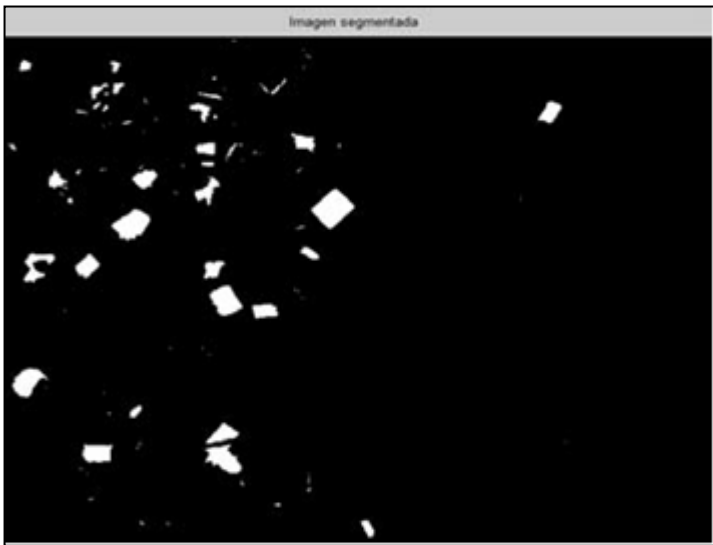


Figura 13: Imagen Alisada.
Fuente: Los autores, (2018).

El procesamiento de las imágenes de cristales de azúcar fue realizado usando un filtro tipo pasa altas, llamado filtro Sobel. Este tipo de filtro permite detectar y dar realce a los bordes. También permite detectarlos horizontal y verticalmente o de manera independiente. Su característica más importante es que es mucho menos sensible al ruido comparado con otros filtros [10].

El detector de bordes Sobel usa la máscara de la Figura 14, para aproximar digitalmente la primera derivada G_x y G_y . En otras palabras, el gradiente en el punto central en una vecindad, es computarizado como se muestra a continuación por el detector Sobel.

$$g = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$$

$$g = \{[(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)]^2 \dots$$

$$\dots + (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)]^2\}^{1/2} \quad (1)$$

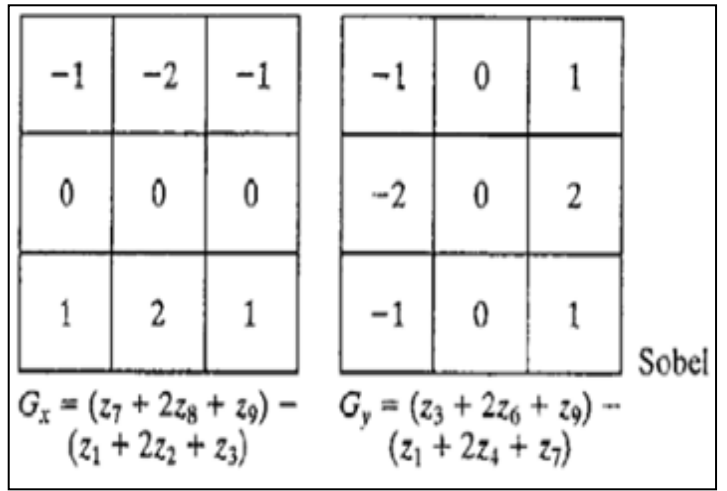


Figura 14: Mascara detectora de bordes y su derivada de primer orden que implementa.

Fuente: Los autores, (2018).

La sintaxis general de llamada para el filtro sobel es:

$$[g, t] = \text{edge}(f, 'sobel', T, \text{dir})$$

donde 'g' es una imagen lógica conteniendo 1's en las posiciones donde los bordes fueron detectados y 0's en otras partes. El parámetro 't' en la salida es opcional, es el valor de umbral usado en el borde, 'f' es la imagen de entrada, 'T' es un umbral específico y 'dir' especifica la dirección principal de los bordes detectados: 'Horizontales', 'Verticales' o 'ambos' (Por default) [6].

IV. CONCLUSIONES

Los resultados permitirán detectar el momento en que se inicia la cristalización, darle seguimiento y determinar el punto final del proceso; así como contribuir como herramienta alterna a la toma de decisiones por parte de los operadores del equipo de cristalización.

La técnica usada para detectar objetos en una imagen se basa en el detector de bordes Sobel, cuya característica principal es que el ruido lo afecta en menor medida, lo que reduce el uso de técnicas de pre-procesamiento, generando una imagen con características de calidad.

La detección de los cristales de azúcar, a través del procesamiento de imágenes del proceso, permitirán direccionar los trabajos futuros, hacia el monitoreo en línea y/o al diseño de algoritmos de control en lazo abierto o en lazo cerrado, para mantener las características principales del producto en los niveles deseados.

V. REFERENCIAS

- [1] Figueroa Sandoval B., González Cossío F., Jaimes Escobedo A. (Noviembre 2003). **Caracterización de la agroindustria caña de azúcar e identificación de las demandas tecnológicas.** [En línea]. Disponible en: www.sniit.org.mx/pdfs/demanda/cana-deazucar.pdf
- [2] Alvarado Arenas Y., "Proceso azucarero", Tesis de profesional técnico químico en procesos de producción, Depto., de química, Colegio Nacional de educación profesional Técnica, plantel 252, Orizaba, México, 1997. Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A. (Noviembre 2005). Proceso de

elaboración del azúcar. [En línea] Disponible en:
www.sancarlos.com.ec/pdf/proceso_azucar.pdf.

[3] Vian A., Ocón J. Elementos de ingeniería Química (Operaciones Básicas), 5ta edición, Aguilar S.A. de ediciones, 1976, pp., 695-698.

[4] McCabe W., Smith J., Harriott P. **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**, 4ta. Edición, McGraw-Hill, 2003, pp. 925-931.

[5] Gonzales R. Woods R. Eddins S. **Digital Image Processing Using Matlab**. 1ra. Edición, Prentice Hall, 2005, pp. 378-425.

[6] PCE Ibérica S.L. **Refractómetro de mano**, Instrucciones de uso. (Septiembre 2006). [En línea]. Disponible en:
www.pceiberica.es/manuales/manual-refractometromanual.pdf

[7] **Detección de bordes en una imagen** (Noviembre 2006). [En línea]. Disponible en:
www4.ujaen.es/~satorres/practicass/practica3_vc.pdf

[8] The MathWorks, Inc. **Manual de referencia de matlab**. Versión 2007. García Bernal S. (Enero 2008) Manual Azul Nodos [En línea]. Disponible en: www.zonanim.com/azul/azul-nodos-r2.01.pdf



A holistic vision of the influence of quality in the industrial process

Fernando Paulo Teles¹, Jandecy Cabral Leite^{1,2}, Lina Botelho^{1,2}

^{1,2}Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (PPGEP-ITEC-UFGPA). Avenida Augusto Correa Nº 01. Guamá. Belém-Pará-Brasil. CEP: 66075-110. Caixa Postal 479. PABX: +55 91 3201-7000.

²Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco Nº 1950. Centro. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 60020-031. Fone: +55 92 3584 6145.

Email: fpaulo.teles@gmail.com, jandecy.cabral@itegam.org.br

Received: January 23th, 2017

Accepted: February 17th, 2017

Published: March 30th, 2017

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

This paper presents a holistic view of the influence of quality on industrial processes. In an increasingly competitive market, companies are looking for strategic decisions that guarantee their survival, thus making a holistic analysis of the current and future scenario, since quality has become a prime factor for organizational growth, as well as a Competitiveness mechanism. The objective of the study was to bring the influence that the quality makes in the industrial processes from the changes, until the adequacy for the total satisfaction of the client. The applied methodology was the one of bibliographical survey, in articles, books, dissertations, theses and monographs. The results show that quality is seen by companies as a key element for organizational development. In a holistic view, companies have focused on the concepts of quality, treating as a mechanism that has led to changes in production processes, being considered one of the responsible for customer satisfaction.

Keywords: Quality. Processes. Influence. Satisfaction.

Uma visão holística da influência da qualidade no processo industrial

RESUMO

Este artigo apresenta uma visão holística da influência da qualidade nos processos industriais. Em um mercado cada vez mais competitivo, as empresas buscam decisões estratégicas que garantem sua sobrevivência, fazendo assim, uma análise holística do cenário atual e futuro, haja vista que, a qualidade se tornou um fator primordial para o crescimento organizacional, além de, um mecanismo de competitividade. O objetivo do estudo foi trazer a influência que a qualidade faz nos processos industrial desde as mudanças, até a adequação para a satisfação total do cliente. A metodologia aplicada foi a de levantamento bibliográfico, em artigos, livros, dissertações, teses e monografias. Os resultados mostram que a qualidade é vista pelas empresas como um elemento chave para o desenvolvimento organizacional. Em uma visão holística, as empresas têm se direcionado para os conceitos de qualidade, tratando como um mecanismo que tem levado a mudanças nos processos de produção, por ser considerado um dos responsáveis pela satisfação do cliente.

Palavras-chave: Qualidade. Processos. Influência. Satisfação.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade foi propagado a partir dos anos 50, seus princípios passaram a ser absorvidos pela maior parte das empresas. Começando a ser entendida como mecanismo estratégico, passando a ser valorizado pelo mercado, hoje, um fator

de competitividade [1]. A partir da década de 80, o elemento qualidade se manifesta em nível mundial como uma ferramenta estratégia na luta pelos mercados consumidores, mudando a forma de tratar os processos produtivos, levando assim, as empresas à busca de controles eficazes, procurando dessa forma reduzir custos e por consequência maximizar os seus lucros [2].

A pesquisa apresenta um estudo numa visão holística da influência da qualidade nos processos industriais. Tendo em vista que, um dos princípios básicos da qualidade são a prevenção e a melhoria permanente. Considerando-se que, a qualidade é um planejamento constante, tornou-se as palavras-chaves mais difundidas junto às empresas e à sociedade. Haja vista que, para muitos que a qualidade está integrada a características intrínsecas de um bem, como desempenho e durabilidade. Já para outros, qualidade está associada à satisfação dos usuários, com relação à sua utilização.

Sendo que, a qualidade é do tamanho da satisfação dos clientes, com relação ao atendimento das suas necessidades [3]. Em decorrência da competitividade crescente entre as empresas, a qualidade passa a ser um fator de sucesso empresarial. Iniciando um trato com o ambiente tanto interno quanto externo, com a troca de experiências diversas, na tentativa de fazer melhor, com menos tempo e menos custo. A qualidade influencia os processos industriais, causando-lhes mudanças constantes [4].

É através do processo produtivo, que surgem todos os esforços e ações envolvidas para atender plenamente ao anseio do cliente. No processo de produção industrial a qualidade visa num primeiro momento eliminar perdas e as suas causas, além da otimização dos custos.

Trazendo os aspectos da qualidade que influencia os processos produtivos, destacando que, as empresas precisam estar atentas às inovações tecnológicas inerentes ao seu processo industrial, e à modernização de seus equipamentos [5]. A influência da qualidade nos processos produtivos resulta em inovações de produto por meios tecnológicos. Já os novos processos são inovações para as produções em andamento, devendo-se frisar que, as organizações normalmente não influenciam diretamente nos processos de inovação, entretanto, a qualidade sim, por ser uma exigência do cliente [6].

A inovação constitui uma autêntica política empresarial, que define propósitos e perspectivas para o crescimento das empresas [7]. A qualidade converte-se em estratégia que direciona a empresa a atender bem os seus clientes, organizando de forma que venha garantir aos produtos e serviços característicos perceptivos pelos clientes, adequando-se as suas necessidades [8].

A pesquisa tem como objetivo trazer uma visão holística da influência da qualidade nos processos industriais. Visto posto que, a qualidade é uma ferramenta muito importante para a competitividade e permanência das empresas no mercado consumidor, torna-se relevante estudos holísticos que apontam a atuação da qualidade nos desenvolvimentos dos processos produtivos. A escolha deste estudo, foi decorrente de que as empresas industriais estão sempre adequando os seus processos para permanência no mercado consumidor. Diante do exposto, surgiu a seguinte problemática: *De que forma a Qualidade influencia nos processos industriais?*

II. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo bibliográfico de natureza qualitativa, que eleva algumas técnicas que coadjuvam a descoberta de acontecimentos subentendidos, que reúnem um conjunto qualitativo de informações.

Durante a pesquisa qualitativa as técnicas não se pautou em um modelo único, exclusivo e padronizado. Segundo [9] “possibilitar a criação que mobiliza a acuidade inventiva do

pesquisador, sua habilidade artesanal e perspicácia para elaborar a metodologia adequada ao campo da pesquisa, ao problema eleito”

O estudo bibliográfico compreende a leitura, análise e interpretação de conteúdos de livros, periódicos, textos legais, documentos mimeografados ou xerocopiados, mapas, fotos, manuscritos etc. Em uma análise atenta e sistemática que se faz acompanhar de anotações. Com o objetivo é levar ao conhecimento das diversas contribuições científicas disponíveis sobre determinado tema, além de proporcionar subsídios para a evolução das análises críticas [10].

O universo da produção bibliográfica que compôs o estudo compreende as publicações de artigos científicos veiculados nos periódicos e anais nacionais, Qualis A e B da Capes, da área das diversas áreas, no período de 1990 a 2015. Tendo em vista os propósitos do estudo, optou-se pela seleção dos periódicos da área da Qualidade. O processo de seleção dos periódicos apurou-se 14 periódicos, 10 Livros, 1 Simpósio e uma conferência na área da Qualidade. O processo de seleção dos artigos Uma vez definidas as fontes de coleta de dados, procedeu-se o processo da recolha dos artigos científicos.

Esta atividade foi alcançada através da pesquisa documental [11]. Este tipo de análise admite um entendimento de ocorrências específicas, conceituar com base em diversas visões e contrasta com métodos que se propõem a testar hipóteses. A pesquisa documental parte de uma visão de fora, em que o pesquisador se distancia da realidade pesquisada e utiliza instrumentos estruturados em conceitos teóricos para apurar objetivos específicos do seu estudo.

O instrumento estruturado da análise são artigos científicos e livros. De acordo com a [12] ABNT.NBR 6022 (2003, p.2)” artigo científico é parte de uma publicação com autoria declarada, que apresenta e discute ideias, métodos, técnicas, processos e resultados nas diversas áreas do conhecimento”.

O processo de identificação dos artigos que compuseram a produção bibliográfica iniciou-se pela organização dos periódicos e anais dentro do ano de sua publicação. A partir desta dimensão, seguiram-se as seguintes fases de filtragem: Seleção, por discernimento, dos artigos que abordassem o indivíduo em contexto de trabalho; Definição das palavras-chaves que deveriam estar indexadas nos elementos pré-textuais “título” ou “resumo”; Procedimentos da análise foi através da análise de conteúdo como técnica de análise da produção bibliográfica. O objetivo desta técnica, de acordo com [13] é entender de forma crítica o sentido das manifestações (escritas ou orais), ocultas ou explícitas de um determinado tema.

III. A QUALIDADE E SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A qualidade tem sua evolução com o aparecimento do controle de qualidade, apoiado por *Shewhart* na Inglaterra no século XX na década de 30, mostrando-se uma grande arma de melhoria. A principal ferramenta utilizada por *Shewhart* nesse período foi a escala de análise de erros e desvios no desempenho do padrão preestabelecido para investigação causal.

Ainda no século XX, na década de 50, os EUA que lideravam a crescente industrialização, principalmente nas indústrias automobilísticas, os Doutores Edward Deming e Joseph Juran, acabaram agregando pontos positivos utilizando técnicas para melhoria da qualidade, que posterior se tornaram modelos na produção mundial. Os japoneses também contribuíram implementando elementos que direcionava as relações fornecedor-empresa, clientes-empregados e de operacionalizar o envolvimento

dos empregados na organização através de ferramentas tais como CCQ e outros [14].

A qualidade passou a ser aplicada nas empresas resultando na melhoria gradativa dos processos e dos produtos. As empresas japonesas passaram então a ser um padrão internacional, oferecendo produtos de alta qualidade e a preços mais baixos. De acordo com o Manual da Qualidade [15] que a aplicação do modelo de gestão da qualidade foi iniciado no Japão nos anos 70 e depois difundido por todo o mundo, especialmente Estados Unidos e Europa. Foi no EUA e na Europa que se deu início aos princípios básicos da gestão da qualidade. Sendo que na Europa vieram os modelos de valorização do fornecedor-empresa, recebendo o nome de modelo defensivo ou do comprador e no EUA o estilo norte-

americano de conduzir sempre deixando claro a importância do cliente, caracterizando-se como modelo agressivo ou do vendedor.

IV. QUALIDADE

A preocupação com a qualidade dentro das empresas surgiu no século XX. Entretanto, os diversos mecanismos das quais as organizações se planejam, definem, obtêm, controlam e melhoram seus processos, tem sofrido amplos desenvolvimentos nos últimos anos, contrapondo as modificações políticas, económicas e sociais, tendo como fator responsável à qualidade [16].

O quesito Controle da Qualidade é o foco dos três estágios deste modelo.

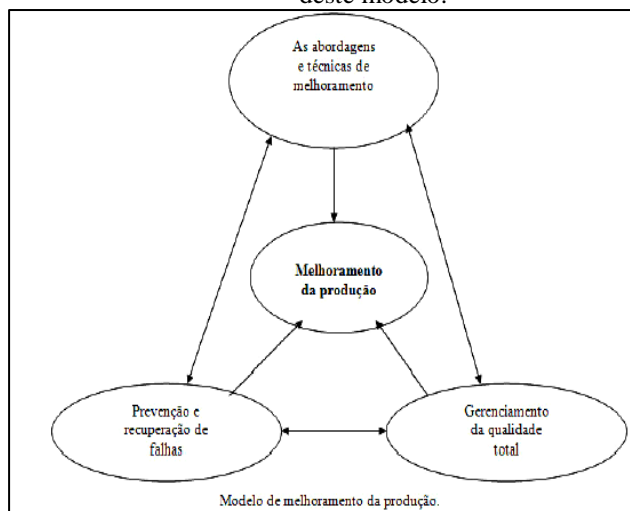


Figura 1: Modelo de melhoramento da produção.

Fonte: [17].

A qualidade é superior as coisas. A introdução da qualidade nas operações estratégicas das organizações acontece em uma totalidade que envolve principalmente mudanças cultural das pessoas que compõem a organização. Segundo o autor David A. [18], professor na Harvard Business School da Universidade de Harvard nos Estados Unidos, o desenvolvimento da qualidade

divide-se em 4 etapas, as chamadas “Eras da Qualidade”. A Qualidade, que tinha como foco apenas o produto acabado, em que se inspecionava o que era produzido, criando métodos para análise de amostras e inspeções, quer dizer, a estrutura de bom ou ruim. Procedimento este muito dispendioso e que não podiam sofrer alterações no que já havia sido feito.

Identificação das Características	Etapa do Movimento da Qualidade			
	Inspeção	Controle Estatístico da Qualidade	Garantia da Qualidade	Gestão Estratégica da Qualidade
Ênfase	uniformidade do produto	uniformidade do produto com menos inspeção	toda a cadeia de produção, desde o projeto até o mercado, e a contribuição de todos os grupos funcionais	as necessidades do mercado e do consumidor
Orientação e abordagem	"inspeciona" a qualidade	"controla" a qualidade	"constrói" a qualidade	"gerencia" a qualidade

Figura 2: As Quatro Principais Eras da Qualidade.

Fonte: [19].

As qualidades nos produtos passaram a ser praticadas nos processos de produção, originando assim, à Gestão da Qualidade, que direciona as atuações dos procedimentos para o completo atendimento do cliente [20].

A qualidade contribui com o alcance de três grandes objetivos organizacionais tais como: Abordagem sistemática de todas as atividades que envolvem o processo; Favorece as

atividades de prevenção em todo processo; dá ênfase ao alcance dos resultados [21].

Na conjuntura empresarial, o fator qualidade, influência de forma direta a conformidade da produção de bens e/ou serviços dentro das especificações estabelecidas pelo projeto, é visto não só como uma exigência do consumidor, mas também como um fator de redução de custos, ou seja, quanto maior o número de produtos

feitos de acordo com as especificações, menores serão os custos de perdas [22].

V. VISÃO HOLÍSTICA

A visão holística focaliza sempre entender em os acontecimentos em geral. O conceito Holístico foi mencionado por Jan Christiaan Smuts em 1926, que o descreveu como a disposição natural de usar o desenvolvimento criativo para compor um “todo” que é o máximo do que a soma das suas partes.

No campo empresarial, a visão holística é um contexto macro, de todos os seus elementos, estratégias e atividades, que resulta em uma representação única da organização, sendo o inverso da lógica mecanicista, que tem como ação de dividir os espaços em vários grupos, causando assim uma perda da visão total da organização [23].

A qualidade acarreta como influência a procura pela melhoria contínua, que se materializa na criação de um mecanismo de auto avaliação, podendo ser chamado de indicador de desempenho, que é capaz de avaliar a ciclos curtos, as atividades, e os resultados. Para ter-se um processo produtivo com eficiência deve-se focar na qualidade. O gestor tem o papel de se apresentar como diferenciador e facilitador de melhorias dando total importância para a comunicação, a mudança, a visão, o trabalho de equipe, a busca de resultados, a pró-atividade e o crescimento organizacional, sendo também responsável pelas mudanças nos processos.

A Qualidade não acaba com os problemas que podem chegar aos clientes, e nem tão pouco melhora parte de um processo. Qualidade não é meramente operacional, em que as inspeções sejam apenas nas linhas de fabricação, recebimento, produtos acabados, buscando a eliminação de falhas. Qualidade é um diferencial competitivo, que pode fazer com que uma organização permaneça ou não no mercado consumidor, proporcionando diminuição dos problemas, retrabalhos, além de aumentar a

produção. Qualidade significa a mudança de um processo produtivo para a satisfação total do cliente [24].

VI. PROCESSOS PRODUTIVOS

A existência dos processos produtivos foi em decorrência da produção de bens e serviços, tornando-se objetivo da existência das empresas. Os meios viáveis para o alcance de um dado objetivo em uma organização são através do resultado final, que envolve a satisfação dos clientes. Visto que, os processos produtivos têm suas atividades formadas por um conjunto de vários inputs de adição de valor e um output de saída [25].

Os processos de produção estão ligados de forma direta a produtos e/ou serviços que possuem um cliente final. Processo pode-se dizer que, é um conjunto de tarefas capazes de conduzir bens ou serviços, que envolve toda uma organização [26].

A produtividade nos processos produtivos se traduz no exercício da qualidade aplicada nas etapas de desenvolvimento, projeto, método fabril e venda de um produto, devendo ser atrativo na perspectiva econômico, com satisfação total do cliente e com redução de retrabalho e perdas, proporcionando uma maior competitividade [27].

Produção se entende como sendo toda e qualquer atividade relacionada à fabricação de produtos ou serviços, que a partir da transformação de insumos, matérias primas, recursos produtivos entre outros, agregam valor a cada etapa e ao produto final [28].

A produtividade dos processos produtivos só pode alcançar a excelência se for considera as informações disponibilizadas nos controles internos das empresas ou do *benchmarking*, para que possa realizar os controles e aplicar de forma correta as ferramentas da qualidade, gerando dados comparáveis nas dimensões de tempo e quantidade, de forma a produzir, dividindo em atividades com o menor custo possível, ajudando na tomada de decisão dos responsáveis envolvidos. Para [27] trabalha quatorze pontos, Quadro 1, que a qualidade influencia no processo produtivo.

Quadro 1: Os Catorze Pontos de Deming.

Os catorze pontos de Deming	
1	Estabelecer objetivos estáveis, com vista à melhoria dos produtos e serviços
2	Adoptar a nova filosofia (de gestão da qualidade)
3	Não depender exclusivamente da inspeção para aceitar a qualidade
4	Não utilizar apenas o preço para conduzir o negócio. Em vez disso, minimizar os custos totais trabalhando com um único fornecedor
5	Melhorar constantemente os processos de planejamento, produção e fornecimento dos serviços trabalhando com um único fornecedor
6	Instituir a formação no posto de trabalho
7	Adoptar e instruir a liderança da direção
8	Eliminar o medo (de cometer erros)
9	Eliminar barreiras funcionais entre áreas
10	Eliminar slogans, anotações e cartazes dirigidos aos trabalhadores dos níveis mais baixos
11	Eliminar indicadores monetários para os trabalhadores e numéricos para a gestão
12	Eliminar as barreiras que dificultam o orgulho pelo trabalho realizado. Eliminar sistemas anuais, ou sistemas de mérito
13	Instituir um sistema de formação e auto melhoria para toda a gente
14	Envolver toda a gente no trabalho de alcançar os objetivos da mudança

Fonte: [27].

Observa-se no Quadro 1 que, os quatorze pontos prescrito por Deming, mostra a grande influência da qualidade em todos os processos que envolvem a produção, além da mudança na cultura organizacional.

Vale enfatizar que, a qualidade só causa melhorias positiva se for aplicada corretamente. O uso inadequado das ferramentas da qualidade tende a causar mais prejuízos para o

processo produtivo, por proporcionar resultados não reais dos problemas.

Sendo que, um processo que aparentemente está sobre controle, pode estar encoberto falhas que irão prejudicar os resultados da empresa mais à frente.

VI. A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE NOS PROCESSOS PRODUTIVOS

A medida que se define qualidade como a adaptação ao uso dos bens e/ou serviços, analisando o ponto de vista dos clientes finais em cinco dimensões: qualidade intrínseca, custo, entrega, moral e segurança [29].

A influência da qualidade nos processos industriais, se propicia de amplos impactos dentro da organização buscando a excelência dos processos e não dos defeitos dos bens e serviços [30].

A qualidade em processos de produção é fundamentada para atender as especificações dos procedimentos, com a finalidade de não conformidade, procurando na cultura da empresa a disciplina,

a persistência, foco na liderança e o investimento dos recursos humanos, além de toda uma reestruturação organizacional, pois o custo que se gera nos processos, recai pela falta de qualidade [31].

A qualidade nos processos industriais pode ser percebida como a excelência no uso dos diversos recursos e meios disponíveis em uma empresa, obtendo assim produtos que satisfaça a expectativas do cliente. Observa-se que a qualidade influencia na mudança cultural da organização focalizando a contínua melhoria dos produtos e os processos.

Deming enfatiza que os padrões de qualidade de uma organização devem ser representados por uma das preocupações mais relevantes, acima da capacidade produtiva, já que a qualidade deve ser vista antes mesmo de iniciar a produção [32].

Uma vez que a qualidade preventiva traz adicionados diversos benefícios, como diminuição de custos, redução de retrabalho e falhas, além de um melhor aproveitamento do tempo e dos materiais. Possibilitando que as empresas possam ter mais força para alcançar a liderança de mercado, ou manter-se sempre competitiva conforme mostra a figura 3.

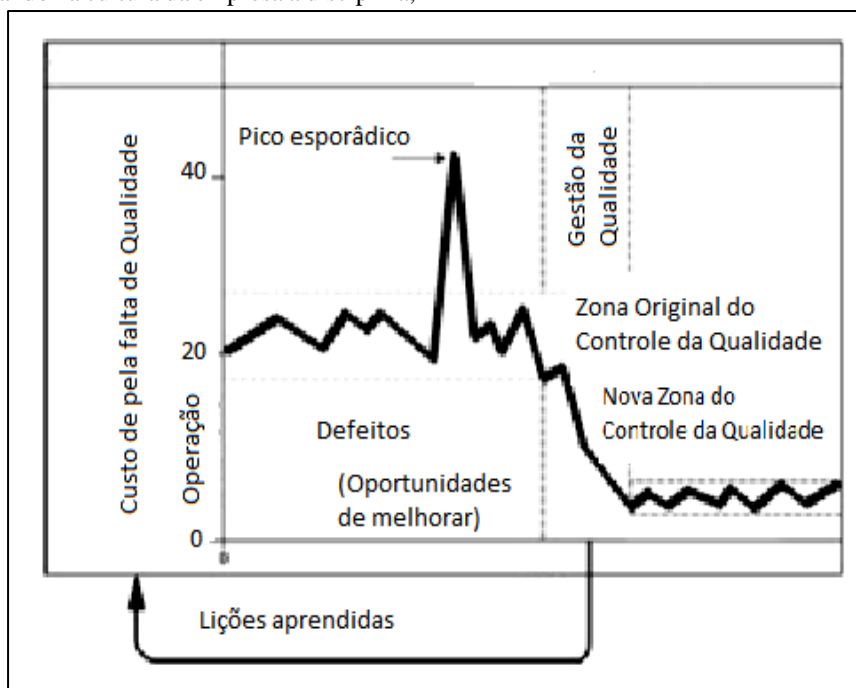


Figura 3: Qualidade nos processos.

Fonte: [33].

A qualidade é uma das maiores preocupações nas organizações, por ser considerada a chave do sucesso. Sua influência tem levado as instituições a fazerem mudanças até na sua estrutura organizacional. De forma que, vem gerando bens e serviços de alta qualidade [34].

Além de que, aplicar as ferramentas da qualidade nos procedimentos, traz uma redução de valores nos custos e aumento da lucratividade, e diminuição de defeitos e o mais importante, gera produtos e/ou serviços com alta qualidade, gerando um resultado final de clientes satisfeitos. As organizações confiam que, em longo prazo, a qualidade é considerada o fator essencial, que se não for levado a sério pode afetar o desempenho de uma empresa e baixa competitividade.

Vale salientar que a qualidade reduz os custos de produção. Quanto menor forem os erros em cada unidade de produção, menos tempo será necessário para a correção, afora material será descartado, menos produtos serão reprovados e, e como consequência a empresa deixará de ter mais gastos além do previsto.

Visto que a qualidade aumenta a credibilidade da organização, os custos crescentes não são a única implicação. A falta de qualidade dos produtos pode gerar dificuldades de importância da organização, causando perda de clientes. Sendo que a melhoria da qualidade reflete no lucro organizacional, através da redução de custos e aumento da lucratividade.

Visivelmente se percebe a influência da qualidade em toda a estrutura organizacional e que são fatores necessários para manter os clientes antigos e atrair novos clientes. Devendo ser utilizadas ferramentas e métodos da qualidade que venha definir os problemas e ocorrências de problemas, além de, proporcionar informações e dados, para empreender melhor as mudanças e melhorias nos processos e, finalmente, com o objetivo de alcançar resultados eficiente, gerando um ciclo de melhoria contínua [35].

A estratégia se deve basear na relação mutua desde o projeto do produto, passando pela fabricação, e a o produto final, sem esquecer da cadeia de suprimento, além do grau de influência que eles possam ter sobre sua satisfação [36].

Tudo isso, influência a empresa a buscar a excelência em seus produtos. Sendo que as organizações entram em um sistema constante de melhoria e em uma busca cada vez mais de ser a

melhor, com isso, a qualidade torna-se um fator primordial.

A influência da qualidade nos processos de produção é tanto que tem levado cada vez mais empresas a seguir o modelo proposto pelas normas ISO 9001, através do SGQ. Conforme o exigido na norma, a organização deve determinar que produtos ou serviços estejam incluídos no âmbito do sistema, bem como todos os processos que lhes dão origem, substituindo a abordagem tradicional de processos por uma abordagem integrada [37].

Vale ressaltar que, a qualidade em todos os âmbitos do processo, interfere de forma significativa moldando as empresas para que possa se manter competitiva. Na Figura 4, pode-se perceber o desenvolvimento da qualidade e a influência nos processos de produção.

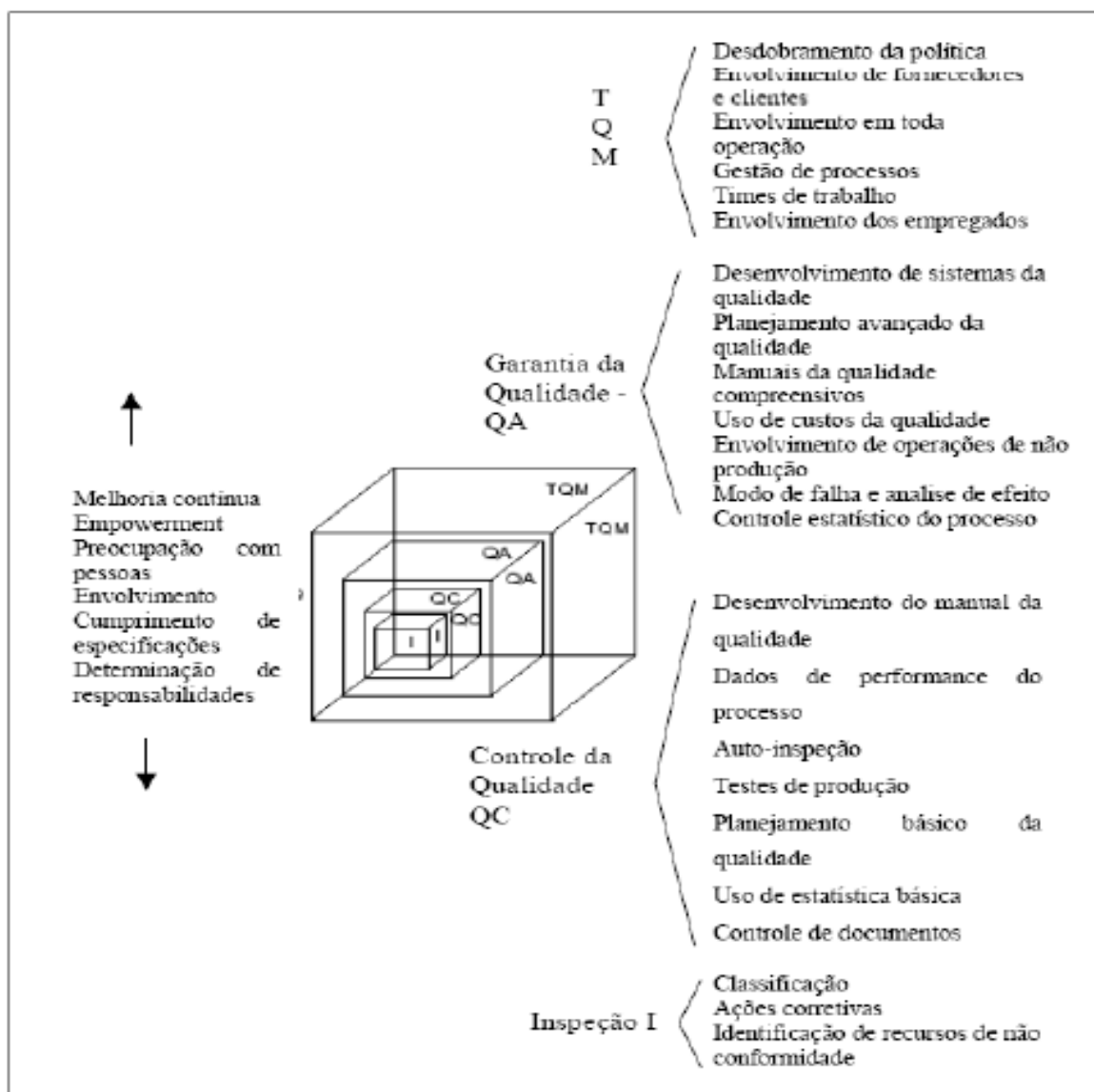


Figura 4: Quatro níveis em evolução da gestão da qualidade. Fonte: [38].

Conforme se observa na Figura 5, dessa forma auxilia a comunicação entres os setores.

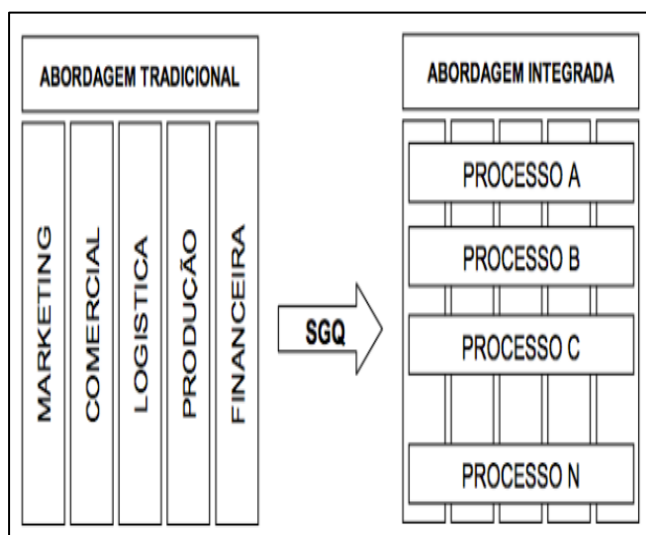


Figura 5: Substituição da Abordagem Tradicional pela Abordagem Integrada
Fonte: [38].

No gerenciamento empresarial, as modificações acontecem em todos os processos, e surgem da necessidade das organizações seguirem as instabilidades incididas pela acirrada concorrência no mundo empresarial. Consequentemente, se o ambiente fosse estável, não seriam necessárias alterações nas operações e nas atividades dos negócios [30].

Por consequentemente, o ambiente interno e o ambiente externo constituem-se em variáveis permanentes que exercem influência sobre o desenvolvimento das organizações no decorrer do tempo.

Percebe-se o processo evolutivo, que indica a complementação de todos os estágios até chegar a Gestão da Qualidade Total – TQM, que engloba todas as contribuições das fases da qualidade. Fatores estes que tem tornado cada vez mais importante para o crescimento organizacional e competitivo. A qualidade torna-se um dos fatores que mais influência nas mudanças ocorridas nos processos de produção [39].

Decorrente das mudanças, ocorridas no cenário mundial, a qualidade influencia diretamente os processos industriais os modificando, destacando que a lucratividade e os objetivos possam ser mantidos, mesmo em face de mudanças situacionais enfrentadas pelas organizações.

Neste ambiente, a criação de novos produtos e o desenvolvimento dos processos tornou-se um dos principais focos da organização e o fator de competitividade. Um dos conceitos da qualidade é a performance do produto, que oriunda da satisfação dos clientes com as características do produto, que o leva a comprá-lo. Podendo-se dizer que Qualidade é “adequação ao uso”, mas existe várias formas de usá-los, sendo que todos estes são de alguma forma afetados pela qualidade dos produtos [33].

Para [37] esclarece dizendo que a qualidade é o elo que liga a empresa ao ambiente externo, fazendo com que ela se mantenha no mercado de forma estável e duradoura. A qualidade total é os mecanismos utilizados pelas empresas para corresponder aos anseios da sociedade consumidora. É necessário que a empresa estabeleça uma interação bem definida entre o que ela produz e o ambiente com o qual ela interage e que a qualidade deve ser gerada a partir do processo produtivo [40].

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a oferta de um produto ou serviço a um custo compatível, tanto para organização como para o cliente com o Atendimento que gere satisfação do cliente.

Com a criação e manutenção de condições adequadas de trabalho, que permitam aos prestadores sentirem-se orgulhosos com as atividades que desempenham, com a segurança tanto para os clientes externos que recebem o produto ou serviço como para os funcionários da organização, com as regras de conduta e valores que norteiam as relações de trabalho.

A técnica utilizada neste estudo foi a de estudo bibliográfico, de forma que, a análise feita nos diversos conceitos de autores renomados, atendeu aos objetivos proposto. Mostrando que a qualidade influencia os processos de produção diretamente, Em sumula, a influência que a qualidade exerce sobre os processos industriais deve ser entendida como uma nova maneira de ver as relações entre as pessoas, onde o benefício comum é superior ao de uma das partes e essa característica implica oferecer produtos e serviços em conformidade com os produtos e serviços nas especificações exigidas para o objetivo ao qual se destinam.

A utilização dos métodos da qualidade, gera um oferecimento de produtos e/ou serviços a um custo compatível, tanto para empresa quanto para o consumidor final, proporcionando um resultado final, que é medido pela satisfação do cliente. Para isso a empresa deve gerar condições adequadas de trabalho, ambiente favorável, uma estrutura adequada, um processo condizente com o produto a ser fabricado, com produtos acessíveis para os clientes alvos.

Portanto, a qualidade gera uma grande influência nas mudanças organizacionais, assim como, na melhoria dos produtos e serviços.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] Marshall Junior, Isnard et al. **Gestão da qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: Publicações FGV Management, FGV, 2010.
- [2] Lakhali, L. **Impact of quality on competitive advantage and organizational performance**. *The Journal of the Operational*

- Research Society*, 60(5), 637-645. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602601>>. Acesso em: 14 de jul. 2016.
- [3] Gomes, P. J. **A evolução do conceito de qualidade:** dos bens manufaturados aos serviços de informação. Cadernos BAD. (2), pp. 6-18. 2004.
- [4] Oliveira, Sidney dos Santos; Leite, Jandecy C.; Souza, José A. da S., Oliveira, Rosimeire Freires Pereira. **Uso do Controle Estatístico de Processo (CEP) na gestão de operações produtivas em uma indústria no Polo Industrial de Manaus.** Revista SODEBRAS. Volume 10 Nº 117 de julho/2015.
- [5] Las Casas, Alexandre Luzze. **Qualidade Total e Serviços:** Conceitos, exercícios, casos práticos. 6 ed. São Paulo: Atlas. 2008.
- [6] Edquist, Charles, 2011. "Innovation Policy Design: Identification of Systemic Problems," Papers in Innovation Studies 2011/6, Lund University, CIRCLE - Center for Innovation, Research and Competences in the Learning Economy.
- [7] Cunha, Maria dos Anjos Beirigo; Vasconcelos, Fernanda Carla Wasner. **Inovação:** Características das Indústrias de Confecção do Vestuário do Município de Divinópolis/Mg. Revista Sodebras - Volume 9 Nº 103 - Julho/ 2014.
- [8] Moura, Luciano Raizer. **Qualidade Simplesmente Total.** Ed. Qualitymark Editora Ltda, Rio de Janeiro. 2003.
- [9] Chizzotti, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais.** São Paulo: Cortez, 1991.
- [10] GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** São Paulo: Atlas, 2002.
- [11] Roesch, Sylvia Maria Azevedo. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração:** Guia para Estágios, Trabalhos de Conclusão, Dissertações e Estudo de Caso. 3ª Edição. São Paulo. Atlas, 2007.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Informação e documentação - Artigo em publicação periódica científica impressa – Apresentação.** NBR 6022. Rio de Janeiro. RJ. Maio de 2003.
- [13] Bardin, L. **Análise de Conteúdo.** Lisboa, Portugal; Edições 70, LDA, 2009.
- [14] Podestá Junior, Arnaldo. **Fatores motivacionais e a qualidade do trabalho dos servidores técnico-administrativos do Departamento de Materiais e Serviços Gerais da Universidade Federal de Santa Catarina – Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2002.**
- [15] Fundação CERTI. Manual da qualidade, 1996.
- [16] Mendes, M. F. (2007). **O impacto dos sistemas QAS nas PME portuguesas.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Minho, Portugal. Disponível: <http://hdl.handle.net/1822/7967>.
- [17] SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** Atlas. São Paulo. 1997.
- [18] Garvin, D. A. (1988). **Managing Quality.** New York: The Free Press.
- [19] Costa, A.F.B; Eprechet, E.K; Carpinetti, L.C.R. **Controle estatístico da qualidade.** São Paulo: Atlas. 2004.
- [20] Zarpelon, Marcio Ivanor; Carvalho, Denise Maria Woranovicz. **Informação de Qualidade: A Proposta do Modelo Infoqual.** Revista Sodebras–Volume 8–Nº 89–Maio/ 2013.
- [21] Pires, R. A. **Sistemas de Gestão da Qualidade – Ambiente, Segurança, Responsabilidade Social, Indústria, Serviços, Administração Pública e Educação.** Lisboa: Edições Sílabo. 2012.
- [22] Mariani, Celso Antonio. **Método PDCA e Ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais:** Um estudo de caso. RAI- Revista de Administração. São Paulo. v. 2. n. 2. p. 110-126. 2005.
- [23] Berrinelli, LA. Waskievicz, J. Erdmann AL. **Humanização do cuidado no ambiente hospitalar.** Mundo Saúde. 2003. 27: 231-239.
- [24] Filho, Manassés Costa. **As ferramentas de qualidade no processo produtivo com enfoque no processo enxuto.** Faculdade Pitágoras Curso de MBA em Gestão da Manutenção, Produção e Negócios do Instituto Superior de Tecnologia – ICAP. Conselheiro Lafaiete. 2011.
- [25] Pyzdek, T.; Keller, P.A. **The Six Sigma Handbook.** McGraw-Hill. 3rd Edition. 2009.
- [26] Fillietaz, Jonatas Ferreira. **Análise do processo produtivo utilizando ferramentas de gestão da qualidade para diminuição de custos com perdas e falhas.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.
- [27] Deming, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** Ed Marques Saraiva. 1990.
- [28] Evans, J. R.; Lindsay, W. M. **Managing for Quality and Performance Excellence.** Thomson Learning Inc. 8th Edition. 2010.
- [29] Alsaleh, N. A. **Application of quality tools by the Saudi food industry.** The TQM Magazine. v. 19. n. 2. 2007. p. 150-161.
- [30] Goulart, Luiz Eduardo Takenouchi; Bernegozzi, Robson Peres. **O uso das ferramentas da qualidade na melhoria de processos produtivos.** XVI international conference on industrial engineering and operations management challenges and maturity of production engineering: competitiveness of enterprises, working conditions, environment. São Carlos, SP, Brazil, 12 to 15 October/2010.
- [31] Manivannan, S. **Error Proofing Enhances Quality.** *Manufacturing Engineering.* November, pp 99-104. 2006.

[32] Silva, Luan Carlos Santos; Kovaleski, João Luiz Kovaleski; GAIA, Silvia. **Gestão da qualidade do produto no processo de produção industrial: Um estudo de caso em uma indústria de bebidas.** Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 4. No. 1. Abr/2012.

[33] Juran, J.M. **A qualidade desde o projeto.** São Paulo: Pioneira. 2006.

[34] Digrocco, Jesner Ricardo. **Ferramentas da Qualidade.** Administradores, São Paulo. 19. nov. 2008. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/comunidades/ferramentas_da_qualidade/395/>. Acesso em: 10 jul. 2016.

[35] Brito, Juliana de Lima, Santos, Patrícia Corrêa; Neto, Raimundo Drumond; Paz, Aldevando Carvalho; Amorim, Claudio Roberto Gonçalves de. **Ferramentas Da Qualidade nas Indústrias de Papel e Celulose da Bahia.** Revista Sodebras – Volume 10 Nº 109 – Janeiro/2015.

[36] Campos, Sonia T. C. C; Claro, Fernando; Lindgren, Paulo Cesar Correa; Neto, Antônio Faria. **Estratégia para Rever e Implementar Melhoria Contínua da Qualidade no Processo Produtivo.** VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia-SEGET. 2011.

[37] Paladini, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática.** 2ª ed., São Paulo: Atlas S.A. 2010.

[38] Silva, M. Â. **Desenvolvimento e implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10773/1715>>. Acesso em: 14 de jul. de 2016.

[39] Araújo, C.A.C. **Sistemas de Controle Lean para Fluxos Puxados e Nivelados.** São Paulo: Hominiss. 2007.

[40] Liker, J. K.; Meier, D. **O modelo Toyota. Manual de Aplicação.** Ed. Bookman. 2007.

Governance in urban agriculture: challenges and opportunities

Isabel de Felipe¹, Teresa Briz²

^{1,2} Universidad Politécnica de Madrid (UPM) - Avda. Complutense, s/n. 28040, Madrid – Espanha.

Email: Isabel.defelipe@upm.es

Received: February 25th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: March 19th, 2018.

Urban agriculture is a traditional activity that is getting new support in many cities. However, is facing difficulties resulting from inadequate governance. We identified eight instruments used to achieve a sustainable urban agriculture, such as food security, economic development, environment, health, relationships, regulatory, social and others. Each city requires specific governance, looking for synergies. The paper gives a general description of international cases.

Published: March 30th, 2018.

Keywords: Urban agriculture, governance, synergies, efficiency.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



La gobernanza en la agricultura urbana: retos y oportunidades

RESUMEN

La Agricultura Urbana es una actividad tradicional que está tomando un fuerte impulso en muchas metrópolis. No obstante, se enfrenta a dificultades derivadas de una gobernanza inadecuada. Identificamos los ocho instrumentos utilizados para lograr una agricultura urbana sostenible, integrados en una estrella multifocal que incluye la seguridad alimentaria, el desarrollo económico, medio ambiente, salud, relaciones sociales, normativas y otros. Cada ciudad requiere una gobernanza específica, lo que exige integrar a todas las fuerzas vivas de su entorno, buscando las sinergias y soslayando los puntos de conflicto. Se hace una descripción de casos a nivel internacional, unas reflexiones finales y unas propuestas.

Palabras clave: Agricultura urbana, gobernanza, sinergias, eficiencia.

I. INTRODUCCIÓN

Informes de organizaciones internacionales, como FAO, sobre el reto de alimentar a la Humanidad en las próximas décadas, muestran que en 2050 la población mundial alcanzará los nueve mil millones de personas, lo que implicará incrementar la producción de alimentos un 70%. Incluso hoy día, el hambre en el mundo es la gran asignatura pendiente en nuestra agenda.

Por ello, la tarea de producción de alimentos concierne a todos, y no se puede excluir ninguna fuente, de esa gran labor. La agricultura rural tradicional seguirá teniendo la responsabilidad estratégica del abastecimiento alimentario, sin embargo, hay sectores y actividades donde pueden reorganizarse las funciones entre agricultura rural y agricultura urbana (AU).

El nuevo marco en el que se desarrollan las actividades agrarias no contempla solamente la oferta alimentaria, sino que se incluye el cambio climático, las huellas de carbono, energética e hídrica, el proceso acelerado de urbanizaciones y las nuevas tecnologías en diseño y construcción que permiten una agricultura urbana en altura de forma intensiva.

La idea de agricultura en altura fue expuesta en 1999 por Dickson Despommier, de la Universidad de Columbia de Nueva York [1] y describió sus beneficios. La agricultura urbana de altura (AUA) cuenta con nuevos planteamientos e innovaciones que le permiten ocupar espacios desaprovechados.

Los cultivos hidropónicos combinados con la piscicultura (agropiscicultura), la utilización de gases residuales de centrales de calefacción, el empleo de *Light Emitting Diodes* (LED), placas solares y otros medios, permiten mejorar los rendimientos y disminuir costes al utilizar menos agroquímicos y herbicidas.

La agricultura de proximidad, ocupación de ocio, integración social y la ubicación en el “kilómetro cero”, reduciendo costes de transporte, son algunas de sus cualidades.

No obstante, hay también fuertes críticas a la AUA ante los efectos contaminantes de metales pesados en los productos urbanos, la escasa capacidad de aplicar economías de escala y la limitación de ciertas actividades agrícolas (arboricultura, cereales) que requieren mayor sustrato o extensiones de cultivo, así como ciertos sectores ganaderos (vacuno y porcino) con obstáculos difíciles de superar.

No se trata, por lo tanto, de plantear la alternativa de la agricultura urbana versus la rural, sino como complementarias, seleccionando aquellos cultivos más idóneos.

Existe para algunos la idea de soberanía alimentaria para las grandes metrópolis, pero consideramos que, hoy en día, es una fantasía. Sin embargo, hemos de reconocer que en los últimos años hay una etapa de despegue, con proyectos emblemáticos que marcan unas nuevas perspectivas. Los casos de Plantagón (Suecia) o SkyGreens (Singapur) son ejemplos paradigmáticos. En conclusión, todas las agriculturas, tanto urbana como rural, pueden y deben colaborar en la estratégica tarea de abastecernos de alimentos.

II. LA GOBERNANZA EN LA AGRICULTURA URBANA

La idea general sobre la construcción de un simulador de procesos que considere a la operación unitaria de evaporación, se basa en la disposición de equipos piloto de uno y doble efecto para la realización de prácticas experimentales con alto costo en materia prima y consumo de energía. En este sentido, el desarrollo de un laboratorio virtual permitira la reducción de costos de operación, y la posibilidad de realizar prácticas virtuales y la simulación de la operación en tiempo real para evaluar el desempeño del equipo ante diferentes condiciones de operación.

Hemos de conseguir instituciones que ayuden a resolver los problemas ciudadanos mediante su participación y corresponsabilidad directa, con la mayor eficiencia y a todos los niveles. Para ello utilizamos el término de “gobernanza”, que tiene numerosas acepciones. Entre ellas podemos señalar: “Arte o manera de gobernar que se propone como objetivo el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el Estado, la sociedad civil y el mercado de la economía” [2]

Entre los aspectos estratégicos de la gobernanza socioeconómica (UNPAN, 2014), se pueden señalar la capacidad para gestionar el dialogo entre los ciudadanos en las políticas de cambio, explorando los mecanismos que llevan a una participación eficiente y directa, con seguimiento y auditoria de los programas.

Simultáneamente, la gobernanza debe afrontar los problemas derivados de la división de competencias administrativas [3], hecho que suele ser habitual en las Administraciones Locales, interaccionando con las Regionales y Nacionales, lo que supone una barrera adicional en la gestión de áreas verdes urbanas.

La gobernanza contempla, asimismo, el análisis de la mayor participación de actores no gubernamentales, que entran en conflicto de intereses, lo que anula o demora la aplicación de políticas sociales y medioambientales [4]. El fenómeno es habitual en el diseño de los planes urbanísticos, que deben compaginar intereses diversos y contrapuestos, con cuotas de poder muy heterogéneas. La posición de la AU parte con desventaja en los momentos actuales, aunque las circunstancias pueden cambiar en el próximo futuro, con el aumento del poder demográfico y político de las ciudades.

Hay argumentos que deben transformarse en normas. Hasta ahora, los movimientos verdes urbanos se basaban más en la emoción que en la información, pero los estudios socioeconómicos muestran las necesidades alimentarias, problemas de contaminación, medio ambiente y salud, aumento de residuos y otros aspectos que hacen que el modelo urbano actual sea insostenible y donde una gobernanza eficiente puede ayudar a reenfozar la situación vigente. Tema de interés es la

evaluación y comparación de la resiliencia de las distintas comunidades urbanas para adaptarse a las nuevas circunstancias de explosión demográfica, dependencia exterior y sostenibilidad del sistema. Pueden considerarse distintos tipos de resiliencia, desde la medioambiental, a la tecnológica, negocio-emprendedora o jurídica, entre otras [2].

La lucha contra el hambre en barrios marginados, mejorando su dieta alimentaria, debe combinarse con la educación y la formación, la vertebración social, el empoderamiento y la cuestión de género, el desarrollo socioeconómico, la creación de empleo, las áreas de recreo y el ejercicio físico, el medio ambiente y la biodiversidad.

La estrella de la gobernanza requiere optimizar la coordinación de políticas y actividades en las siguientes áreas.

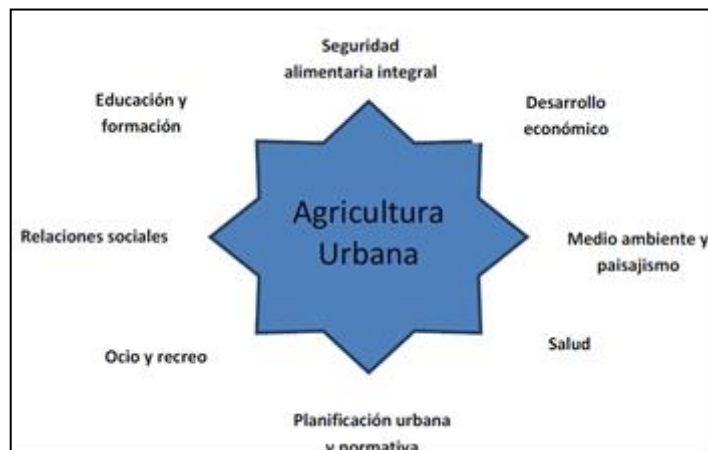


Figura1: Áreas de gobernanza en la Agricultura Urbana.

Fuente: Los autores, (2018).

a) Seguridad alimentaria integral.

Incluye el abastecimiento de alimentos y su inocuidad. Habitualmente la gestión corresponde a los Ministerios de Agricultura y Sanidad y a los departamentos correspondientes de la Administración local. El planteamiento de la gobernanza en este ámbito, varía significativamente según el grado de desarrollo de los países. En Berlín se estima que alrededor de 80.000 personas están involucradas en el tema de agricultura urbana, en Boston unos 10.000 y en Nueva York hay un millar de huertos comunitarios en terrenos públicos [5]. Hace una década se estimaba que unos 800 millones de personas practicaban AU, de los cuales 200 millones producían para el mercado y 150 millones estaban a dedicación completa.

b) Desarrollo económico.

Se generan unos ingresos con la actividad agraria que, en ocasiones, son los únicos existentes y otras veces complementarios, para estratos de población marginada. La creación de puestos de trabajo debe encuadrarse dentro de las políticas contra el desempleo. En ambos casos son hechos a tener en cuenta en situaciones de crisis económicas. Las políticas financieras y fiscales tienen también un papel relevante en este apartado [6].

c) Medio ambiente y paisajismo.

La actividad de las plantas a través de la función clorofílica captando CO₂, devolviendo oxígeno y fijando partículas de polvo y metales pesados, es de consideración dentro

de las acciones en la lucha contra la contaminación. Los efectos de aislamiento térmico y acústico se complementan con el reciclado de la emisión de gases de calefacción para invernaderos en edificios. La mejora del paisaje incrustando el verde en las masas grises de hormigón y cristal, es otra faceta de interés [4].

d) Salud.

La AU ayuda a lograr una dieta nutritiva más equilibrada al incorporar hortalizas frescas. Al mismo tiempo, el ejercicio físico realizado es saludable y el paisaje verde se considera un factor positivo contra el estrés y que mejora de la salud mental. Los servicios sociales de distintos países utilizan la AU como terapia para rehabilitación de drogadictos y personas con desequilibrios mentales [7].

e) Planificación urbana y normativa.

La agricultura necesita un espacio físico para su desarrollo, por ello los planificadores de la ciudad deben tenerla en cuenta buscando un equilibrio con la zona edificada, inclusive dentro de la misma.

Las normas sobre uso de espacio urbano, deben recoger explícitamente su utilización, acotando y reservando las adecuadas proporciones para actividades agrarias, evitando con ello conflictos de ilegalidad y alegalidad.

f) Ocio y recreo.

La naturación urbana implica incorporar la naturaleza a nuestro entorno inmediato y este viene siendo un deseo cada vez mayor entre los que viven alejados del campo. Los espacios verdes y abiertos permiten esa relajación y al mismo tiempo ocupan parte de nuestra vida ociosa y sedentaria.

Centros hospitalarios y comunidades vecinales impulsan la incorporación de la agricultura en su ambiente próximo.

g) Relaciones sociales.

Nuestro mundo de comunicación y redes sociales fomenta, paradójicamente, el individualismo y las escasas relaciones con nuestros vecinos geográficos. Se necesitan actividades conjuntas, políticamente neutras, que fomenten esa socialización y comunicación, con espíritu comunitario. El huerto urbano tiene también un elemento de relaciones inter-generacionales donde abuelos, padres e hijos comparten actividades conjuntas.

h) Educación y formación.

La actividad agraria es una escuela de formación permanente sobre la naturaleza. Cada vez son más frecuentes los planes de formación en los que se incluye, y los colegios que tienen huertos urbanos y clases prácticas que muestran los conocimientos básicos agrarios [8].

III. CASOS CON GOBERNANZAS MULTIFACÉTICAS

Con una visión holística de la gobernanza podemos considerar dos grandes áreas, una en sentido horizontal y otra vertical. *La gobernanza horizontal* se enfoca hacia las interacciones políticas y acciones entre actores que se encuentran en un determinado plano de gestión. Entendemos con ello a nivel

de barrio, distrito, municipio, provincia, región, país o supranacional.

La gobernanza vertical se refiere a la interacción entre actividades desarrolladas entre los distintos niveles.

Consideramos a título de ejemplo el nivel de coordinación o conflictos entre las políticas locales municipales, las provinciales o nacionales.

En ambos flujos de gobernanzas, se identifica un núcleo o germen dinamizador de las políticas complementarias que progresivamente se va expandiendo, apoyándose en sinergias.

En los países en vías de desarrollo, el caso de la Agricultura Urbana muestra una variedad de acciones que pueden encuadrarse en el modelo de gobernanzas [9]. Veamos algunos ejemplos actuales, que pueden considerarse paradigmáticos. En Bolivia, el municipio de El Alto, ha triplicado su población en las tres últimas décadas, llegando a los 900 mil habitantes. La falta de infraestructuras y el fuerte crecimiento ha generado una población marginal, con problemas de abastecimiento alimentario, sanitarios y desempleo. Hay algunas iniciativas, como el proyecto de huertos familiares para la producción de hortalizas, financiado por Bélgica, durante el periodo 2004-2008 [9].

La dinámica de gobernanza vertical, está llevando a involucrar otros niveles de la Administración. En 2009 se incorporaba a la Constitución Boliviana el Derecho a la Alimentación y en 2014 ponía en marcha un Programa Nacional de Agricultura Urbana. Municipios como La Paz, Santa Cruz y Oruro están siguiendo los pasos comentados anteriormente.

El *plan de gobernanza horizontal*, trata de lograr sinergias entre actores e instituciones locales: Universidades, Administración, Organizaciones comunitarias, entidades financieras, centros de rehabilitación social y empresas. Otro caso de interés es la Agricultura Urbana en la ciudad de Rosario (Argentina). La evolución ha sido lo opuesto al caso de El Alto en Bolivia. Al igual que en otras grandes metrópolis, las crisis económicas han producido un empobrecimiento de sus habitantes, que disfrutaban de un elevado nivel de bienestar. El tejido industrial (químico, papel, acero) fue desapareciendo, el nivel de desempleo fue aumentando y la población empezó a emigrar, y de la población que permanecía, más de la mitad estaba por debajo del umbral de la pobreza. Como primera respuesta, el Municipio, en colaboración con el INTA y la ONG local CEPAR, se apoyaron en el programa Pro-Huerta y lanzaron un proyecto más amplio de Agricultura Urbana. La gobernanza horizontal consiguió aunar las fuerzas locales y en dos años existían 800 huertos comunitarios que abastecían de hortalizas a 40.000 personas (FAO 2014).

El modelo de gobernanza se ha ido ampliando, incorporando instituciones públicas y privadas, tanto de ámbito nacional (Universidad, Fundaciones) como internacionales (Fundación RUAF), habiendo obtenido el

Premio de Buenas Prácticas del Programa de la ONU para asentamientos urbanos. Su sistema operativo está siendo replicado en otras ciudades argentinas, como Buenos Aires y por las autoridades nacionales en programas de apoyo a la agricultura urbana.

La Habana se considera la ciudad más verde de Latinoamérica [9], y la opción de la Agricultura

Urbana vino provocada por causas externas que afectaron a todo el país. La caída del muro de Berlín y el colapso de los países de economía central planificada, deterioraron las relaciones económicas de Cuba con ese bloque, iniciándose lo que se denomina "periodo especial". A ello se unió el bloqueo comercial

de EEUU, llevando a una gran escasez de alimentos y su racionamiento.

La agricultura tradicional productiva basada en el empleo de combustibles, fertilizantes y agroquímicos, sería obligada a reciclarse, utilizando sus propios recursos naturales. La ciudad de La Habana sufrió un desabastecimiento severo, y entre las soluciones más factibles se encontró la agricultura urbana, mediante los denominados cultivos Organopónicos en contra posición a los hidropónicos que sí utilizan fertilizantes y agroquímicos en las soluciones acuíferas.

De esta forma, lo que surgió como imperativo de supervivencia se ha convertido en un programa, que en 2013 proporciono 6.700 toneladas de alimentos, distribuidos en escuelas, hospitales y otras instituciones [9].

La gobernanza a nivel nacional corresponde al Ministerio de Agricultura, en el que se integra el Grupo Nacional de Agricultura Urbana y Suburbana, donde participan además otros seis ministerios y 16 instituciones científicas con 53 subprogramas sobre el tema.

El reto de la gobernanza, en este caso, es el pesado aparato burocrático que puede limitar la respuesta a las necesidades de la población. Algunas de las unidades productivas en La Habana consideraban que los objetivos marcados no eran compatibles con los medios y apoyos recibidos. En este punto, la coordinación de las gobernanzas entre el sector público y el privado será clave para la sostenibilidad del sistema de agricultura urbana.

En estos momentos la FAO estima que unos 90 mil vecinos están involucrados en agricultura urbana, bien en cultivos o en cría de animales domésticos. La venta de productos frescos tiene un radio comercial de 5 kilómetros, predominando las ventas directas productor-consumidor, con ferias y mercados estatales, así como a instituciones públicas (colegios, hospitales).

Se abre una nueva ventana, donde la oferta en calidad y cantidad puede permitir acceder al sector de hostelería y a los nuevos mercados. Los nuevos canales incluyen la venta ambulante (carretilleros), donde se alcanzan mayores precios y por consiguiente mayor rentabilidad para los productores, con un mejor servicio a los consumidores.

Todo ello exige un nuevo planteamiento de la gobernanza actual que debe resolver si se mantienen los modelos tradicionales o se complementan con las nuevas oportunidades. Quién y cómo se harán los reajustes, es uno de los interrogantes.

La ciudad de México es el centro de convergencia de distintos tipos de gobernanza. Como núcleo urbano, el DF tiene una población próxima a los 10 millones de habitantes, que se amplía a más de 20 con el área metropolitana. Simultáneamente, la capitalidad del país le confiere ser el punto radial para gobernanzas a nivel nacional.

Mención especial merece el capítulo “suelo de conservación” reserva creada en 1992 que abarca más de 300 km²

En la República Democrática del Congo, la prioridad ha sido asesorar a los Comités Municipales en el proceso de regularización de los títulos de propiedad de tierras para horticultura integrada en las actividades de agricultura, bosques y humedales, y se encuentra bajo la presión de invasiones continuas para cultivos y asentamientos furtivos.

A nivel nacional, la Secretaria de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC) fomenta el desarrollo agropecuario, agroindustrial y comercial en el medio rural. A nivel local de la Ciudad de México y con el problema ambiental subyacente, hay una prioridad hacia la agricultura ecológica, con un Programa de Ordenamiento Ecológico y una Ley Ambiental.

Se trata de conjugar las gobernanzas del Municipio y el Gobierno Federal en favor de la agricultura, la salud y el medio ambiente. Existe un programa de certificación ecológica (denominado “sello verde”) aplicado a la agricultura urbana.

En Ecuador, Quito fue una metrópoli pionera, y en el año 2000 se produjo la “Declaración de Quito”, en favor del desarrollo de la agricultura urbana, promovida por la reunión de nueve países Latinoamericanos [9]. En el año 2000 el proyecto piloto “El panecillo” fue estimulado por el Ayuntamiento de Quito, ubicando la agricultura en terrenos marginales.

Posteriormente la Agencia Metropolitana de Promoción Económica (CONQUITO), estimula una serie de proyectos como AGRUPAR, que actúa en los diferentes distritos de la ciudad. Los agricultores proceden de los movimientos migratorios y personas desempleadas, recibiendo cursos de capacitación y ayudas para semillas. Predomina la venta directa y se organizan las denominadas “bioferias” para la venta de los excedentes de producción.

No obstante, hay un punto débil en la coordinación de las gobernanzas. El Ministerio de Agricultura no incluye actividades urbanas en sus programas y el municipio de Quito no las contempla en su planificación urbana. Queda por tanto en una situación “alegal”, donde se tolera pero no ofrece garantías necesarias para un mayor desarrollo.

La FAO ha venido asesorando en la gestión de gobernanza a municipios de ciudades reconocidas. En el Cairo, el programa de “Alimentos verdes en azoteas verdes”, apoya el cultivo de hortalizas, sustentadas en la cascara de arroz, arena y musgo de turba. Simultáneamente se constató una diferencia de temperatura de 7°C en el aislamiento de las azoteas verdes en relación a las otras.

En Kigali (Ruanda) se asesoró a los servicios municipales en el diseño del plan urbanístico que contemplaba el desarrollo urbano con las actividades agrarias.

En la República Democrática del Congo, la prioridad ha sido asesorar a los Comités Municipales en el proceso de regularización de los títulos de propiedad de tierras para horticultura integrada en las actividades agrarias. Otra faceta de apoyo a la agricultura urbana son los Servicios de Extensión Agraria, como el caso de Hanoi (Vietnam), con más de un centenar de agentes trabajando en ese campo, e incrementando la eficiencia de sus agricultores.

En Gaza y Cisjordania, los esfuerzos se vienen centrando en el apoyo a unidades de tratamiento de bajo coste que permitan regar huertos y jardines con aguas grises de cocinas.

En los Países Desarrollados, la situación de la Agricultura Urbana ofrece también un espectro multifacético, en cuanto a sus gobernanzas. Hay ciudades donde las autoridades e instituciones municipales y nacionales han sido promotoras de la Agricultura Urbana por diversas motivaciones.

Con el fin de garantizar el abastecimiento de la población, en una economía de guerra, países como EEUU y Reino Unido, entre otros, hicieron grandes campañas de promoción de Huertos Urbanos en las Primera y Segunda Guerra Mundial. Además de mentalizar a la población, se daban cursos de capacitación y se facilitaban factores productivos.

La crisis económica actual está llevando a grandes centros urbanos a retomar la agricultura urbana. Detroit ha sido un paradigma de empobrecimiento de la población por deslocalización de la industria automovilística.

Los municipios están respondiendo con regulaciones y estímulos que facilitan dichas iniciativas, incluso involucrándose directamente en la naturación de edificios oficiales. Además de

incentivos fiscales (subvenciones, reducción de impuestos), pueden darse otras medidas como la simplificación de trámites burocráticos en la concesión de licencias.

En Francia, hay un interés creciente en la coordinación de políticas y programas desarrollados con la AU [10]. En España, al igual que en otros países del entorno, la Agricultura Urbana, viene siendo una práctica habitual desde hace siglos. Sin embargo, el desarrollo urbanístico ha ido arrinconando su actividad quedando reducida a una serie de guetos en las grandes urbes.

Dicha marginación es también evidente en el mundo académico, en los estudios y publicaciones, si la comparamos con la agricultura rural, objeto sistemático de análisis y debates en el área política y socioeconómica. Una reciente publicación en español [11] recogía 47 monografías de divulgación, 20 trabajos de recursos didácticos, 7 trabajos académicos, 60 artículos de revista y capítulos de libro y 13 enlaces web, incluyendo algunas internacionales. De forma más exhaustiva, ya en el 2001 algunas publicaciones recogían 65 casos de análisis como fuente de información básica [12].

En el área de gobernanza sobre Agricultura Urbana la iniciativa viene siendo de movimientos de la sociedad civil que, por diversos motivos (sociales, políticos, culturales o económicos), vienen consolidando grupos de huertos urbanos en el suelo. La Agricultura Urbana en altura (paredes, terrazas) es testimonial, aunque no debemos olvidar la gran tradición ornamental en los patios andaluces y cultivos en macetas y balcones.

Sin embargo, hay una carencia en el desarrollo de gobernanzas administrativas, donde los municipios e instituciones regionales y nacionales presten atención a una realidad. Deben establecerse ordenanzas y regulaciones que contemplen espacios en los planes urbanísticos y de ordenación territorial, donde la agricultura urbana tenga un reconocimiento legal y supere las barreras que ahora tiene que enfrentar.

IV. CONCLUSIONES

La AU se encuentra en una etapa de despegue. Es un fenómeno de moda en la sociedad urbana y aparece en los medios de comunicación como actividad con un futuro prometedor.

La buena gobernanza urbana es un campo importante para su análisis. La nueva AU necesita de procesos innovadores para adaptarse al nuevo entorno. Los aspectos técnicos, de gestión, regulaciones urbanísticas, buenas prácticas agrarias y comerciales, necesitan aportaciones de expertos pluridisciplinarios. El nuevo espíritu empresarial puede dinamizar el tejido social urbano, en ocasiones frustrado con los parámetros actuales de convivencia.

El reto es cómo lograr una gobernanza eficiente que pueda sortear los obstáculos más significativos, sin ocasionar problemas adicionales, ni recelos con el mundo rural. No deben contemplarse las actividades agrarias urbana y rural como desarrollos alternativos, aunque hay planteamientos que abogan por la soberanía alimentaria de las urbes, en determinados productos.

V. REFERENCIAS

- [1] DICKSON DESPOMMIER “Vertical Farm” Martín Press, 2010.
- [2] RAE **Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española**. 2014.

[3] COLOMER, J.M., NEGRETTO, G.L. “Gobernanza con poderes divididos en America Latina” Revista Centro de Investigación y Docencia Económicas. (2003)

[4] GUY PETERS, B. “La capacidad para gobernar ¿retrocediendo hacia el centro?” Revista CLAD. Reforma y Democracia. nº27 octubre. 2003.

[5] DUCHEMIN, E., WEGMULLER, F., LEGAULT, M. “Urban Agriculture: multidimensional tools for social developments in poor neighbourhoods” <http://factsreports.revues.org/governance>. 2008.

[6] GAGO, A., Y LAVANDEIRA, X. “La reforma fiscal verde” Mundiprensa. 1999.

[7] KOSHIMIZU, H “Urban green and human health” in Briz J, Koehler M, De Felipe I Green Cities in the World. Ed. Agrícola pp. 163-172. 2014.

[8] HENDRICKSON, M. K., PORTH, M. “Urban Agriculture: Best practices and possibilities” University of Missouri Extension. 2012.

[9] FAO, “Ciudades verdes en América Latina y el Caribe”(2014).

[10] MS Rojo, AZ Moratalla, NM Alonso, VH Jimenez. **Pathways towards the integration of periurban agrarian ecosystems into the spatial planning system**. Springer. December 2014.

[11] RECIDA “Guía de recursos: agricultura urbana, huertos urbanos, huertos escolares” (2014).

[12] SMIT J., NASR J., RATT A. “Urban Agriculture: Food, Jobs and Sustainable Cities”. The Urban Agriculture Network Inc (UNDP). (2001) World Green Infrastructure.

Study of coordination and selectivity in circuit breakers

Helder da Silva Rodrigues¹

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGE), Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200. Bairro: Coroado I. Manaus – Amazonas – Brasil.

Email: eng.helder.hdr@hotmail.com

Received: January 03th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 01th, 2018.

This paper aims to study the coordination and selectivity of the electrical system of the substations of the terminal tip of the wood, consisting of defining the settings of the protection devices, which in the occurrence of a short circuit is only affected the region of protection action, isolating the smallest part of the electrical system, in the shortest possible time without loss of production and equipment malfunctions, with the aid of nominal data and damage curves of the electrical equipment can generate "time versus current" graphs provided by the software digs siprotec. In the test carried out on the protection devices the three-phase currents of $I >$ or $I >$ were taken into account for the phase-earth currents $I_{0 >>}$ or $I_{0 >}$. The results of the tests were satisfactory due to the efficiency of the software dig siprotec.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Keywords: Coordination and logical selectivity; Electrical Protection System; Short circuit; Table Anse; Multifunction relay.

Estudo de coordenação e seletividade em disjuntores

RESUMO

Este artigo tem por finalidade estudo de coordenação e seletividade do sistema elétrico das subestações da terminal ponta da madeira, consistindo em definir os ajustes dos dispositivos de proteção, que na ocorrência de um curto-circuito seja somente afetada a região de atuação da proteção, isolando a menor parte do sistema elétrico, no menor tempo possível sem que haja perda de produção e avarias nos equipamentos, com auxílio dos dados nominais e curvas de dano dos equipamentos elétricos pode-se gerar gráficos a "tempo versus corrente" fornecidas pelo software digs siprotec. No ensaio realizado nos dispositivos de proteção foram levadas em consideração as correntes trifásicas de $I >>$ ou $I >$ quanto as correntes fase-terra $I_{0 >>}$ ou $I_{0 >}$. Os resultados dos testes foram satisfatório devido à eficiência do software dig siprotec.

Palavras Chaves: Coordenação e Seletividade Lógica; Sistema Elétrico de Proteção; Curto-Circuito; Tabela Anse; Relé Multifunção.

I. INTRODUÇÃO

Em todos os projetos elétricos que estejam relacionados ao setor elétrico, faz-se necessário a realização de estudos detalhados sobre as possíveis falhas elétricas, sendo proveniente do ambiente, das circunstâncias ou até mesmo da instabilidade na qualidade da energia elétrica, o trabalho apresentado tem como objetivo apresentar os resultados e ajustes do estudo de seletividade e coordenação das proteções recomendadas para implantação nos dispositivos de proteção do sistema elétrico das subestações SE-381K-A e SE-381K-B, para o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira. Nesse documento são apresentados os critérios adotados, bem como considerações sobre as quais foram

definidos os ajustes recomendados e determinar as ordens de graduação dos dispositivos de proteção, com a finalidade de que, quando da ocorrência de uma falta no sistema elétrico, sejam desligados deste o menor número possível de circuitos (sistema seletivo), mantendo o restante do sistema em operação. Essa falha por sua vez de acordo com o nível de curto-circuito pode gerar desequilíbrio na rede de transmissão ou distribuição, fazendo necessário que haja coordenação entre os dispositivos de proteção, a fim de garantir a integridade física dos equipamentos sem que haja desligamento indevido dos demais, isolando o curto o mais próximo do evento.

Para que haja êxito na proteção dos equipamentos de potência, é necessário que os mesmos estejam nas zonas controladas, local onde a coordenação e seletividade de proteção poderão se comunicar através dos dispositivos de proteção (rele multifunção, contactores disjuntores transformadores entre outros dispositivos). Para que os estudos de coordenação sejam eficientes é necessário ter os seguintes critérios:

- **Seletividade.** Atuar diretamente no problema isolando as demais zonas sem que haja desligamento da planta.
- **Rapidez.** Deverá atuar no menor tempo possível para garantir a integridade das pessoas e equipamentos
- **Segurança.** Garantir que as partes defeituosas sejam desligadas com segurança.

No mercado atualmente existem inúmeros software para proteção, podemos assim citar o [1] que traz uma série de benefícios um deles podemos enfatizar o gráfico de “tempo versus corrente” em que é possível identificar os valores de tempo e corrente de um determinado dispositivo de proteção e sua curva característica que cada dispositivo possui, sendo que fusíveis e alguns disjuntores de proteção tem sua curva fixa, já rele multifunção tem um série de parâmetros que podem ser modificado de acordo com a necessidade da proteção [2].

Munidos de todas essas informações podemos definir os parâmetros nos rele de proteção, definir zonas controladas e realizar estudo de coordenação e seletividade em Centro de Controle de Motores (CCM).

II. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados e ajustes do estudo de seletividade e coordenação das proteções recomendadas para implantação nos dispositivos de proteção do sistema elétrico das subestações SE-381K-A E SE-381K-B, para o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira. Nesse documento são apresentados os critérios adotados, bem como considerações sobre as quais foram definidos os ajustes recomendados e determinar as ordens de graduação dos dispositivos de proteção, com a finalidade de que, quando da ocorrência de uma falta no sistema elétrico, sejam desligados deste o menor número possível de circuitos (sistema seletivo), mantendo o restante do sistema em operação.

Assim, contempla-se neste estudo a análise do sistema de proteção das subestações SE-381k-A e SE-381k-B, se limitando aos seus respectivos alimentadores. Serão avaliados os ajustes dos dispositivos de proteção a jusante, subestações secundárias existentes, e caso necessário serão feitas propostas de alterações.

Os ajustes foram elaborados de forma a coordenar com os relés a montante e jusante minimizando as alterações dos ajustes já calculados para SE-318K-01.

Realizar estudos de proteção em disjuntores de media e alta tensão de acordo com a [3] a serem aplicados em coordenação e seletividade (seletividade para disjuntores de Potência), para que a principal solução seja através do estudo com as característica e curva de proteção existente de cada dispositivo de proteção não havendo solução faz-se necessário troca do dispositivo.

II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Apresentar equipamentos e dispositivos que estão envolvidos na coordenação e seletividade tais como disjuntores de média e alta tensão, rele multifunção, fusíveis, chaves seccionadoras, transformadores de potência, transformadores de corrente objetivo desse capítulo é fornecer informações detalhadas as características de proteção de cada dispositivo ao qual serão enfatizados nos capítulos seguintes.

2. Explorar anomalias na seletividade de proteção tomando como exemplos transformadores de 230kv e disjuntores, paralelismo entre transformadores de potência, curva de proteção instantânea e sobrecorrente de terra, função 27, parâmetros de goose.

3. Desenvolver melhorias na qualidade e eficiência da proteção em subestação de acordo com a norma IEC 61850.

III. METODOLOGIA

Ao realizar estudo de coordenação e seletividade foi constatado inúmeras problemáticas assim como área onde a curva de proteção necessitava de uma precisão maior usando com a filosofia o goose.

Munidos dessas informações utilizamos a ferramenta de qualidade PDCA também chamada de ciclo de Shewhart - e uma ferramenta de gestão que tem por objetivo promover a melhoria continua dos processos por meio de um circuito de quatro acoes : planejar (plan),fazer (do), checar (check) e agir. Ao utilizarmos tal ferramenta mapeamos todas as vulnerabilidades das proteções nas subestações do Terminal Ponta da Madeira fazendo com que todos os ajustes estivessem na zona de proteção utilizando o software [1].

IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para a verificação do desempenho da proteção, foram considerados os valores de curto-circuito trifásicos, calculados e apresentados no estudo de curto-circuito.

Para o valor de curto-circuito fase-terra, considerou-se que o sistema de 13,8 kV possui o valor de corrente de falta máximo limitado em 400A.

Este estudo se limitou à análise e determinação dos ajustes de todos os alimentadores das subestações SE-381K-A/B, em função das maiores cargas de cada alimentador. Os ajustes das subestações secundárias deverão ser avaliados e alterados pelo TERMINAL PONTA DA MADEIRA no estudo específico. Todos os ajustes recomendados neste estudo atenderão às condições operacionais apresentadas no estudo de curto-circuito.

IV.1 PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES

Conforme se pode observar nos diagramas unifilares da instalação, os transformadores de potência têm seus enrolamentos primários e secundários protegidos por relés multifunções do tipo [4].

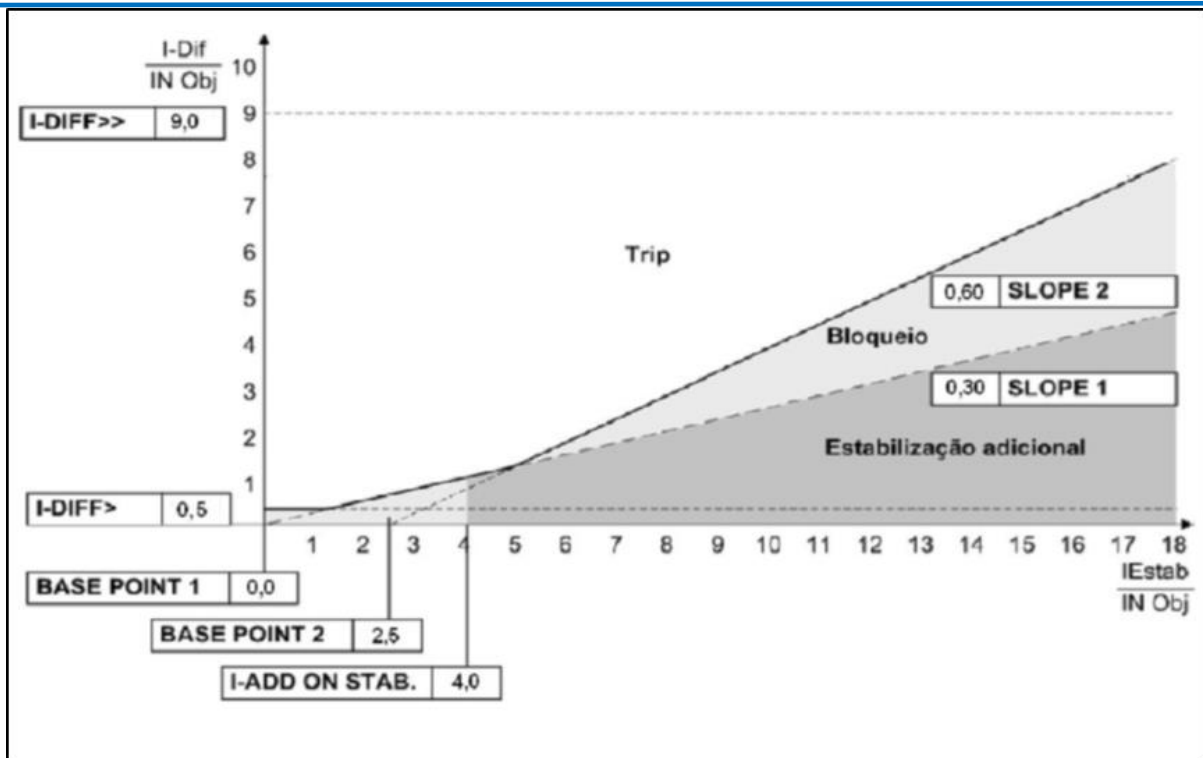


Figura 1: Proteção de transformadores.

Fonte: Autor, (2018).

IV. 2 VERIFICAÇÃO CONFORME ANSI

A curva do dispositivo de proteção deve atender aos requisitos da norma [6] para proteção quanto às altas correntes passantes pelo transformador.

Essas correntes podem ser oriundas de curto-circuito, mas também de partida de grandes motores.

A norma [6] define o tempo que um transformador deve suportar tensão plena em um dos enrolamentos com um determinado valor de corrente passante, sem danificação térmica ou mecânica do mesmo.

Nos coordenogramas desse estudo são apresentadas as curvas limites dos transformadores, em comparação com as curvas de operação dos dispositivos de proteção associados ao transformador. Para uma adequada proteção, a curva do dispositivo responsável pela proteção deve operar sempre em um tempo inferior ao limite do transformador [7][8].

IV. 3 ESQUEMA TÍPICO DE SELETIVIDADE CONVENCIONAL

A seletividade convencional (temporizada) executa a proteção de backup do sistema. Uma vez que existir falha na comunicação entre as IED's e não atuação de falha de disjuntor, a seletividade convencional atuará, isolando o circuito em falha do sistema.

Para a seletividade temporizada, assumiu-se uma não coordenação entre as interligações, uma vez que as mesmas protegem um mesmo elemento. A seguir tem-se ilustrado diversos casos de atuação da seletividade convencional.

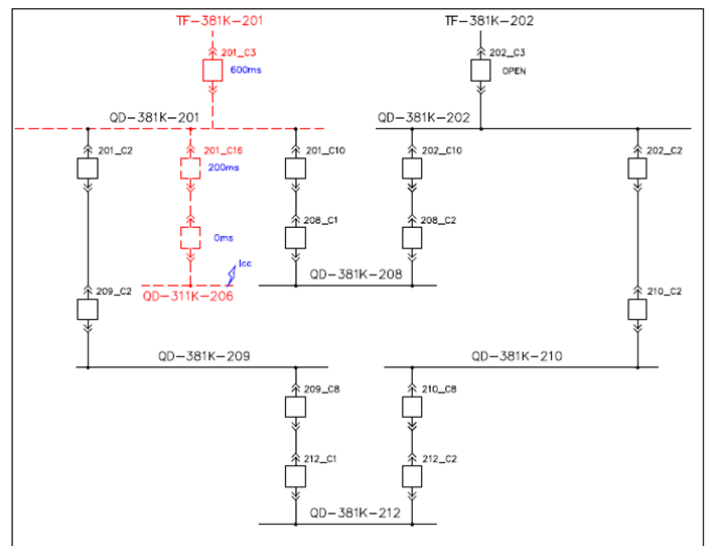


Figura 2: Esquema de seletividade convencional.

Fonte: Autor, (2018).

Para um curto no QD-311K-206 (SE-311K-D), considerando o TF-381K-202 fora de operação, o ramal alimentado pelo cubículo 201_C16 será sensibilizado. O relé da entrada do QD-311k-206 (SE-311K-D) atuará em 0ms, em caso de falha deste, o relé do cubículo 201_C16 atua em 200ms. Caso o relé do cubículo 201_C16 falhe, o relé do cubículo 201_C3 atua em 600ms [9].

IV.4 ESQUEMA DE SELETIVIDADE APÓS MELHORIA DE ESTUDO DE PROTEÇÃO

De modo a obter um sistema elétrico extremamente seguro, com seus dispositivos de proteção operando de forma bastante sensível e rápida, adotou-se neste projeto a

implementação da seletividade lógica, para faltas trifásicas, no nível de 13,8 kV.

Para as faltas fase terra, devido ao sistema de aterramento ser através de resistores de baixo valor Ôhmico (400A-10seg), os tempos de seletividade lógica não serão aplicados.

A seletividade lógica consiste basicamente em uma rede de relés de proteção, interligados e ajustados em dois níveis de tempo diferenciados para cada dispositivo. Um dos níveis de tempo refere-se à coordenação da proteção de modo convencional, que opera em retaguarda. Já o outro nível possui tempos de operação bastante baixos, que dependem de uma série de bloqueios para que o sistema possa operar de forma seletiva.

Seu propósito é de que todos os relés em cascata possam ter suas unidades de proteção de sobrecorrente instantâneas habilitadas, sem que isso signifique perda de seletividade na atuação e eliminação da falta em um determinado circuito. O resultado é a diminuição do tempo de coordenação entre os relés e do tempo de eliminação da falta.

Esta função traduz-se no envio de um sinal discreto de um determinado relé sensibilizado por uma corrente de falta a um relé a montante, o qual também está sentindo uma falta suficiente para sensibilizar qualquer uma de suas unidades instantâneas. O relé a montante percebe através de uma entrada lógica, que o relé a jusante está sensibilizado para atuação, e bloqueará o “trip” de seletividade lógica instantânea.

A seletividade lógica poderá existir em diversos degraus. Assim, é necessário que o relé, ao sentir entrada de seletividade lógica fechada indicando que um relé a jusante está sentindo a falta, deverá bloquear somente a atuação de “trip” de seletividade lógica instantânea. Caso estas funções instantâneas também sejam sensibilizadas por correntes de valor maior que o seu “pick-up”, a saída de seletividade lógica deverá fechar para bloquear o relé que está no próximo degrau de seletividade.

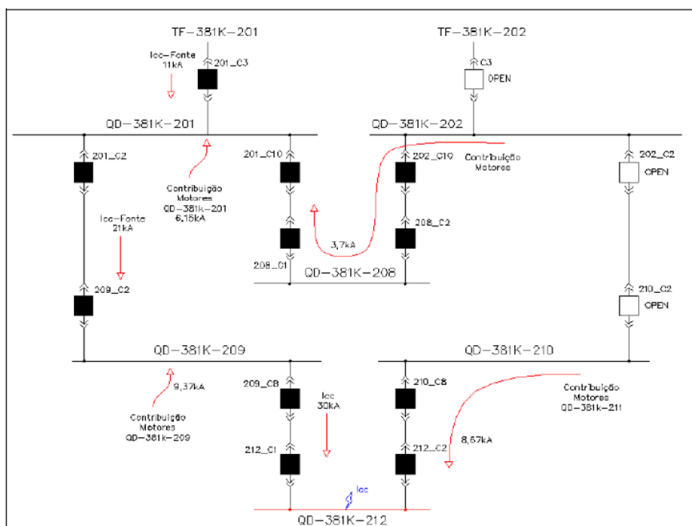


Figura 3: Esquema de seletividade convencional.
Fonte: Autor, (2018).

V. RESULTADOS E GANHOS TANGÍVEIS

Em dezembro de 2015 a produção anual da companhia foi de 150 milhões em toneladas embarcadas porém essa quantidade vem aumentando gradativamente todos os anos com isso fez-se necessário revitalizações de várias subestações que estavam deterioradas, pois muitos dos dispositivos de proteção estavam

obsoletos com isso a produção parava repentinamente pois tais dispositivos devido fadiga e corrosão do tempo na desenvolviam seu papel principal que era coordenar e proteger determinados equipamentos.

Foi realizado retrofit em 70 % das subestações onde retiramos todos os dispositivos obsoletos e adquirindo novos com mais qualidade precisão e atualidade, com isso visando maior qualidade de energia e precisão do estudo de coordenação e seletividade podemos citar ganhos tangíveis.

- Aumento na produtividade.
- Aumentos de Investidores.
- 80% do PIB da Companhia.
- Confiabilidade no Sistema Elétrico
- Diminuição do HMC – Homem Hora Trabalhada.
- Diminuição em Paradas Operacionais.
- Redução de 80% de Manutenção Corretiva
- Segurança aos Colaboradores no Interior das Subestações

V.1 GANHOS INTANGÍVEIS

No estudo de coordenação e seletividade podemos ainda citar com grande orgulho e satisfação tais resultados obtidos ao decorrer de todo esse projeto pois não apenas trouxe benefício a companhia mas também toda a uma comunidade, fazendo com novos investimentos sejam aplicados trazendo bem em comum a todos.

- Valorização dos empregados.
- Qualidade de vida.
- Remuneração sobre a produção da companhia.
- Investimentos da comunidade
- Abertura de novos portos de trabalho

VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sistema elétrico das subestações SE-381K-A E SE-381K-B apresentará seletividade e proteção adequadas para os dispositivos de proteção em caso de ocorrência de curto-circuito e sobrecargas, considerando-se a implantação dos ajustes recomendados neste estudo.

Para as subestações secundárias existentes, com entrada seca, utilizou-se para a análise da proteção, o ajuste do dispositivo de proteção que alimenta a carga de maior potência.

Quando necessário, foi proposto alteração nos ajustes destes dispositivos de proteção com o objetivo de manter a coordenação com os dispositivos de proteção a montante, ou seja, relés alimentadores das subestações SE-381K-A e SE-381K-B. Os ajustes dos demais alimentadores das subestações secundárias existentes devem ser alterados em estudo específico.

O sistema de proteção foi projetado considerando as piores condições operacionais.

Entretanto recomenda-se que as cargas alimentadas a partir das subestações SE-381k-A e SE-381k-B, que possuem a flexibilidade de alimentação dupla a partir das chaves seccionadores instaladas nos painéis QD-381K-204 e QD-381K-213, sejam distribuídas da forma mais uniforme possível.

Isto irá diminuir as contribuições motóricas através dos alimentadores e manter o carregamento dos transformadores de 230 kV, das subestações SE-381k-A e SE-381k-B mais uniforme.

Estes ajustes são necessários para garantir a sensibilização para faltas trifásicas e bifásicas.

Os alimentadores, a partir dos painéis QD-381k-211/219, consistem em subestações que contem transformadores com potência da ordem de 10 MVA. Para coordenar as funções instantâneas das entradas e primários destes transformadores com os IEDs dos painéis QD- 381k-211/219 os ajustes deverão ser menores ou iguais a 4kA. Devido à corrente de magnetização destes transformadores poderão ocorrer atuações indevidas. Para evitar esta atuação indevida deve-se ser habilitada, nos IEDs dos primários dos trafos, a função INRUSH RESTRAINT que terá a função de bloquear a função 50 quando da presença de 2ª harmônica, o que acontece quando de sua magnetização/energização. Portanto as novas subestações alimentadas diretamente, através do QD-381k-211/219 e que possuem esta função poderão ser alimentadas sem o paralelismo dos transformadores TF-381k-214/215.

Recomenda-se que seja desenvolvido um criterioso trabalho de comissionamento e testes das funções de seletividade lógica e falha de disjuntor. Para tanto, deve-se observar os bancos de dados dos ajustes da proteção, o descritivo de funcionamento da seletividade lógica e os diagramas funcionais dos painéis.

VI. REFERÊNCIAS

[1] Arc Protection: Software **SIPROTEC and DIGS**: protection, automation devires support Arc Protection, Benetti from extremely fast tripp. SIEMENS, Infrastructure & Cities Sector Smart Grid Division Energy Automation Humboldtstr. 59 90459 Nuremberg, Germany 2012.

[2] SIEMENS. **BETA Low voltage circuit protection characteristics curves for catalog ET B1**. Disponível em: <<http://industry.siemens.com.br/buildingtechnologies/pt/produtos-baixa-tensao/producao-eletrica/Fusiveis-Documents-Characterisitcas.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2012.

[3] **IEEE Guide for the Selection of Monitoring for Circuit Breakers**. IEEE [Std C37.10.1-2000](#). 2001.

[4] IEC 61850-**Communication Networks and Systems in Substations**;
<http://domino.iec.ch/webstore/webstore.nsf/searchview/?SearchView=&SearchWV=TRUE&SearchMax=1000&Query=61850&su bmit=OK>.

[5] **SIPROTEC 7SJ62 Multifunction Protection Relay**. SIEMENS, 2011.

[6] C37.91-1985. **IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers Reaffirmed 6-12-1990**. Superseded by IEEE Std C37.91-2000 (Revision of IEEE Std C37.91-1985).

[7] Mamede Filho, João. **Proteção do sistema elétrico de potência**. Edição 2011. Cidade Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.

[8] Kagan, Nelson. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2ª Edição Revisada. Cidade São Paulo: Editora Blucher, 2010.

[9] Simone, Gilio Aluisio. **Transformadores**. 1ª Edição. Cidade São Paulo: Editora SARAIVA, 2010.



Evolution of the edible oil supply chain in Cuba

Yinef Pardillo Baez¹, Dianelys Milagros Ruíz Alvarez², Abel González-Carvajal Alberto³, Martha Inés Gómez Acosta⁴

^{1,2,3,4} Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). Ciudad de la Habana, Cuba.

Email: yinef@ind.cujae.edu.cu, dianelysra@ind.cujae.edu.cu, abel@ind.cujae.edu.cu, marthagom@tesla.cujae.edu.cu

Received: December 11th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: February 01th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The edible oil is considered one of the stars products in the Cuban national market, as a result of its discharge it demands for the population and for the industries that use it as matter it prevails in its productive process [1]. Since the year 2005 the Supply Chain of Edible Oil has come carrying out investigations with the objective of elevating the levels of service to its final client. Following this purpose is made in this year an association between the Laboratory of Logistics and Management of the Production (LOGESPRO) and the Enterprise of the Oils ECASOL, coordinating entity of the Chain. In the beginnings of the work with ECASOL the emphasis is made in the availability studies of edible oil, and after to the application of the Value Network Model, later is making wider the field of action of the investigations to develop between LOGESPRO and ECASOL. The objective of the present case consists on analyzing the evolutionary development that has suffered the Supply Chain of Edible Oil in CUC with ECASOL like coordinating entity of the same one starting from the achieved association.

Keywords: Supply Chains, Edible oil, Value Network Model.

Evolución de la cadena de suministro de aceite comestible en Cuba

RESUMEN

El aceite comestible es considerado uno de los productos estrellas en el mercado nacional cubano, debido a su alta demanda en la población y las industrias que lo emplean como materia prima en su proceso productivo [1]. En la Cadena de Suministro de Aceite Comestible se vienen realizando investigaciones desde el año 2005 con el objetivo de elevar los niveles de servicio a su cliente final. Siguiendo este propósito se crea en el propio año una alianza entre el Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (LOGESPRO) y la Empresa Comercializadora de Aceites ECASOL, entidad coordinadora de la Cadena. En los inicios del trabajo con ECASOL se hace énfasis en los estudios de disponibilidad de aceite comestible, pasando posteriormente a la aplicación del Modelo de Redes de Valor y así sucesivamente a un campo de acción cada vez más amplio en el marco de las investigaciones entre LOGESPRO y ECASOL. El objetivo del presente caso consiste en analizar el desarrollo evolutivo que ha sufrido la Cadena de Suministro de Aceite Comestible Comercializado en CUC con ECASOL como ente coordinador de la misma a partir de la alianza lograda.

PALABRAS CLAVES: Cadena de Suministro, Aceite Comestible, Modelo de Red de Valor.

I. INTRODUCCIÓN

La Gestión Integrada de las Cadenas de Suministro (GICS) está tomando cada vez mayor importancia debido al desarrollo comercial, logístico y tecnológico alcanzado en la sociedad actual y la globalización existente en el mundo, debido a que hoy no se

concibe la competencia entre empresas aisladas, pues según plantean Mangan, Aguilar y Anaya hoy no son las empresas y productos los que compiten de forma individual, sino las cadenas de suministro coordinadas [2-4].

Hoy la logística y la gestión de la cadena de suministro constituyen tendencias prioritarias en la formulación de las

estrategias de las empresas, y como plantea Pardillo se impone la necesidad de crear una cultura de gestión interorganizacional. Según Flynn, muchos investigadores han tratado ampliamente la necesidad de una relación integrada entre productores y socios en la cadena de suministro, pero solo recientemente ha habido un enfoque sistemático de integración de la cadena de suministro [5].

Muchos autores han conceptualizado el término cadena de suministro, Gómez y Acevedo, Ivanov y Vitasek coinciden en que es una red global usada para suministrar productos y servicios desde la materia prima hasta el cliente final a través de un flujo diseñado de información, distribución física, y efectivo [6-8]. Según Harrison, una cadena de suministro es la red de socios quienes colectivamente convierten un producto básico en un producto final que es valorado por el cliente final, y es quien maneja los retornos a cada actor [9]. Por su parte la Red de Valor constituye una etapa superior de desarrollo en las cadenas de suministro y Acevedo al definirla hace mención a una red integrada de procesos de agregación de valor desde el proveedor primario hasta el consumidor [10].

El propio desarrollo de la investigación permite a la autora Pardillo replantear el concepto de cadena de suministro, siendo su definición la base de este trabajo. El concepto abordado plantea que una cadena de suministro es un nexo de procesos en los que participan un conjunto de entidades desde los proveedores primarios hasta el cliente final, donde se interrelacionan flujos de materiales, información y efectivo, con el objetivo de satisfacer las demandas de los clientes de manera eficiente, eficaz y competitiva, considerando la adecuada preservación y mejoramiento del medio ambiente [1].

En el marco de la actualización del Modelo Económico Cubano se establece en Cuba cada vez más, la necesidad del fortalecimiento de la integración de las cadenas productivas, con el objetivo de sustituir importaciones y lograr resultados económicos favorables, aprovechando para ello las capacidades productivas con que cuenta el país. Esta línea de acción queda recogida en el Lineamiento número 36 de la Política

Económica y Social del Partido y la Revolución el cual establece: “En la actividad agroindustrial, se impulsará en toda la cadena productiva la aplicación de una gestión integrada (...) orientada al incremento de la producción de alimentos (...), incluyendo el perfeccionamiento de los servicios a los productores, con reducción de costos, el mayor empleo de componentes e insumos de producción nacional y del aprovechamiento de las capacidades científico-tecnológicas disponibles en el país” [11].

Dada la condición actual de dualidad monetaria en Cuba, donde coexiste el CUP (peso cubano) con el CUC (moneda libremente convertible), la Cadena de Suministro de Aceite Comestible en el país se desarrolla a través de dos ramas fundamentales, cada una relacionada con los tipos de monedas planteadas. Las investigaciones que se han desarrollado por parte de LOGESPRO fundamentalmente han estado relacionadas con la cadena asociada al CUC y por tanto es en esta rama donde mayores resultados se han alcanzado.

A partir de la labor realizada por el equipo de trabajo LOGESPRO-ECASOL, la Cadena de Suministro de Aceite Comestible Comercializado en CUC, se ha convertido en referencia para otras cadenas en Cuba, debido al nivel de conocimiento, integración y comunicación que se ha ido alcanzando por parte de los actores de la cadena con su ente coordinador, la Empresa ECASOL. Con el despliegue de este caso se pretende precisamente, analizar el desarrollo evolutivo que se ha logrado en dicha cadena partiendo de la alianza creada entre LOGESPRO y ECASOL.

II. DESARROLLO EVOLUTIVO DE LA CADENA D SUMINISTRO DE ACEITE COMESTIBLE

La representación simplificada de la Cadena de Aceite Comestible Comercializado en CUC se puede observar en la figura 1 que se muestra seguidamente.

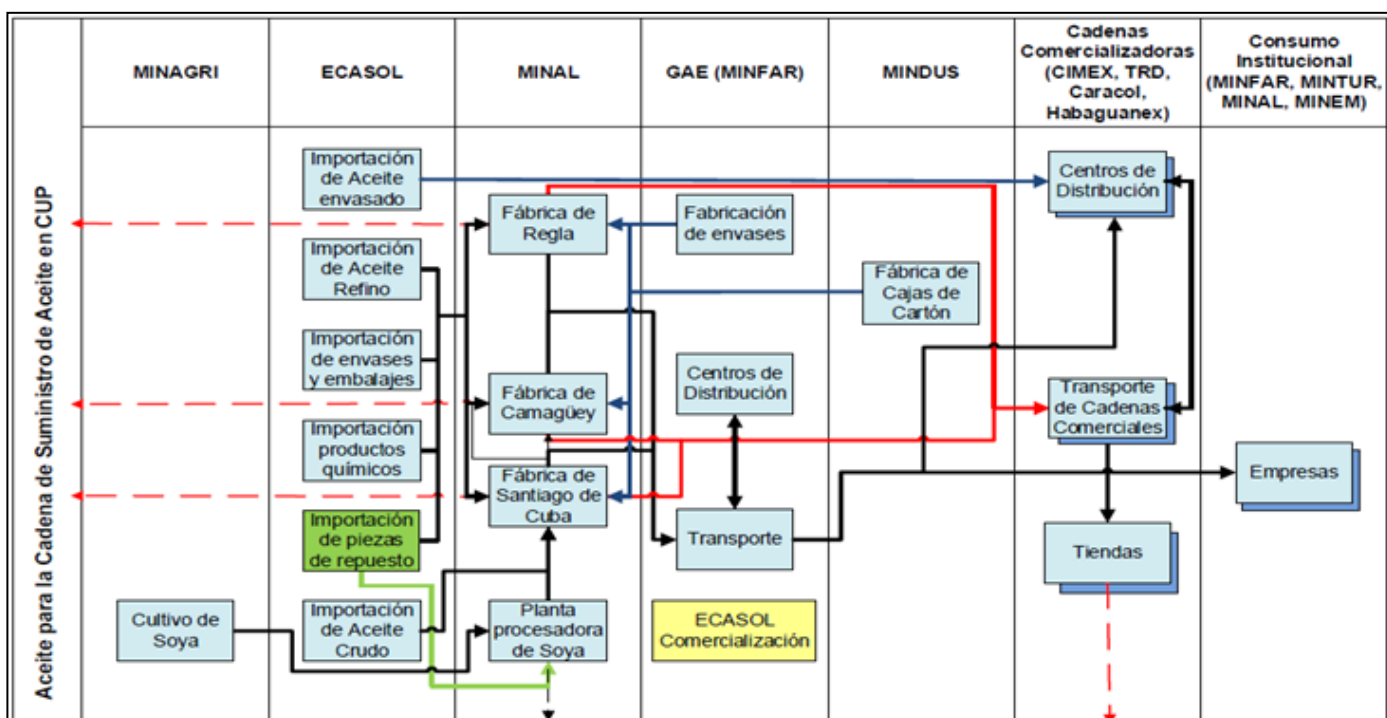


Figura 1: Cadena de Suministro de Aceite Comestible Comercializado en CUC.

Fuente: Los autores, (2018).

II.1 ETAPAS INICIALES

A partir del año 2005 ECASOL y LOGESPRO establecen estrechos lazos de colaboración en función de estudiar, desarrollar e implementar novedosos conceptos teórico-prácticos en el campo de la gestión empresarial, logística y de las cadenas de suministro en el país. En estos momentos, la comercialización de aceite comestible en CUC se encuentra muy deprimida, presentando como problemas fundamentales la baja disponibilidad de sus productos en los puntos de consumo y por consiguiente valores bajos de ventas.

Desde el comienzo de la colaboración LOGESPRO-ECASOL el centro de atención de la gestión de la empresa ha estado enfocado en buscar la satisfacción de los clientes finales, más que la de los clientes inmediatos de ECASOL, con el objetivo de incrementar las ventas totales de aceite en la cadena

de suministro. Para demostrar la validez de este supuesto las primeras acciones desplegadas en el marco de la colaboración se centran en determinar los niveles de disponibilidad del aceite en los puntos de venta de las diferentes cadenas comercializadoras.

Como resultado del estudio de disponibilidad que marca el punto de partida en los trabajos realizados entre las dos organizaciones, en el propio año 2006, se obtiene que el nivel de disponibilidad de productos en los puntos de ventas a la población era muy bajo, presentando un valor de 26.4% considerando al aceite como genérico.

La principal conclusión del estudio es la no existencia de coordinación entre todos los eslabones que conforman la cadena de suministro, dado que los niveles de disponibilidad hacia atrás en los eslabones de la cadena de suministro son significativamente superiores, tal y como se muestra en la figura 2.

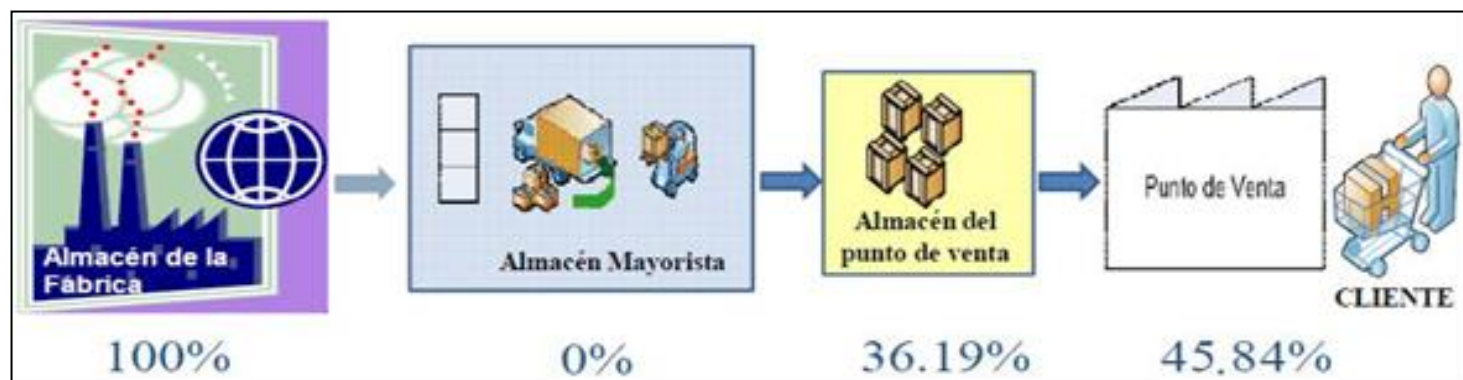


Figura 2: Porcentaje de disponibilidades de aceite en los actores de la Cadena de Suministro.

Fuente: [2].

Como se aprecia en la figura 1, en fábrica se presenta el 100 % de disponibilidad de aceite comestible, sin entrar en el detalle de los diferentes surtidos, sin embargo, en los almacenes mayoristas, siguiendo el mismo criterio, es 0 % la disponibilidad, mientras que en el punto final de la cadena de cara al cliente, lo que se percibe es solo un 45,84 % de disponibilidad de los productos. Del gráfico anterior por tanto, se puede deducir que en buena medida los bajos niveles de disponibilidad en los puntos de venta se deben a una deficiente logística e inadecuada coordinación entre los actores de la cadena.

Es entonces que surge la necesidad de que un eslabón de la cadena tome el papel de coordinador de la misma para lograr la integración. Según plantea Pardillo, en una cadena de suministro productiva el papel coordinador debe caer en manos del eslabón productivo [13]. No obstante al no estar creadas las condiciones para ello, es decir al depender las industrias de Regla, Camagüey y Santiago de la gestión de ECASOL y al encontrarse las ventas de este último afectadas por los bajos niveles de disponibilidad, la dirección de la empresa toma la decisión de convertirla en la entidad focal o coordinadora de la cadena.

A partir de este momento en que ECASOL asume el papel de coordinador de la cadena de suministro de aceite comestible comercializado en CUC, la misma emprende en el propio año 2006 la aplicación de la Gestión Integrada de la Cadena de Suministro en base al Modelo de Red de Valor desarrollado por LOGESPRO. Para cumplir el papel de coordinador, la empresa despliega un conjunto de acciones de mejoramiento y cambios en

su organización interna, en aras de lograr la integración con las otras entidades de la cadena de suministro.

Todas estas acciones se desarrollan bajo la dirección y seguimiento del director de ECASOL, el cual asume el liderazgo de la organización, cumpliendo de esta forma con uno de los siete pilares básicos de las organizaciones exitosas en Cuba [14].

Las acciones desarrolladas se enmarcan en tres etapas de desarrollo. Estas son:

II.1.1 PRIMERA ETAPA

Contenido: Centrada en la organización e integración interna de la empresa coordinadora para ponerla en condiciones de ejercer esa función de forma efectiva. Esta etapa busca el cumplimiento de los requerimientos básicos contenidos en el Decreto Ley 281 de 2007 referente al Perfeccionamiento Empresarial [15].

Acciones:

1. Completamiento y mejora del sistema de perfeccionamiento empresarial.
2. Implantación de la gestión por procesos.
3. Implantación y certificación del sistema de calidad de los procesos de realización del producto de la empresa.
4. Definición del papel y las funciones de ECASOL como centro de coordinación.
5. Informatización de la gestión económica y comercial de los procesos de compras y ventas.

II.1.2 SEGUNDA ETAPA

Contenido: Centrada en la organización de la integración de la cadena de suministro.

Acciones:

1. Modificación del objeto social convirtiendo a la empresa ECASOL de una comercializadora de aceite vegetal comestible, en una empresa de manejo de productos desde la importación de materias primas y materiales, equipos, piezas de repuesto hasta el aceite envasado en almacenes de destino mayoristas de los clientes.

2. Ampliación de la licencia de importaciones para satisfacer el nuevo objeto social.

3. Calificación de los directivos de la empresa en los temas de manejo de cadena de suministros.

4. Definición y determinación de las relaciones de las entidades que intervienen en la cadena de suministro para el mercado de aceite comestible en CUC.

5. Diseño de las actividades y funciones de los procesos que intervienen en el manejo de cadena de suministro.

6. Modelo de organización de las actividades y funciones de la cadena de suministro.

II.1.3 TERCERA ETAPA

Contenido: Centrada en consolidar las bases y técnicas para realizar la gestión integrada en la cadena de suministro.

Acciones:

1. Gestión integrada de la cadena de suministro de ECASOL como centro coordinador con las entidades que intervienen en la cadena de suministro, a través de contratos de suministros, de servicios tercerizados y alianzas.

2. Crear la reserva para contingencia en almacenes subcontratados en calidad de depósito por ECASOL.

3. Introducción de las actividades de Inteligencia Comercial, administración de conocimientos, incluyendo la conexión de los sistemas informativos de los clientes.

4. Incorporar la gestión por valores.

5. Implantación y certificación del Sistema Integrado de Gestión de la Calidad, gestión ambiental y seguridad y salud del trabajo.

6. Elevación gradual de las competencias del personal involucrado en el Proyecto.

II.2 PRINCIPALES RESULTADOS ALCANZADOS EN LAS ETAPAS INICIALES

A partir de la implementación del Modelo de Red de Valor en la Cadena de Suministro de Aceite Comestible

Comercializado en CUC se comienzan a notar un conjunto de cambios. Entre los cambios fundamentales se aprecia el aumento sustancial de los niveles de disponibilidad de aceite en los puntos de venta y a su vez el incremento de los niveles de ventas de ECASOL a sus clientes inmediatos.

De un valor de disponibilidad de un 26,4% en el año 2006, se puede constatar en la figura 3 como este indicador ha ido aumentando paulatinamente hasta presentar valores superiores a la media de disponibilidad en América Latina a partir del año 2011.

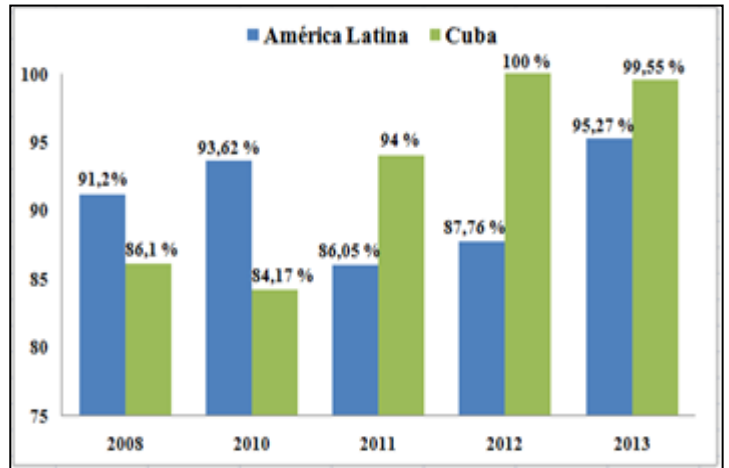


Figura 3: Disponibilidad de aceite por genérico en Cuba y América Latina.

Fuente: Los autores, (2018).

Junto al aumento de la disponibilidad de aceite en el punto de venta se produce además, un crecimiento de las ventas de ECASOL a sus clientes a partir del año 2008, año en el cual se logra un salto cuantitativo considerable en el indicador de disponibilidad. Esta situación se refleja en la figura 4.

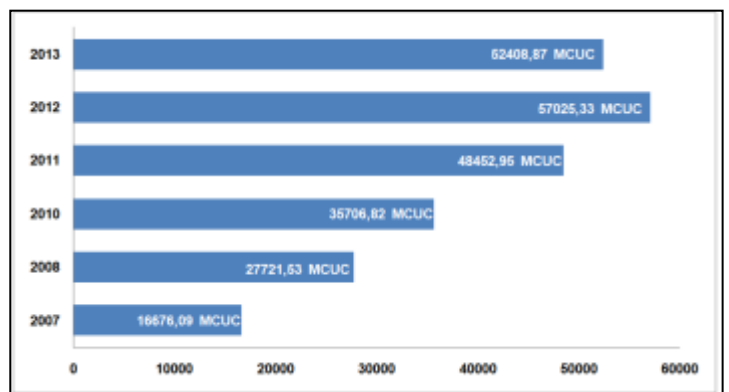


Figura 4: Importe total de Ventas en MCUC de ECASOL a sus clientes.

Fuente: Los autores, (2018).

Cuando se analiza la relación Disponibilidad-Ventas se puede apreciar que el incremento de la primera variable representa un incremento de la segunda. Esto ha sido comprobado a través de la dícima del coeficiente de correlación lineal de Pearson, el cual arroja un valor de 0,839. Este valor denota la existencia de una relación lineal fuerte y directa entre estas variables, es decir si aumenta la disponibilidad aumentan las ventas y si disminuye la primera, lo hace también la segunda variable.

En la Cadena de Aceite hasta el momento se ha implementado el Modelo de Red de Valor en un 50%, lo que ha representado para ECASOL un aumento de las ventas en 31402 MCUC.

Los principales resultados alcanzados en cada una de las etapas, pueden resumirse de la siguiente forma:

II.2.1 PRIMERA ETAPA (2005-2008)

- Fijación del indicador de disponibilidad de productos a la venta como un medidor básico de la gestión de la cadena de suministro.

- Primera representación de la cadena de suministro de aceite vegetal comestible en el país, la que constaba de 7 niveles fundamentales: proveedores, fábricas de refinación, almacén de productos terminados, almacenes nacionales, almacenes provinciales, almacenes municipales y clientes. Se advierte la importancia y necesidad de lograr un acercamiento con las fábricas refinadoras como eslabón clave de la cadena.

- Decisión de que ECASOL asuma el papel de coordinador de la rama de comercialización en CUC.

- Primer análisis del nivel de integración de la cadena, a partir del cual se comprueban los bajos niveles de estabildades de los procesos a lo largo de la cadena.

- Primeras aproximaciones a las cadenas comerciales donde se va introduciendo la necesidad de aumentar la disponibilidad del producto y establecer políticas de surtidos para los puntos de venta. De este acercamiento también se desprenden los primeros análisis de factibilidad de distribución del aceite, para la cadena comercial CIMEX, comparando las alternativas de distribución a puntos de venta directamente desde fábrica o a través del centro de distribución de la cadena comercializadora.

- Decisión de que la gestión de ECASOL como coordinador de la cadena de suministro debe basarse en un amplio uso de la tercerización y no en el aumento de la infraestructura de almacenes y medios de transporte administrados por la Empresa. Se establece, como principal operador logístico a utilizar a

- Almacenes Universales S. A., fundamentalmente en los servicios de almacenamiento y transportación.

- Primeros análisis de capacidad en los procesos productivos de aceite permitiendo obtener las primeras aproximaciones a los problemas reales a enfrentar en la fábrica de Regla, en vistas a mejorar la disponibilidad y el servicio al cliente final.

- Segunda representación de la Cadena de Suministro del Aceite Comestible Comercializado en CUC, donde se presentan 27 niveles y se confecciona un único concepto de Cadena de Valor que guía en lo adelante el funcionamiento de la misma. Se definen como objetivos de mejoramiento de la Cadena de

- Valor: aumento de la disponibilidad del producto en mercado, incremento de la eficiencia y competitividad e incremento de las ventas.

- Queda fijado como objetivo fundamental de trabajo de la cadena de suministro el garantizar un nivel de disponibilidad del aceite, como genérico, en los puntos de venta de las cadenas comercializadoras del 90%.

II.2.2 SEGUNDA ETAPA (2008-2010)

- Redefinición de la composición de la cadena de suministro del aceite comestible en CUC en función de los eslabones esenciales para la gestión e integración de la cadena, quedando conformada la misma por 7 eslabones y 19 actores principales.

- Redefinición del objeto social de la empresa ECASOL para facilitar su papel como coordinador y desarrollador de la cadena de suministro de aceite en CUC, constituyendo un precedente importante para el país.

- Estudio de los ciclos logísticos en la cadena de suministro y determinación de los subciclos con influencia en el incumplimiento de los niveles de servicio a los clientes.

- Profundización del estudio de las capacidades en el proceso de fabricación e inclusión de otros procesos de la cadena. Queda demostrada la validez de la metodología de cálculo y

análisis de las capacidades en los sistemas logísticos, desarrollada por LOGESPRO. Este resultado constituye un referente para la aplicación de la metodología de cálculo de capacidades en cadenas de suministro.

- Obtención del Modelo de Aseguramiento del Proceso (MAP) de producción de aceite. Esto permite organizar y garantizar el nivel de abastecimiento requerido de materias primas, insumos y piezas de repuesto a la producción, lo que se traduce en una elevación de la continuidad de la producción y mejor aprovechamiento de las capacidades.

- Realización de la evaluación piloto de la aplicación del Modelo de Flujo logístico como herramienta de planificación coordinada de la cadena.

- Se alcanza el objetivo de mantener, con estabilidad, un nivel de disponibilidad del 90% en los puntos de ventas de las cadenas comercializadoras, lo cual se corrobora a partir de los resultados de los estudios de disponibilidad realizados por LOGESPRO y el MINCIN de forma independiente.

- Identificación de la necesidad de formalizar las relaciones de cooperación e integración entre los eslabones de la cadena de suministro, conformándose el esquema de organización de la misma.

- Queda evidenciada la necesidad de conformar y formalizar el proyecto de desarrollo integral de la cadena de suministro, pero con un alcance mayor al que se ha trabajado hasta esta etapa, se identifica la necesidad y posibilidad de incorporar nuevos eslabones, hacia atrás y hacia adelante, en la gestión de la cadena. Hacia atrás llegando hasta la producción agrícola de la soya como principal materia prima y hacia adelante con la incorporación de otros productos que añadan valor en el marco de la cadena, tales como grasas de freído profundo y mayonesa. Se comienza a visualizar la cadena agroalimentaria de aceite, grasas vegetales y sus derivados comercializados en CUC.

II.2.3 TERCERA ETAPA (2010-2013)

- Estudio de la factibilidad de incorporar a la cadena de comercialización de la mayonesa “Doña Delicias” en coordinación con el MINAL, bajo un esquema similar al que se tiene con la comercialización de aceite.

- Estudio de la factibilidad de la producción y comercialización de grasas de freído profundo con el objetivo de satisfacer necesidades no resueltas en el mercado y otras que deben surgir con el incremento del trabajo por cuenta propia, específicamente en el caso de la elaboración de alimentos.

- Estudio de la incorporación del tratamiento de los residuales a la cadena (logística reversa) y búsqueda de alternativas para agregar valor a la misma a partir de la comercialización y/o reprocesamiento de las grasas quemadas y residuales de la refinación de aceite.

- Se trabaja en el desarrollo del mecanismo de coordinación de la cadena, sustentado en garantizar el equilibrio entre las capacidades y el flujo logístico en los diferentes eslabones. Se fundamenta el mecanismo en los modelos de cálculo y análisis de las capacidades y de flujo, desarrollados por LOGESPRO.

II.2.4 ETAPA ACTUAL (2013-ACTUALIDAD)

- A partir de las experiencias obtenidas en las etapas anteriores y la aprehensión paulatina de los conceptos de logística y cadenas de suministros en la empresa, en la actualidad se está manejando el desarrollo de una Cuarta Etapa, la cual está centrada

en la innovación, siendo la base para el surgimiento de las Redes de Valor [10].

- La Cadena de Suministro de Aceite Comercializado en CUC, con ECASOL como ente coordinador de la misma, transita hoy por los inicios de esta cuarta etapa de desarrollo. Como parte de esta etapa la cadena se traza como premisas las siguientes:

- Incorporación de nuevos eslabones hacia atrás llegando hasta la producción agrícola de soya como principal materia prima del proceso de obtención de aceite. En tal sentido se pretende incorporar de forma activa a esta cadena a la Planta Procesadora de Soya (PDS), la cual está radicada en Santiago de Cuba y constituye la única de su tipo en el país.

- Integración de la Cadena de Suministro de Aceite Comestible en Cuba, considerando las dos vertientes en que se desarrolla la misma, la rama de comercialización en CUC y la de comercialización en CUP.

- Consolidación de ECASOL como operador logístico de la Cadena de Aceite Comestible en Cuba.

II. 3 ACCIONES A DESARROLLAR EN LA NUEVA ETAPA POR ECASOL PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS PREMISAS

II.3.1 INTEGRACIÓN CON PDS

Para el logro de la primera premisa ECASOL en su papel de ente coordinador se encuentra en la actualidad dando sus primeros pasos hacia la integración con la Planta Procesadora de Soya (PDS). PDS es una entidad que resulta en nuestro territorio, proveedor exclusivo de aceite crudo para la industria. Para el desarrollo de su proceso productivo, actualmente PDS gestiona el aprovisionamiento de materias primas, materiales e insumos del proceso que desarrolla, así como las piezas de repuesto de los equipos con que cuenta. Sus niveles actuales de producción de aceite crudo no cumplen las necesidades de refinación de aceite de la Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba (ERASOL). Ante tal situación ECASOL pretende incorporar dicha entidad a su gestión con el objetivo de garantizar la estabilidad y continuidad del proceso de producción de aceite crudo.

II.3.2 INTEGRACIÓN DE LA CADENA DE ACEITE NACIONAL

Como se mencionaba al inicio del caso, los principales estudios relacionados a la comercialización de aceite en el país han estado encaminados fundamentalmente a la rama de comercialización en CUC. Hoy es un hecho la necesidad de lograr una integración más allá de este ámbito y es por tanto que se está comenzando a visualizar la integración de ambas vertientes en una única cadena de suministro a nivel nacional. Como parte de

esta estrategia se está haciendo un levantamiento de manera conjunta entre ECASOL, el Grupo Empresarial de la

Industria Alimentaria (GEIA) y LOGESPRO de la Cadena de Suministro a nivel nacional integrando las ramas en CUC y CUP. El primer paso para el logro de esta premisa lo constituye la concepción de la Cadena de

Suministro de Aceite Comestible en el país, que cuenta hoy con un total de 15 eslabones verticales.

II.3.3 ECASOL COMO OPERADOR LOGÍSTICO DE LA CADENA DE ACEITE

Como base del desarrollo de ECASOL como operador logístico de la Cadena de Suministro Aceite a nivel nacional, la entidad se encuentra inmersa en la reestructuración de su organización. El cambio fundamental que se está llevando a cabo en la estructura consiste en la creación de una Dirección Logística que le permite concentrar de manera más efectiva la coordinación de todos los procesos relativos a la comercialización de aceite. Esta dirección es la antesala para que ECASOL comience a desempeñarse como operador logístico de la cadena.

III. DESPLIEGUE DE LAS INVESTIGACIONES

A lo largo de la labor desplegada entre ECASOL y LOGESPRO con el objetivo de elevar el nivel de servicio que la Cadena de Suministro de Aceite Comestible oferta a sus clientes, ha sido necesaria la incorporación paulatina de diferentes líneas de investigación, entre las cuales se encuentran:

- Estudios de disponibilidad en los puntos de venta.
- Análisis de capacidad en distintos eslabones de la cadena, fundamentalmente en los almacenes de fábrica y en las líneas de envase.
- Evaluación de diferentes alternativas de envases para la comercialización del aceite.
- Diseño del proceso de aprovisionamiento de materias primas y materiales a las industrias aceiteras.
- Evaluación de la reutilización de desechos en la cadena.
- Aplicación del Modelo General de Organización (MGO) en la empresa ECASOL.
- Implementación del Modelo de Diseño de los Nodos de Integración en la Cadena de Suministro
- (MDNICS) en puntos críticos, tales como el proceso de despacho de aceite en fábrica.
- Estudio del proceso de contratación entre los actores de la cadena.
- Ejecución del Modelo de Gestión Colaborativa del Flujo Logístico (MGCFL) en ECASOL.

En la figura 5 se puede observar un resumen de estas líneas por años.

EVOLUCIÓN DE LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN					
2005-2006	Cadena de Suministro				
2006-2007	Disponibilidad	Capacidad de Producción	Envase y Embalaje	Distribución	
2007-2008	Cadena de Suministro				
2008-2009	Cadena de Valor	Capacidad de Producción	Aprovisionamiento		
2009-2010	Disponibilidad	MAP	Distribución	MGO	MGCFI
2010-2011	Disponibilidad	MAP	Aprovisionamiento	MDNICS	Reutilización
2011-2012	Contratación	Capacidad de Almacenamiento	Aprovisionamiento	MDNICS	
2012-2013	Cadena de Valor	Capacidad de Almacenamiento	Aprovisionamiento	MDNICS	Indicadores Logísticos
2013-2014	MGO	MAP	Envase y Embalaje	MDNICS	

Figura 5: Evolución de las líneas de investigación desarrolladas por ECASOL y LOGESPRO de manera conjunta.
Fuente: Los autores, (2018).

IV. SÍNTESIS DEL PROCESO EVOLUTIVO DE LA CADENA DE ACEITE COMESTIBLE EN EL PAÍS

En la tabla que se muestra seguidamente aparece de manera resumida la evolución de la cadena de suministro de aceite comestible a lo largo del despliegue de las cuatro etapas de desarrollo que se han referido a lo largo del documento.

Tabla 1: Síntesis del desarrollo evolutivo de la cadena de aceite comestible en el país.

Criterios	Etapa 1 (2005-2008)	Etapa 2 (2008-2010)	Etapa 3 (2010-2013)	Etapa 4 (2013-actualidad)
Representación de la cadena de suministro	Primera representación con 7 niveles verticales y segunda con 27 niveles verticales	Representación de 7 niveles verticales y 19 eslabones	Se mantiene la representación de 7 niveles verticales y 19 eslabones	Se representa la cadena de aceite comestible en Cuba con un total de 15 niveles verticales
Alcance de la gestión en la cadena	Rama de comercialización en CUC	Rama de comercialización en CUC	Rama de comercialización en CUC	Cadena de suministro de aceite nacional (Incluye rama de CUC y CUP)
Enfoque en la CS	No se tiene enfoque de CS, enfoque al interior de la empresa	Enfoque de CS	Enfoque de CS con énfasis en los nodos de integración de la CS	Enfoque de CS con énfasis en los nodos de integración de la CS con ampliación del alcance de la CS
Concepto de disponibilidad	Disponibilidad como genérico	Disponibilidad genérico y por surtidos	Disponibilidad genérico y por surtidos	Disponibilidad genérico y por surtidos
Meta de disponibilidad	Alcanzar un nivel de disponibilidad del aceite como genérico del 90 %	Alcanzar un nivel de disponibilidad del aceite como genérico del 90 %	Alcanzar y mantener un nivel de disponibilidad del aceite como genérico del 90 %	Alcanzar y mantener un valor de 90 % a nivel de surtido
Disponibilidad alcanzada por genérico	81,60%	84.17 %	> 99, 55 %	> 99, 55 %
Niveles de integración	A nivel de cadena es de 2.83, Nivel Bajo	No se estudia	No se estudia	Evaluación media de 2,65 puntos, Nivel Bajo

Estudio de Demanda Capacidad	No se estudia	Demanda de aceite en CUC	Demanda de aceite en CUC	Demanda de aceite en CUC y CUP
	Estudio centrado en capacidades de producción en fábrica	Estudio centrado en capacidades de producción en fábrica	Estudio centrado en capacidades de la cadena de suministro	Capacidades en puntos críticos (nodos de integración) de la cadena de suministro
Innovación	Introducción del formato de 4 litros para la comercialización de aceite	-	Análisis de factibilidad de Mayonesa, grasas comestibles y aceite de freído profundo.	Creación de la Dirección Logística en ECASOL

Fuente: Los autores, (2018).

Como se aprecia en la tabla 1 en la Etapa 4 el nivel de integración es inferior al de la Etapa 1, lo cual está dado por cambios de dirección que se producen en el año 2012, afectando el pilar liderazgo al cual se hizo alusión con anterioridad.

V. CONCLUSIONES

El análisis de este caso permite, a modo de resumen, relacionar las enseñanzas siguientes:

La aplicación paulatina del Modelo de Red de Valor en la Cadena de Suministro de Aceite Comestible en CUC ha propiciado un aumento considerable en la disponibilidad de aceite en un 73,15 % y las ventas en 31402 MCUC.

El éxito del desarrollo de la GICS debe estar apoyado en un proceso de fomento de la preparación del personal, el desarrollo de la cultura empresarial y en el liderazgo de la alta dirección de la empresa en tal empeño.

La relación universidad-empresa permite la integración de elementos teórico-prácticos en la mejora de la gestión empresarial.

Las etapas de la GICS no son estáticas pudiendo darse retrocesos en los avances obtenidos, lo cual conduce a un proceso de replanteamiento de acciones de etapas anteriores.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los empresarios, operarios y estudiantes que han colaborado con la realización de la investigación, en especial al personal de la empresa ECASOL.

VII. REFERENCIAS

[1] BAEZ, Y.P., **Modelo de Diseño de Nodos de Integración en la Cadena de Suministro bajo las condiciones cubanas, in Departamento de Ingeniería Industrial**. 2011, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Habana.

[2] AGUILAR, P.R., **Administración de la Cadena de Suministro (SCM)**. Lo que todos deberían saber. 2009.

[3] MANGAN, J., C. LALWANI, and T. BUTCHER, **Global Logistics and Supply Chain Management**, ed. J.W.a. Sons. 2008.

[4] ANAYA, J.J. and S.P. MARTÍN, **Innovación y mejora de procesos logísticos: Análisis, diagnóstico e implementación de sistemas logísticos**. 2da ed, ed. ESIC. 2007, Madrid.

[5] FLYNN, B.B., B. HUO, and X. ZHAO, **The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach**. *Journal of Operation Managements*, 2010. **28**: p. 58-71.

[6] ACOSTA, M.I.G. and J.A.A. SUAREZ, **La Logística Moderna en la Empresa**, ed. F. Varela. 2010, Habana.

[7] IVANOV, D. and B. SOKOLOV, **Adaptive Supply Chain Management**. 2010, London: Springer.

[8] VITASEK, K., **Supply Chain Management Terms and Glossary**. 2009, Bellevue, Washington: Supply Chain Visions.

[9] HARRISON, A. and R.V. HOEK, **Logistics Management and Strategy. Competing through the supply chain**, ed. P. Hall. 2008, London.

[10] SUAREZ, J.A.A., **Modelos y estrategias de desarrollo de la Logística y las Redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica**. 2008, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: Ciudad de la Habana.

[11] CUBA, **Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución**. 18 de abril 2011, VI Congreso del Partido Comunista de Cuba.

[12] BAEZ, Y.P. and A.J.A. URQUIAGA, **Estudio de disponibilidad de aceite comestible en Cuba para el año 2010**. *Ingeniería Industrial*, 2012. **33**(1): p. 94-97.

[13] BAEZ, Y.P. CASO: ECASOL. **Cadena de Suministro de aceite comestible y sus derivados en Cuba**. 2013. Empresa Comercializadora de Aceites ECASOL.

[14] SUAREZ, J.A.A. and M.I.G. ACOSTA, **¿Mi empresa o la cadena de suministro? Nuevo dilema del directivo**. Nueva Empresa, 2012. **8**.

[15] MINISTROS, C.D., **Reglamento para la Implantación y Consolidación del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Estatal in 41**. 2007, Gaceta Oficial.

Análisis de la disposición técnica de los vehículos automotores como vía de valoración del fin de vida útil

Laksmi Penabad Sanz¹, Pedro Antonio Rodríguez Ramos²

^{1, 2}Centro de Estudios de Ingeniería en Mantenimiento, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Calle 114 #11901, entre 119 y 127, Cujae, Marianao, La Habana, Cuba.

Email: laksmi@mecanica.cujae.edu.cu, parr@ceim.cujae.edu.cu

Received: January 23th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 25th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The production chain for the treatment of vehicles at the end of life is very important to any country, both economically and environmentally. The decision to end the life of vehicles must be taken at the right time in order to get the smallest economic and environmental negative effects to the vehicles operation. This paper proposes that this assessment, in the case of transport fleets, starts from the identification of vehicles which operation is irrational. This identification can be obtained comparing the vehicles readiness with the minimum permissible readiness. For this, the boundary condition of fleet rational use is defined and integrated with the equation for calculating the indicator Readiness. This allows obtaining a function whose parameters depend on the specific technical and economic characteristics where transportation activity occurs so the reference value for the comparison is determined. It also shows the application to a real case that allowed to identify vehicles whose operation is irrational and then to evaluate whether to pass to the supply chain for end of life vehicles.

Keywords: Readiness, End of vehicles' life, rational use, motor vehicles.

Analysis of the motor vehicles readiness as a means of end of life assessment

RESUMEN

La cadena productiva para el tratamiento de los vehículos al final de su vida útil es de gran importancia para cualquier país, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. La decisión de dar por terminada la vida útil de vehículos debe tomarse oportunamente, de manera que las afectaciones económicas y medioambientales de la explotación de los vehículos sean menores. El presente trabajo propone que esta valoración, en el caso de las flotas de transporte, parta de la identificación de los vehículos cuya explotación es irracional. Esta identificación se puede obtener como resultado de la comparación de la disposición técnica de los vehículos con la disposición técnica mínima permisible. Para ello se define la condición límite de uso racional de las flotas y se integra con la ecuación de cálculo del Coeficiente de Disposición Técnica. Esto permite obtener una función cuyos parámetros dependen de las características técnico-económicas concretas donde se desarrolla la actividad de transportación con lo que se determina el valor de referencia para la comparación. Asimismo, se muestra la aplicación a un caso de estudio que permitió identificar los vehículos cuya explotación es irracional y de esta manera decidir, luego del análisis correspondiente, la conveniencia de darles baja y transitar a la cadena productiva para el tratamiento de fin de vida.

Palabras Claves: Disposición técnica, fin de vida útil de los vehículos, uso racional, vehículos automotores.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el estudio de las cadenas productivas para el tratamiento de los vehículos al final de su vida útil toma

cada vez más importancia, a juzgar por la presencia que tiene el tema en las publicaciones internacionales [1]. Los vehículos automotores al final de su vida útil (VFU) son una fuente de desechos reciclables y reutilizables. Entre los desechos reciclables

se encuentran, en primer lugar, los desechos metálicos, tanto ferrosos como no ferrosos, que para Cuba significan la sustitución de importaciones y la posibilidad de exportación en el caso de los no ferrosos [2]. Las piezas y componentes en buen estado se reutilizan insertándose en el mercado como piezas de segunda mano.

Las cadenas productivas para el tratamiento de los VFU, en Cuba, recibieron un impulso como parte del programa de ahorro energético, principalmente la de tratamiento de vehículos de carga. Se aprobaron un grupo de instrumentos jurídicos regulando el proceso. Específicamente el Reglamento para la ejecución de las bajas de los vehículos automotores por carretera y sus medios traccionados, derivado de las Indicaciones Conjuntas SIME – MITRANS para la tramitación y concreción de las bajas de medios automotores, establece el procedimiento para materializar la baja de un vehículo de la flota. La decisión de dar baja de la flota a un vehículo determina el paso de este a la cadena de tratamiento de los VFU. Dicha resolución dispone que en la primera etapa del proceso de baja se realice la evaluación técnica – económica de la propuesta de vehículos para finalizar su vida útil. Para ello debe crearse una comisión integrada por representantes de las áreas técnica, operaciones y económica. Esta comisión deberá dictaminar acerca del estado técnico para la explotación segura y económica de los medios de transporte automotor y, con base a esta información, proponer al jefe de la entidad los vehículos a ser dados baja. Más recientemente se aprobó el procedimiento P-50507-01[3], que regula la aprobación de las bajas en el esquema empresarial subordinado al MITRANS. Este procedimiento, al igual que la resolución conjunta, parte de que las empresas deciden cuáles son los vehículos propuestos para finalizar su vida útil. Pero, ¿cuál es el momento oportuno para que esta comisión se cree y cuáles son los vehículos que deben ser valorados para finalizar su vida útil? no se aclara en regulación alguna.

El más reciente censo de vehículos de carga, realizado en el 2005, mostró que el 20% de los vehículos se encontraban paralizados por períodos superiores a seis meses. Esto significa la existencia en la flotas de transporte de carga que no están en condiciones de trabajar cuyo deterioro (dado por la oxidación fundamentalmente) se incrementa con el paso del tiempo, afectando las posibilidades de reutilización de piezas y la calidad de la chatarra y otros desechos reciclables de los vehículos. De ahí la importancia que tiene para la cadena productiva para el tratamiento de los VFU que la decisión de dar baja a un equipo de la flota se realice oportunamente.

Considerando que:

1. la racionalidad en el uso de los recursos es uno de los principios del desarrollo sostenible [4],
2. los vehículos de transporte son altos consumidores de recursos naturales en todo su ciclo de vida [5],
3. la política para el transporte aprobada por el VI Congreso del PCC establece el uso racional de los medios de transporte (L269) [6],
4. el Coeficiente de Disposición Técnica (CDT) caracteriza el estado técnico de un vehículo [7] y disminuye en la medida que se incrementa el deterioro del mismo.

Los autores del presente trabajo proponen la evaluación periódica de la racionalidad de la explotación de las flotas de transporte a partir del análisis del CDT y que el momento para valorar la posibilidad de dar baja a un vehículo de transporte de

carga sea aquel en el que su uso sea irracional en flotas de transporte.

II. EVALUACIÓN DE LA RACIONALIDAD DE LA EXPLOTACIÓN DE LAS FLOTAS

II.1 MODELO DE LA DISPOSICIÓN TÉCNICA MÍNIMA

El uso de un vehículo se evalúa a partir del indicador Aprovechamiento del Parque (α_a). Este indicador depende a su vez del Coeficiente de Disposición Técnica (α_t), característico de la función Mantenimiento, y del Coeficiente de Salida (α_s), propio de la función Operaciones. Los tres indicadores se relacionan, según Afanasiev [8], como se muestra a continuación:

$$\alpha_a = \alpha_t \cdot \alpha_s \quad (1)$$

El CDT es un indicador que muestra la proporción del tiempo en que un vehículo se mantuvo en buen estado técnico para cumplir con su función [9]. Si se toma el estado técnico como factor para considerar el término de la vida útil de un vehículo en flotas de transporte de carga, el CDT será el indicador a analizar. Pero, para analizar un indicador es necesaria una referencia que posibilite la comparación y la evaluación.

El estado técnico de un vehículo depende de las características propias del vehículo y del régimen de trabajo al que es sometido. La referencia que se emplee para el análisis de la disposición técnica debe estar en función de los indicadores que caracterizan estos factores. La gran cantidad de combinaciones posibles entre los factores técnicos y económicos de influencia hace que la identificación de una referencia para la evaluación del estado del vehículo requiera de un modelo.

Para los efectos de esta investigación, se definió como condición límite de operación racional a la resultante de la relación matemática que se establece entre el estado técnico y el resultado económico de la operación de los vehículos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).



Figura 1: Relación entre el estado de un vehículo y el resultado económico.

Fuente: Los autores, (2018).

Esta relación se obtuvo modificando la Condición Económica de Mínimo utilizada por Kochnov y Basté [10] para la determinación del recurso medio entre reparaciones generales de los vehículos.

La combinación de esta condición límite con la forma de cálculo del CDT permite obtener la función matemática siguiente [11]:

$$\alpha_{t_{MIN}} = \frac{b}{\alpha_s(b+a)} \quad (2)$$

Donde:

$\alpha_{t_{MIN}}$: Coeficiente de Disposición Técnica Mínimo.

α_s : Coeficiente de salida.
 a : Utilidad diaria por la operación de un vehículo [\$/d].
 b : Afectación económica diaria que genera un vehículo por no trabajar [\$/d].

La identificación de los parámetros de la transportación de cargas asociados a los términos a y b permite obtener la relación siguiente [11]:

$$\alpha_{i,MIN} = \frac{V_d - v \cdot l_{td} - F_d}{2\alpha_s (V_d - v \cdot l_{td})} \quad (3)$$

Donde:

V_d : Ingreso medio diario [\$/d].
 v : Costo variable unitario [\$/km].
 l_{td} : Distancia promedio recorrida al día [km/d].
 F_d : Costo fijo diario [\$/d].

Como se puede observar, la expresión (3) relaciona los indicadores que determinan el aprovechamiento de los vehículos según la expresión (1).

II.1.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Para evaluar la racionalidad de la operación de los vehículos de carga se debe:

1. **Agrupar la flota atendiendo a las condiciones de explotación.** La evaluación de la racionalidad de la operación de una flota se sustenta en el análisis individual de los vehículos. No obstante, se presupone que vehículos iguales operando bajo las mismas condiciones de explotación tienen igual $\alpha_{i,MIN}$. Por tanto, es necesario identificar aquellos factores del entorno en los que operan los vehículos de carga que resultan relevantes para la evaluación de la racionalidad de la flota. O sea, aquellos factores que determinan los grupos de vehículos en los cuales se puede considerar que los parámetros de la disposición técnica mínima se comportan de manera similar. Entre estos factores se encuentran: la edad de los vehículos, el régimen de

trabajo, tipo de carga que transportan, características de las vías por las que circulan, entre otros [12].

2. **Identificar los parámetros del modelo de la disposición técnica mínima.** Monitorear un indicador significa disponer de la referencia con anterioridad. El momento de la planificación económica, que se realiza en todas las empresas cubanas previo al inicio de un período económico, es el oportuno para obtener los valores de los parámetros del modelo.
3. **Determinar la constante de la función.** Al sustituir los parámetros (V_d , v , l_{td} y F_d) en la función se obtiene una hipérbola. En la representación gráfica de la función (Figura 2) se puede distinguir la zona de operación racional (área por encima de la curva) y la zona de operación irracional (área por debajo de la curva).
4. **Identificar los vehículos operados de forma racional e irracional.** La determinación de la racionalidad de la operación de los vehículos se realiza a partir de la evaluación de la condición de uso racional mostrada en la Figura 3 para cada vehículo en el grupo. Esto permite identificar aquellos que son operados de forma racional y aquellos que no lo son.

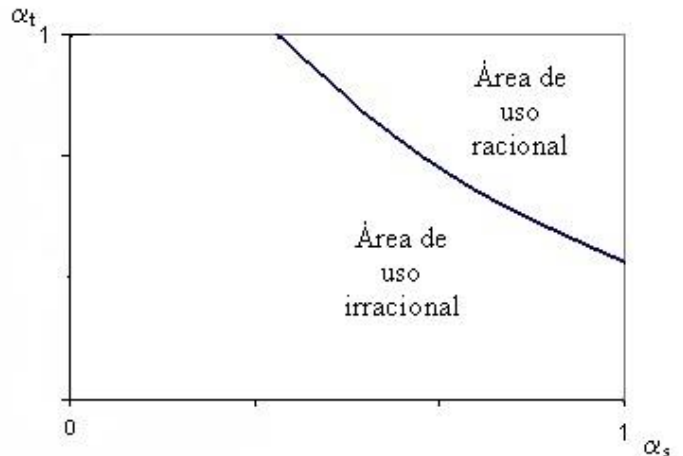


Figura 2: Comportamiento del CDT Mínimo en función del Coeficiente de Salida.
 Fuente: Los autores, (2018).

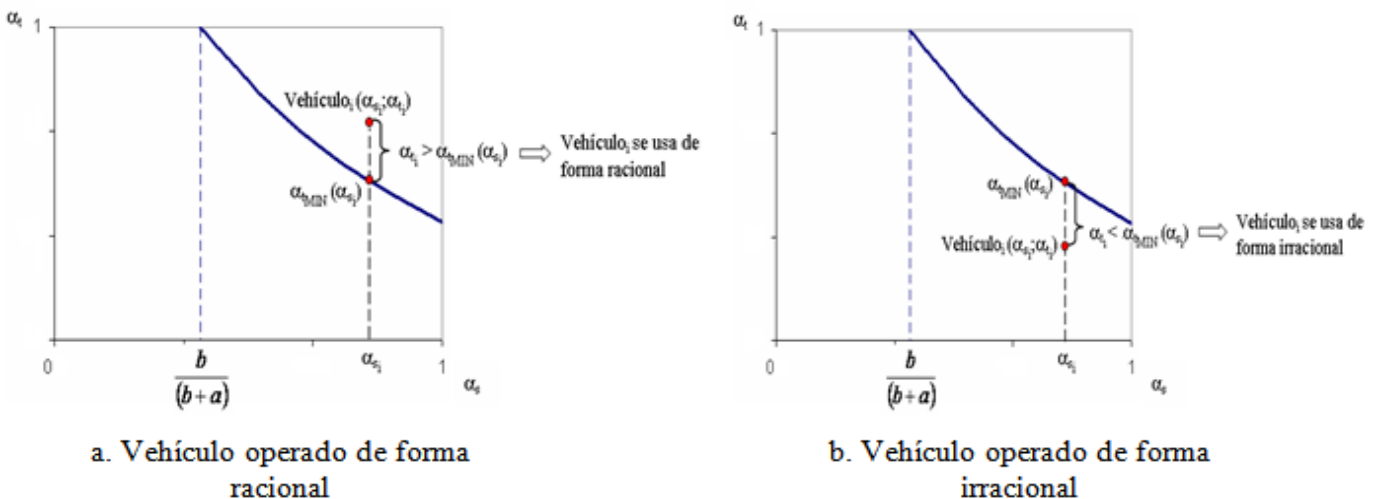


Figura 3. Condiciones para la identificación de los vehículos operados de forma racional e irracional.
 Fuente: Los autores, (2018).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la aplicación del modelo se escogió una flota de 40 cuñas tractivas pertenecientes a una flota de transportación de cereales. El análisis del contexto operacional arrojó que el criterio relevante para la agrupación de la flota es la tecnología. De esta manera se obtuvo dos grupos homogéneos (GH) con la composición que muestra la Tabla 1.

Se calcularon los valores de V_d , v , l_{td} y F_d para cada GH a partir del plan económico aprobado. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Esto permitió obtener las curvas de la disposición técnica mínima (Figura 4).

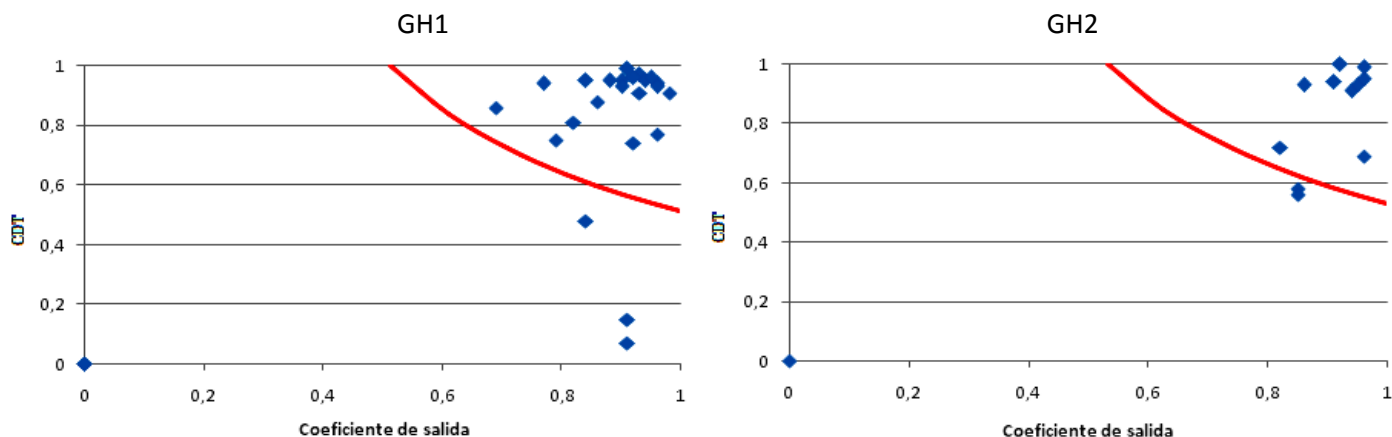


Figura 4. Comportamiento de los vehículos por GH.

Fuente: Los Autores, (2018).

La ubicación de los pares coordenados $(\alpha_s; \alpha_t)$ correspondiente a cada equipo en los gráficos arrojó que el 75% de los vehículos se están explotando de forma racional, mientras que el 25% se explota de forma irracional. Estos resultados permiten a la empresa operadora de la flota valorar la posibilidad de decidir el fin de la vida útil de los vehículos cuya operación es irracional y con ello dar paso a la etapa de fin de vida del vehículo.

V. CONCLUSIONES

La decisión de finalizar la vida útil de un vehículo de carga en una flota debe tomarse de manera oportuna, de forma tal que permita durante el tratamiento de fin de vida un mejor aprovechamiento de sus desechos reutilizables y reciclables.

El Coeficiente de Disposición Técnica Mínimo se obtiene de la combinación del Coeficiente de Disposición Técnica y la condición límite de uso racional y relaciona los indicadores que determinan el aprovechamiento del vehículo.

El uso del Coeficiente de Disposición Técnica Mínima como referencia durante el análisis de la disposición técnica permite identificar los vehículos que son operados de forma racional y aquellos que no lo son. Los vehículos cuya operación es irracional deberán valorarse para su posible baja de la flota y con ello su tránsito a la cadena productiva de tratamiento de VFU.

VI. REFERENCIAS

[1] JUNWEI GAN, Q. C. y ZHENGANG HE, W. C. "Literature Review and Prospect on the End-of-Life Vehicles

Tabla 1: Composición del los GH.

Grupo	Capacidad de carga (t)	Peso bruto(t)	Tiempo en operación	Cantidad
GH1	30	16	7	27
GH2	30	25	4	13
Total				40

Fuente: Los Autores, (2018).

Tabla 2: Valores de los parámetros del modelo por grupo homogéneo.

Grupo	V_d	l_{td}	V	F_d	Constante
GH1	1 043,45	407,34	0,3170	25,43	0,5139
GH2	989,30	391,97	0,3511	52,46	0,5307

Fuente: Los Autores, (2018).

Reverse Logistics". Advanced Materials Research. 2014, n° 878, p. 66-74. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aci&AN=94759714&lang=es&site=ehost-live>. ISSN 16628985.

[2] Cuba apuesta al Reciclaje. Resumen de la intervención de los directivos principales de la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas en la Mesa Redonda del 26 de junio de 2013. La Habana: publicado el: 27-6-2013 de 2013, última actualización: 27-6-2013. vol. 2013, Disponible en: <http://www.cubadebate.cu/categoria/temas/economia-temas/>.

[3] MINISTERIO DEL TRANSPORTE. Procedimiento para la tramitación, ejecución y aprobación de las bajas técnicas de vehículos automotores. La Habana: 2013, vol. P-50507-01,

[4] AYES AMETLLER, G. N. Desarrollo Sostenible y sus retos. La Habana: Editorial Ciencia y Técnica, 2004. 191 p. p ISBN 959-05-0411-6.

[5] OBSERVATORIO INDUSTRIAL DEL SECTOR FABRICANTES DE AUTOMÓVILES Y CAMIONES. Evaluación básica de análisis de ciclo de vida de la fabricación, uso y fin de vida de los automóviles y camiones en España. Fedit. 24 de enero de 2012 de 2012.

[6] VI CONGRESO PCC. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. La Habana: 2011, 38 p.

[7] MITRANS. **Índices técnico económicos del transporte terrestre. Análisis de métodos y cronometraje.** La Habana: Imprenta revolucionaria, 1966. p

[8] AFANASIEV, L. L., et al. **Sistema único de transportación y transportaciones por vehículos automotores.** Editado por: Transport. 2da ed. Moscú: 1984. 333 p. p

[9] CAMARGO, J. **Indicadores del Transporte.** La Habana: Editorial Ciencias Sociales, 1989. p Mitrans

[10] KOCHNOV, N. y BASTÉ, J. **Reparación de los automóviles.** vols. 2. La Habana, Cuba: EMPSES, 1986. vol. 1, p

[11] PENABAD SANZ, L. **Modelo para la determinación de la disposición técnica mínima de flotas de transporte de carga.** Tutor: Rodríguez Ramos, P. A. Tesis en opción al título de Especialista de Postgrado en Gestión Integral del Transporte, Mención Transporte Automotor, Ingeniería del Transporte. cujae, La Habana. 2011.

[12] CARRILLO GALVEZ, A y PENABAD SANZ, L. **Contexto operacional en flotas de transporte: Características e importancia.** En 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. La Habana. 21-25 de noviembre. 2016.

Design of a regulator of frequency, for small central hydroelectric in isolated operation

Julio Fong Barrios¹, Hugo Dominguez Abreu², Arnoldo Abreu Barbie³, Manuel Ernesto Barrueco Daudinot⁴, Israel Francisco Benítez Pina⁵

^{1,2,3,4,5} Universidad de Oriente (UO) - Santiago de Cuba, Cuba.

Email: jfong@uo.edu.cu, hdom@uo.edu.cu, arnoldo@rbaragua.icrt.cu, mbarrueco@rbaragua.icrt.cu, ibenitez@uo.edu.cu

Received: December 11th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 20th, 2018.

This work deal with the design of a frequency regulator based on the mixed method, for water flow and it ballasts loads, where an algorithm of intelligent control, a Fuzzy control, is used accompanied by a PI control. By means of the software PROTEUS 8.6 as programming and simulation tool, the PROTEL for the physical design of the prototype. Besides, the final design of the prototype is contributed, for a future implementation and setting in service in one of the PCH installed in Cuba. This work is carried out in programming language in C with which bigger flexibility is achieved in the simulation of the prototype PROTEUS it has more than enough, also emulating the electronics. Also, the feigned electronic outlines of the system are shown and data of parameters and the state of the alarms are offered.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Keywords: Protel, Proteus, Fuzzy, PCHs, simulation, PICs, model, programming.



Diseño de un regulador de frecuencia, para pequeñas centrales hidroeléctricas en operación aislada

RESUMEN

Este trabajo trata sobre el diseño de un regulador de frecuencia basado en el método mixto, por caudal de agua y carga lastre, donde se emplea un algoritmo de control inteligente, un control borroso o (Fuzzy) acompañado de un control proporcional integral (PI). Mediante el software PROTEUS 8.6 como herramienta de programación y simulación, el PROTEL para el diseño físico del prototipo. Además de esto, se aporta el diseño final del prototipo, para una futura implementación y puesta en servicio en una de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) instaladas en Cuba. Este trabajo se realiza en lenguaje de programación en C con el cual se logra mayor flexibilidad en la simulación del prototipo sobre PROTEUS, emulando también la electrónica. Además, se grafican los esquemas electrónicos simulados del sistema, se brindan datos de parámetros y el estado de las alarmas.

Palabras Claves: PROTEL, PROTEUS, FUZZY, PCHs, simulación, PICs, modelo, programación.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico y social de Cuba impone la necesidad del uso de fuentes de energías renovables para la generación. El empleo de las mismas es una solución segura para la obtención de energía limpia.

El territorio cubano dispone de un Sistema de Información Geográfica de las Fuentes Renovables de Energía (SIGFRE) sirviendo como herramienta que permite inventariar, localmente, los potenciales energéticos renovables, además de brindar información según distancia e intereses sobre el potencial solar, eólico e hidráulico, por meses y promedio anual [1].

Cuba dispone de diferentes fuentes de energía renovable (solar, eólica, mareomotriz, biomasa e hidráulica), cada una de ellas con sus particularidades; sin embargo, es la hidráulica la más atractiva en las zonas rurales y apartadas del sistema electro energético nacional. En el país existen 180 plantas hidroeléctricas construidas con el objetivo de aprovechar el potencial energético de los ríos y se prevé un incremento de 54 más [2], con el programa inversionista de incremento de la capacidad instalada con la ejecución de 54 PCHE en presas construidas. De las 180 instaladas, 137 son micro hidroeléctricas (hasta 50 kW), 35 mini hidroeléctricas (50-500 kW), siete pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHE) (500-5000 kW) y una central

hidroeléctrica ubicada en el Hanabanilla, en la provincia de Cienfuegos. Esta última es actualmente la más grande del país con una capacidad de generación instalada de 43 MW.

Son conocidas las innumerables ventajas de estas pequeñas centrales hidroeléctricas, entre ellas que no requieren combustible, no contaminan el aire ni el agua, los costos de mantenimiento y explotación son bajos, y que las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.

Las pequeñas centrales hidroeléctricas, están instaladas en zonas apartadas de las ciudades y trabajan en regímenes autónomos, independientes del Sistema Electro Energético Nacional y por tanto con imposibilidad de aprovechar las referencias de la señal ofrecida por tal sistema para la regulación de frecuencia. Ello conduce a la necesidad de la creación de sus propios sistemas de regulación con el objetivo de, a partir de los patrones de frecuencia establecidos, lograr el ajuste automático en caso de que difiera de éstos.

Así, para mejorar la calidad de la energía eléctrica generada en las pequeñas centrales hidroeléctricas cubanas, es necesaria la introducción de un sistema automático de regulación de frecuencia que garantice la calidad de la energía suministrada, que si bien pudiera estar implementado en otras regiones del mundo, requiere su contextualización, es decir, tener en cuenta las características propias de nuestro país, no sólo en orden natural geográfico [3].

Por lo que se trata de obtener a partir métodos analíticos, un diseño sobre PICs, que no sea afectado esencialmente, por la diversidad de características técnicas e hidrológicas de las pequeñas centrales hidroeléctricas, esto permitiría tener un diseño aplicable en cualquiera de las PCHs aisladas, dentro del territorio nacional.

En el marco de este proyecto se busca una tecnología para la automatización de PCH aisladas, que permita su implementación en cualquier instalación, adecuándose a las características propias de las mismas [4]; optándose por simular y diseñar un prototipo de regulador de frecuencia adaptable a sus condiciones técnicas e hidrológicas.

En la Sección II, se describe el diagrama en bloques del sistema del regulador de frecuencia propuesto para las PCHs en operación aislada, así como las funciones de cada bloque que lo componen. En la Sección III, explica el diseño de un sistema de control basado en el método mixto, donde se hace un análisis de un estudio anterior y se corroboran los resultados, con el objetivo de comprobar que el mismo cumplía con las necesidades de la propuesta [5-8], luego de validar los resultados obtenidos. La Sección IV trata sobre implementación de la electrónica y simulación sobre Proteus 8.6, [3][4][11][12], en este apartado se diseña y simula cada bloque previamente explicado en la Sección II, además de implementarse el firmware del micro controlador. La Sección V, expone en breve la edición del prototipo sobre Proteus 8.6, [3][4][11][12], siendo esta la solución al problema presentado. La Sección VI, [13], aborda cómo se comporta el fenómeno del transitorio en líneas eléctricas, motivado por la experiencia que las descargas eléctricas conllevan al deterioro de los prototipos implementados. Las Secciones VII y VIII, tratan lo referente a la resistividad del terreno y el sistema de aterramiento [14]. La Sección IX, explica lo referido a las protecciones contra descargas eléctricas, su uso y forma de montaje en instalaciones.

Como se desprende de lo anteriormente explicado, se propone un diseño de un sistema automático de regulación de frecuencia adaptado a las condiciones técnicas e hidrológicas de las PCHs, si bien se han realizados otros estudios relacionados

con reguladores de frecuencias, pero no con el carácter integral y basado en los métodos de control avanzado, para este caso con un control Fuzzy [7].

II. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA DEL REGULADOR DE FRECUENCIA PARA LAS PCHs EN OPERACIÓN AISLADA

En todo proyecto de diseño previamente se debe concebir la idea, en una estructura funcional donde pueda irse desarrollando el objetivo planteado.

El regulador que describiremos en bloques, permite mantener la frecuencia de la red dentro de los parámetros establecidos de acuerdo a las normas establecidas. El bloque del transductor de frecuencia, será el encargado de leer la frecuencia a la salida del generador, los detectores de cruce por 0, garantizarán que las unidades de disparo estén en fase con la señal que el generador entrega, es decir que los tiristores entren en conducción en el momento exacto; el bloque de control, implementado en un PIC 18f4550, será el encargado de soportar el *firmware* donde se encuentra implementado el control *Fuzzy*; además muestra los parámetros del sistema, y los entrega a partir del bloque de visualización con *LCD*, observándose la tensión a la salida del generador, la potencia en las carga lastre además de la frecuencia; consta también de indicadores led y sonoro para los diferentes modos de operación: control manual, automático, estado de alarmas y estado de sistema detenido.

El bloque de actuadores del regulador, actuará sobre la carga lastre mediante las unidades de disparo y el control del flujo de agua a través de la electroválvula, el sistema permite configurar los límites de alarmas con un bloque de configuración, además de comunicarse con una PC vía RS232/USB, para ajustar los parámetros antes explicados.

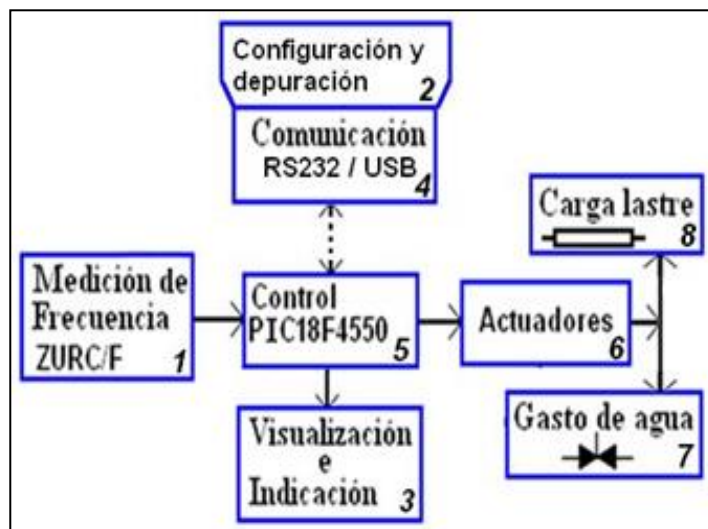


Figura 1: Esquema en bloques del prototipo con PICs, del regulador de frecuencia para las PCHs aisladas.

Fuente: Los Autores, (2018).

Resumiendo, las explicaciones anteriores, soportadas en la concepción del prototipo en bloques, se muestra el sistema mixto, es decir por carga lastre y gasto de agua se permitirá un mejor control sobre la frecuencia para lograr una energía de mayor calidad.

III. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN EL MÉTODO MIXTO

Para el sistema de control propuesto se selecciona el modo de control mixto atendiendo a las deficiencias existentes en métodos de regulación desarrollados anteriormente basados en regulación por caudal y por carga lastre [8].

El diseño consta de dos lazos, uno de control por carga con un controlador PI, y otro por caudal con controlador *Fuzzy*, se considera además que el actuador, que opera la válvula reguladora del flujo de agua que alimenta a la turbina, se comporta como un integrador. El primer lazo de control por carga se escogió de diseños anteriormente desarrollados donde el controlador PI de este lazo se ajustó utilizando el método de asignación de polos, para este controlador, aunque se comprobó con el método de las oscilaciones obteniéndose el mismo resultado [17].

El segundo lazo de control, por caudal, fue diseñado utilizando la estrategia de control basado en principio en la lógica *Fuzzy*. El empleo de dos lazos independientes para implementar el control mixto está basado en lo siguiente: el lazo de control por carga lastre, cuya dinámica es mucho más rápida que el de caudal de agua, y se encargaría de controlar la frecuencia ante perturbaciones de carga mientras los valores de la carga lastre se encuentren en el rango de operación. Si el valor de la carga lastre alcanza un límite, inferior o superior, se pierde la acción del control por carga y entonces el control por caudal actúa, manipulando el flujo de agua para garantizar restablecer la frecuencia, hasta que entre en el rango de acción el control por carga, figura 2.

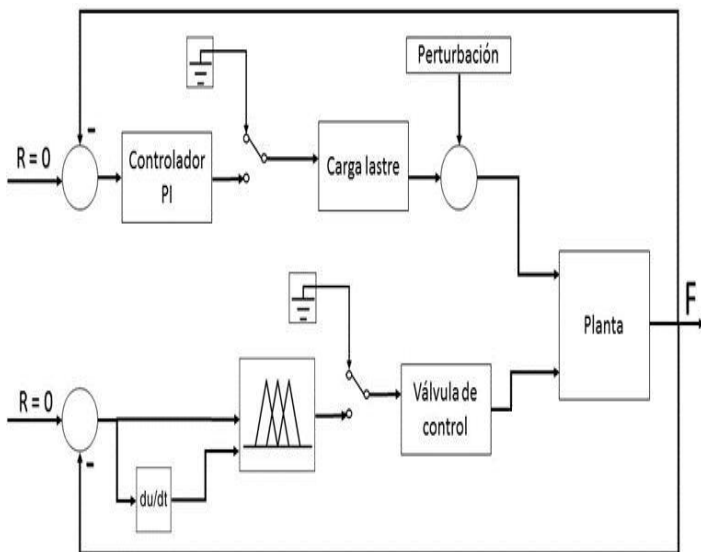


Figura 2: Simulación en Matlab de la propuesta.
Fuente: Los Autores, (2018).

En el esquema que se muestra (figura 2), el sistema de regulación de frecuencia utilizando el método mixto, permite que las pruebas realizadas en Simulink se estudien para el comportamiento dinámico del sistema, donde se obtuvieron la respuesta temporal, los índices de desempeño, error a régimen estacionario, máximo sobrepaso y tiempo de establecimiento de la frecuencia ante perturbaciones de carga, tipo escalón e impulsivas, como muestran en las figuras 3 y 4, con esto se hace necesario el diseño y la simulación de una electrónica que permita poner en práctica este modelo.

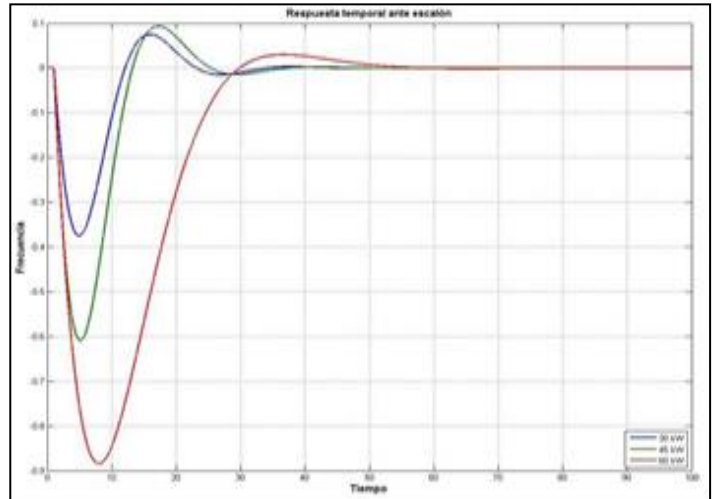


Figura 3: Respuesta lazo de control por caudal con controlador Fuzzy ante perturbación tipo escalón.
Fuente: Los Autores, (2018).

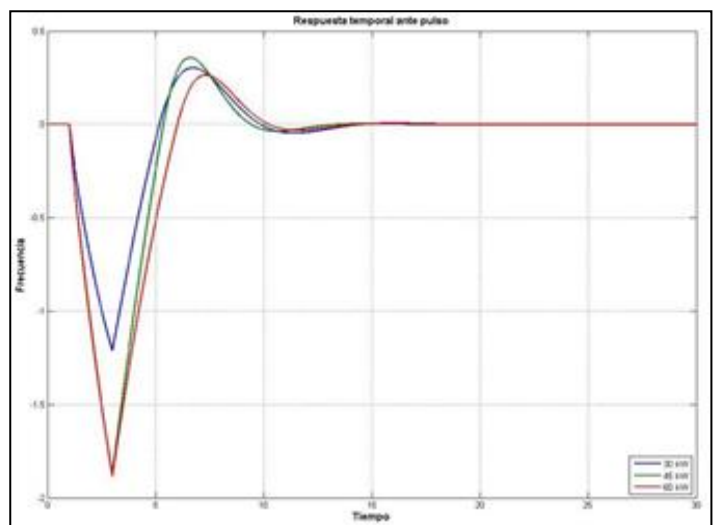


Figura 4: Respuesta temporal ante perturbación pulso.
Fuente: Los Autores, (2018).

IV. IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTRÓNICA Y SIMULACIÓN SOBRE PROTEUS 8.6

El diseño de la electrónica requiere la simulación con ayuda de alguna herramienta informática. La implementación del esquema electrónico del proyecto, así como su simulación fueron implementados [10], sobre la herramienta Proteus 8.6, como se muestra en la figura 5, en este caso, el bloque de control se basa generalmente en diseños empleando componentes electrónicos discretos, tanto analógicos como digitales o mediante el empleo de micro controlador o microcomputadora. Los diseños basados en componentes electrónicos discretos son casi siempre complejos, rígidos e inestables a la hora de hacer cambios tanto de sus bloques funcionales como en la estrategia de control utilizado en el equipo. Los diseños basados en microcomputadora (puede ser una computadora personal, una computadora embebida o un micro controlador) son más simples y flexibles porque las soluciones de las diferentes funciones se realizan por *software* evitando a su vez la nueva implementación del *hardware*. Por lo tanto, el bloque de control del presente diseño se concibe en base a un micro controlador de la familia PIC18F4550 [9].

manual, dado la que se fijaron contantes y rangos de valores que determinarían el estado funcional del sistema.

Se fijó como condicionales: las alarmas entre rangos de 57Hz a 59Hz y de 61Hz a 63Hz, el sistema se detendrá una vez haya alcanzado su primer valor “aceptable” entre 57Hz a 59Hz y le prosigan condiciones persistentes donde no se logre volver a alcanzar valores superiores a 57 e inferiores a 63 sin poderlo estabilizar, a pesar de que estos valores se salen de lo permitido por el sistema electro energético nacional, son los valores fijados para la generación eléctrica para pequeñas centrales hidroeléctricas, para evitar posteriores problemas, estos valores podrían ser modificados por conexión RS232/USB

```
//=====main=====//
void main(void){
    //iniciar configuraciones
    d_f_referencia = 60.0;
    ADCON0 = 0;//puert A entrada analog //ra3 no lo
reconoce como entrada analog
    ADCON2=1; //puerto E digital
    TRISA=0b11111111;
    TRISB=0b10000000;
    TRISC=0b10000000; //PUERTO DE ENTRADA SALIDA
DEL pwm y secuencia de disparo
    TRISD=0b00011000; //PUERTO DE SALIDA
    TRISE=1;
    iniciar_eusart_rs232();
    iniciar_adc();
    iniciar_XLCD();
    iniciar_pwm();
    //fin iniciar configuraciones
    while(1){
        switch(EUSART_Read());
        fuzzy_noopera();
        fuzzy_controlAutomata();
        else{
            fuzzy_noopera();
            secuencia_de_disparo();
        }
        control_pwm();
        EUSART_mostrar_cambios();
    }
}
```

Finalmente, después que el código fue optimizado y corregido, se simula el sistema completo, obteniéndose algunas señales de salidas como se muestra en la figura 6.

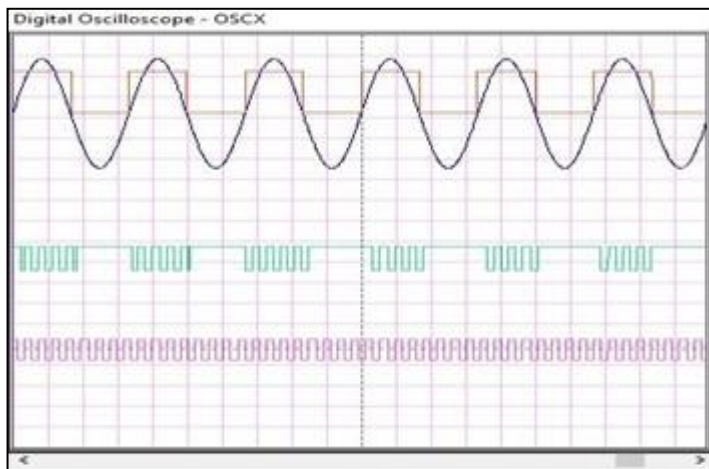


Figura 6: Señales de entrada y salida del micro controlador PIC 18f4550. Fuente: Los Autores, (2018).

El módulo de los detectores de cruce por cero, se muestra en la, figura 7, el cual consta de 4 resistencias, 2 diodos 1N4007, un capacitor cerámico y un operacional LM324 (Fairchild Semiconductor Corporation, 1991) como comparador.

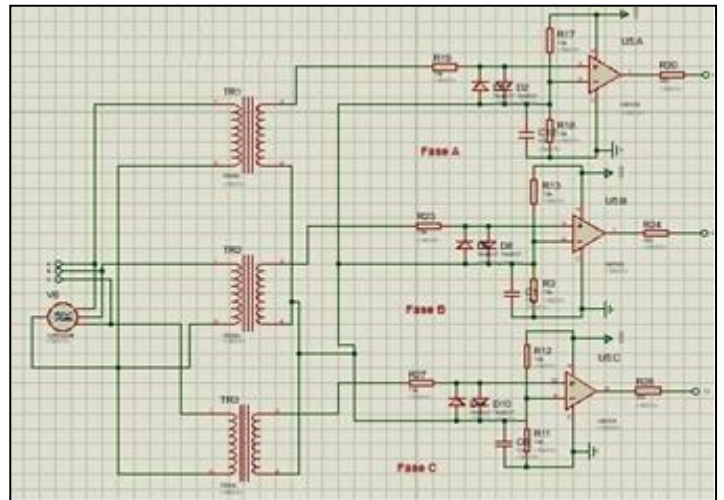


Figura 7: Bloque del detector de cruce por 0, para la sincronización. Fuente: Los Autores, (2018).

En realidad, esta unidad tiene tres módulos iguales. Se utiliza un circuito integrado (CI) LM324 con 3 operacionales, como comparador y el cuarto operacional como buffer para la entrada analógica del controlador cuando se quiere hacer uso de regulación de frecuencia en modo manual [4], esta forma permite controlar en dicho modo la carga disipada en las resistencias lastre.

Donde el borne el transformador de acoplamiento se conecta a la línea en estrella, cada borne de línea a cada fase; y el borne común de él se conecta al neutro, este transformador es de 220V/5V, 5VA. La salida se conecta a la terminal implementada como entrada para leer en el PIC18F4550, los pulsos provenientes de los detectores de cruce por 0.

La señal entregada al PIC18F4550 es un tren de pulsos de duración igual al período de la señal sinusoidal generada por el alternador. Lo cual se precisa en la, figura 8.

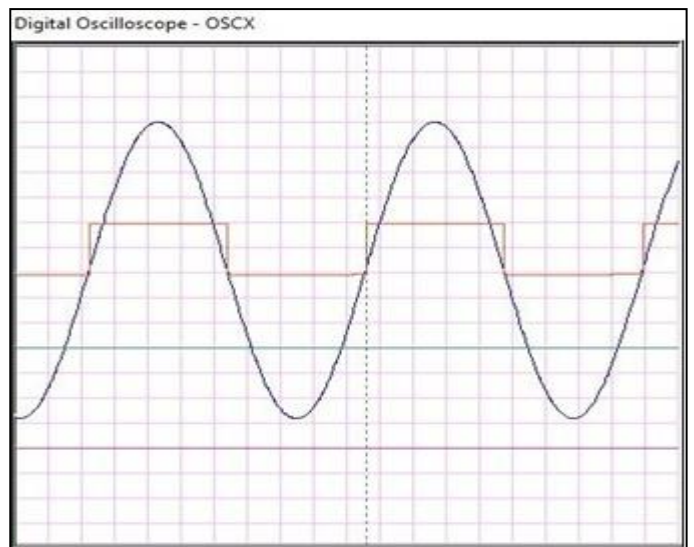


Figura 8: Gráfica obtenida del detector de cruce por 0, para la sincronización, en simulación. Fuente: Los Autores, (2018).

El bloque de comunicación es opcional, donde se puede muestrear o tomar la frecuencia medida y cambiar los modos de operación del controlador, en nuestro caso lo haremos mediante el MAX232 para la comunicación serie, aunque se dejó implementado la comunicación USB con el FT232bm, la comunicación serie permitió ajustar parámetros como límites de alarmas en función de los requerimientos de cada unidad generadora, la simulación de lo antes planteado se puede observar en la figura 9.

El bloque de configuración es básicamente un teclado de pocas teclas donde el técnico o especialista puede cambiar los estados del controlador, por ejemplo, las constantes de la estrategia de control empleada. Este teclado opera con la terminal. Además, se cuenta con botones como el micro *switch* de *reset* para resetear el controlador, el botón de selección de modo de trabajo, botón de desconexión del regulador, etc, como se observa en la figura 10, además en esta figura finalmente se observa todo el sistema simulado en operación.

A pesar que la finalidad es obtener un diseño que pueda implementarse posteriormente, y que la herramienta Proteus v8.6 tiene entre sus paquetes de herramientas la opción para el diseño de la tarjeta, se opta por usar el *Protel99SE* ya que posee muchas más facilidades para lograrlo.



Figura 9: Simulación serie, para la comunicación de la propuesta.
Fuente: Los Autores, (2018).

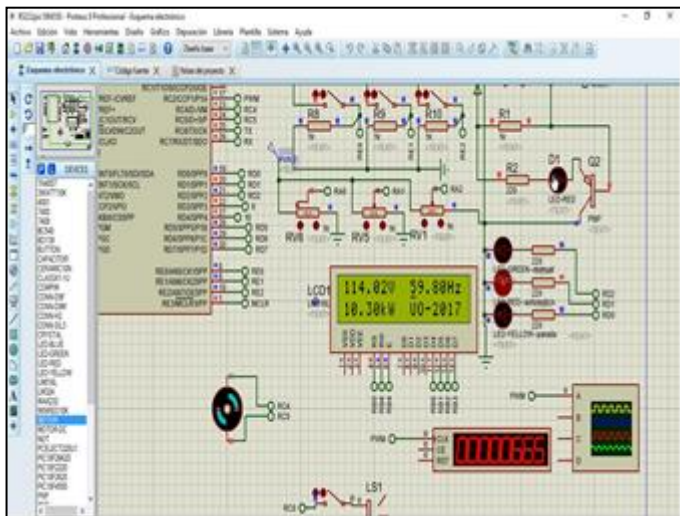


Figura 10: Modelo del regulador simulado en *Proteus 8.6*, con bloque de configuración.
Fuente: Los Autores, (2018).

V. EDICIÓN DEL PROTOTIPO SOBRE *PROTEL99SE*

Con las pruebas preliminares realizadas con resultados excelentes en el simulador de *Proteus 8.6* [13], se procede a la construcción del primer prototipo. El diseño de *PCB* se hace en el programa *Protel99SE* [12].

En el trabajo la mayor parte del diseño se realiza bajo el ambiente de dos programas ejecutables, que están en el mismo paquete del programa principal *Protel99SE*.

Uno es el **Schematic Editor**. Es el que permite crear la primera plataforma para obtener el diseño físico final, en esta parte de software simplemente se hace la conexión de los componentes de forma eléctrica, pero a la vez se le introducen a cada componente las características físicas del mismo, luego el **PCB Editor** que es el encargado de la obtención física final del esquema eléctrico editado, en este se deben tener una serie de aspectos que no se deben violar a la hora de la construcción del mismo, por ejemplo el tipo de venas (vías o conexiones) a usar en cada caso así como sus dimensiones. Este diseño se implementó en 2 capas **Top layer**: la cara superior para el trazado de venas (vías o pistas), y **Bottom layer**: será la cara inferior para el trazado.

Para el diseño del *PCB* [12] se asumieron varios aspectos con el objetivo de evitar la mayor cantidad de fallas reales posibles, también el planteamiento real del problema del *PCB* y los posibles rigores a que sería sometido en el momento de su puesta en funcionamiento, así como el ancho de venas según su uso, en este caso no todas las venas (vías) tienen las mismas dimensiones, las mayorías que son las venas de datos en la parte digital y de señal en la parte analógica, las cuales poseen una dimensión de 0,8 mm; para el caso de las venas de alimentación, las conexiones GND, Vcc de +5 y +12Vcc oscilan entre 1 y 1,5 mm respectivamente, debido a la corriente que circulara por las mismas.

En la zona de potencia, a la salida del actuador de la carga lastre, se imprime una zona de huecos que se utiliza con el objetivo de evitar un arco eléctrico por cualquier causa en la salida hacia la etapa de potencia, está ubicada en los pines de salida de los transformadores de impulso.

El Uso de polígonos o pantallas alrededor de la tarjeta, es la garantía de que el sistema sea conectado a la tierra física para protección de los técnicos a la hora de hacer mediciones dentro del prototipo, además en el diseño se implementó la comunicación vía RS232/USB para la reprogramación de parámetros en la tarjeta, figura 11.

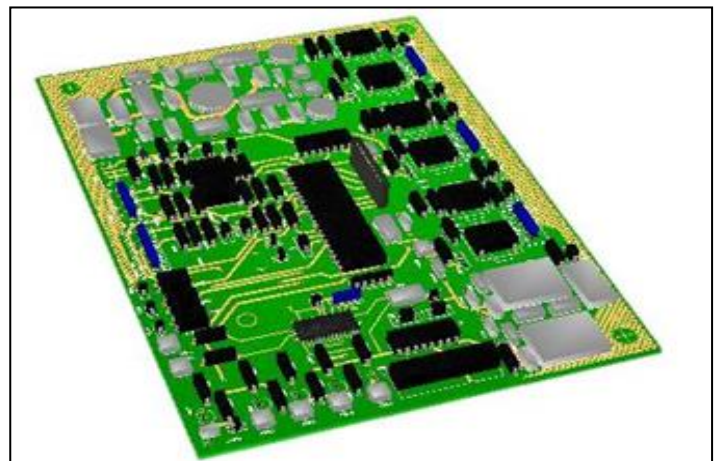


Figura 11: *PCB* Vista superior 3D, del regulador en *Protel*.
Fuente: Los Autores, (2018).

Ya con el prototipo concebido y listo para su implementación, siendo esta la solución del problema, de trabajos anteriores y experiencias prácticas, no se puede dejar de lado el tema de cómo asegurar que el diseño realizado no se vea afectado por agentes externos como son los transitorios generados por descargas eléctricas o salida de operación de grandes motores por citar algunos ejemplos, por lo que se dedica una sección para explicar en breve estos fenómenos y como disminuir el efecto nocivo que ellos tienen sobre la tecnología.

VI. EL FENÓMENO DEL TRANSITORIO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS

Un transitorio es un pico de voltaje instantáneo generado en la red eléctrica por fenómenos externos e internos como relámpagos, conmutación de redes de distribución eléctrica [13], arranque de motores, operación de soldadoras y variadores de frecuencia, este tiene duración promedio de microsegundos, sin embargo, en este período de tiempo, un transitorio puede inducir a una línea eléctrica miles de voltios y amperes de manera fugaz provocando daños a circuitos electrónicos y maquinaria sensible a esos fenómenos, figura 12, por lo que se requiere un diseño de un sistema de tierra con sus protecciones eléctricas, que permitan evacuar eficientemente estos picos para garantizar el resguardo de la tecnología.

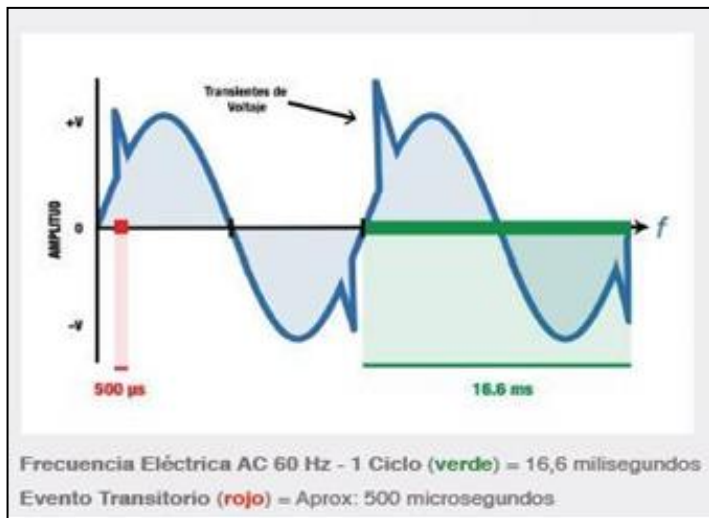


Figura 12: Señal modulada de un Transitorio.
Fuente: Los Autores, (2018).

El sistema de tierra depende de un estudio de suelo, donde se plasma la resistividad del terreno en dependencia de su composición granulométrica.

VII. RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA DEL SUELO

Los parámetros de resistividad y resistencia, tienen significados diferentes. La resistividad eléctrica del suelo describe [15] la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica para atravesarlo. La resistencia eléctrica viene determinada por la resistividad del suelo y su geometría.

Para determinar la resistividad del terreno se aplica con Telulómetro por el método de Frank Wenner.

Este método se basa en la aplicación del principio de caída potencial, donde se toman cuatro electrodos (A, P, P y B), ubicados sobre una línea recta, separados a igual distancia “a”

entre ellos como se muestra en, figura 13, teniendo el valor exacto de la resistividad del suelo, es factible entonces un sistema de aterramiento, y por consiguiente el montaje de la tecnología para suprimir transitorio, que garantizará el resguardo de la tecnología ante la ocurrencia de estos fenómenos.

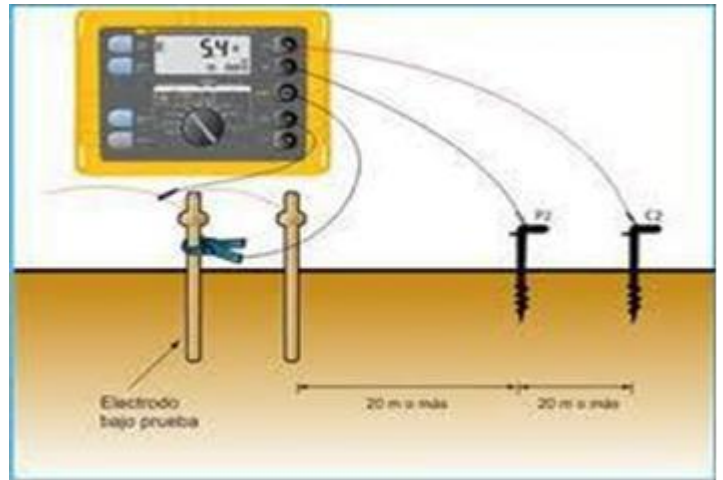


Figura 13: Método de Frank Wener con telulómetro para medir resistencia del terreno.

Fuente: Los Autores, (2018).

El aterramiento dependerá en todo momento del tipo de electrodo a usar y el método de instalación, del cual se hace una breve exposición en la próxima sección.

VIII. SELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL ELECTRODO

El electrodo es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el suelo y proporciona el medio para botar o recoger cualquier tipo de fuga de corriente a tierra [16]. El electrodo debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro del suelo; el más usado es el cobre electrolítico de pureza 99.9%. El electrodo puede tomar diversas formas: barras verticales, como se observa la figura 14, pueden ser conductores horizontales, placas, de grafitos y de tipo químico, etc.

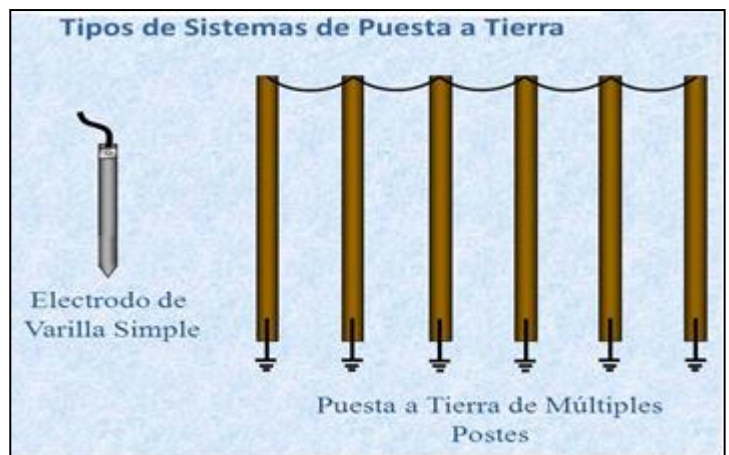


Figura 14: Tipos de sistemas de puesta a tierra.

Fuente: Los Autores, (2018).

Por experiencia de montajes en la industria, se recomienda que el sistema de puesta a tierra más estable es el que se construye a base de varillas, dichos electrodos deben ser de muy buena calidad y no deben deteriorarse dentro del suelo, talón de Aquiles

de los electrodos de tipo químicos y de grafitos, que con el tiempo se deterioran y son absorbidos por el propio terreno.

Se garantiza de esta forma que el sistema de aterramiento con electrodos es capaz de mantener una resistencia baja, que se recomienda sea menor de 2 Ohm. La tecnología que protegerá la instalación podrá evacuar a tierra cualquier fenómeno de tipo transitorio que intente llegar al prototipo diseñado evitando su deterioro.

IX. PROTECCIONES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS SU USO Y FORMA DE MONTAJE EN INSTALACIONES

Un supresor de transientes es un dispositivo específicamente diseñado para la protección de equipo crítico y sensible a picos de voltaje, como tarjetas y circuitos electrónicos de control, servidores, data centers, etc [13].

De acuerdo al tipo de protección se clasifican en:

Clase A – Al lado de maquinaria/equipo a proteger. 10 kA / 50 kA / 80 kA

Clase B – En tableros secundarios. 120 kA / 160 kA

Clase C – En la acometida o tablero principal. 200 kA / 300 kA

Todos los supresores se instalan **en paralelo** con respecto a la carga a proteger.

Cuando ocurra un transitorio en la línea eléctrica un supresor responderá **en nanosegundos** creando una ruta de baja impedancia a través de los **varistores** en su circuito.

Ya que el supresor es la ruta de menor resistencia el exceso de corriente fluirá a través de su circuito interno evitando que la mayoría de la energía del transitorio alcance los equipos protegidos.

Es importante considerar que **ningún supresor puede eliminar el 100% de la energía de los transientes de voltaje**, debido a esto se recomienda una arquitectura tipo cascada para una protección adecuada.

Si la instalación y posición de un supresor de picos es correcta el remanente de energía **estará muy por debajo del nivel de daño** de los equipos protegidos, figura 15.

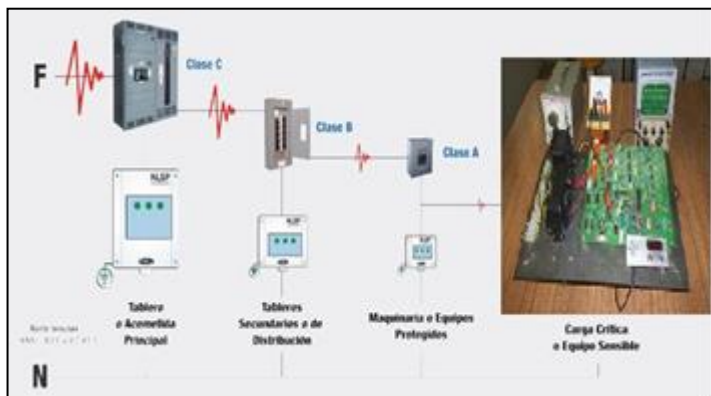


Figura 15: Esquema de conexión de los supresores contra transitorios, para proteger la tecnología.

Fuente: Los Autores, (2018).

X. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño los diferentes bloques del controlador inteligente donde se aprovecharon los recursos del controlador PIC18F4550. Esto ayudó a simplificar el hardware que lleva el controlador y el uso del micro controlador permite al usuario hacer los cambios necesarios en el futuro.

Se logra un prototipo modificable y adaptable a nuevas situaciones, tanto hidrológicas como técnicas que puedan aparecer en el futuro.

La construcción de dicho controlador se podrá realizar con pocos recursos, gracias a la simplicidad del diseño. Se obtuvo un controlador pequeño y compacto.

El trabajo a partir de la modelación y la programación del controlador inteligente de frecuencia, logra un prototipo para su implementación mediante uso del método de carga lastre y caudal de agua, (Mixto).

Se recomienda el montaje del sistema de aterramiento, y de seguridad eléctrica, para garantizar la protección de la tecnología desarrollada.

El diseño permite el monitoreo a través de la *LCD*, o la supervisión a partir de la comunicación *USB/RS232*.

XI. REFERENCIAS

[1] www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar39/HTML/articulo05N.htm. Acceso al 04 de diciembre de 2017.

[2] www.ecured.cu/Energia_hidraulica. Acceso al 04 de diciembre de 2017.

[3] Abreu Barbie, A. **Construcción de un regulador de frecuencia para una mini hidroeléctrica**, Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2006.

[4] Abreu Barbie, A. **Diseño de un regulador de frecuencia para PCHs aisladas**, Tesis presentada en opción al Título académico de Master en Ciencias en Automática, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 2018.

[5] Domínguez, H. **Modelado y simulación para el análisis y diseño de algoritmos de control de una pequeña unidad hidroeléctrica**, Tesis presentada en opción al Título académico de Master en Ciencias en Automática, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 1999.

[6] Fong.B.J. **Control de frecuencia de una pequeña Central Hidroeléctrica**. Tesis de master en Automática. UO. Cuba. 2001.

[7] Haber, R. **“Control Borroso”**, Monografía. Dpto. de control automático, Fac. de Ing. Eléctrica. ISPJAM. Universidad de Oriente. Cuba, 1992.

[8] Mariño S,G I. **Diseño de un algoritmo de control Fuzzy para la regulación de frecuencia en micro centrales hidroeléctricas que operan de forma aislada**. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Automática. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2017.

[9] *Datasheet Microchip PIC18f4550*.

[10] Díaz Calvo, Julio. **Electrónica Digital I**. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana, 1989.

[11] Đình Sừ, L, **Controlador de frecuencia para las micro y mini centrales hidroeléctricas**, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 2010.

[12] Protel Inc. Versión 2 (Protel DXP) y Protel99SE, Ayuda, 2004.

[13] **Supresores de picos y transcientes**, www.corpnewline.com/assets/supresores.pdf

[14] **Diseño y Ejecución de una Puesta a Tierra de Baja Resistencia**. Qqueshuayllo Cancha, Wilbert, R.

[15] www.fluke.com/fluke/mxes/soluciones/resistencia-de-tierra/m%C3%A9todo-de-resistividad-de-suelos.htm. Acceso al 12 de diciembre de 2017.

[16] www.sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/qqueshuayllo_cw/cap2.pdf. Acceso al 14 de diciembre de 2017.

[17] Reznik, Leonid. “**Fuzzy Controllers**”, University of Technology. Victoria. Melbourne. Australia, 1997.

[18] Viteri, C. “**Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**”. Vol. V, OLADE, 1998.



Heterogeneous network management through the implementation of a topology using the python programming language and software-defined networking technology

Philip Floriano Rodrigues Ramkeerat¹, Kleber Bittencourt Oliveira², Vanise dos Santos Rodrigues³, Charles de Freitas Guimarães⁴, Greyce dos Santos Rodrigues⁵

^{1,2,3}Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos - PPEP/ITEC da Universidade Federal do Pará (UFPA)-Belém-PA.

¹Sistemas e Programador do Instituto de Desenvolvimento Tecnológico INDT.

⁴Programa de Graduação em Ciência da Computação do Centro Universitário do Norte-UNINORTE -Manaus-AM.

⁵Programa de Pós-graduação em Ciência e Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém-PA.

Email: philip_ramkeerat@hotmail.com

Received: January 11th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 28th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



According to the report of the United Nations Conference of October 2, 2017 on information economy digitalisation and development states that Brazil is the fourth country with the most internet users in the world. With the expansion of the use of the Internet, more and more devices with different characteristics are connected in different ways in the network, causing the network to become increasingly heterogeneous. This heterogeneity causes difficulties with the administration of these devices connected in large scale in the traditional network architecture, with efficiency. In the traditional network model there are a number of problems when working with different devices, and this factor impairs the creation of network management systems. This study aims to propose improvements in network management by implementing a topology using the Python programming language in conjunction with some Mininet libraries. As a result, the generation of a graphical interface of simple use following the premises of the Networks Defined by Software that is a new paradigm of network infrastructure is presented. This interface allows easy control and management of the network due to the programming that results in the capture of the hardware of any device connected to the network, thus simulating access to its features as if it had real access to the hardware of the equipment.

Keywords: Software Defined Networks, Virtualization, Programming.

Gerenciamento de redes heterogêneas através da implementação de uma topologia utilizando a linguagem de programação python e a tecnologia de redes definidas por software

RESUMO

Segundo o relatório da Conferência das Nações Unidas de 02 de outubro de 2017 sobre economia da informação digitalização e desenvolvimento afirma que o Brasil é o quarto país com mais usuários de internet do mundo. Com a expansão do uso da *internet*, cada vez mais dispositivos com características distintas estão conectados de diferentes formas na rede fazendo com que a rede se torne cada vez mais heterogênea. Essa Heterogeneidade ocasiona dificuldades quanto a eficiência. No modelo tradicional de redes existem uma série de problemas quando se deseja trabalhar com dispositivos diferentes e esse fator prejudica a criação sistemas administradores de redes. Esse estudo visa propor melhorias no gerenciamento das redes através da implementação de uma topologia utilizando a linguagem de programação Python em conjunto com algumas bibliotecas do Mininet. Como resultado apresenta-se a geração de uma interface gráfica de simples utilização seguindo as premissas das Redes Definidas por *Software* que são um novo paradigma de infraestrutura de redes. Como resultado apresenta-se a geração de uma interface gráfica de simples utilização seguindo as premissas das Redes Definidas por *Software* que são um novo paradigma de infraestrutura de redes. Essa interface permite o controle e gerenciamento fácil da rede por conta da programação que resulta na captura do *hardware* de qualquer dispositivo conectado na rede, simulando assim o acesso as suas funcionalidades como se tivesse tendo acesso real ao hardware do equipamento.

Palavras-chaves: Redes Definidas por *Software*. Virtualização. Programação

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, novos dispositivos e produtos de comunicação em rede possuem, cada vez mais, características distintas e suas formas de comunicação também são divergentes resultando em um aglomerado de redes heterogêneas, proporcionados pela tecnologia “Internet” das Coisas.

Estes produtos são lançados, a todo momento, e, portanto, endereços virtuais serão destinados para abranger esses novos hosts, fazendo com que os “Data Centers” dos provedores de serviços processem cada vez mais informações, já que a procura por esses itens tem mais adeptos e, por conseguinte a demanda por serviços em redes cresce de maneira exponencial a fim de atender às necessidades comerciais. Esse aumento do volume de dados trafegados na rede é devido aos avanços de tecnologias que utilizam e disponibilizam serviços em rede, como por exemplo, Computação em Nuvem.

A arquitetura convencional de redes tem dificuldades para atender esse constante crescimento do volume de dados e a pergunta que surgiu deste contexto foi: Como resolver o problema de administração dos recursos em rede?

Neste contexto, surgiram as Redes Definidas por “Software”, as quais trouxeram em sua estrutura, maior flexibilidade e versatilidade proporcionados por uma interface de programação e geração de recursos similares ao hardware real dos equipamentos, ou seja, as redes podem ser programadas a fim de atender às solicitações e suprir as necessidades das empresas, podendo inclusive resolver os problemas sem a necessidade de acesso ao hardware dos equipamentos conectados na rede.

De modo que resultem na diminuição de complexidade na criação de ferramentas voltadas para o gerenciamento da mesma, haja vista, esta tecnologia culminar em uma desvinculação acentuada do “hardware” da rede a qual pertença, isto é, independente do fabricante de um equipamento informático, a interoperabilidade e consistência da rede será mantida. Essa comunicação padrão foi possibilitada pelo protocolo “OpenFlow”, o qual é a base para as Redes Definidas por “Software”.

Esta pesquisa visa desenvolver uma ferramenta de fácil manuseabilidade para administração de redes com as características das Redes Definidas por *Software* e testá-la em uma topologia de redes SDN (Rede definidas por software) criada na linguagem de programação *Python* em conjunto com as bibliotecas do software *Mininet*.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente muitas são as pesquisas desenvolvidas sobre a implementação de redes. A criação de uma plataforma para gerenciamento de uma rede heterogênea foi a pesquisa desenvolvida por [1], onde foi apresentado os principais conceitos envolvidos para implementação de uma Rede Definida por *Software* e da importância da virtualização para essa tecnologia. Através da virtualização foi possível criar servidores virtuais dedicados e por causa disso aumentou-se a escalabilidade em rede.

Propuseram a implantação das redes definidas por *software* para o gerenciamento de redes móveis. A novidade nesta pesquisa foi o auxílio das metodologias ágeis para a implantação dessa rede, e essa novidade foi, segundo os autores, muito satisfatória em relação ao objetivo pretendido, o qual era inserir essa tecnologia de maneira facilitada e rápida [2].

Apresentaram-se as vantagens trazidas pelas Redes Definidas por *Software* para o gerenciamento de recursos quando em rede [3]. Na estrutura deste projeto, houve uma análise dos dados obtidos da tabela de fluxo dos switches OpenFlow. Com base nestes dados, os autores concluíram que essa tecnologia é importante para o gerenciamento, já que este se tornou mais fácil e automático e também observaram uma melhora no roteamento dos pacotes que trafegaram pelo switch. Portanto houve ganhos também na otimização de recursos.

Em [4], os autores apresentaram os principais conceitos e fundamentos do protocolo *OpenFlow* e fundamentaram a inserção das Redes Definidas por *Software* para o controle e administração dos dispositivos da rede. Suscitaram as mazelas das redes tradicionais, embasando a necessidade de uma modernização desta estrutura de rede e para isto indicaram as Redes Definidas por *Software* para tal feito. Implementaram testes práticos na ferramenta *Mininet*, a qual forma redes SDN instantaneamente, com propósito de testar, se realmente é fácil a configuração deste tipo de rede. Os testes indicaram que as configurações são facilitadas porque foram feitas de forma automática.

Outros também contribuíram com pesquisas com foco em redes definidas por software dentre os quais citam-se: [5-10].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

III.1 REDES DEFINIDAS POR *SOFTWARE*

Esta inovação tecnológica está sendo considerada um novo paradigma de redes de computadores e afins e sua inserção no mercado acontece em exponencial crescimento [7]. Caracteriza-se pela separação do plano de dados do de controle e isso é viabilizado por causa da possibilidade da programação das redes [10].

Apresenta-se flexibilidade e versatilidade porque é permitido o crescimento e atualizações da rede de forma simples e fácil. Um ponto importante é que as Redes Definidas por *Software* resolvem problemas de configurações de rede não imaginados anteriormente.

A figura 1 apresenta um exemplo de rede definidas por software.

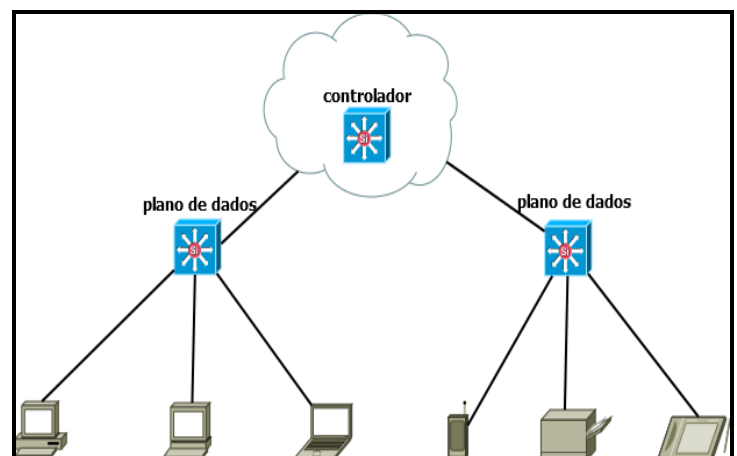


Figura 1: Exemplo de uma Rede Definida por *Software*
Fonte: Autores, (2018).

III.2 VIRTUALIZAÇÃO

Virtualização das funções de redes é uma técnica que possibilita o compartilhamento dos componentes da estrutura

física de uma rede por arquiteturas de rede heterogêneas a fim de usufruir dos mesmos elementos daquela rede, como por exemplo roteadores, comutadores¹, *switches* e etc.

A ligação desta tecnologia com as Redes Definidas por *Software* consiste no fato que os roteadores e *switches* podem ser virtualizados por meio da programação a fim de atender à procura de aplicações em rede.

A figura 2 apresenta um exemplo de servidores virtualizados.

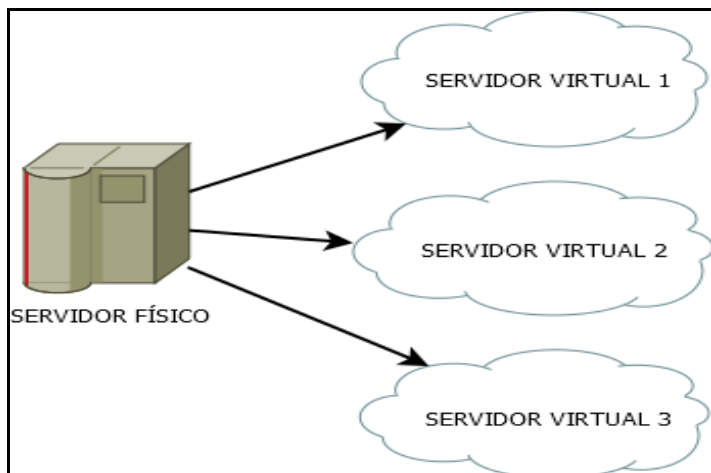


Figura 2: Exemplo de servidores virtualizados.

Fonte: Autores, (2018).

III.3 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE SDN EM *PYTHON* COM O *MININET*

Para executar as teorias propostas nessa pesquisa, o software *Mininet* se fez vantajoso, por conta das suas ferramentas disponibilizadas para o desenvolvimento de Redes Definidas por *Software*. Além de apresentar uma linguagem de programação que possui uma ótima documentação de utilização, pois há uma grande comunidade empenhada para desenvolver projetos nessa linguagem denominada *Python*.

Para criar a rede SDN proposta nesta pesquisa foram necessários utilizar os *softwares* discriminados a seguir.

✓ Sistema Operacional Linux/Ubuntu 16.4 LTS na Arquitetura de 64 bits

O sistema operacional Linux é o mais indicado para se trabalhar com o *Mininet*, pelo fato de que utilizando o mesmo, foi possível ter acesso a todas as funcionalidades do *software*, ou seja, ter liberdade total de criação de códigos de Redes Definidas por *Software* na linguagem de programação *Python*.

✓ GitHub

Para utilizar a instalação nativa do *Mininet*, foi preciso fazer o *download* do projeto que está hospedado no endereço

oficial² da comunidade de desenvolvimento do *Mininet*. Como o *Mininet* é uma ferramenta de código aberto, várias pessoas têm acesso ao projeto, com o intuito e contribuir com o desenvolvimento da plataforma.

¹Comutadores são os agentes da rede que processam os pacotes e os encaminham para os diversos enlaces formados pelos hosts dessa rede.

² <https://github.com/mininet/mininet>

✓ Visual Studio Code

Este programa foi necessário porque permite suporte à linguagem *Python*, criações de funções, variáveis, além de sua extensa quantidade de *plug-ins* desenvolvidas.

✓ Linguagem de Programação Python

Para o desenvolvimento e configuração da topologia proposta com o esquema de 16 *hosts*, 5 *switches* e 1 controlador, foi necessário utilizar essa linguagem de programação *Python* que é a arquitetura do *Mininet*.

✓ Mininet

Esta ferramenta fornece um ambiente para implementações de Redes Definidas por *Software* e é uma das grandes referências nesse cenário atualmente, possuindo uma grande comunidade de desenvolvedores que sempre estão corrigindo e auxiliando na criação, aperfeiçoamento de novas funcionalidades nas tecnologias SDN. Resultando assim em uma extensa quantidade de métodos para se trabalhar com a criação de *scripts* de Redes Definidas por *Software*.

III.4 CRIAÇÃO DA TOPOLOGIA EM *PYTHON*

Para criar a topologia proposta de gerenciamento de uma Rede Definida por *Software* foi necessário o desenvolvimento de um *script* em *Python* que realizou a importação de bibliotecas do software *Mininet*.

Código: *topologia.py*

```
def myNetwork(): net = Mininet(topo = None, build = False,
ipBase = '10.0.0.0/8')
info('*** Adicionando controller\n')
c0 = net.addController(name = 'c0', controller = Controller,
protocol = 'tcp', port = 6633)info('*** Adicionando switches\n')
s1 = net.addSwitch('s1', cls = OVSKernelSwitch)
s2 = net.addSwitch('s2', cls = OVSKernelSwitch)
s3 = net.addSwitch('s3', cls = OVSKernelSwitch)
s4 = net.addSwitch('s4', cls = OVSKernelSwitch)
s5 = net.addSwitch('s5', cls = OVSKernelSwitch)
info('*** Adicionando hosts\n')
h1 = net.addHost('h1', cls = Host, ip = '10.0.0.1', defaultRoute =
None)
h2 = net.addHost('h2', cls = Host, ip = '10.0.0.2', defaultRoute =
None)
h3 = net.addHost('h3', cls = Host, ip = '10.0.0.3', defaultRoute =
None)
h4 = net.addHost('h4', cls = Host, ip = '10.0.0.4', defaultRoute =
None)
h5 = net.addHost('h5', cls = Host, ip = '10.0.0.5', defaultRoute =
None)
h6 = net.addHost('h6', cls = Host, ip = '10.0.0.6', defaultRoute =
None)
h7 = net.addHost('h7', cls = Host, ip = '10.0.0.7', defaultRoute =
None)
h8 = net.addHost('h8', cls = Host, ip = '10.0.0.8', defaultRoute =
None)
h9 = net.addHost('h9', cls = Host, ip = '10.0.0.9', defaultRoute =
None)
h10 = net.addHost('h10', cls = Host, ip = '10.0.0.10',
defaultRoute = None)
```

```

h11 = net.addHost('h11', cls = Host, ip = '10.0.0.11',
defaultRoute = None)
h12 = net.addHost('h12', cls = Host, ip = '10.0.0.12',
defaultRoute = None)
h13 = net.addHost('h13', cls = Host, ip = '10.0.0.13',
defaultRoute = None)
h14 = net.addHost('h14', cls = Host, ip = '10.0.0.14',
defaultRoute = None)
h15 = net.addHost('h15', cls = Host, ip = '10.0.0.15',
defaultRoute = None)
h16 = net.addHost('h16', cls = Host, ip = '10.0.0.16',
defaultRoute = None)
    
```

Essas bibliotecas possuem métodos pré-definidos facilitando assim a criação da topologia. Este código resultou em uma topologia com 16 hosts, 5 switches OpenFlow e um controlador.

Para executar o código na plataforma Mininet, dentro da pasta onde o código foi criado, foi necessário abrir um terminal no linux e digitar o seguinte comando: `sudo ./topologia.py`. O comando utilizado resultou na criação da topologia, conforme figura 3.

```

phillip@phillip-Lenovo-IdeaPad-Z400: ~/Documentos/mininet/phillip
phillip@phillip-Lenovo-IdeaPad-Z400: ~/Documentos/mininet/phillip$ sudo ./topologia.py
*** Adicionando controller
*** Adicionando switches
*** Adicionando hosts
*** Adicionando links
*** Mininet articletarting network
*** Configuring hosts
h15 h1 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h11 h2 h12 h3 h13 h5 h4 h14
*** Inicializando controllers
*** Inicializando switches
*** Inserindo as configuracoes de switches e hosts
*** Starting CLI:
mininet>
    
```

Figura 3: Comando usado no terminal para inicializar a topologia. Fonte: Autores, (2018).

III.5 APRESENTAÇÃO DA TOPOLOGIA PROPOSTA

A representação visual da topologia criada no código `topologia.py`, é demonstrada na figura 4.

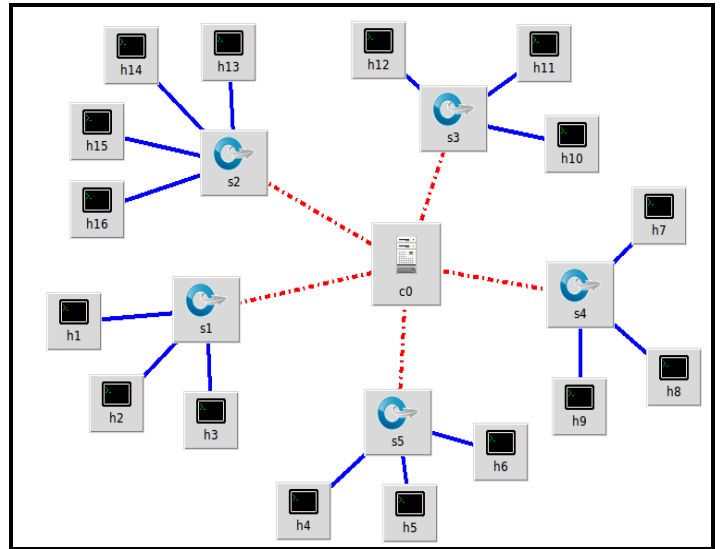


Figura 4: Representação visual da topologia.

Fonte: Autores, (2018).

A figura mostra um controlador que contém toda a inteligência da rede, 16 *hosts* com características distintas e 5 *switches OpenFlow*, pois estes equipamentos são os mais indicados para se trabalhar com Redes Definidas por *Software*.

III.6 TESTE DOS ENLACES DA REDE

Para confirmar o pleno funcionamento dos enlaces da rede foi realizado um teste de *ping*, conforme a figura 5, a qual mostrou o correto funcionamento da rede. O comando utilizado foi: `mininet> pingall`.

```

mininet> pingall
*** Ping: testing ping reachability
h5 -> h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h13 -> h5 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h14 -> h5 h13 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h4 -> h5 h13 h14 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h15 -> h5 h13 h14 h4 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h6 -> h5 h13 h14 h4 h15 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h16 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h7 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h8 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h9 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h9 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h10 h1 h2 h3 h11 h12
h10 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h1 h2 h3 h11 h12
h1 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h2 h3 h11 h12
h2 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h3 h11 h12
h3 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h11 h12
h11 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h12
h12 -> h5 h13 h14 h4 h15 h6 h16 h7 h8 h9 h10 h1 h2 h3 h11
*** Results: 0% dropped (240/240 received)
    
```

Figura 5: Teste de ping.

Fonte: Autores, (2018).

III.7 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA DE GERENCIAMENTO SDN

Para facilitar o gerenciamento de uma rede SDN foi desenvolvida uma ferramenta na linguagem de programação Python, que realiza importações de métodos da biblioteca da plataforma Mininet que são declaradas no código fonte, a mesma com uma interface gráfica simples e intuitiva. Nesta estrutura existem diversas ferramentas para uma administração completa da rede.

A parte do código que apresenta a interface gráfica para o monitoramento de uma topologia SDN é o que se apresenta abaixo. O referido código irá gerar uma interface com botões de diferentes funcionalidades. Ao ser acionado, será ativada a sua função respectiva.

Código: *interface.py*

```
def createMenuBar( self ):
    "Create and return a menu (really button) bar."
    f = Frame( self )
    buttons = [
        ( 'Monitorar Hosts', lambda: self.select( 'hosts' ) ),
        ( 'Monitorar Switches', lambda: self.select( 'switches' ) ),
        ( 'Monitorar Controlador', lambda: self.select(
'controllers' ) ),
        ( 'Grafico Iperf', lambda: self.select( 'graph' ) ),
        ( 'Teste de Ping', self.ping ),
        ( 'Teste de Iperf', self.iperf ),
        ( 'Interromper', self.stop ),
        ( 'Limpar', self.clear ),
        ( 'Finalizar', self.quit )
```

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1 APLICAÇÃO DA PLATAFORMA NA TOPOLOGIA PROPOSTA

Nesta seção serão explicados os procedimentos para a utilização prática da plataforma de Redes Definidas por Software que atende à premissa proposta no trabalho, de acordo com a topologia que foi criada no arquivo *topologia.py* e sua aplicação de interface no arquivo *monitoramento*.

Para executar a ferramenta de gerenciamento proposta neste trabalho, utilizou-se o seguinte comando: `sudo ./monitoramento.py`. Após a execução apareceram as mensagens indicando que os hosts, switches OpenFlow e o controlador foram inicializados, de acordo com a figura 6.

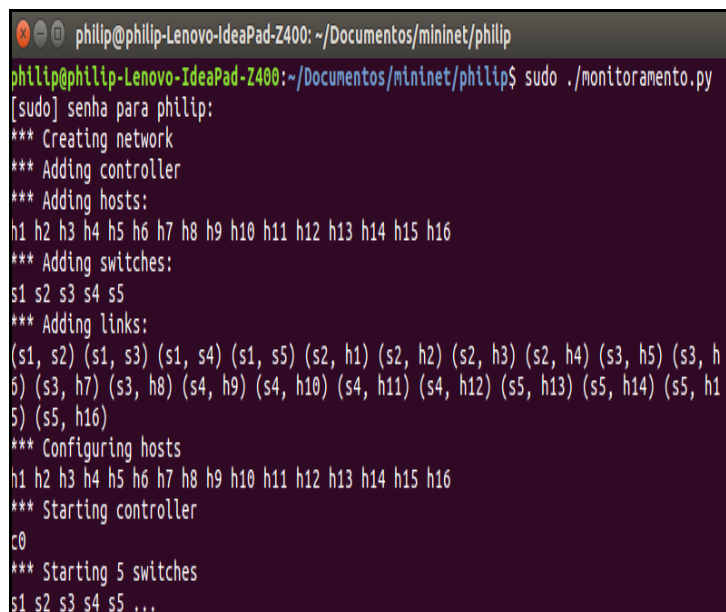


Figura 6: Inicialização dos dispositivos de rede.

Fonte: Autores, (2018).

Ao término desse procedimento é carregada uma janela contendo todos os botões que oferecem as ferramentas necessárias ao gerenciamento da Rede Definida por Software proposta, a qual reconheceu todos os dispositivos da topologia proposta e permitiu um controle central da rede. Ao clicar em um dos botões são ativadas funções respectivas ao que está proposto no seu contexto.

A figura 7 apresenta esta interface gráfica intuitiva.

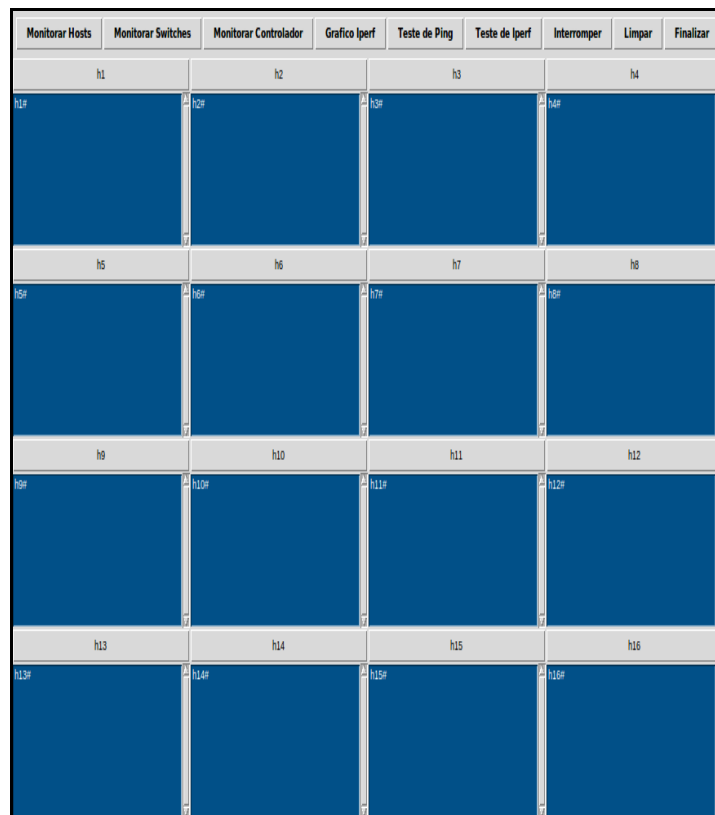


Figura 7: Interface gráfica que apresenta todas as funcionalidades para administração da rede.

Fonte: Autores, (2018).

IV.2 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA DE GERENCIAMENTO SDN

Para facilitar o gerenciamento de uma rede SDN foi desenvolvida uma ferramenta na linguagem de programação Python, que realiza importações de métodos da biblioteca da plataforma Mininet que são declaradas no código fonte, a mesma com uma interface gráfica simples e intuitiva. Nesta estrutura existem diversas ferramentas para uma administração completa da rede.

IV.3 SCRIPT EM PYTHON REFERENTE A INTERFACE GRÁFICA DO SOFTWARE PROPOSTO PARA O GERENCIAMENTO DE REDES SDN

A parte do código que apresenta a interface gráfica para o monitoramento de uma topologia SDN é o que se apresenta abaixo. O referido código irá gerar uma interface com botões de diferentes funcionalidades. Ao ser acionado, será ativada a sua função respectiva.

Código: interface.py

```
def createMenuBar( self ):
    "Create and return a menu (really button) bar."
    f = Frame( self )
    buttons = [
        ( 'Monitorar Hosts', lambda: self.select( 'hosts' ) ),
        ( 'Monitorar Switches', lambda: self.select( 'switches' ) ),
        ( 'Monitorar Controlador', lambda: self.select(
'controllers' ) ),
        ( 'Gráfico Iperf', lambda: self.select( 'graph' ) ),
        ( 'Teste de Ping', self.ping ),
        ( 'Teste de Iperf', self.iperf ),
        ( 'Interromper', self.stop ),
        ( 'Limpar', self.clear ),
        ( 'Finalizar', self.quit )
    ]
```

IV.4 INICIALIZANDO A INTERFACE DE MONITORAMENTO

Para executar a ferramenta de gerenciamento proposta neste trabalho, utilizou-se o seguinte comando: `sudo ./monitoramento.py`. Após a execução apareceram as mensagens indicando que os hosts, switches OpenFlow e o controlador foram inicializados, de acordo com a figura 8.

```
philip@philip-Lenovo-IdeaPad-Z400: ~/Documentos/mininet/philip
philip@philip-Lenovo-IdeaPad-Z400:~/Documentos/mininet/philip$ sudo ./monitoramento.py
[sudo] senha para philip:
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14 h15 h16
*** Adding switches:
s1 s2 s3 s4 s5
*** Adding links:
(s1, s2) (s1, s3) (s1, s4) (s1, s5) (s2, h1) (s2, h2) (s2, h3) (s2, h4) (s3, h5) (s3, h
6) (s3, h7) (s3, h8) (s4, h9) (s4, h10) (s4, h11) (s4, h12) (s5, h13) (s5, h14) (s5, h1
5) (s5, h16)
*** Configuring hosts
h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10 h11 h12 h13 h14 h15 h16
*** Starting controller
c0
*** Starting 5 switches
s1 s2 s3 s4 s5 ...
```

Figura 8: Inicialização dos dispositivos de rede.
Fonte: Autores, (2018).

Ao término desse procedimento é carregada uma janela contendo todos os botões que oferecem as ferramentas necessárias ao gerenciamento da Rede Definida por Software proposta, a qual reconheceu todos os dispositivos da topologia proposta e permitiu um controle central da rede. Ao clicar em um dos botões são ativadas funções respectivas ao que está proposto no seu contexto.

A figura 9 apresenta esta interface gráfica intuitiva.

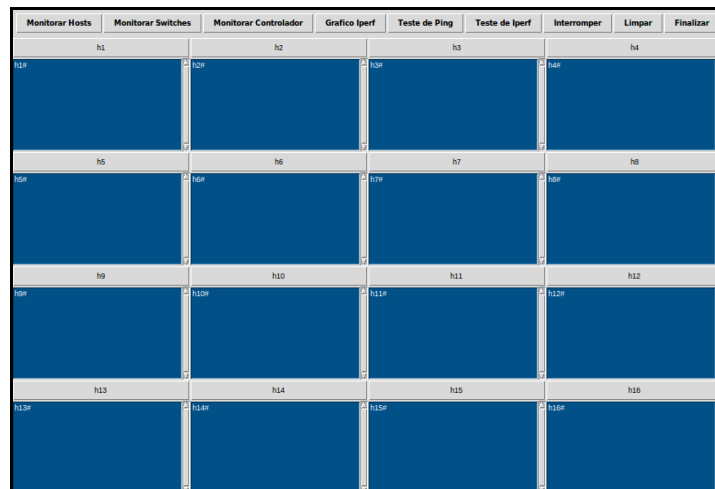


Figura 9: Interface gráfica que apresenta todas as funcionalidades para administração da rede.
Fonte: Autores, (2018).

IV.5 UTILIZANDO AS FUNCIONALIDADES DA INTERFACE

As funcionalidades foram desenvolvidas para facilitar o cotidiano de quem trabalha com o gerenciamento de redes SDN. Sendo assim, uma abstração das opções mais importantes envolvidas no processo de administração de redes foi implementada.

✓ **Monitorar Hosts:** Através da ativação do botão de monitoramento de hosts foi exibida uma interface gráfica que reconheceu todos os 16 hosts, 5 switches e 1 controlador que foram definidos no código topologia.py, e todas as operações que aconteceram por segundo nestes dispositivos na rede.

✓ **Monitorar Switches:** Ao ativar o botão de monitoramento dos switches foi exibida uma interface, que reconheceu a quantidade de switches que estavam presentes no código topologia.py, que nesse caso foram 5 switches OpenFlow. Apresentou também todos os processos e eventos ocorridos com os hosts que estão interligados com os mesmos e este monitoramento aconteceu por um intervalo de segundo a segundo.

✓ **Monitorar Controlador:** Ao ser acionado este botão, foi exibida uma interface com a quantidade de controladores presentes na rede, neste caso 1 controlador de acordo com o código desenvolvido na topologia.py.

✓ **Gráfico de Iperf:** O gráfico de iperf apresentou uma imagem da velocidade média do fluxo total de hosts definidos na topologia estudada, ou seja, uma forma mais intuitiva de visualizar o desempenho da rede, mais agradável ao usuário.

✓ **Teste de ping:** O teste de ping verificou o funcionamento da rede através da percepção dos envios e recebimentos de pacotes, o tempo que estão sendo necessários para realizar cada processo e a quantidade que está sendo enviada a cada host em um intervalo de segundo a segundo. Este teste tem relevância porque mostrou se também ocorreram falhas e perdas de pacotes, o que não foi o caso.

✓ **Teste de Iperf:** Este botão implementou uma verificação de conexão entre os hosts da rede para verificar o funcionamento da rede, tipos de pacotes que estão sendo enviados, se há falhas nas conexões, velocidade de conexão entre cliente-servidor.

✓ **Interromper:** Esta funcionalidade interrompe toda uma estrutura de rede, isto é, interrompe todos os hosts, controladores e switches OpenFlow integrantes da rede.

- ✓ Limpar: Esta funcionalidade exclui todas as informações presentes na interface em uso.
- ✓ Finalizar: Opção que encerra a ferramenta e fecha a janela.

IV.6 DEMONSTRAÇÃO DO TESTE DE PING NA INTERFACE

Neste procedimento foi realizado um teste de *Iperf* em cada *host* presente na topologia, especificando o intervalo de tempo, a quantidade de *bytes* transferidos e também a velocidade de banda em *Gbits* transferidas por segundo. Essas informações podem ser confirmadas clicando no botão gráfico de *Iperf*.

A figura 10 mostra a interface gráfica que apresenta o funcionamento do teste de ping. Nesta janela, em cada *host*, é exibido o tipo de pacote transmitido, a quantidade enviada, o tempo necessário para envio e recebimento, o endereço de ip de destino para envio e também quantos pacotes foram recebidos.

Para a execução do teste de *Iperf* na interface, foi necessário a ativação desta funcionalidade no botão localizado na parte superior da interface, teste de *iperf*, como é demonstrado na figura 11.

Monitorar Hosts	Monitorar Switches	Monitorar Controlador	Gráfico Iperf	Teste de Ping	Teste de Iperf	Interromper	Limpar	Finalizar
h1		h2		h3		h4		
<pre>time=0.073 ms! 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.035 ms! --- 10.0.0.2 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7150ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.035/1.808/13.494/4.419 ms! h1#</pre>		<pre>time=0.072 ms! 64 bytes from 10.0.0.3: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.037 ms! --- 10.0.0.3 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7152ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.037/1.530/11.251/3.678 ms! h2#</pre>		<pre>time=0.043 ms! 64 bytes from 10.0.0.4: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.058 ms! --- 10.0.0.4 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7152ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.043/1.125/8.113/2.645 ms! h3#</pre>		<pre>time=0.089 ms! 64 bytes from 10.0.0.5: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.099 ms! --- 10.0.0.5 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7119ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.089/3.180/18.044/5.950 ms! h4#</pre>		
h5		h6		h7		h8		
<pre>time=0.073 ms! 64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.073 ms! --- 10.0.0.6 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7119ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.066/1.331/9.467/3.082 ms! h5#</pre>		<pre>time=0.073 ms! 64 bytes from 10.0.0.7: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.094 ms! --- 10.0.0.7 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7117ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.075/1.680/11.416/3.707 ms! h6#</pre>		<pre>time=0.060 ms! 64 bytes from 10.0.0.8: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.083 ms! --- 10.0.0.8 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7119ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.044/1.390/10.112/3.300 ms! h7#</pre>		<pre>time=0.101 ms! 64 bytes from 10.0.0.9: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.058 ms! --- 10.0.0.9 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7118ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.054/3.272/16.933/5.796 ms! h8#</pre>		
h9		h10		h11		h12		
<pre>time=0.064 ms! 64 bytes from 10.0.0.10: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.056 ms! --- 10.0.0.10 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7146ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.040/1.406/10.575/3.465 ms! h9#</pre>		<pre>time=0.063 ms! 64 bytes from 10.0.0.11: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.066 ms! --- 10.0.0.11 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7146ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.045/1.493/10.692/3.485 ms! h10#</pre>		<pre>time=0.119 ms! 64 bytes from 10.0.0.12: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.041 ms! --- 10.0.0.12 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7115ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.041/1.596/11.662/3.808 ms! h11#</pre>		<pre>time=0.102 ms! 64 bytes from 10.0.0.13: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.098 ms! --- 10.0.0.13 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7116ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.063/2.978/16.780/5.564 ms! h12#</pre>		
h13		h14		h15		h16		
<pre>64 bytes from 10.0.0.14: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.051 ms! --- 10.0.0.14 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7120ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.047/1.601/11.595/3.783 ms! h13#</pre>		<pre>time=0.044 ms! 64 bytes from 10.0.0.15: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.040 ms! --- 10.0.0.15 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7148ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.040/1.480/11.046/3.616 ms! h14#</pre>		<pre>time=0.061 ms! 64 bytes from 10.0.0.16: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.055 ms! --- 10.0.0.16 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7115ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.055/2.032/10.732/3.631 ms! h15#</pre>		<pre>time=0.129 ms! 64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.055 ms! --- 10.0.0.1 ping statistics --- 8 packets transmitted, 8 received, 0% packet loss, time 7115ms! rtt min/avg/max/mdev = 0.055/2.105/14.154/4.593 ms! h16#</pre>		

Figura 10: Interface gráfica que apresenta o funcionamento do teste de *ping*.
Fonte: Autores, (2018).

A figura 11 mostra o resultado para a Interface gráfica que apresenta o teste de iperf.

Monitorar Hosts	Monitorar Switches	Monitorar Controlador	Grafico Iperf	Teste de Ping	Teste de Iperf	Interromper	Limpar	Finalizar
h1		h2		h3		h4		
[3] 1.0- 2.0 sec 229 MBytes 1.92 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 181 MBytes 1.52 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 210 MBytes 1.76 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 200 MBytes 1.68 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.46 GBytes 2.22 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.3 sec 1.71 GBytes 2.79 Gbits/sec h1#		[3] 1.0- 2.0 sec 451 MBytes 3.62 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 861 MBytes 7.22 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 728 MBytes 6.10 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 746 MBytes 6.26 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [ID] Interval Transfer Bandwidth [3] 0.0- 5.5 sec 3.47 GBytes 5.41 Gbits/sec [4] 0.0- 5.6 sec 1.46 GBytes 2.22 Gbits/sec h2#		[3] 1.0- 2.0 sec 434 MBytes 3.04 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 316 MBytes 2.65 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 380 MBytes 3.18 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 382 MBytes 3.20 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.83 GBytes 2.79 Gbits/sec h3# [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 3.47 GBytes 5.36 Gbits/sec h3#		[3] 1.0- 2.0 sec 229 MBytes 1.92 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 234 MBytes 1.97 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 236 MBytes 1.98 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 263 MBytes 2.21 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.4 sec 1.18 GBytes 1.87 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 1.83 GBytes 2.78 Gbits/sec h4#		
h5		h6		h7		h8		
[3] 1.0- 2.0 sec 444 MBytes 3.72 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 435 MBytes 3.65 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 370 MBytes 3.11 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 378 MBytes 3.17 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 2.24 GBytes 3.42 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.3 sec 1.18 GBytes 1.90 Gbits/sec h5#		[3] 1.0- 2.0 sec 195 MBytes 1.62 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 154 MBytes 1.29 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 217 MBytes 1.82 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 187 MBytes 1.57 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.09 GBytes 1.67 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 2.24 GBytes 3.41 Gbits/sec h6#		[3] 1.0- 2.0 sec 462 MBytes 3.67 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 420 MBytes 3.52 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 410 MBytes 3.44 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 436 MBytes 3.66 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 1.09 GBytes 1.68 Gbits/sec [3] 0.0- 5.6 sec 2.40 GBytes 3.66 Gbits/sec h7#		[3] 1.0- 2.0 sec 176 MBytes 1.49 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 203 MBytes 1.71 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 211 MBytes 1.77 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 176 MBytes 1.48 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.4 sec 985 MBytes 1.52 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.7 sec 2.40 GBytes 3.64 Gbits/sec h8#		
h9		h10		h11		h12		
[3] 1.0- 2.0 sec 271 MBytes 2.27 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 362 MBytes 3.04 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 356 MBytes 2.98 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 341 MBytes 2.86 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.84 GBytes 2.81 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.3 sec 985 MBytes 1.55 Gbits/sec h9#		[3] 1.0- 2.0 sec 222 MBytes 1.80 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 182 MBytes 1.53 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 216 MBytes 1.82 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 198 MBytes 1.66 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.17 GBytes 1.80 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 1.84 GBytes 2.85 Gbits/sec h10#		[3] 1.0- 2.0 sec 505 MBytes 3.23 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 495 MBytes 4.15 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 511 MBytes 4.29 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 502 MBytes 4.21 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 2.45 GBytes 3.74 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 1.17 GBytes 1.79 Gbits/sec h11#		[3] 1.0- 2.0 sec 556 MBytes 4.50 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 317 MBytes 2.66 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 334 MBytes 2.80 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 331 MBytes 2.78 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.3 sec 1.97 GBytes 3.16 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 2.45 GBytes 3.75 Gbits/sec h12#		
h13		h14		h15		h16		
[3] 1.0- 2.0 sec 559 MBytes 4.69 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 186 MBytes 1.56 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 212 MBytes 1.77 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 258 MBytes 2.16 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.85 GBytes 2.82 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.0 sec 1.97 GBytes 3.37 Gbits/sec h13#		[3] 1.0- 2.0 sec 594 MBytes 2.97 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 442 MBytes 3.71 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 426 MBytes 3.57 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 411 MBytes 3.45 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 1.85 GBytes 2.83 Gbits/sec [3] 0.0- 5.7 sec 2.38 GBytes 3.61 Gbits/sec h14#		[3] 1.0- 2.0 sec 247 MBytes 2.06 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 272 MBytes 2.28 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 312 MBytes 2.62 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 312 MBytes 2.62 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.6 sec 1.71 GBytes 2.61 Gbits/sec h15# [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.7 sec 2.38 GBytes 3.60 Gbits/sec h15#		[3] 1.0- 2.0 sec 552 MBytes 2.95 Gbits/sec [3] 2.0- 3.0 sec 344 MBytes 2.89 Gbits/sec [3] 3.0- 4.0 sec 347 MBytes 2.91 Gbits/sec [3] 4.0- 5.0 sec 341 MBytes 2.86 Gbits/sec Waiting for server threads to complete. Interrupt again to force quit. [3] 0.0- 5.4 sec 1.71 GBytes 2.72 Gbits/sec [ID] Interval Transfer Bandwidth [4] 0.0- 5.6 sec 1.71 GBytes 2.61 Gbits/sec h16#		

Figura 11: Interface gráfica que apresenta o teste de iperf.

Fonte: Autores, (2018).

IV.7 DEMONSTRAÇÃO DO GRÁFICO DE IPERF NA INTERFACE

Uma forma de verificar com mais clareza e simplicidade, os resultados dos testes de Iperf que foram apresentados na interface, o método gráfico de Iperf exibe a velocidade média de banda, dos dispositivos presentes na rede, em um gráfico, que pode ser visualizado ao clicar no botão gráfico Iperf. Conforme figura 12.

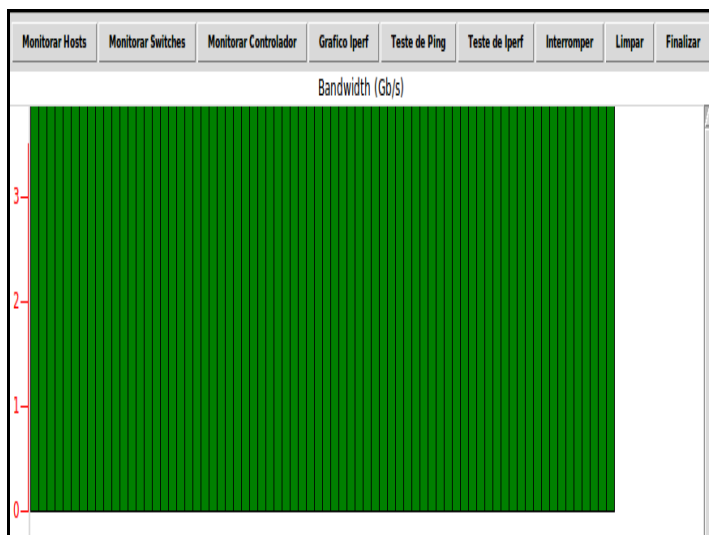


Figura 12: Resultados do teste de iperf.

Fonte: Autores, (2018).

A cada segundo é atualizado no gráfico uma barra verde, com a velocidade média de todos os *hosts*, a mesma continua aumentando enquanto não foi interrompida ou finalizados os procedimentos na rede, ou seja, é um gráfico dinâmico de monitoramento no intervalo de segundo a segundo.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados percebidos após a criação e implementação da ferramenta proposta nesta pesquisa, com a topologia escolhida para realizar os testes. Como também os resultados que poderão ser aplicados de maneira geral em outros casos.

V.1 FACILIDADE DE GERENCIAMENTO

A ferramenta criada nessa pesquisa foi muito importante porque se apresentou como uma alternativa viável para resolver o problema proposto de gerenciamento de uma Rede Definida por *Software* com uma grande quantidade de *hosts*, *switches* envolvidos e um controlador principal. Não foi necessário o acesso ao *hardware* dos equipamentos, por conta da codificação em *Python* que trabalha em conjunto com a biblioteca do *Mininet*, criando assim uma camada virtual de *software* que simulou o *hardware* real dos equipamentos.

V.2 APRIMORAMENTO DE USABILIDADE AO USUÁRIO FINAL

Com base no trabalho proposto, monitorar 16 *hosts* consiste em uma tarefa extensa, visto que é necessário executar os

comandos de teste de *host* a *host*, ou seja, se fosse necessário visualizar o *ping* entre um *host* e outro, deveria ser implementado explicitamente esse código, levando assim uma demanda alta de tempo para a sua conclusão e isso é ruim.

A ferramenta criada fez essa tarefa de forma automática e rápida. O benefício que o sistema trouxe para essa situação, foi que ao realizar o clique no botão, ocorreu de forma simples e eficaz, o teste de todos os *hosts* com base nos parâmetros de teste de *ping* definidos no código em *Python* utilizado no trabalho.

Para monitorar os *switches*, segue a mesma linha de raciocínio, ou seja, bastou apenas o clique do botão de teste correspondente e foi possível verificar o teste acontecendo em todos os *switches* que foram definidos na nossa topologia.

A interface desenvolvida foi uma forma de facilitar a usabilidade de uma série de tarefas ao usuário da ferramenta, abstraindo assim a necessidade de o usuário ter que saber programar em *Python*. O sistema realizou todas as chamadas necessárias para monitoramento e controle de rede através de botões de fácil acesso e intuitivos.

V.3 ADMINISTRAÇÃO DE REDES HETEROGÊNEAS

O sistema proposto tem a capacidade de gerenciar diferentes dispositivos, como por exemplo, computadores de marcar diferentes, sistemas operacionais diferentes, smartphones, tablets, videogames entre outros dispositivos que podem se conectar à internet, porque utiliza a vantagem de programação das redes a fim de resolver o problema de integração e também pelo fato de esta ferramenta ser baseada na tecnologia de Redes Definidas por *Software*, as quais possuem um protocolo padrão de comunicação.

V.4 REDUÇÃO DE TEMPO E CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

A redução de tempo e custo é uma consequência da implementação de uma Rede Definida por *Software*, pelo motivo de que sua utilização remove uma série de problemas que eram vivenciados no modelo tradicional de trabalho com redes. Ou seja, as Redes Definidas por *Software* agilizam a forma como se criam sistemas de trabalho relacionado a redes em geral.

Eliminando o acoplamento com o *hardware* e criando assim uma nova oportunidade de mercado, um novo paradigma que só tende a crescer acompanhando as últimas tendências do mercado.

VI. CONCLUSÃO

Esta pesquisa apresentou, a viabilidade, as aplicações, o funcionamento e os benefícios das Redes Definidas por “*Software*” no contexto atual, o qual é predominantemente heterogêneo por conta das diversas marcas de dispositivos tecnológicos e seus “*Softwares*” embarcados, o que dificulta a comunicação entre esses equipamentos.

As Redes Definidas por “*Software*” permitem uma comunicação padrão, o que resolve o problema de integração e facilitam o gerenciamento de dispositivos distintos.

Esta pesquisa também apresentou uma ferramenta construída aos moldes das características das Redes Definidas por “*Software*” para administrar os dispositivos conectados em rede, a qual foi aplicada em uma topologia criada no “*Software Mininet*”, contendo 16 “*hosts*”, 5 “*switches*” e 1 controlador.

A linguagem de programação utilizada nesse estudo foi elaborado um software na linguagem de programação *Python*, com o intuito de colocar em prática todo o benefício que é proporcionado por esse novo paradigma de trabalho com redes.

De acordo com as pesquisas realizadas, foi possível notar que a tecnologia citada possui grande benefício de utilização no cenário tecnológico mundial por conta da sua extensa gama de possibilidades.

Eliminar a dificuldade criada por fabricantes que impossibilitam a comunicação dos *hardwares* de um determinado fabricante com o *hardware* de outro fornecedor foi uma grande vantagem criada pelas redes SDN, e mostra o potencial que existe de crescimento neste tipo de gerenciamento de redes.

Portanto as Redes Definidas por *Software* se adequam às expectativas esperadas pelas empresas, os quais são menor custo e qualidade de serviços e possibilitam, com eficiência, a escalabilidade da rede.

O *Mininet*, se mostrou muito eficiente em conjunto com a linguagem de programação *Python*, na criação de uma rede definida por *software* de teste com uma interface gráfica de fácil usabilidade ao usuário final utilizador da plataforma proposta. Desprezando a necessidade de colocar os códigos manualmente, colocando toda a complexidade em botões intuitivos que acionam a funcionalidade de teste desejada pelo usuário.

VII. REFERÊNCIAS

[1] Córdova, Rodrygo Torres. **SDN–DMM: redes definidas por software para gerenciamento de mobilidade distribuído em redes, IP, móveis, heterogêneas.**

[2] Savoine, Márcia Maria et al. **Proposta de Uso de Métodos Ágeis no Gerenciamento e Implantação de Projeto de Redes sem Fio.** Anais SULCOMP, v. 8, 2017.

[3] Cardoso, Whasley S. et al. **Implantação de um Patch Panel Virtual Utilizando Redes Definidas por Software.** 2017.

[4] Giselle Silva e Faria. **Comparação das variáveis de atividade física fornecidas pelo acelerômetro actigraph gt3x e pelo aplicativo de celular google fit durante a marcha de indivíduos pós-acidente vascular encefálico.** Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG. Belo Horizonte. 2017.

[5] Heideker, Alexandre; Kamienski, Carlos. **Funções de Rede Virtualizadas em Plataforma de Computação em Nuvem para Cidades Inteligentes.** In: XIII Workshop em Clouds e Aplicações–WCGA. SBC. p43–56. 2015.

[6] Gupta, Arpit et al. **Sdx: A software defined internet exchange.** ACM SIGCOMM Computer Communication Review, v. 44, n. 4, p. 551-562, 2015.

[7] Rakesh, Bobba; Donald, R. Borries; ROD, Hilburn; Joyce, Sanders; Mark, Hadle; Rhett, Smith. **As Redes Definidas por Software Atendem aos Requisitos do Sistema de Controle.** AMEREN, Illinois.

[8] Guedes, Dorgival et al. **Redes Definidas por Software: uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de pesquisas em Redes de Computadores.** Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC, 2012, v.30, n.4, p.160,210, 2012.

[9] Fernandes, Natalia Castro; Duarte, O. C. M. B. **XNetMon: Uma arquitetura com segurança para redes virtuais.** Anais do X Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, p. 339-352, 2010. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbseg/2010/0019.pdf>>. Acesso em 11 de Agosto de 2017.

[10] Schaffrath, Gregor et al. **Network virtualization architecture: Proposal and initial prototype.** In: Proceedings of the 1st ACM workshop on Virtualized infrastructure systems and architectures. ACM, 2009. p. 63-72.

[11] Rabuske, Renato Antônio. **Inteligência artificial.** Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

[12] Mckeown, N. et al. **OpenFlow: enabling innovation in campus networks.** ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2(38):69–74, March 2008.



Multivariable Control Strategy for a refrigeration plant

Liset Mayo Martí¹, Miguel Alejandro Botello Lemus²

^{1,2} Grupo de Automatización, Acinox Las Tunas, Circunvalante Norte Km 3 ½, Zona Industrial, Las Tunas, Cuba.

Email: yinef@ind.cujae.edu.cu, dianelysra@ind.cujae.edu.cu, abel@ind.cujae.edu.cu, marthagom@tesla.cujae.edu.cu

Received: December 19th, 2017.

ABSTRACT

Accepted: January 09th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



In this paper a multivariable control system for the heat exchanger of a real plant is proposed; using pi direct synthesis controllers and simplified type decouplers. In addition, the measured, controlled and manipulated variables of the units that constitute this plant and that interact are analyzed, so as not to cause conflicts between them. The cascade control configuration is chosen for the control of air temperature, which is the main function of the study plant. The results obtained at simulation scale demonstrated the effectiveness of the proposal.

Keywords: Multivariable systems, multivariable control, plantwide control, steel industry, refrigeration plant.

Estrategia de Control Multivariable para una planta frigorífica

RESUMEN

En este trabajo se propone un sistema de control multivariable para el intercambiador de calor de una planta real; usando controladores PI de Síntesis Directa y desacopladores de tipo Simplificado. Además, se analizan las variables medidas, controladas y manipuladas, de unidades que constituyen dicha planta y que interactúan, para no provocar conflictos entre estas. Se elige la configuración de control cascada para el control de la temperatura del aire, que es la función principal de la planta objeto de estudio. Los resultados obtenidos a escala de simulación demostraron la efectividad de la propuesta.

Palabras Claves: Sistemas Multivariables, Control Multivariable, Control de Plantas Completas, Industria del acero, Grupo Frigorífico.

I. INTRODUCCIÓN

El control multivariable constituye un tópico de avanzada en el campo del control de procesos. Desarrollado originalmente para resolver problemas específicos de control en refinerías, la tecnología de control multivariable se utiliza hoy en día en plantas químicas, sector alimentario, automóvil, metalurgia, industria papelera y otros entornos industriales. Es una tecnología consolidada y utilizada para sistemas de control de plantas completas.

Los sistemas multivariables, por definición, son sistemas con varias entradas y salidas, en los que una entrada afecta a varias salidas y recíprocamente una salida es afectada por varias entradas. La interacción entre sus variables representa un fenómeno único de los sistemas multivariables, lo cual puede dificultar en gran medida el diseño del sistema de control [1].

Tradicionalmente los problemas de control de procesos se han abordado mediante lazos de control monovariab

les independientes, donde una variable de medida es controlada con una variable manipulada. En dichos lazos, el controlador proporcional-integral-derivativo (PID) es el más extendido, ya que se puede entender e implementar fácilmente, y se logra integrar en configuraciones de control cascada, feedforward, etc. Estos enfoques se han desarrollado a lo largo de varios años de experiencia, y funcionan adecuadamente cuando las interacciones entre las diferentes variables del proceso son pequeñas. Sin embargo, cuando las interacciones son importantes, el control de un sistema multivariable se puede complejizar. Por ejemplo, el ajuste de uno de los lazos puede afectar considerablemente al rendimiento de otros, hasta el punto incluso de desestabilizarlos [2]. En estos casos, los tradicionales y bien asentados métodos de sintonía monovariable no consiguen una respuesta del sistema satisfactoria, y a menudo los controladores se ajustan de manera ineficiente. Ello justifica el interés por el desarrollo de metodologías de diseño de control multivariable que tengan en cuenta el problema de la interacción.

Una filosofía de diseño es desacoplar el sistema, con la intención de eliminar o reducir las interacciones entre las variables del proceso. De esta forma, el sistema multivariable se descompondría en varios sistemas monovariantes donde no habría acoplamientos entre las variables de referencia deseadas y las salidas controladas de la planta. Hay que decir que el control por desacoplo no es solo popular porque simplifique el sistema multivariable, sino porque además, es una característica deseada en muchas aplicaciones prácticas. Primero, el desacoplamiento es necesario para facilitar la labor de los técnicos, al menos en la industria química y de procesos, ya que de lo contrario, sería muy difícil decidir los múltiples valores de referencia del sistema multivariable para alcanzar los objetivos finales. Segundo, un buen desacoplamiento puede ayudar a mejorar la respuesta en lazo cerrado. Algunos importantes fabricantes de controladores, como Yokogawa o Foxboro, consideran el mal desacoplamiento como uno de los principales problemas en la industria.

En algunos procesos con poca o mediana interacción, los acoplamientos se pueden reducir aceptablemente con un control descentralizado, donde por cada lazo hay un controlador que trabaja independientemente. Sin embargo, en procesos con una interacción severa es necesario acudir a técnicas de mayor complejidad.

Para ello, en el ámbito del diseño de sistemas de control lineales podemos encontrar diversos planteamientos, desde el enfoque tradicional basado en matrices de funciones de transferencia hasta otras metodologías como el control lineal cuadrático gaussiano (LQG), el posterior control óptimo H_∞ , el control por modelo interno (IMC) o el control predictivo basado en modelos (MPC), que ya se aplican en algunos sistemas de control industriales [2].

La presente propuesta se basa en aplicar las metodologías de diseño de control multivariable a un proceso real, de la industria siderúrgica, donde el control se realiza de manera ineficiente provocando menores beneficios económicos. Se trata del grupo frigorífico de la planta de fraccionamiento de aire de la industria de aceros Acinox Las Tunas. Constituyen al mismo varias unidades interconectadas; de ellas, un intercambiador de calor, de naturaleza esencialmente multivariable.

A partir de lo antes descrito, este artículo tiene como objetivo proponer un sistema de control multivariable lineal con desacoplos, usando controladores de Síntesis Directa para un intercambiador de calor; y mediante configuración de control cascada regular la temperatura de salida del aire, que es la función principal de la planta objeto de estudio. El artículo se organizó como sigue: en la sección dos se describe el proceso del grupo frigorífico, en la sección tres se exponen las bases y la formulación del problema, en la sección cuatro se presenta el resultado principal revelando su efectividad, en la sección 5 se plantean las conclusiones y en la seis las recomendaciones.

II. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA FRIGORÍFICA

En la industria Acinox Las Tunas donde se fabrican aceros bajos al carbono en forma de palanquillas, la planta de Fraccionamiento de Aire se encarga de producir los gases oxígeno, nitrógeno y argón que posteriormente se insuflan en el acero líquido para lograr las reacciones químicas que garantizan un ajuste de la composición del mismo. En el proceso de tratamiento del aire interviene el llamado grupo frigorífico.

El grupo frigorífico tiene como objetivo enfriar el aire a una temperatura de 8°C , que es determinada por la temperatura de evaporación y por la cantidad de fluido refrigerante introducido en el evaporador. El aire caliente que debe ser enfriado y

desechado, entra en el evaporador donde es llevado a una temperatura inferior a su punto de rocío, mediante el intercambio de calor con el fluido refrigerante.

El circuito del fluido refrigerante está repartido en dos secciones principales: sección de alta presión y sección de baja presión. El compresor aspira el refrigerante en estado gaseoso, lo comprime y lo envía, siempre en estado gaseoso pero a temperatura elevada al condensador, a través de la válvula de impulsión y el conducto impelente.

En el condensador el refrigerante se licua, manteniendo constante su presión. El refrigerante líquido sale luego del condensador a través de la válvula del líquido y pasa al filtro deshidratador y luego al intercambiador; finalmente, a través de la válvula de solenoide, llega a la válvula de expansión, tal como se muestra en la Figura 1. Esta válvula marca el límite entre la sección de alta presión y la de baja presión del circuito, ya que obliga al fluido refrigerante a expandirse en el evaporador con una temperatura y una presión mucho más bajas.

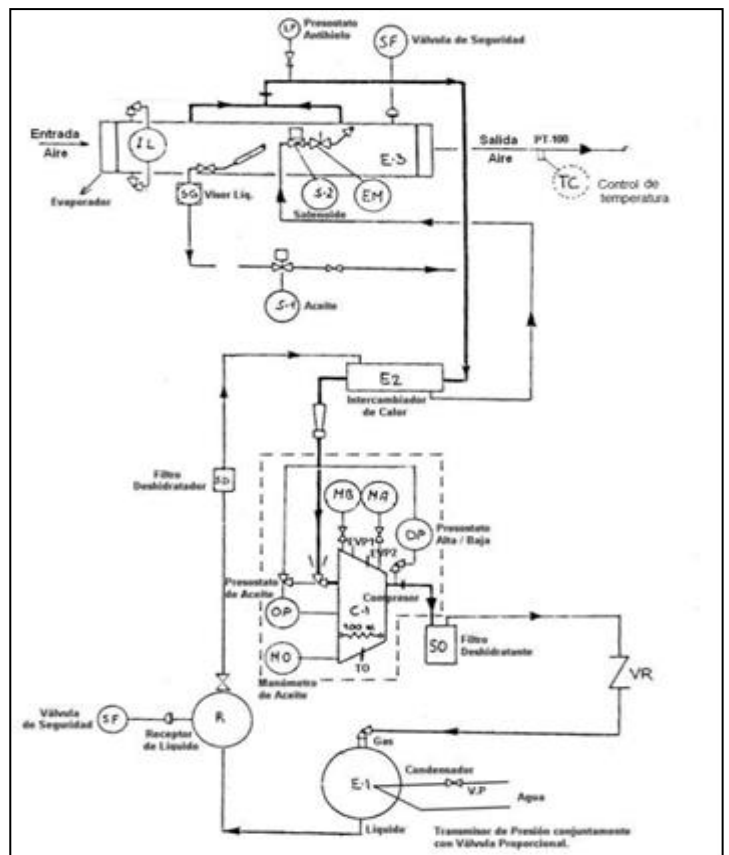


Figura 1: Proceso de enfriamiento del aire en el Grupo Frigorífico.

Fuente: Los autores, (2018).

En el evaporador el refrigerante pasa totalmente del estado líquido al estado gaseoso, substrayendo una determinada cantidad de calor del aire que circula en el evaporador mismo y provocando por lo tanto su enfriamiento. El gas que sale del evaporador pasa luego al intercambiador de calor, donde substrahe calor al refrigerante.

En el Intercambiador de calor se sobrecalienta el gas aspirado por el compresor, haciendo evaporar eventuales partículas de líquido presentes en el gas que llega del evaporador. Además aumenta la capacidad de la instalación, por medio del subenfriamiento del líquido. Por lo que representa un punto importante para el máximo aprovechamiento de la instalación.

III. BASES Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

III.1 SISTEMAS DE CONTROL MULTIVARIABLE

Los sistemas de control multivariable son sistemas con varias entradas y salidas (MIMO), en los que una entrada afecta a varias salidas y recíprocamente una salida es afectada por varias entradas, como muestra la Figura 2, siendo el caso 2x2 el más tratado en la bibliografía [3-5], bien porque corresponde a procesos típicos reales, bien porque el proceso ha sido descompuesto en bloques de este tamaño [3][6].



Figura 2: Proceso MIMO.

Fuente: Los autores, (2018).

El control de estos procesos, en la mayoría de los casos, es complejo y por lo general se deben tener en cuenta varios interrogantes para dar solución al problema de control [7], como: ¿cuál es la mejor agrupación por pares de variables controladas y manipuladas?, ¿cuánta interacción existe entre los diferentes lazos de control y como se afecta la estabilidad de los lazos?, ¿se puede hacer algo para reducir la interacción entre los lazos? y otras que trataremos brevemente a continuación.

III.1.1 MEDIDAS DE INTERACCIÓN

La dificultad de controlar un proceso multivariable no reside solo en el número de variables, sino más bien en la interacción que existe entre ellas. Este grado de interacción determinará si la estrategia de control a seleccionar para controlar el proceso será descentralizada o centralizada. Por lo tanto, es necesario disponer de medidas de interacción que ayuden a tomar dicha decisión. Desde que en [8] se presentara la matriz de ganancias relativas (RGA), ésta se ha convertido en una de las medidas más extendidas para cuantificar la interacción de un proceso multivariable. Si bien inicialmente solo implicaba consideraciones en estado estacionario, también se puede usar una RGA dinámica dependiente de la frecuencia. La RGA de una matriz compleja y no singular G es otra matriz compleja definida de la siguiente manera:

$$\Lambda = G \times (G^{-1})^T \quad (1)$$

donde \times denota el producto elemento a elemento (o producto Hadamard).

Aunque algunos autores opinan que la RGA es solo una técnica heurística sin una base teórica fuerte, se han establecido conexiones rigurosas entre la RGA y la estabilidad para sistemas con dos entradas y dos salidas (TITO) a partir de sus funciones de transferencia [9]. Sin entrar en mucho detalle y considerando la interpretación original de la RGA en estado estacionario [10], cada elemento λ_{ij} representa el efecto que sobre la ganancia del proceso entre la variable controlada y_i y la variable manipulada u_j , tiene el hecho de cerrar todos los demás lazos de control (que deben ser estables y con integrador). Por tanto, el valor numérico

de λ_{ij} es una medida del grado de interacción que los demás lazos de control tienen sobre el lazo de control que emparejaría u_j con y_i . Si $\lambda_{ij} = 1$, la ganancia del proceso vista desde la entrada u_j a la salida y_i es la misma cuando todos los demás lazos de control están abiertos que cuando están cerrados. Esto indica que no existe interacción, al menos sobre el estado estacionario, entre el lazo analizado y los demás. Cuanto más se desvíe el valor λ_{ij} de la unidad, mayor será el grado de interacción de los lazos de control. Si la RGA fuera la matriz identidad no habría interacción.

III.1.2 EMPAREJAMIENTO DE VARIABLES CONTROLADAS Y MANIPULADAS

Debe tenerse en cuenta la siguiente serie de pasos para la selección del mejor par de variables controladas y manipuladas, seguidamente se presenta la secuencia de pasos comúnmente utilizada [11]:

1. Obtener la matriz de ganancias relativas, esta se calcula mediante la Ecuación (1).
2. Tener en cuenta algunos criterios de restricción como el no formar lazos de control con ganancias relativas negativas, ni con ganancia relativa infinita, ni con ganancia relativa nula.
3. Tener en cuenta algunos criterios de prioridad como son: controlar las variables más importantes con aquellas variables de entrada con las que tengan una respuesta dinámica más rápida sin respuesta inversa, cerrar lazos de control con las ganancias relativas más próximas a uno.
4. Tener en cuenta algunos criterios complementarios como son: la simulación de las distintas alternativas, emparejar variables con ganancia relativa ante perturbación baja, índice de estabilidad bajo.

III.1.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Cuando se seleccionan apareamientos también resulta indispensable tomar en cuenta consideraciones de estabilidad entre los lazos. Dicha consideración se plantea en términos del siguiente teorema de estabilidad de Niederlinski [12].

El teorema establece que un sistema de control de lazos múltiples será inestable (para todos los posibles valores de los parámetros del controlador) si el índice de Niederlinski (N) definido como:

$$N = \frac{\det[G(0)]}{\prod_{i=1}^n g_{ii}(0)} \quad (2)$$

es negativo.

El teorema de Niederlinski representa condiciones necesarias y suficientes únicamente para sistemas TITO. Para sistemas de orden mayor únicamente representa condiciones suficientes. Es decir, si el teorema se cumple, entonces el sistema de múltiples lazos será definitivamente inestable. Pero si el teorema no se cumple, el sistema de múltiples lazos puede ser o no inestable (en este caso, la estabilidad depende de los valores asignados a los parámetros del controlador).

III.1.4 CONTROL POR DESACOPLO

El control por desacoplo, básicamente se puede enfocar de dos formas, una de ellas es usando una red de desacoplo formada por los cuatro elementos $D_{ij}(s)$, con un controlador descentralizado diagonal.

La Figura 3 muestra el esquema general de un sistema de control combinando red de desacoplo y controlador diagonal, donde $G(s)$, $D(s)$ y $C(s)$ son las matrices de funciones de transferencia $n \times n$ del proceso, la red de desacoplo y el controlador diagonal, respectivamente. El producto del proceso original y la red de desacoplo conformaría el nuevo proceso aparente: $Q(s) = G(s) \cdot D(s)$. El bloque compensador $D(s)$, o red de desacoplamiento, se diseña con la intención de eliminar, o al menos reducir, las interacciones del proceso, de tal manera que el controlador descentralizado $C(s)$ manipule las variables v_i en lugar de las variables u_i . Con esta configuración se pretende que el controlador vea al nuevo proceso aparente $Q(s)$ como un conjunto de n procesos totalmente independientes o con mucha menos interacción, para los cuales se diseñaría el control descentralizado $C(s)$ mediante técnicas de ajuste monovariable bien establecidas [13-15]. El controlador multivariable resultante de este diseño estaría compuesto por el control diagonal y la red de desacoplo.

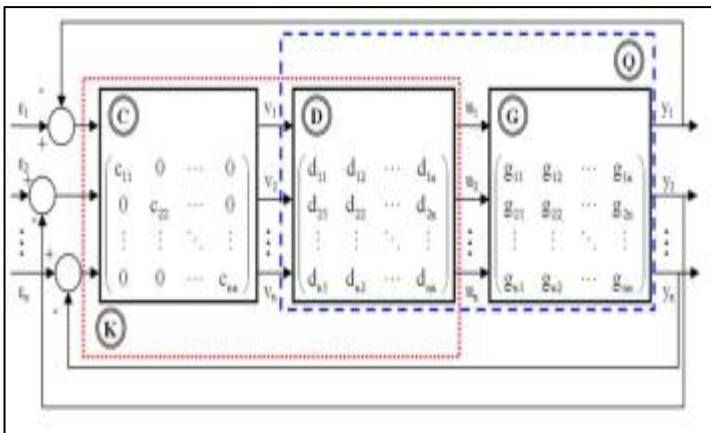


Figura 3: Sistema de control combinando red de desacoplamiento y controlador descentralizado.

Fuente: Los autores, (2018).

III.2 SISTEMAS DE CONTROL PARA PLANTAS COMPLETAS

El diseño de sistemas de control para plantas completas es la tarea más compleja para los ingenieros en instrumentación y control. Las dificultades se agravan por las fuertes no linealidades de los procesos, el conocimiento impreciso del mismo, su carácter multivariable y las interacciones entre variables [1].

Tradicionalmente, se supone que el diseño de un sistema de control para una planta tiene lugar después que una carta de flujo para el proceso haya sido sintetizada y diseñada, e incluso construida con detalles significativos. Esto permite conocer las unidades que constituyen la planta y sus dimensiones, cómo se interconectan estas unidades, el rango y las condiciones de operación, los posibles disturbios, los problemas pueden surgir durante la arrancada y parada de la planta. Tal información es sumamente útil para el diseño efectivo del sistema de control.

Cuando el diseño de la planta ha sido realizado, el ingeniero de control se ve forzado a trabajar con un sistema fuertemente especificado o determinado. Aun así, su tarea es diseñar un sistema de control que asegure satisfactoriamente la operación de la planta. Está claro que debe existir cierto grado de coordinación y cooperación entre los diseñadores del proceso y los del sistema de control. El diseño del sistema de control se torna simple cuando el proceso presenta pocas unidades interactuantes, principalmente con arquitectura serie y sin fuertes requerimientos operacionales.

Se han publicado muy pocos artículos sobre el control de plantas completas [16], y la mayoría de los métodos de control se desarrollan para procesos específicos [17-18]. En [19-20] se recomiendan 15 pasos para llevar a cabo el problema de diseño de control para procesos de varias unidades. Este enfoque se desarrolla suponiendo que no hay instrumentación ni control. Obviamente, muchos proyectos de control implican una renovación de los controles existentes. Si bien este enfoque fue desarrollado para procesos de varias unidades, también se puede aplicar a sistemas de unidad única.

IV. RESULTADOS

El intercambiador del Grupo Frigorífico de Acinox Las Tunas, es de tipo tubo y carcasa y la transferencia de calor se realiza entre el freón líquido que llega a la entrada del mismo con una temperatura de 45°C y el freón gaseoso a 15°C . La función de este intercambiador de calor es reducir la temperatura del líquido refrigerante a un valor deseado para que llegue más frío al evaporador con el fin de enfriar el aire, mientras que el gas que llega al intercambiador se sobrecalienta para eliminar contenido líquido que quedaba en él y pase al compresor sin provocarle ninguna afectación mecánica. De esta manera se incrementa la eficiencia del sistema.

Las variables a controlar entonces son: la temperatura a la salida del intercambiador, del freón líquido T_{fl} y del freón gaseoso T_{fg} . Las variables manipuladas son el flujo de entrada al intercambiador, del freón líquido F_{fl} y del freón gaseoso F_{fg} , como se ilustra en la Figura 4.

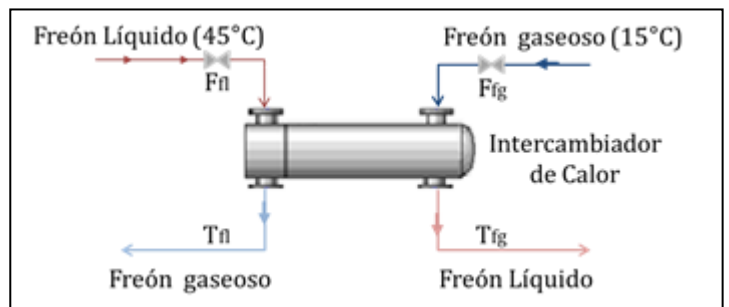


Figura 4: Intercambiador de Calor freón líquido- freón gaseoso de la planta objeto de estudio.

Fuente: Los autores, (2018).

El modelo matemático del intercambiador de calor fue tomado de [21] y se representa en el dominio de Laplace mediante las siguientes funciones de transferencia:

$$G_{11}(s) = \frac{0.4241}{148.6s+1} \quad (3)$$

$$G_{12}(s) = \frac{-0.214}{(142.2s+1)(28.4s+1)} \quad (4)$$

$$G_{21}(s) = \frac{0.0695}{(126s+1)(26.4s+1)} \quad (5)$$

$$G_{22}(s) = \frac{-0.5}{150s+1} \quad (6)$$

Donde, $G_{11}(s)$ es la función de transferencia que relaciona el flujo de freón líquido de entrada, con la temperatura del freón líquido de salida, $G_{21}(s)$ es la función de transferencia que relaciona el flujo de freón líquido de entrada, con la temperatura

del freón gaseoso a la salida, $G_{12}(s)$ es la función de transferencia que relaciona el flujo de freón gaseoso de entrada, con la temperatura del freón líquido de salida, $G_{22}(s)$ es la función de transferencia que relaciona flujo de freón gaseoso de entrada, con la temperatura del freón gaseoso a la salida.

IV.1 ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN

La primera pregunta que se debe hacer después de tener la caracterización dinámica del proceso, es saber si el apareamiento de las variables controladas y las manipuladas es el adecuado. Para este sistema solo fueron posibles dos combinaciones diferentes de las variables controladas con las variables manipuladas.

Para empezar, tiene sentido que cada variable controlada se controle mediante la variable manipulada que ejerce mayor "influencia" sobre aquélla. En este contexto, la influencia y la ganancia tienen el mismo significado y, en consecuencia, para tomar una decisión se deben encontrar todas las ganancias del proceso. Específicamente, la matriz de ganancias de estado estacionario (MGEE) de lazo abierto del intercambiador de calor objeto de estudio es la siguiente:

$$K = \begin{bmatrix} 0.4241 & -0.214 \\ 0.0695 & -0.5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Para normalizar la MGEE y hacerla independiente de las unidades, se utilizó la técnica que desarrolló Bristol. La matriz de ganancia relativa obtenida partir de la MGEE y basado en álgebra de matrices es:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1.075 & -0.075 \\ -0.075 & 1.075 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Cada elemento de la RGA se determinó multiplicando cada elemento de la matriz MGEE por su correspondiente en la matriz MGEE inversa. El cálculo de la matriz MGEE inversa es:

$$K^{-1} = \frac{Adj(K)}{Det(K)} = \frac{\begin{bmatrix} -0.5 & 0.214 \\ -0.0695 & 0.4241 \end{bmatrix}}{-0.197} = \begin{bmatrix} 2.538 & 0.3527 \\ -1.086 & -2.1527 \end{bmatrix}$$

Entonces,

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0.4241 & -0.214 \\ 0.0695 & -0.5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2.538 & 0.3527 \\ -1.086 & -2.1527 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.075 & -0.075 \\ -0.075 & 1.075 \end{bmatrix}$$

En este caso se observan valores negativos en dicha matriz que denotan la peor interacción y por tanto inestabilidad en el lazo de control. En fin, la mejor pareja variable controlada-variable manipulada es la temperatura de salida del freón líquido con el flujo de entrada de freón líquido, dado por el modelo $G_{11}(s)$ de la ecuación 3, y la temperatura de salida del freón gaseoso con el flujo de entrada de freón gaseoso, representado por el modelo $G_{22}(s)$ en la expresión 6. Así podemos decir que la usaremos la alternativa de acoplamiento 1-1/2-2, como se representa en la Figura 5.

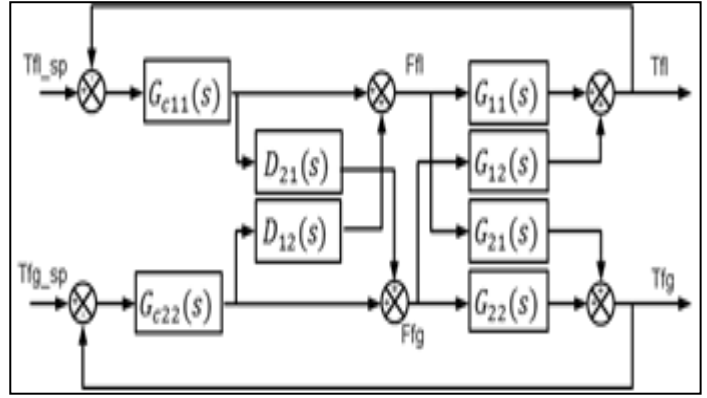


Figura 5: Diagrama en bloque del sistema de control para el Intercambiador de Calor.

Fuente: Los autores, (2018).

IV.2 ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD

El índice de Niederlinski, para el intercambiador caso de estudio, con el par de variables seleccionado se calculó de acuerdo a (2), resultando:

$$N = \frac{|K|}{\prod_{i=1}^2 K_{ij}} = \frac{-0.197}{0.4241 * (-0.5)} = 0.929$$

Es evidente el valor positivo del resultado, por tanto la selección del par de variables es el adecuado para diseñar una estrategia de control multivariable.

IV.3 SINTONIZACIÓN DE LOS CONTROLADORES

Para controlar las temperaturas de salida del freón líquido y gaseoso fueron ajustados los controladores PI, $G_{C11}(s)$ y $G_{C22}(s)$, mediante la estrategia de control de Síntesis Directa (1).

La función de transferencia de los controladores PI se expresan de la manera siguiente:

$$G_{C11}(s) = 2.357 * \frac{148.6s+1}{148.6s} \quad (9)$$

$$G_{C22}(s) = -2 * \frac{150s+1}{150s} \quad (10)$$

IV.4 SÍNTESIS DE DESACOPLADORES

Hasta el momento se ha demostrado que, aunque acoplemos las variables de acuerdo a las exigencias del arreglo de Bristol, las interacciones pueden persistir en alguna medida. El desacoplador simplificado sirve para reducir la interacción presente en el sistema. En la Figura 5 se presenta el diagrama de bloques del sistema de control con los desacopladores D_{ij} .

Para compensar la interacción del lazo de control de temperatura del freón gaseoso sobre el de temperatura de freón líquido se introduce el desacoplador D_{21} dado por:

$$D_{21}(s) = -\frac{G_{21}}{G_{22}} = -\frac{0.0695}{(126s+1)(26.4s+1)} = \frac{0.0139(150s+1)}{(126s+1)(26.4s+1)}$$

Y para compensar la interacción del lazo de control de temperatura del freón líquido sobre el de temperatura de freón gaseoso se introduce el desacoplador D_{12} dado por:

$$D_{12}(s) = -\frac{G_{12}}{G_{11}} = -\frac{\frac{-0.214}{(142.2s+1)(28.4s+1)}}{\frac{0.4241}{148.6s+1}} = \frac{0.5045(148.6s+1)}{(142.2s+1)(28.4s+1)}$$

Ahora el sistema multivariable se comporta como dos sistemas de una entrada y una salida independientes.

IV.5 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL MULTIVARIABLE PROPUESTO

Los resultados de simulación se obtuvieron mediante la herramienta Simulink del software Matlab®. Se realizaron varias pruebas con el fin de mostrar el comportamiento del sistema, respuesta a lazo abierto y cuando se aplican los controladores PI con y sin desacopladores.

Primero, observemos en la Figura 6 cómo influyen las variables manipuladas, flujo de freón líquido y gaseoso, sobre las temperaturas de salida del freón líquido y gaseoso.

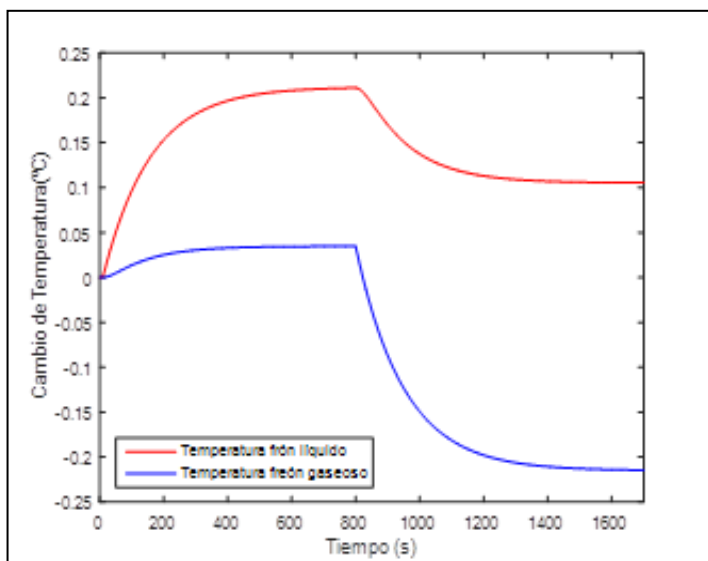


Figura 6: Respuesta del sistema multivariable a lazo abierto. Fuente: Los autores, (2018).

Esta respuesta se obtuvo ante un cambio escalón de magnitud 0.5 en el flujo de entrada del freón líquido a los 10 segundos de haber iniciado la simulación; y posteriormente un cambio del flujo de entrada del freón gaseoso con igual magnitud, pero a los 800 segundos. Se aprecia claramente que cada una de las variables manipuladas, afecta a ambas salidas, por tanto estamos en presencia de un sistema multivariable completo.

Ahora veamos la respuesta del sistema al introducir los controladores determinados por las expresiones 9 y 10, mostrada en la Figura 7. Para esta prueba se sometió el sistema MIMO a un cambio en la referencia de temperatura del freón líquido (T_{fl_sp}) de -3°C a los 10 segundos de iniciada la corrida, mientras que se realizó un cambio de 3°C en la señal de referencia de la temperatura del freón gaseoso a los 1000 segundos. Ambas señales de salida alcanzan el valor deseado sin ninguna oscilación ni sobrepasos, aunque presentan un tiempo de establecimiento un poco lento, debido a la dinámica del proceso. Puede observarse que aún existen interacciones en el proceso; sin embargo estas son eliminadas totalmente cuando incluimos al sistema de control los desacopladores calculados en la sección 4.4, D_{21} y D_{12} , como se aprecia en la Figura 8.

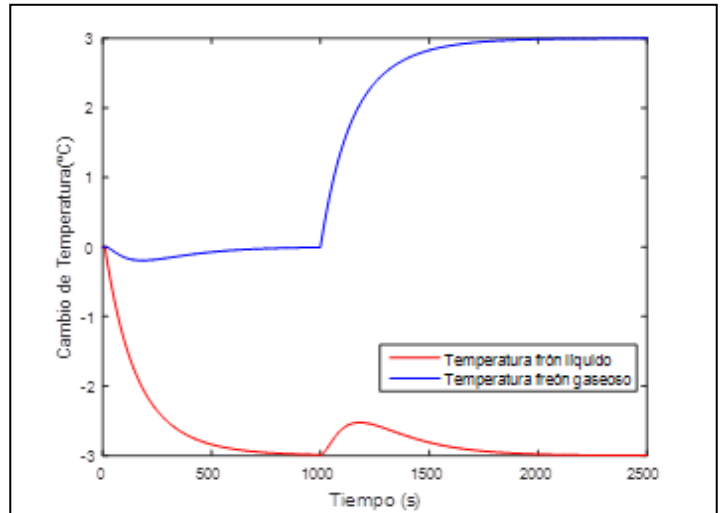


Figura 7: Respuesta del sistema multivariable con controladores de Síntesis Directa.

Fuente: Los autores, 2018.

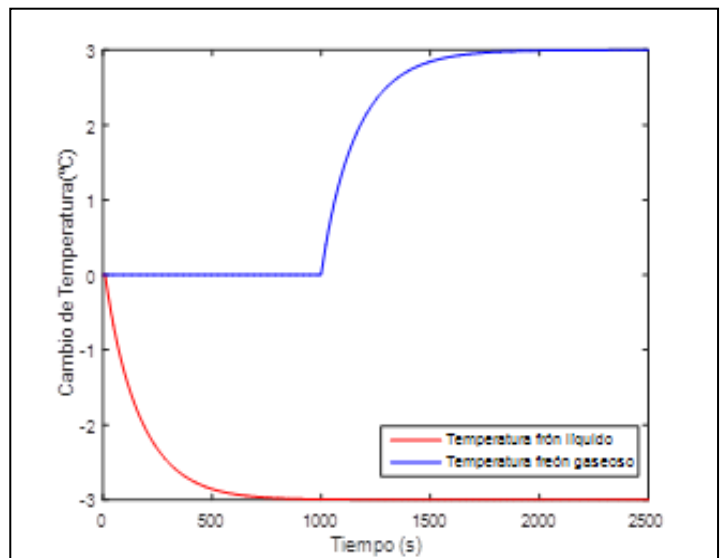


Figura 8: Respuesta del sistema multivariable con controladores de Síntesis Directa y desacopladores.

Fuente: Los autores, (2018).

IV.6 CONEXIÓN DEL INTECAMBIADOR DE CALOR Y EL EVAPORADOR

El evaporador del Grupo Frigorífico estudiado, tiene la función de enfriar el aire a una temperatura de 8°C . Para ello se requiere regular el nivel del líquido refrigerante en el recipiente. El refrigerante, el freón líquido que viene desde el intercambiador analizado anteriormente, intercambia calor con el aire que entra al evaporador. Este proceso conlleva a la formación de vapor de freón, lo que ciertamente representa una perturbación de este sistema. La variable principal a controlar es la temperatura de salida del aire, a partir de regular el nivel del líquido refrigerante, manipulando el flujo de entrada del freón líquido en el evaporador. Siendo así, proponemos un sistema de control con configuración de control cascada; el lazo interno es el encargado de controlar el nivel del líquido refrigerante en el interior del evaporador, y el lazo de control externo controla entonces la temperatura del aire. De esta manera se impide algún conflicto entre el evaporador y el intercambiador de calor, como se muestra en la Figura 9.

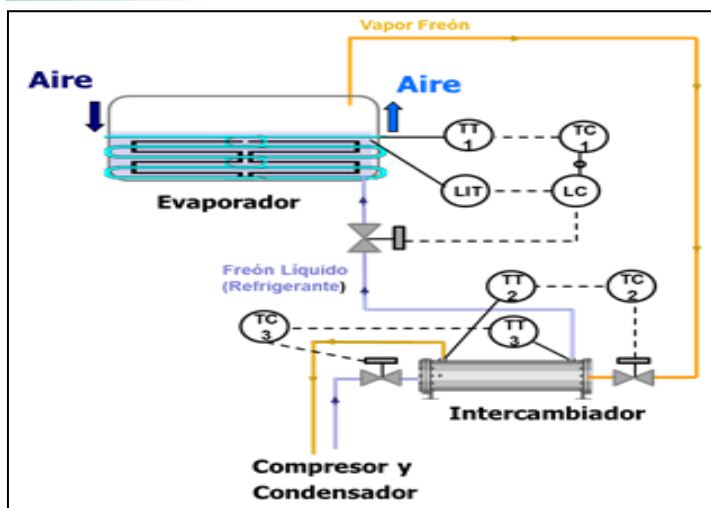


Figura 9: Conexión entre el intercambiador de calor y el evaporador.

Fuente: Los autores, (2018).

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone un sistema de control para una planta real de la empresa Acinox Las Tunas. Se diseñó un sistema de control multivariable para el intercambiador de calor, usando controladores PI de síntesis directa y desacopladores simplificados que eliminaron completamente la interacción entre las variables. Se propuso además, una configuración de control cascada para la regulación de la temperatura en el evaporador, definiendo las variables controladas y manipuladas; respetando las consideraciones debidas para el trato de plantas completas que impiden conflictos entre sus unidades.

VI. RECOMENDACIONES

Continuar profundizando en el estudio de los sistemas multivariable para definir una estrategia de control para la planta completa objeto de estudio

VII. REFERENCIAS

- [1] STEPHANOPOULUS, G. *Chemical Process Control*. Prentice Hall, 1983.
- [2] GARRIDO, J. *Diseño de sistemas de control multivariable por desacoplo con controladores PID*. Tesis (Ph.D.) Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, 2012.
- [3] VÁZQUEZ, F. y MORILLA, F. *Tuning decentralized PID controllers for MIMO systems with decoupling*. In *15th IFAC World Congress*, pp. 2172-2178, 2002.
- [4] WANG, Q. G., HUANG, B. y GUO, X. *Autotuning of TITO decoupling controllers from step tests*. *ISA Transactions*, 39, pp. 407-418, 2000.
- [5] WANG, Q. G. *Decoupling Control*. Lecture Notes in Control and Information Sciences, 285. Springer-Verlag, 2003.
- [6] VÁZQUEZ, F. [et al]. *An iterative method for tuning decentralized PID controllers*. In *14th IFAC World Congress*, pp. 491-496, 1999.
- [7] CORRIPIO, A.B. y SMITH, C.A. *Control automático de procesos: Teoría y Practica*. Noriega Editores, 2000.
- [8] BRISTOL, E. H. *On a New Measure of Interaction for Multivariable Process Control*. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 11, 133-134, 1966.
- [9] SKOGESTAD, S. y HAVRE, K. *The use of RGA and condition number as robustness measures*. *Computers & Chemical Engineering*, 20, S1005-S1010, 1996.
- [10] MCAVOY, T. J. *Interaction analysis: Principles and applications*, North Carolina, Instrument Society of America, 1983.
- [11] NORDFELDT, P. *PID Control of TITO Systems. Licentiate Thesis. Department of Automatic Control. Lund Institute of Technology. ISRN LUTFD2/TFRT--3228--SE. ISSN 0280-5316, 2005.*
- [12] NIEDERLINSKI, A. *A Heuristic Approach to the Design of Linear multivariable Control Systems*, *Automatic Vol.* 7, No. 691, 1971.
- [13] ÅSTRÖM, K. J. y HÄGGLUND, T. *Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins*. *Automatica*, 20, 645-651, 1984.
- [14] HÄGGLUND, T. y ÅSTRÖM, K. J. *Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control*. *Journal of Process Control*, 14, 635-650, 2004.
- [15] MORILLA, F. y DORMIDO, S. *Methodologies for the tuning of PID controllers in the frequency domain. PID'00 IFAC Workshop on Digital Control: Past, present and future of PID Control*. Terrassa, Spain, 2000.
- [16] OCHOA, S. [et al]. *Plantwide optimizing control of a continuous bioethanol production process*. *Journal of Process Control*, 20(9), 983-998, 2010.
- [17] LUYBEN, M. and FLOUDAS, C.A. *Analyzing the interaction of design and control-1. A multiobjective framework and application to binary distillation synthesis*. *Computers and Chemical Engineering*, 18(10), 933-969, 1994.
- [18] LUYBEN, M. and FLOUDAS, C.A. *Analyzing the interaction of design and control-2. Reactor-separator-recycle system*. *Computers and Chemical Engineering*, 18(10), 971-993, 1994.
- [19] LUYBEN, M.L., TYREUS, B.D. and LUYBEN, W.L. *Plantwide control design procedure*. *AIChE Journal*, 43(12), 3161-3174, 1997.
- [20] LUYBEN, W.L., TYREUS, B.D. and LUYBEN, M.L. *Plantwide process control*. McGraw Hill, New York, USA, 1999.
- [21] RICARDO, J. F. y BARRIOS, E. *Control Multivariable Lineal con Desacoples en un Intercambiador de Calor*. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 17 (1), pp. 17-25, Sogamoso-Boyacá. Colombia ISSN Impreso 1900-771X, ISSN Online 2422-4324, 2017.

Tools for the design of an inmotoc system in the residential block of a five star plus hotel

José Ricardo Núñez Álvarez¹, Israel Francisco Benítez Pina², Danilo Mariano Carbonell Mestre³

^{1,2,3} Universidad de Oriente – UO, Santiago de Cuba, Cuba.

Email: jricardo@uo.edu.cu, ibenitez@uo.edu.cu, danilo@emproy15.co.cu

Received: January 21th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 15th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The purpose of this work is to select the tools for the design of an inmotoc system to automate the housing blocks of hotel facilities in the province of Santiago de Cuba. This design leads to the obtaining of an intelligent building that favours the management and control of all its systems. It describes the networks used, their architecture and topology based on a distributed system where the horizontal structured cabling is achieved with twisted pair UTP and vertical cabling with fiber optic, as control elements, programmable logic controllers and different field elements are used for the measurement and execution of control actions where supervision is carried out through a SCADA on the basis of energy efficiency and comfort, safety, control and management, communications, accessibility and the building's life cycle.

Keywords: Inmotoc, Intelligent Building, Energy Efficiency.

Herramientas para el diseño de un sistema inmótico en el bloque habitacional de un hotel cinco estrellas plus

RESUMEN

Este trabajo tiene como propósito la selección de herramientas pertinentes para el diseño de un sistema inmótico para lograr la automatización de los bloques habitacionales de las instalaciones hoteleras en la provincia de Santiago de Cuba. Este diseño conduce a la obtención de un edificio inteligente favorecedor de la gestión y control de todos sus sistemas. En el mismo se describen las redes utilizadas, su arquitectura y topología basadas en un sistema distribuido donde el cableado estructurado horizontal se logra con par trenzado UTP y el cableado vertical con fibra óptica, como elementos de control se utilizan controladores lógicos programables y diferentes elementos de campo para la medición y ejecución de las acciones de control donde la supervisión se realiza a través de un SCADA sobre la base de la eficiencia energética y confort, la seguridad, el control y gestión, las comunicaciones, la accesibilidad y el ciclo de vida del edificio.

Palabras-clave: Inmótico, Edificio Inteligente, Eficiencia Energética.

I. INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual es común apreciar y utilizar sistemas automatizados que cada vez abarcan mayor cantidad de sus esferas. Más, para una comprensión de tales sistemas, cuyo origen se enmarca en **la segunda mitad del siglo XVIII**, es preciso tener presente el concepto "automatización" y su característica principal de hacer funcionar un objeto o bien de forma semi-independiente del control humano.

Así, de tal concepto (automatización) surge lo que hoy conocemos como sistema automático, mediante el cual se efectúa

y controla las secuencias de operaciones sin la ayuda de la actividad humana.

Como destacan Tiscornia y Defelipe, "la automatización se implementa mediante los distintos sistemas de control automáticos"[1]. Dichos sistemas se encuentran dispersos en varios campos: industrias, producción, servicios públicos, electrodomésticos, etc.

La importancia de contar con una comunicación efectiva y rápida; la necesidad de ahorrar energía; la disposición de los espacios y equipos; la posibilidad de dar un mayor ciclo de vida a un edificio; la seguridad, confort y comodidad de los

trabajadores, han dado lugar al concepto de "edificios inteligentes".

- Según la definición dada por Percy Viego y un colectivo de estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Cienfuegos un edificio inteligente es aquel inmueble que desde su diseño incluye la automatización de sus sistemas, además del cuidado del medio ambiente donde se edificará, facilita su administración y mantenimiento, incentiva las labores diarias con instalaciones adecuadas y funcionales, permite obtener ahorros de energía en su operación, favorecer la operación y control con programas interrelacionados de todos los sistemas del edificio: hidrosanitarios, eléctricos, telecomunicaciones, seguridad, así como una flexibilidad para adecuaciones e innovaciones futuras. Debe asegurar un mantenimiento eficaz a bajo costo. Asimismo, garantizar una larga vida al inmueble [2].

Los edificios inteligentes se caracterizan porque hacen uso de la inteligencia artificial, proporcionan un ambiente de confort y seguridad para el aumento de la productividad y medios para el mantenimiento eficiente y oportuno minimizando los costos, además facilitan el cuidado del medio ambiente.

El progreso en paralelo de tres grandes áreas de la tecnología (telecomunicaciones, electrónica e informática) hizo posible en los años setenta el desarrollo de lo que actualmente se conoce como domótica [3].

Resulta imposible precisar una fecha concreta para el nacimiento de la domótica, ya que no se trata de un hecho puntual, sino de todo un proceso evolutivo que comenzó con las redes de control de los edificios inteligentes y se ha ido adaptando a las necesidades propias de la vivienda.

La palabra domótica, proviene de la unión de la palabra "domo" y el sufijo "tica". La palabra "domo" etimológicamente proviene del latín domus que significa casa, y el sufijo "tica" proviene de la palabra automática, aunque algunos autores también diferencian entre "tic" de tecnologías de la información y de la comunicación y "a" de automatización.

Este término proviene de la palabra francesa domotique, que la enciclopedia Larousse definía en 1988 como "el concepto de vivienda que integra todos los automatismos en materia de seguridad, gestión de energía, comunicaciones, etc."

Por lo que domótica se refiere al conjunto de técnicas utilizadas para la automatización de la gestión y la información de las viviendas unifamiliares [4].

- La domótica e inmótica expresan dos vertientes o ramas de la denominación edificio inteligente. La domótica referida a la adopción, integración y aplicación de las nuevas tecnologías informáticas y comunicacionales al hogar. La inmótica, es la aplicación de sistemas informáticos y nuevas tecnologías a grandes construcciones del sector terciario. De tal suerte, es la inmótica la que se dirige a la solución de la automatización en los hoteles.

- A partir de los años 90 Cuba se ha colocado entre los destinos mundialmente preferidos, lo que ha conducido al aumento de las capacidades hoteleras con la pretensión de lograr vincular la satisfacción del cliente con la eficiencia económica y en ello desempeña un rol determinante la tecnología que aun en las condiciones de país bloqueado se encuentra en constante cambio ante las más exigentes necesidades de los usuarios.

En este sentido, es política gubernamental para el Turismo priorizar el mantenimiento y renovación de la infraestructura turística y de apoyo. Aplicar políticas que garanticen la sostenibilidad de su desarrollo, implementando medidas para disminuir el índice de consumo de agua y de portadores energéticos e incrementar la utilización de fuentes de

energía renovable y el reciclaje de los desechos que se generan en la prestación de los servicios turísticos.

- Sin embargo, de la literatura revisada y de la experiencia personal laboral especialmente obtenida como parte de una comisión designada para realizar el Estudio de Inicio de Operaciones que recorrió los principales hoteles de La Habana y Varadero en el 2015, incluido intercambios técnicos, pudo apreciarse que las soluciones dadas no responden a diseños de sistemas inteligentes.

- En tal sentido esta carencia determina este trabajo que busca identificar la importancia y potencialidades en el uso de los sistemas domóticos en la provincia de Santiago de Cuba.

- En la sección 2 se tratan los campos genéricos de las TIC, estos conforman los diferentes sistemas que definen un edificio inteligente, así como las características y aplicación de cada uno. La sección 3 brinda la arquitectura, clasificación y topología de las redes y se definen los medios de transmisión utilizados haciendo una breve descripción de cada uno y brindando los elementos seleccionados. En la sección 4 se detalla el SCADA, PLC y elementos de campo utilizados, definiendo el software de supervisión y control además se caracterizan y seleccionan los PLC y diferentes elementos de campo. A través de la sección 5 se enuncian las consideraciones finales y en la sección 6 se hace referencia a la bibliografía.

II. CAMPOS GENÉRICOS DE APLICACIÓN DE LAS TIC EN EDIFICIOS INTELIGENTES

Aquí se abordan los campos genéricos de aplicación de las TIC a la Edificación Inteligente tales como: eficiencia energética y confort, seguridad, control y gestión, comunicaciones, accesibilidad y finalmente aplicaciones específicas para la gestión de las fases del ciclo de vida del edificio [5].

II.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT

- Eficiencia energética: Estos sistemas de automatización permiten a los usuarios adaptar las condiciones ambientales estableciendo perfiles de consumos energéticos.
- Confort: Es necesario monitorizar y controlar las variables que lo afectan.

Aquí se logra la eficiencia energética y el confort en las habitaciones por medio del control de la temperatura a través de un termostato de temperatura digital que permite puntos de consigna mínimos y máximos, el control de la iluminación por medio de detectores de presencia que controlan los niveles de iluminación lo que conlleva a mayor eficiencia en el consumo eléctrico.

II. SEGURIDAD

La seguridad viene dada por la prevención, detección y solución de accidentes o imprevistos.

Existen sistemas de seguridad que protegen a las personas y los que protegen el patrimonio inmobiliario o bienes.

Para la seguridad de las personas se emplean:

- Sistemas de evacuación con apertura automática de salidas de emergencia.
- Redes de rociadores automáticos.
- Sistemas de detección y alarma para alerta de humo, fuego y fugas en las diversas instalaciones.
-

- Sistemas de extinción mediante bocas de incendio equipadas.
- Sistemas de extracción de gases.
Para la seguridad y protección de bienes se emplean:
- Detectores específicos de movimientos, rotura de cristales y apertura de puertas.
- Sistemas de circuitos cerrados de televisión.
- Intercomunicaciones de emergencia.
- Control de accesos.
- Circuitos de ronda perimetral.
- Sistemas de seguridad informática.

Para la seguridad en la habitación se utilizan detectores de humo y contactos magnéticos en los marcos de puertas y ventanas que mantienen una vigilancia permanente contra posibles incendios e intrusos respectivamente.

II.3 CONTROL Y GESTIÓN

El sistema de control y gestión centralizada de las instalaciones generales es el de mayor y más extendida aplicación en las edificaciones de instalaciones con gran complejidad.

En este caso se utiliza el SCADA EROS, creado por la empresa SERCONI de la industria del Níquel en Holguín, Cuba, el cual permite configurar de manera sencilla gran número de variables, facilita el mando a distancia y el control desde la aplicación y gestiona eficientemente cada uno de los subsistemas que son responsables de las principales funciones del edificio (iluminación, climatización, seguridad, etcétera).

Este control y gestión se realiza desde el interior del edificio, específicamente desde el local central de automatización.

II.4 COMUNICACIONES

Las comunicaciones son el campo de aplicación con máximo protagonismo directo. Brinda apuntes esquemáticos y generales, sobre las telecomunicaciones en los edificios.

Para este caso se utilizan redes distribuidas de cableado estructurado donde se utiliza par trenzado UTP en el cableado horizontal y fibra óptica en el cableado estructurado vertical permitiendo velocidades de transmisión acorde a los estándares internacionales. Además, se utiliza televisión interactiva a través de pantallas profesionales táctiles.

II.5 Accesibilidad

Aquí se deben distinguir dos grupos principales en función del objetivo con que se enfoca en cada caso:

- Accesibilidad como tecnología: cuando la accesibilidad se centra en aplicaciones creadas para generar un determinado servicio al usuario, actuando como intermediaria entre la tecnología y el usuario.
- Accesibilidad como servicio: cuando la accesibilidad actúa directamente sobre el usuario, ofreciendo un servicio en sí mismo.

En este trabajo se tuvo muy presente la eliminación de las barreras arquitectónicas, teniendo la accesibilidad como tecnología lo que contribuyó a un diseño orientado a la mejora de la accesibilidad, haciendo especial hincapié en la accesibilidad

asociada a las Tecnologías de la Información y la Comunicación, como herramienta potencial de integración social.

II.6 FASES DEL CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO

Este campo abarca las etapas de la vida de la edificación, en concreto su diseño, construcción y, finalmente, demolición y gestión de RCD (residuos de construcción y demolición).

En la actualidad, la construcción de edificios se ha convertido en una labor de creciente alcance, que pone en manos del diseñador el gran reto de conferir a su producto unas características de sostenibilidad cada vez más marcadas, que redunden en la eficiencia energética y en la reducción de las emisiones asociadas.

Las TIC deben proporcionar herramientas que gestionen de forma inteligente y eficiente todo el ciclo de vida de la edificación. Estas herramientas propician, además, entre otras actividades, la selección de la arquitectura, clasificación y tipología de las redes utilizadas.

III. ARQUITECTURA, CLASIFICACIÓN Y TOPOLOGÍA DE LAS REDES. MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Con el avance de las nuevas tecnologías de la información y en particular el avance en el campo de la microelectrónica se han desarrollado métodos de conexión en los sistemas desde el punto de vista comercial. Existen varios tipos de redes, entre estas las que se dedican a la industria e informática que se dividen de acuerdo a su arquitectura, clasificación y topología. Para el intercambio de información en estas redes se utilizan los medios de transmisión.

La arquitectura de un sistema domótico o inmótico especifica el modo en que los diferentes elementos de control del sistema se van a ubicar [6].

Arquitectura Distribuida: Es una arquitectura basada en nodos, no existe un único elemento principal, sino que cada subsistema administra una tarea de control en particular y estos van relacionados directamente con los elementos básicos. Estos sistemas se comunican por medio de un bus, el que posee un protocolo de comunicaciones hecho en cada uno de los subsistemas con unas técnicas de direccionamiento definidas para mantener el intercambio de información entre los diferentes elementos. Ver figura 1a).

Arquitectura Centralizada: Aquí el control y supervisión de los elementos y componentes se deben cablear hasta un sistema de control en el edificio, el cual puede ser un computador personal o un autómata. Este sistema es el principal control ya que recibe y reúne la información de los sensores, toma las decisiones y se las envía a los actuadores para que realicen la tarea designada. Ante cualquier falla que presente deja fuera de servicio el sistema domótico en su totalidad y sus reconfiguraciones son muy costosas. Los elementos que la componen no necesitan módulos adicionales para el direccionamiento ni interfaces de comunicación para distintos buses. Ver figura 1b).

Arquitectura Descentralizada: Es una combinación entre los sistemas con arquitectura centralizada y distribuida. Está basada en una o varias unidades de control de gestión y uno o varios módulos receptores o actuadores. Es la arquitectura en que todos los sistemas son totalmente independientes en su funcionamiento, pero deben estar comunicados entre sí por medio de un bus compartido. Ver figura 1c).

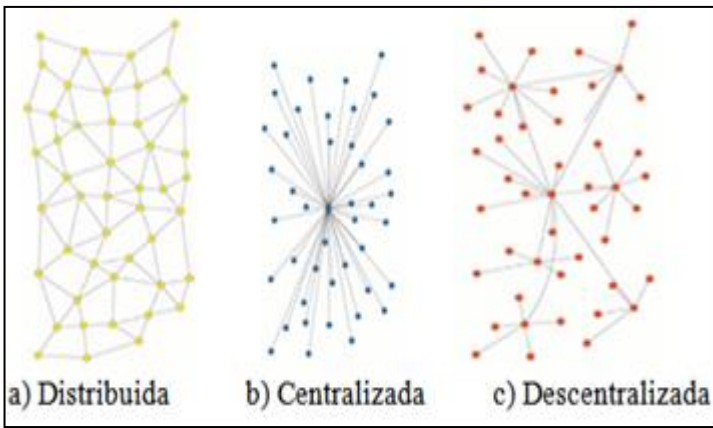


Figura 1: Arquitecturas de las Redes.

Fuente: Los autores, (2018).

En este artículo se utiliza una arquitectura de red distribuida que tendrá una estación de supervisión y mando central con una microcomputadora ubicada en el local central de automatización donde a través del bus se enlazan todos los elementos del sistema, cada elemento tiene una dirección IP.

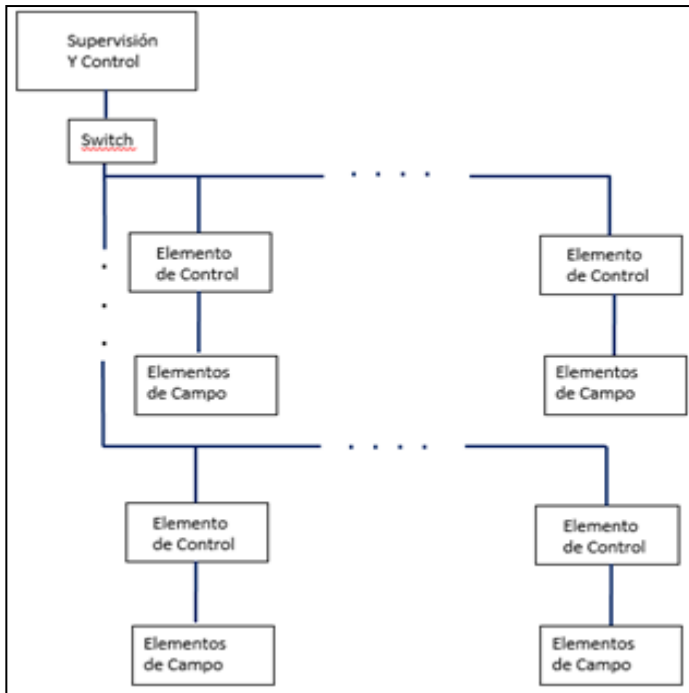


Figura 2: Diagrama en bloques de Red distribuida.

Fuente: Los autores, (2018).

III. 1 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES

Luego de realizar un estudio sobre las características de las redes industriales de automatización, del equipamiento utilizado y de los datos que van a circular por las mismas, se selecciona la Red Ethernet TCP/IP para lograr el cableado estructurado vertical (back bone), que enlaza el cuarto de control con los diferentes switch ubicados en los pisos habitacionales. Dicha red estará formada por fibra óptica en modo monomodo, la cual tiene un revestimiento o cladding de 125 micrómetros y un núcleo de 9 micrómetros a una velocidad de transmisión no inferior a 10.0 Gbps. Además, se utiliza el protocolo Modbus TCP/IP para lograr el cableado estructurado horizontal, comunicando el termostato de temperatura con pantalla LCD, que incluye el estado de funcionamiento (refrigeración,

calefacción y ventilación), velocidad del ventilador, temperatura ambiente y punto de ajuste, con el autómata de la habitación en tiempo real a través de cable UTP de 4x0.75 mm². Este protocolo también se emplea en la interface de comunicación inteligente Acti 9 Smartlink para el control de los breakers termo magnético en las pizarras eléctricas utilizando el conector RS 485 [16][17].

Con la selección de este tipo de red se logra robustez, seguridad y fiabilidad de la información. Además, se obtiene un sistema modular, sostenible, actualizable, que puede implementarse por etapas, así como migrar a otras variantes tecnológicas similares o superiores. El autómata seleccionado Modicon M221 trae un puerto embebido de este tipo a través de conector RJ 45.

III.2 TOPOLOGÍA DE LAS REDES

La topología de red se define como la cadena de comunicación usada por los nodos que conforman una red.

La topología la determina únicamente la configuración de las conexiones entre nodos y no las distancias entre ellos, las interconexiones físicas, las tasas de transmisión y los tipos de señales.

La topología de las redes determina como están conectados los componentes en una instalación domótica (sensores, unidades lógicas de control, actuadores, etc.) respecto al medio de comunicación. Ver figura 3.

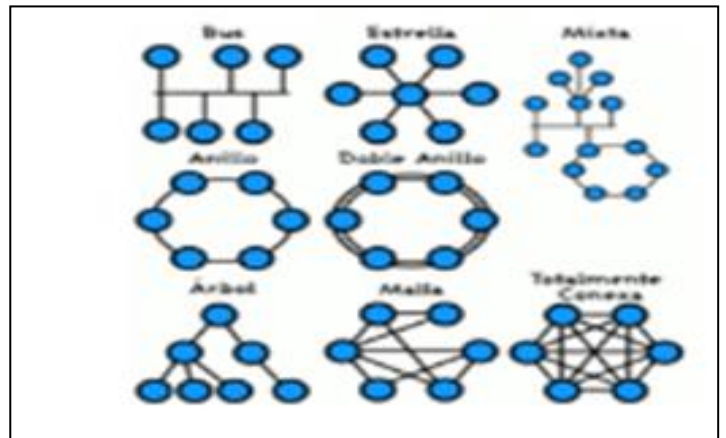


Figura 3: Diferentes topologías de Red.

Fuente: Los autores, (2018).

Aquí se utiliza una topología en bus en la que todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadores. Las estaciones utilizan este canal para comunicarse con el resto.

Se decide por esta topología en bus ya que con respecto a las otras tiene la facilidad en cuanto a añadir y quitar nodos al bus, además si un nodo tiene un fallo no afecta al resto del sistema como pasa con la estrella y el árbol, presenta menor costo en el cableado que otras estructuras, por ejemplo, la malla y permite realizar un sistema por etapas independientes.

III.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Los tipos de medios más utilizados para transmitir información en los sistemas domóticos son [8][9]:

- Sistemas que usan en todo o en parte señales que se acoplan y transmiten por la instalación eléctrica de baja tensión, tales como sistemas de corrientes portadoras.

- Sistemas guiados que utilizan en todo o en parte señales transmitidas por cables específicos para dicha función, tales como cables de pares trenzados, paralelo, coaxial o fibra óptica.
- Sistemas (no guiados) que usan señales radiadas, tales como ondas de infrarrojo, radiofrecuencia o ultrasonidos.

En este caso se utiliza en el cableado estructurado horizontal par trenzado UTP de 100 ohmios y un ancho de banda de 100 Mhz con una velocidad de transmisión no menor de 100 Mbps de 2x0.75 mm² y una longitud máxima de 100 m. En el caso del termostato de temperatura digital se utiliza cable par trenzado de 4x0.75 mm². En este tipo de cable dos conductores son entrelazados de forma helicoidal para suprimir las interferencias de fuentes externas y la diafonía de los cables adyacentes.

En el caso del cableado estructurado vertical (*back bone*), que enlaza el cuarto de control central con los diferentes *switch* ubicados en los pisos habitacionales, estará formado por fibra óptica en modo monomodo, la cual tiene un revestimiento o *cladding* de 125 micrómetros y un núcleo de 9 micrómetros a una velocidad de transmisión no inferior a 10.0 Gbps. Esta es un medio de transmisión inmune a las interferencias. Donde se transmite un sólo haz de luz por el interior de la fibra tiene un alcance de transmisión de 300 km en condiciones ideales, siendo la fuente de luz un láser. Ver figura 4.

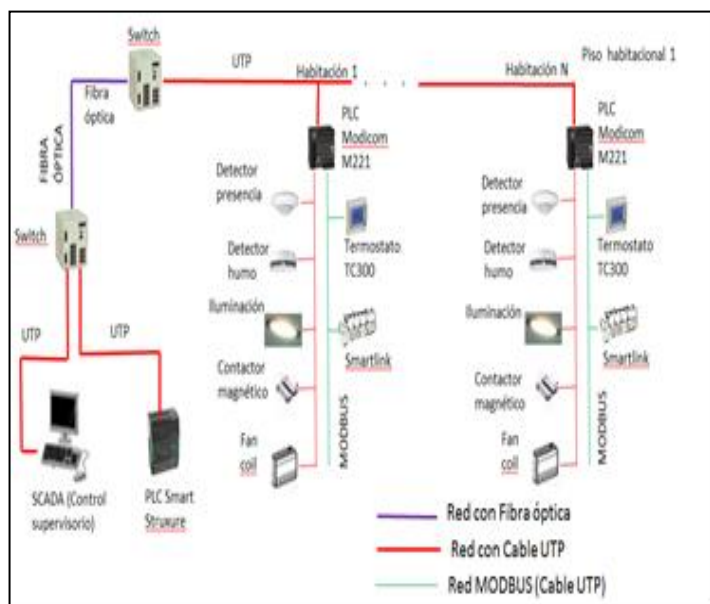


Figura 4: Esquema de comunicación horizontal.

Fuente: Los autores, (2018).

La categoría del cableado estructurado es 5E con una atenuación de 22 db y una pérdida de retorno de 20.1db. Todos los dispositivos de la red deben ser de categoría 5E.

Como parte de los medios de transmisión se pueden tener en cuenta los *switch*, de los cuales se utiliza el TCSESM163F2SCO de Schneider Electric que se conecta por medio de conector RJ 45, de categoría 5E, con 14 puertos 10/100 BASE –TX y 2 entradas de fibra óptica monomodo 100 BASE-FX (SCduplex).

Estos *switch* permiten el enlace entre el SCADA y los PLC en los diferentes pisos habitacionales.

IV. SCADA, PLC Y ELEMENTOS DE CAMPO. PANTALLA TÁCTIL

Un sistema SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel con el usuario (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos, entre otros) [10][18].

Un sistema SCADA está conformado por sistema de comunicaciones, unidad terminal remota (RTU), interfaz hombre-máquina (HMI), unidad terminal maestra (MTU) y transductores [7][8].

El término SCADA proviene de las siglas de "*Supervisory Control And Data Acquisition*", es decir, Control Supervisorio y Adquisición de Datos [19].

Como sistema de control supervisorio y adquisición de datos, SCADA, se utiliza el EROS. Creado para la industria del níquel, EROS es un sistema distribuido en el que sus diferentes componentes se interconectan a través de la Intranet Empresarial, siendo los componentes:

- Estaciones de medición.
- Estaciones de visualización.
- Servidores de reportes y servidores de tiempo.
- Un gran número de variables es posible configurar de

manera sencilla con EROS. La configuración del sistema es en caliente, por lo que no necesita detener el proceso de supervisión para efectuar cambios en la configuración. Utiliza toda la potencia en edición de tablas y gráficos que posee el Microsoft Excel y lo combina con la posibilidad de insertar en celdas seleccionadas los valores que se necesiten de las variables del EROS. La capa de red permite integrar a los sistemas que están operando en diferentes máquinas, haciendo visibles para cualquier sistema las variables situadas en ordenadores remotos [12].

- EROS se escoge por encima de otros SCADAs, como *One Supervisor* de Omron o *Vijeo Citect* de Schneider, por su número prácticamente ilimitado de variables con procesamiento estadístico, además facilita el control de la disciplina tecnológica de forma rápida y segura, puede trabajar minimizado permitiendo mantener el sistema aun cuando se necesite hacer uso de otros programas como Word, Excel, etc.

- EROS puede procesar funciones lógicas y matemáticas programadas por el usuario, se comunica con los dispositivos a través de manejadores lo que aporta mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a nuevos entornos, permite comunicación con autómatas SIEMENS, MODICON, NOVA, OMRON, SISCAL y otros, su fácil configuración en línea permite que usuarios no especializados, con orientaciones sencillas, puedan configurarlo.

- En el supervisor descansa la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan, por lo que se tiene una toma de decisiones sobre las últimas acciones de control por parte del supervisor, que recaen sobre el operario [10].

A través del SCADA propuesto se podrá contar con un monitoreo en tiempo real a distancia de las variables de las habitaciones y en caso de presentarse alguna anomalía o falla en una de ellas se estará en la capacidad de detectarlo de inmediato y tomar las acciones correctivas de acuerdo al problema planteado.



Figura 5: Partes del sistema SCADA.
Fuente: Los autores, (2018).

El SCADA se implementa en una computadora central, que sirve como HMI (Interfaz Hombre-Máquina), la cual controla toda la información proveniente de cada uno de los PLC conectados:

- Monitoreo y supervisión en tiempo real de la ocupación de la habitación: Condición de la habitación (habitación ocupada o libre), presencia de huésped (habitación en uso o habitación en no uso).
- Monitoreo en tiempo real del estado de las puertas y ventanas.
- Monitoreo y supervisión en tiempo real de la temperatura.
 - Estado de alarma por detección de humo.
 - Monitoreo y supervisión en tiempo real de la iluminación en habitaciones y pasillos.
 - Establecimiento del punto de consigna de la temperatura en las habitaciones.
 - El sistema de Control y de Supervisión (SCADA) estará centralizado y contará con tres niveles de dirección:
 - - El primer nivel:
 - Constituido por los elementos de campo (sensores y actuadores) que se encargan de enviar toda la información de los equipos tecnológicos y de recibir las señales de control de los niveles superiores. Ej: Válvulas de agua fría, termostatos de temperatura, sensores de presencia, módulos de contactores magnéticos de los interruptores automáticos de alumbrado, etc.

Para realizar las mediciones de las diferentes magnitudes físicas, eléctricas, mecánicas y otras que provienen de un medio exterior se utilizan dispositivos llamados sensores y transductores. Todos los elementos de campo utilizados son de la firma Schneider Electric.

Los sensores, considerados elementos transductores de entrada en un sistema domótico, permiten obtener los datos de los parámetros que se desean monitorear y/o controlar, realizando la conversión de magnitudes para transmitirla a la unidad encargada del procesamiento y control del estado de las variables a gestionar [6].

III.4 DETECTORES DE PRESENCIA

En las habitaciones se utilizan detectores de presencia ARGUS MTN 5510-1219 diseñados para cubrir la necesidad de conexión de la iluminación de una estancia donde se va a realizar una actividad, con un área de cobertura de 360°. Detectores tipo PIR que encienden la luz y la deja encendida hasta que detecta que ya no hay nadie en la habitación. Este se alimenta a 230VAC, 60 Hz y tiene un alcance de un radio de 7m. El dispositivo tiene salida a relé para detectar movimientos en función de la luminosidad, por ejemplo, para encender la iluminación. El tiempo de encendido puede ajustarse en el sensor de forma continua entre 10 s y 30 min. El detector comprueba constantemente la luminosidad de la habitación y, si hay suficiente luz natural, apaga la luz artificial, aunque alguien se encuentre en la habitación, tiene un ajuste entre 10 y 1000 luxes. Su conexión al PLC es por cable UTP.

Para los pasillos se utilizan detectores PIR del Sistema ARGUS MTN550499 de presencia de empotrar con alimentación a 230 VAC, 60 Hz compuesto por el cabezal sensor y un componente de potencia con cable fijo de 2.5 m, el cual se enchufa al cabezal sensor. Posee un área de cobertura de 360° y un alcance de 4 m para una altura de montaje de 2.5 m, cada cabezal sensor tiene 2 conectores hembra, por lo que se puede tender un cableado de paso. De este modo se pueden conectar un máximo de 8 cabezales sensores en un mismo componente de potencia (principio maestro-esclavo) con una distancia de 8 m. Se puede ajustar la luminosidad entre 10 y 1000 luxes. Este detector se conecta al PLC de la habitación más cercana al cuarto local de automatización por piso. Su conexión al PLC es por medio de cable UTP.

III.5 DETECTOR DE HUMO

El detector de humo óptico CONNECT 230V MTN548520 con una alimentación a 230 VAC detecta a tiempo los incendios. Funciona según el principio demostrado de dispersión de la luz. Los emisores y receptores de luz están colocados en la cámara de medición de forma que el haz luminoso del emisor no puede llegar directamente al receptor. Primero llega al receptor la luz dispersa por las partículas flotantes (efecto Tyndall), y luego se convierte en señal eléctrica. Gracias a este modo de construcción, no necesita ningún preparado radioactivo. El detector de humo detecta los incendios con rapidez y avisa de ellos. Si entra humo en la cámara de medición, se activa la señal acústica incorporada.

III.6 TERMOSTATO DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura se utilizarán termostatos de temperatura de tipo TC303-3A4DLMS De Luxe de la serie TC-300. Este cuenta con un control basado en microprocesador y una gran pantalla LCD retroiluminada. Los modos de pantalla LCD incluyen el estado de funcionamiento (refrigeración, calefacción y ventilación), velocidad del ventilador, temperatura ambiente y punto de ajuste. Este se comunica con el autómatas de la habitación a través del protocolo Modbus TCP/IP en tiempo real con cable UTP de 4x0.75 mm², vienen con la función de fallo de alarma incorporada para facilitar el mantenimiento.

Con una alimentación a 230VAC solo se activará el *fan coil* si hay presencia física del cliente habilitado y la temperatura del local es mayor que la predefinida como punto de consigna (*set point*), permitiendo fijar un punto de consigna de

temperatura, encender y apagar el *fan coil* y el cierre y apertura de las válvulas de forma local y remota.

Se instala una sonda de temperatura en el conducto de retorno del *fan coil* para promediar el valor real de temperatura dentro de la habitación y obtener un mejor control de esta variable.

III.7 CONTACTOS MAGNÉTICOS

Con los contactos magnéticos marrones 663093 se detectarán puertas y ventanas abiertas para poner el clima en operación económica al igual que cuando no esté el huésped en la habitación, pero después de 10 minutos. En posición neutral el relé está cerrado o abierto en dependencia si el contacto es normalmente cerrado o abierto, la apertura del objeto custodiado está supervisada mediante la distancia entre el relé y el magnético. En cuanto el magnético se aleja de la parte del contacto, el campo magnético, que afecta al relé, se reduce hasta que se cierra o abre y da una señal.

III.8 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN ACTI 9 SMARTLINK

La interface de comunicación inteligente *Acti 9 Smartlink* está diseñado para el control de los *breakers* termo magnéticos en las pizarras eléctricas. Es un protocolo universal y abierto que ofrece la posibilidad de comunicarse con el PLC por el conector RS 485 utilizando el Bus Modbus TCP/IP en conexión directa. Su montaje se puede realizar en rail DIN sin necesidad de suplementar espacio, posee 11 canales de entrada/salida y cada canal posee 2 entradas digitales a 24 VDC y una salida digital a 24 VDC, su alimentación es a 24V DC. Los *breakers* termo magnéticos se deben usar con el dispositivo auxiliar de indicación iOF+SD24.

III.9 CERRADURAS ELECTRÓNICAS RFID

Con el fin de reducir los principales gastos energéticos del hotel se implementa un sistema con cerraduras electrónicas RFID (Identificación por Radiofrecuencia) a 13.56 Mhz para incrementar la seguridad y simplificar la gestión de la institución, ofreciendo muchas más prestaciones que la simple apertura y cierre de puertas.

Los sistemas RFID a 13.56 MHz permiten la lectura/escritura del código de una tarjeta a corta distancia. No se requiere contacto con el lector, los códigos son leídos a distancia, de esta manera, se puede identificar y sin necesidad de contacto, con más comodidad, seguridad y durabilidad. El rango de lectura va de unos centímetros (proximidad) hasta varios metros, usando RFID activos, ideales para aplicaciones de trazabilidad y localización.

El funcionamiento es muy sencillo, el lector lanzará una petición a través de radiofrecuencia al chip que estará dentro del RFID. El mismo mandará una respuesta al lector, mostrando que es una persona autorizada. En este momento, la identificación se aprobará en tiempo real. Es un sistema de seguridad muy completo y realmente muy seguro donde el código es único.

La frecuencia 13.56 MHz no solo ofrece una gran seguridad, sino que en las propias tarjetas se puede guardar mucha información, para más tarde ser transferida rápidamente. El software provisto junto con la cerradura permite ser usado por diversos operadores.

Las tarjetas se pueden usar por clientes, personal de limpieza, personal de mantenimiento, gerencia y en caso de emergencia.

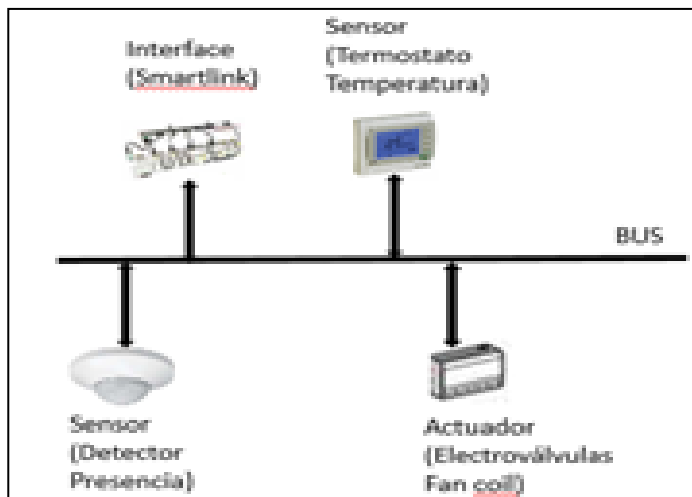


Figura 6: Elementos de campo.

Fuente: Los autores, (2018).

El segundo nivel:

- Se encargará de procesar toda la información del primer nivel. Tienen la posibilidad de comunicarse con controladores de su mismo nivel mediante Bus de datos (Modbus TCP/IP); y con el nivel superior. Estos controladores estarán distribuidos por todos los niveles habitacionales. Ej: Controladores Modicon M221.
- Como sistema de control para leer y procesar los datos de los sensores se utilizan los controladores lógicos programables (PLC).

Los PLC están definidos por la “*National Equipment Manufacturer’s Association, (NEMA)*” como: “aparatos electrónicos digitales que usan técnicas de programación de instrucciones almacenadas internamente para implementar funciones específicas tales como lógicas secuenciales, de temporización, de conteo y aritméticas para el control de máquinas y procesos”.

A diferencia de una computadora de control el PLC no requiere de programación, ni depuración, ni técnicas de mantenimiento muy sofisticadas. Los PLCs, se usan para el control de secuencias [11].

Se utiliza el PLC tipo Modicon M221CE16R para las habitaciones y el *SmartStruxure* en la sala central de automatización.

El Modicon M221CE16R es un PLC que se utiliza en cada habitación y se configura como esclavo. La configuración, programación y puesta en funcionamiento se lleva a cabo con el software *SoMachine Basic* descrito en la guía *SoMachine Basic - Guía de funcionamiento*. Se escogió el M221CE16R por su amplia variedad de potentes funciones, con una alimentación de 100-240VAC, 9 entradas/7 salidas lógicas y 2 entradas analógicas de 0 a 10V. Estos se conectan vía Ethernet TCP/IP a través de un conector RJ45 y par trenzado UTP con el *switch* del piso TCSESM163F2CSO de 14 puertos con entrada de fibra óptica en modo monomodo.

El PLC *SmartStruxure* supervisa y gestiona dispositivos del bus de campo. El software de Operación de Edificio *EcoStruxureTM* (antes conocido como software *StruxureWare*) mediante el cual se configura, programa y pone en funcionamiento, proporciona monitoreo integrado, control y gestión de energía, sistemas de climatización, iluminación y seguridad contra incendios. Es un sistema centralizado con

escalabilidad desde un solo edificio hasta una empresa global. En instalaciones medianas y grandes, la funcionalidad se distribuye a través de múltiples funciones. Son PLC que se comunican a través de TCP/IP.

El PLC *SmartStruxure*, utilizado como estación de trabajo profesional, *SW-STATION-PRO-0* (que incluye editor gráfico, script y editores de programación de bloques de funciones), se configura como master en la sala central automatización, requiere del módulo PS-24V que es una fuente de corriente directa que se alimenta a 24VAC o 24VDC y da a la salida 24VDC. Se comunica a través del conector Ethernet TCP/IP con el *switch* TCSESM163F2SCO de la sala central de automatización por medio del conector RJ 45 y par trenzado UTP.



Figura 7: Conexión de los PLC al SCADA.

Fuente: Los autores, (2018).

En la tabla 1 se pueden observar las entradas y salidas al PLC Modicon M221.

Tabla 1: Entrada/salida a supervisar y/o controlar por PLC.

Variables	ED	EA	SD	SA	Observación
Detector de presencia para iluminación	X				
Detector de humo	X				
Termostato de temperatura digital					Bus MODBUS
Contacto magnético puerta entrada	X				
Contacto magnético ventana	X				
Llave de entrada RFID	X				
Sonda de temperatura en conducto de retorno de fan coil.		X			
Acti 9 Smartlink					Bus MODBUS
Alarma al panel de corrientes débiles			X		
Nivel bajo ventilador de fan coil (Electroválvula)			X		
Nivel medio ventilador de fan coil (Electroválvula)			X		
Nivel alto ventilador de fan coil (Electroválvula)			X		
Estado de habitación			X		

ED: Entrada digital
 EA: Entrada analógica
 SD: Salida digital
 SA: Salida analógica

Fuente: Los autores, (2018).

- El tercer nivel:

Nivel de supervisión y control centralizado donde se recibe, mediante la red Ethernet de cableado estructurado (Protocolo TCP/IP), toda la información de los controladores programables de los procesos y equipos que controlan. En este se ubica una PC (computadora personal) para realizar esta acción.

III.9 PANTALLA PROFESIONAL TÁCTIL

En aras de brindar mayor comodidad y facilidad a los huéspedes se incorporan en las habitaciones pantallas profesionales táctiles interactivas *Big Pad* de Sharp de 60" soportadas a pared como la PN-L602B. Utilizan el sistema de detección de bloqueo infrarrojo propiedad de Sharp, que utiliza múltiples sensores infrarrojos para localizar la posición del dedo del usuario o el lápiz táctil. Estas pantallas permiten dibujar, escribir y manipular el contenido de la pantalla, por lo que brinda la comodidad de escritura en pantalla para mayor variedad profesional, es una herramienta que permite que los usuarios escriban en la pantalla *Big Pad* (hasta cuatro personas simultáneamente) a través de sus dispositivos utilizando los *Pen Software* (lápices táctiles) conectados de forma inalámbrica.

El control táctil permite a los usuarios cambiar páginas y ampliar o mover un objeto, hacer anotaciones a la vez que muestra texto, imágenes y notas escritas a mano y permiten comunicación bidireccional.

Se pueden enlazar a través de una Tableta (PC) con *Android e iOS* permitiendo lograr mayor información con el contenido de forma fácil e intuitiva.

Esta pantalla con una alimentación de 100-240VAC, 60Hz se conecta por medio de la placa interfaz PN-ZB01 y un conector RJ45 a un enrutador y servidor que forman parte de una red LAN hasta la PC de Carpeta y Comercial permitiendo los siguientes servicios:

- Bienvenida.
- Matutino.
- Selección de lenguaje.
- Información del Hotel.
- Servicio de Mensajería.
- Servicio de Habitaciones.
- Selección de programas de TV.
- *Check out*
- Otros.

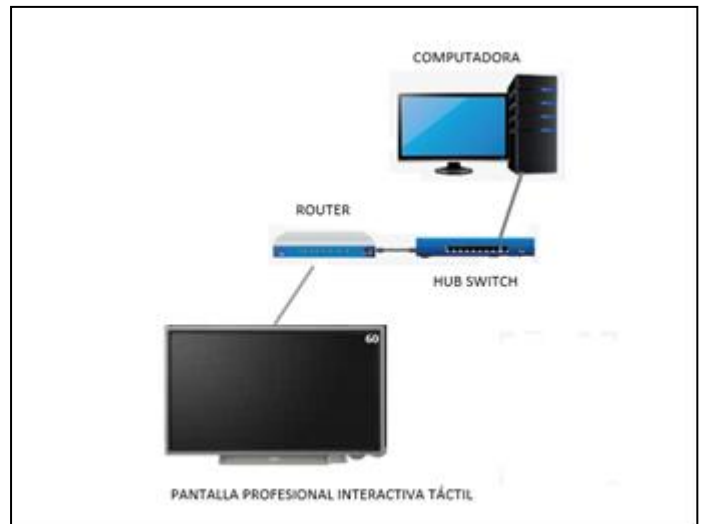


Figura 8: Pantalla profesional conectada a PC.

Fuente: Los autores, (2018).

Se instalarán registros de 100mm x 100mm x 55mm en todas las habitaciones y en los pasillos habitacionales, incluyendo los casetones registrables de los pasillos habitacionales para el cableado desde las bandejas hasta los paneles eléctricos de las habitaciones.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

Con la utilización de las TIC y las herramientas necesarias para el diseño de un sistema inmótico en un hotel 5 estrellas plus se logra aumentar la eficiencia energética, el confort, la seguridad, mejorar las comunicaciones y la accesibilidad, así como el control y la gestión.

Para lograr la comunicación entre todos los dispositivos del sistema inmótico se utiliza la arquitectura de red distribuida, la cual, a través del bus enlaza todos los elementos del sistema y donde cada elemento tiene una dirección IP. Cuenta con una PC en la sala de control para supervisar y controlar las diferentes variables.

En el diseño se utiliza la red Ethernet TCP/IP y el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP. Esta red transmite los datos en forma de paquete y cada nodo escucha dicha transmisión y verifica si está destinada a ese nodo; solo responde el nodo que corresponde al direccionamiento de destino. El protocolo Modbus TCP/IP permite desarrollar el formato de los mensajes que los diferentes elementos de control deben utilizar para entenderse unos con otros y que puedan intercambiar información de una manera segura y coherente.

Para el diseño del sistema de control supervisorio y adquisición de datos, SCADA, se utiliza el software profesional EROS, y el mismo estará centralizado y contará con tres niveles de dirección.

- En el primer nivel se encuentran los elementos de campo, sensores y actuadores, que se encargan de enviar toda la información y de recibir las señales de control de los niveles superiores.

- Dentro de las habitaciones se utilizan detectores PIR (Presencia Infrarrojo) de presencia ARGUS MTN 5510-1219, que presentan características que lo hacen idóneos para este tipo de sistemas, pues cuentan con un área de cobertura de 360°, tienen un alcance de 7m, presenta un ajuste entre 10 y 1000 luxes y su conexión al PLC es por cable UTP.

En los pasillos se utilizan detectores de presencia PIR del tipo ARGUS MTN550499 de empotrar. Los mismos poseen un área de cobertura de 360° y un alcance de 4 m con una altura máxima de montaje de 2.5 m. Pueden conectarse un máximo de 8 dispositivos sensores, principio maestro-esclavo, con una distancia de 8 m.

El detector óptico de humo CONNECT 230V MTN548520 se utilizará dentro de las habitaciones. Funciona según el principio de dispersión de la luz. Los emisores y receptores de luz están colocados en la cámara de medición de forma que el haz luminoso del emisor no puede llegar directamente al receptor. Si llega el humo a la cámara de medición se activa la señal acústica incorporada.

Para medir la temperatura se utilizarán termostatos de tipo TC303-3A4DLMS De Luxe de la serie TC-300. Se comunica con el autómatas de la habitación a través del protocolo MODBUS TCP/IP con cable UTP de 4x0.75 mm² y vienen con la función de fallo de alarma incorporada para facilitar el mantenimiento. Además, se instala una sonda de temperatura en el conducto de retorno del fan coil para promediar el valor real de temperatura dentro de la habitación y obtener un mejor control de esta variable.

- El segundo nivel se encargará de procesar toda la información del nivel anterior. Se utiliza el PLC Modicon M221 como esclavo para comunicar todos los elementos de campos y el PLC *SmartStruxure* como Maestro para controlar los dispositivos del bus de campo.

- El tercer nivel, de supervisión y control centralizado, recoge toda la información de los PLC del sistema mediante la red Ethernet de cableado estructurado (Protocolo TCP/IP). En este nivel se ubica una PC para realizar esta acción y mostrar el SCADA diseñado.

V. REFERENCIAS

[1] Percy Viego, Felipe; Cambra Díaz, Adrian; Cortiza Sardiñas, Rocío y Martínez Hernández, Tanayi. **Edificios inteligentes**. Consultado el 15 de febrero 2018. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia60/HTML/Articulo09.html>

[2] Tiscornia, Eduardo; De Felipe, Ariel. **Domótica: La vivienda inteligente**. Consultado el 15 de febrero 2018. Disponible en: <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT3/CYT308.pdf>

[3] Bravo Santos, Crescencio. **Un sistema de soporte al aprendizaje colaborativo del diseño domótico mediante herramientas de Modelado y Simulación**. Tesis Doctoral. UNIVERSIDAD DE CASTILLA – LA MANCHA, Escuela Superior de Informática de Ciudad Real Departamento de Informática, Ciudad Real, 2002.

[4] Guido Miranda, Reyna; Villacrés Moreno, Raúl; Villamar Mendieta, Franklin. **Diseño de un sistema domótico aplicado a una clínica de hemodiálisis**. Tesis de grado. Guayaquil – Ecuador. Año 2009.

[5] Junta de Andalucía. **Estado del arte de las TIC aplicada a la edificación inteligente**. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia, octubre 2011.

[6] Henao Merchán, Oscar David. **Hardware y software domótico**. Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería eléctrica y electrónica, Medellín, 2006.

[7] Mendiburu Díaz, Henry Antonio. **AUTOMATIZACIÓN MEDIO AMBIENTAL. Aplicación de la automatización industrial y el control de procesos, en la protección y conservación del medio ambiente**. Lima, Perú. MMIII.]

[8] Núñez Álvarez, José Ricardo. **Paquete tecnológico: Sistema de supervisión y control utilizando protocolos de comunicación inalámbricas**. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Control Automático, diciembre 2014.

[9] Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones, **Redes de sensores. Aplicaciones para control automático de edificios**, enero 2010.

[10] Carrero T, Dany N. **Diseño de un sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA) para el monitoreo remoto de los sistemas de energía ininterrumpida (UPS) perteneciente al sistema eléctrico de una refinería en el país**. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Sistemas y Automáticas. Valencia – Venezuela. Valencia, abril de 2008.

[11] Program Logic Control. Consultado el 12 de enero 2018. Disponible en: www.oocities.org/gabrielordonez_ve/Unidades_Remotas_SCADA.htm

[12] Ramírez, J. G. **Diseño de un sistema inmótico en el Hotel Club Amigo Marea del Portillo en Pilon, Granma.** Tesis en opción al Título de Ingeniero en Automática. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba. 2014.

[13] DOMODESK. (2015). **A Fondo Inmótica.** Consultado el 10 de febrero 2018. Disponible en: <http://www.domodesk.com>.

[14] Ortiz Cabrera, Mario Andrés. **Optimización del sistema inmótico en el hotel RENAISSNCE de Barcelona.** Trabajo de fin de Master, Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, marzo 2011.

[15] Carbonell Mestre, Danilo Mariano. **Diseño de un sistema inmótico en el bloque habitacional del hotel Plaza de Santiago de Cuba.** Tesis presentada en opción al Título académico de Master en Ciencias en Automática, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba 2018.

[16] LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Sistemas fieldbus para automação industrial:deviceNet, CANopen, SDS e Ethernet.** Erica 2009.

[17] LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes Industriais para Automação Industrial: ASI, PROFIBUS e PROFINET.** Erica 2010.

[18] Stuart G. McCrady **Designing SCADA Application Software.** Elsevier.USA. 2013.

[19] Krutz, Ronald L. **Securing SCADA Systems.** Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana. USA. 2006

[20] Kurouse, Ross. **Redes de Computadores y la Internet. Un enfoque top-down.** 6ta edición. Editorial Pearson 2014.

[21] Behrouz, A. Forouzan. **Transmisión de datos y redes de comunicaciones.** Segunda edición. McGraw-Hill España. 2002.

[22] Aguilar, José; Rios Bolivar, Addison; Hidrobo, Francisco; Cerrada, Mariela. **Sistemas MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial.** 2da Edición. ULA, Mérida, Venezuela, 2013.

Comparative analysis between SINAPI's indexes and those adopted by the companies of the city of Manaus in the services of concrete production and frame

Daniel Damião Almeida de Almeida¹, Willace Lima de Souza², Darlei dos Anjos Lavor³

^{1,2,3} Centro Universitário do Norte (UniNorte) – Laureate International Universities – Manaus-AM.

Email: engdanieldamiao@gmail.com; willace.souza@uninorte.com.br; darleilavor27@gmail.com

Received: NOVEMBER 28th, 2017.

ABSTRACT

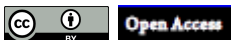
Accepted: January 08th, 2018.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



In the present study, a comparative analysis between the SINAPI's indexes and those adopted by companies of the city of Manaus-AM is presented, in the services of concrete production and frame. The differences between the indexes and the economic impact caused by them were verified, through budgetary simulation with data from State Secretariat of Infrastructure of Amazonas, where was attested the viability of using the SINAPI values only to the inputs defined as materials, while those referring to labor and equipment, according to this research, need greater care because they present significant differences between the costs studied, safety, control and management, communications, accessibility and the building's life cycle.

Keywords: Budgets, Compositions, Indexes, Concrete, Frame.

Análise comparativa entre os índices aferidos pelo SINAPI e os adotados por empresas da cidade de Manaus nos serviços de produção de concreto e armação

RESUMO

No presente estudo, é apresentada uma análise comparativa entre os índices adotados pelo SINAPI e por empresas da cidade de Manaus-AM, nos serviços de produção de concreto e armação. Foram verificadas as diferenças percentuais entre os índices e o impacto econômico provocados pelos mesmos, através de simulação orçamentária com dados da Secretaria de Estado de Infraestrutura do Amazonas, onde atestou-se a viabilidade da utilização dos valores do SINAPI apenas no tocante aos insumos caracterizados como materiais, enquanto aqueles referentes à mão de obra e equipamentos, de acordo com esta pesquisa, necessitam de maiores cuidados por apresentarem significativas diferenças entre os custos estudados.

Palavras Chaves: Orçamentos, Composições, Índices, Concreto, Armação.

I INTRODUÇÃO

No setor da construção civil, diante de um mercado competitivo que engloba as empresas nos dias atuais, um planejamento preciso, detalhado e que represente fidedignamente a realidade da obra é primordial para a elaboração do orçamento final que atenda as exigências do cliente, ao assegurar a qualidade final do produto, assim como os exigentes cronogramas.

Muitos são os itens que influenciam e contribuem para o custo de um empreendimento, a fim de cumprir, principalmente, o prazo da obra. Dentre estes itens, está a produtividade, correspondente à taxa de produção dos operários e equipamentos

e o consumo dos materiais para a execução de determinado serviço, ou seja, a quantidade de unidades de trabalho produzida em um intervalo de tempo [1].

O planejamento de uma obra se constitui em um dos principais aspectos do gerenciamento, onde engloba-se orçamento, suprimentos, produtividade, relações interpessoais, comunicação, tecnologia, infraestrutura, etc. [2]. Nesse sentido, o levantamento dos custos é a primeira ação a ser empreendida para determinar a realização ou não de um empreendimento e o montante a ser investido, para limitar o vulto da obra e, até mesmo, para definir as especificações da mesma [3].

Ressalta-se que para a elaboração das composições de custo unitário, definidas como o processo de estabelecimento dos

custos incorridos para a execução de um serviço ou atividade, discriminados por insumo, como mão de obra, materiais e equipamentos, considera-se a utilização de índices, caracterizados por ser o inverso da produtividade, ou seja, a incidência de cada insumo na execução de uma unidade de serviço [1][4].

Para a construção de composições de custo unitário, existem inúmeras tabelas para referência, dentre elas a da PINI, apresentadas na TCPO - Tabela de Composição e Preços para Orçamentos, que é uma das que mais se aproximam da realidade da obra [5].

Ademais, também são utilizadas as tabelas do SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil, que de forma geral, segundo a Caixa Econômica Federal, estabelece regras e diretrizes para construção do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, para obtenção de referência de custo, e pela Lei 13.303/2016 [6].

Desta forma, o presente estudo tem como intento a análise dos coeficientes aferidos pelo SINAPI, em comparação aos adotados por empresas da Cidade de Manaus, no que se refere aos serviços de produção de concreto e de armação de estruturas de concreto armado.

II METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho consiste na análise da viabilidade da utilização dos coeficientes aferidos pelo SINAPI para a elaboração de orçamento de obras verticais na cidade de Manaus, no âmbito privado, com ênfase nas composições de custo unitário dos serviços de produção de concreto e de armação de estruturas de concreto armado.

II.1 PREMISSAS TÉCNICAS

Neste caso, o método de pesquisa caracterizou-se pela execução de seis etapas, conforme disposto na Figura 1, onde por fim, através de uma simulação orçamentária, foi possível avaliar de forma contábil, as diferenças existentes entre os índices adotados por empresas da cidade de Manaus e pela Caixa Econômica Federal (CEF), em conjunto com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).



Figura 1: Fluxograma das etapas adotadas nesta pesquisa.

Fonte: Autores, (2017).

II.2 COLETA DOS DADOS

Inicialmente, para a realização desta pesquisa, foram coletados orçamentos junto a quatro empresas de pequeno e médio porte da cidade de Manaus, que não utilizavam tabelas de referência para a elaboração de composições de custo unitário para serviços de obras verticais e que, além disso, adotavam os índices conforme a experiência adquirida ao longo do tempo na construção civil, assim como em função do conhecimento da produtividade da mão de obra e equipamentos.

Em seguida, foram consultados os cadernos técnicos referentes aos serviços de produção de concreto e armação de estruturas de concreto armado, disponibilizados pela CEF, onde os mesmos, além de exibirem os insumos da composição e suas características, também apresentam os processos para quantificação do serviço, critérios de aferição, normas técnicas, dentre outros fatores que permitem a seleção dos índices com segurança.

II.3 LEVANTAMENTO DOS ÍNDICES

Após a coleta dos dados, foi realizado o levantamento dos índices através das composições de custo unitário disponibilizadas pelas quatro empresas da cidade de Manaus, assim como dos cadernos técnicos do SINAPI, onde discriminou-se os insumos em materiais, mão de obra e equipamentos. Ressalta-se que, quanto à mão de obra envolvida nos serviços, foram adotados os índices cujos encargos sociais apresentavam-se incluídos.

No caso do serviço de produção de concreto, foi considerada a composição que apresentava a utilização de betoneira com capacidade de 400 litros e a resistência característica à compressão (f_{ck}) igual a 25 MPa, caracterizando-o como concreto estrutural, conforme ilustrado na Figura 2.

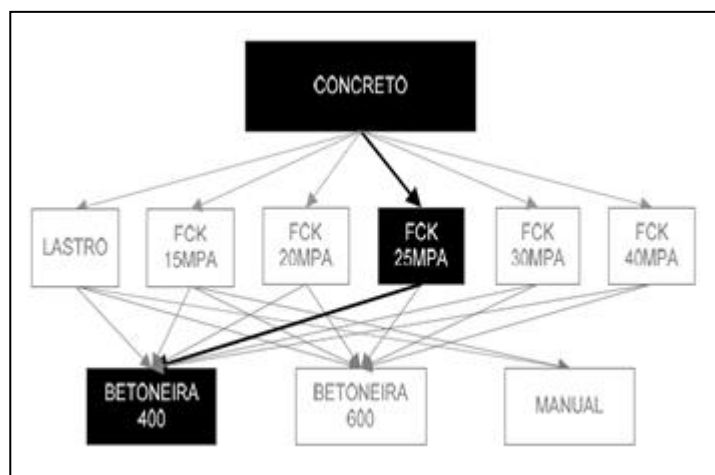


Figura 2: Árvore de fatores do serviço de produção do concreto. Fonte: SINAPI (caderno técnico), (2017).

Para o serviço de armação de estruturas de concreto armado, foi considerada a composição que utilizava o aço CA-50A, onde o mesmo, para o caso das empresas, é aplicado para todas as bitolas e elementos estruturais. No tocante ao caderno técnico do SINAPI que trata sobre as armações, verificou-se que são apresentados índices conforme a dimensão da bitola e a aplicação estrutural (lajes, vigas e pilares) e por isso, consideraram-se os diâmetros em que os índices proporcionariam um menor e um maior impacto no custo na obra.

Desta forma, foram utilizadas as bitolas de diâmetro igual 20 mm e 6,3 mm, com a aplicação em lajes de concreto armado, em função de apresentarem, respectivamente, menor e maior relevância do ponto de vista econômico.

Ademais, foi obtida a média aritmética entre os índices dos insumos apresentados pelo caderno técnico para a execução de armação de estruturas de concreto armado, onde englobam-se todos os diâmetros, tanto para lajes, como para vigas e pilares, a fim de avaliar a proximidade destes valores médios em relação aos adotados pelas empresas.

II.4 ELABORAÇÃO DE PLANILHA

Posteriormente ao levantamento dos índices, foi elaborada uma planilha com auxílio do programa computacional *Microsoft Office Excel 2016*, no intento de permitir uma análise mais refinada em relação aos valores em estudo, de forma a verificar as similaridades ou diferenças existentes entre eles.

II.5 ESTUDO COMPARATIVO

A partir da planilha de índices, foi realizada uma análise comparativa percentual entre as empresas e o SINAPI, em relação a cada insumo que compõe os serviços em estudo, a fim de avaliar os seguintes aspectos:

- Diferenças entre as empresas;
- Diferenças das empresas em relação à média aritmética e o SINAPI;
- Cenário da cidade de Manaus no tocante à produtividade.

II.6 SIMULAÇÃO ORÇAMENTÁRIA

No intuito da visualização do impacto dos índices quanto ao âmbito financeiro, foi realizada uma simulação orçamentária para cada uma das quatro empresas em estudo e para o SINAPI, onde consideraram-se os custos unitários utilizados pela Secretaria de Estado de Infraestrutura do Amazonas (SEINFRA-AM), a fim de se obter uma maior proximidade à realidade local.

Neste caso, optou-se pela não utilização do BDI, em virtude de não proporcionar diferenças relevantes, e por ser possível a análise dos resultados apenas com os valores de índices e custos unitários referentes aos insumos que compreendem os serviços de produção de concreto e armação de estruturas de concreto armado.

II.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com posse dos resultados obtidos através da simulação orçamentária, realizou-se uma análise comparativa contábil, representada percentualmente e graficamente, no intuito de verificar as diferenças existentes entre os valores adotados pelas empresas e pelo o que é proposto pela Caixa Econômica Federal, e a viabilidade da utilização das tabelas de referência do SINAPI para elaboração de orçamentos de obras na cidade de Manaus.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa, assim como descrito na metodologia, apresentam uma série de observações em relação à viabilidade da utilização dos coeficientes aferidos pelo SINAPI para a elaboração de orçamento de obras verticais na cidade de Manaus, no que se refere aos serviços de produção de concreto e armação de estruturas de concreto armado, onde destaca-se que

para o primeiro serviço, é considerada a utilização de betoneira com capacidade de 400 litros e o f_{ck} igual a 25 MPa, e para o segundo, adotou-se a utilização do aço CA-50A.

III.1 ÍNDICES DOS SERVIÇOS

A Tabela 1 apresenta os valores de índices que são adotados pelas quatro empresas envolvidas no estudo, assim como a média aritmética das mesmas e os aferidos pelo sistema da CEF, para os insumos que compõem o serviço de produção de concreto.

Tabela 1: Índices do serviço de produção de concreto.

CONCRETO ESTRUTURAL	A	B	C	D	Média	SINAPI
Cimento Portland	365,0	400,0	350,0	351,7647	366,6911	362,66
Areia	0,830	0,6	0,6	0,61394	0,66099	0,751
Brita	0,840	0,5	0,5	0,87816	0,67954	0,593
Pedreiro	2,0	3,0	3,0	3,19992	2,79998	1,46
Servente	8,0	8,0	8,0	4,80008	7,20002	2,31
Betoneira (400 litros)	0,036	0,040	0,038	0,70693	0,20523	0,750

Fonte: Autores, (2017).

A princípio, percebe-se que os valores correspondentes aos materiais (Cimento Portland, areia e brita) apresentam diferenças mínimas quando comparados entre as empresas e o SINAPI. Porém, em relação à mão de obra (pedreiro e servente), nota-se que os valores adotados pelas empresas da cidade de Manaus distanciam-se dos valores aferidos pela CEF, assim como acontece no que se trata ao insumo referente aos equipamentos (betoneira), onde apenas a Empresa D se aproxima do valor estabelecido pelo SINAPI.

Nas Tabelas 2 e 3, são destacados os índices dos insumos que compõem o serviço de armação de estruturas de concreto armado.

Tabela 2: Índices do serviço de armação (Empresas).

ARMAÇÃO	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Aço CA-50	1,05	1,00	1,00	1,1007633
Arame Recozido Nº 18	0,02	0,03	0,03	0,02093
Espaçador Circular de Plástico	11,70	1,35	1,32	1,32
Armador	0,07	0,13	0,13	0,06416
Ajudante de Armador	0,07	0,13	0,13	0,06486

Fonte: Autores, (2017).

Tabela 3: Índices do serviço de armação (Média e SINAPI).

ARMAÇÃO	Média das Empresas	SINAPI		
		Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Aço CA-50	1,03769	1,00	1,00	1,00
Arame Recozido Nº 18	0,02523	0,025	0,025	0,025
Espaçador Circular de Plástico	3,92250	0,010	1,333	0,4321
Armador	0,09854	0,0094	0,065	0,039
Ajudante de Armador	0,09872	0,0015	0,0105	0,0064

Fonte: Autores, (2017).

Preliminarmente, foi evidenciado que no caso dos valores aferidos pelo SINAPI, os índices correspondentes ao aço CA-50 e ao arame recozido nº 18 não apresentam diferenças em função do diâmetro do aço e da aplicação estrutural. Dessa forma, os índices pertencentes aos menores e maiores valores, assim como à média geral, caracterizam-se por serem iguais, conforme apresentado na Tabela 3.

Com base nisso, observa-se que os índices referentes aos insumos da classe dos materiais apontam proximidade quando comparados em função das empresas e do maior valor disponibilizado pelo CEF, exceto para o caso da Empresa A no insumo correspondente ao espaçador circular de plástico, onde o valor apresentado se difere expressivamente em relação aos demais.

Por fim, assim como ocorrido quanto ao serviço de produção de concreto, os valores de índices estabelecidos para os insumos referentes à mão de obra do serviço de armação de estruturas de concreto armado, que são adotados pelas empresas, distanciam-se do que é sugerido pelo SINAPI, exceto no tocante ao índice da Empresa D correspondente ao armador, onde nesta situação, apresenta-se um valor próximo quando comparado ao maior valor aferido pelo sistema da CEF.

III.2 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ÍNDICES

No intento de exibir o quanto cada empresa se difere em relação às demais, a Tabela 4 permite, através de uma análise percentual entre os valores obtidos por intermédio da planilha de índices, destacar as seguintes observações quanto ao serviço de produção de concreto:

- Em relação ao cimento Portland, os índices adotados pelas empresas sempre demonstram proximidade entre os valores;
- Quanto à mão de obra, os valores atribuídos ao servente são afins, exceto para a Empresa D;
- A Empresa B apresenta valores próximos e muitas vezes iguais comparados aos adotados pela Empresa C;
- A Empresa D, no que se refere ao insumo betoneira, apresenta uma diferença superior a 1700,00% em relação às demais empresas.

Tabela 4: Análise percentual dos índices de produção de concreto (Empresas).

Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Cimento Portland	91,25%	104,29%	103,76%
Areia	138,33%	138,33%	135,19%
Brita	168,00%	168,00%	95,65%
Pedreiro	66,67%	66,67%	62,50%
Servente	100,00%	100,00%	166,66%
Betoneira	90,00%	94,74%	5,09%
Empresa B	Empresa A	Empresa C	Empresa D
Cimento Portland	109,59%	114,29%	113,71%
Areia	72,29%	100,00%	97,73%
Brita	59,52%	100,00%	56,94%
Pedreiro	150,00%	100,00%	93,75%
Servente	100,00%	100,00%	166,66%
Betoneira	111,11%	105,26%	5,66%
Empresa C	Empresa A	Empresa B	Empresa D
Cimento Portland	95,89%	87,50%	99,50%
Areia	72,29%	100,00%	97,73%
Brita	59,52%	100,00%	56,94%
Pedreiro	150,00%	100,00%	93,75%
Servente	100,00%	100,00%	166,66%
Betoneira	105,56%	95,00%	5,38%
Empresa D	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Cimento Portland	96,37%	87,94%	100,50%
Areia	73,97%	102,32%	102,32%
Brita	104,54%	175,63%	175,63%
Pedreiro	160,00%	106,66%	106,66%
Servente	60,00%	60,00%	60,00%
Betoneira	1963,69%	1767,33%	1860,34%

Fonte: Autores, (2017).

Logo, observa-se que para o serviço de produção de concreto, a Empresa C é a que mais se aproxima em relação às demais e a Empresa D é a que mais se distancia, principalmente em função da expressiva diferença ocasionada pelo insumo betoneira. Porém, de maneira geral, as empresas apresentam poucas diferenças entre si no tocante aos valores que são adotados para os insumos que fazem parte da composição deste serviço.

De forma análoga à apresentada anteriormente, a Tabela 5 apresenta os valores obtidos através da análise percentual entre os índices do serviço de armação de estruturas de concreto armado.

Tabela 5: Análise percentual dos índices de armação.

Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Aço CA-50	105,00%	105,00%	95,39%
Arame Recozido Nº 18	66,67%	66,67%	95,56%
Espaçador Circular de Plástico	866,67%	886,36%	886,36%
Armador	53,85%	53,85%	109,10%
Ajudante de Armador	53,85%	53,85%	107,92%
Empresa B	Empresa A	Empresa C	Empresa D
Aço CA-50	95,24%	100,00%	90,85%
Arame Recozido Nº 18	150,00%	100,00%	143,33%
Espaçador Circular de Plástico	11,54%	102,27%	102,27%
Armador	185,71%	100,00%	202,62%
Ajudante de Armador	185,71%	100,00%	200,43%
Empresa C	Empresa A	Empresa B	Empresa D
Aço CA-50	95,24%	100,00%	90,85%
Arame Recozido Nº 18	150,00%	100,00%	143,33%
Espaçador Circular de Plástico	11,28%	97,78%	100,00%
Armador	185,71%	100,00%	202,62%
Ajudante de Armador	185,71%	100,00%	200,43%
Empresa D	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Aço CA-50	104,83%	110,08%	110,08%
Arame Recozido Nº 18	104,65%	69,77%	69,77%
Espaçador Circular de Plástico	11,28%	97,78%	100,00%
Armador	91,66%	49,35%	49,35%
Ajudante de Armador	92,66%	49,89%	49,89%

Fonte: Autores, (2017).

Neste caso, constatam-se as seguintes observações a respeito dos resultados obtidos pela tabela acima:

- Os insumos referentes ao aço CA-50 e arame recozido nº 18 apresentam proximidade entre os valores adotados pelas empresas;
- A Empresa B apresenta valores iguais aos adotados pela Empresa C, exceto no insumo referente ao espaçador circular de plástico, onde há uma diferença inferior a 3%;
- A Empresa A apresenta uma diferença de 866,67% em relação às demais empresas no que se refere ao espaçador circular de plástico.

Portanto, de forma geral, é possível verificar que a Empresa D é a que mais se aproxima em relação às demais, enquanto a Empresa A é a que mais se difere, em virtude da expressiva diferença, em relação aos adotados pelas empresas, do valor do índice correspondente ao espaçador circular de plástico. Desta forma, pode-se considerar que para a maioria dos insumos que fazem parte da composição do serviço de armação de estruturas de concreto armado, as empresas apresentam poucas diferenças entre si.

No que se refere ao comportamento dos índices adotados pelas empresas em relação à média aritmética e ao SINAPI, as Tabelas 6 e 7 apontam, respectivamente, as diferenças percentuais existentes entre os insumos que compõem o serviço de produção de concreto e o de armação de estruturas de concreto armado.

Tabela 6: Análise percentual dos índices de produção de concreto (Média e SINAPI).

Empresa A	Média das Empresas	SINAPI
Cimento Portland	99,54%	100,65%
Areia	125,57%	110,52%
Brita	123,61%	141,65%
Pedreiro	71,43%	136,99%
Servente	111,11%	346,32%
Betoneira	17,54%	4,80%
Empresa B	Média das Empresas	SINAPI
Cimento Portland	109,08%	110,30%
Areia	90,77%	79,89%
Brita	73,58%	84,32%
Pedreiro	107,14%	205,48%
Servente	111,11%	346,32%
Betoneira	19,49%	5,33%
Empresa C	Média das Empresas	SINAPI
Cimento Portland	95,45%	96,51%
Areia	90,77%	79,89%
Brita	73,58%	84,32%
Pedreiro	107,14%	205,48%
Servente	111,11%	346,32%
Betoneira	18,52%	5,07%
Empresa D	Média das Empresas	SINAPI
Cimento Portland	95,93%	97,00%
Areia	92,88%	81,75%
Brita	129,23%	148,09%
Pedreiro	114,28%	219,17%
Servente	66,67%	207,80%
Betoneira	344,45%	94,26%

Fonte: Autores, (2017).

Neste contexto, observa-se que para o serviço de produção de concreto, a Empresa C é a que mais se aproxima da média das empresas, enquanto a Empresa D é a que mais distancia, assim como confirmado anteriormente quando analisadas as porcentagens entre as empresas.

Quando comparadas aos valores aferidos pelo SINAPI, percebe-se que do mesmo modo que acontece na análise entre as médias das empresas, a Empresa C é a que mais se aproxima dentre os índices apresentados, enquanto a Empresa D é a que mais se difere.

Tabela 7: Análise percentual dos índices de armação (Média e SINAPI).

Empresa A	Média das Empresas	SINAPI		
		Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Aço CA-50	101,19%	105,00%	105,00%	105,00%
Arame Recozido Nº 18	79,26%	80,00%	80,00%	80,00%
Espaçador Circular de Plástico	298,28%	117000,00%	877,72%	2707,71%
Armador	71,04%	744,68%	108,36%	179,49%
Ajudante de Armador	70,91%	4666,67%	666,67%	1093,75%
Empresa B	Média das Empresas	SINAPI		
		Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Aço CA-50	96,37%	100,00%	100,00%	100,00%
Arame Recozido Nº 18	118,89%	120,00%	120,00%	120,00%
Espaçador Circular de Plástico	34,42%	13500,00%	101,28%	312,43%
Armador	131,93%	1382,98%	201,24%	333,33%
Ajudante de Armador	131,69%	8666,67%	1238,10%	2031,25%
Empresa C	Média das Empresas	SINAPI		
		Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Aço CA-50	96,37%	100,00%	100,00%	100,00%
Arame Recozido Nº 18	118,89%	120,00%	120,00%	120,00%
Espaçador Circular de Plástico	33,65%	13200,00%	99,02%	305,48%
Armador	131,93%	1382,98%	201,24%	333,33%
Ajudante de Armador	131,69%	8666,67%	1238,10%	2031,25%
Empresa D	Média das Empresas	SINAPI		
		Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Aço CA-50	106,08%	110,08%	110,08%	110,08%
Arame Recozido Nº 18	82,95%	83,72%	83,72%	83,72%
Espaçador Circular de Plástico	33,65%	13200,00%	99,02%	305,48%
Armador	65,11%	682,55%	99,32%	164,51%
Ajudante de Armador	65,70%	4324,00%	617,71%	1013,44%

Fonte: Autores, (2017).

Diferente do que acontece no serviço de produção de concreto, nota-se que a Empresa D é a que mais se aproxima tanto da média das médias entre as empresas, como dos menores e maiores valores apresentados pelo SINAPI, assim como da média geral entre os mesmos.

No que tange a empresa que mais se distancia dos valores obtidos tanto para as médias das empresas, como para os valores apresentados pelo sistema da CEF, observa-se que a Empresa A é a que mais se condiciona a este critério. Neste caso, esta diferença é evidenciada pelo discrepante valor adotado para o espaçador circular de plástico, onde quando comparado ao menor valor do SINAPI, por exemplo, alcança-se um diferencial de 117000,00%.

III.3 SIMULAÇÃO ORÇAMENTÁRIA

Como descrito na metodologia deste trabalho e com o objetivo de avaliar de forma contábil as diferenças existentes entre os valores de índice adotados pelas empresas e pelo SINAPI, foram coletados os custos unitários da tabela de referência de composições da Secretaria de Estado de Infraestrutura do Amazonas (SEINFRA-AM), no propósito de aproximar os valores a uma realidade local, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Custos unitários adotados pela SEINFRA-AM.

PRODUÇÃO DE CONCRETO		
Descrição	Unidade	Custo Unitário
Cimento Portland	KG	R\$ 0,68
Areia	M ³	R\$ 49,14
Brita	M ³	R\$ 114,59
Pedreiro	H	R\$ 11,96
Servente	H	R\$ 8,84
Betoneira (400 litros)	H	R\$ 4,20
ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO		
Descrição	Unidade	Custo Unitário
Aço CA-50	KG	R\$ 4,32
Arame Recozido Nº 18	KG	R\$ 8,50
Espaçador Circular de Plástico	UN	R\$ 0,10
Armador	H	R\$ 8,84
Ajudante de Armador	H	R\$ 11,96

Fonte: Autores, (2017).

III.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, apresentam-se por intermédio das Figuras 3 e 4, de forma contábil, e das Tabelas 9 e 10, de forma percentual, os resultados obtidos através da simulação orçamentária com os custos unitários adotados pela SEINFRA, onde destacam-se as diferenças entre os insumos, discriminados em materiais, mão de obra e equipamentos, assim como do custo total.

III.4.1 PRODUÇÃO DE CONCRETO

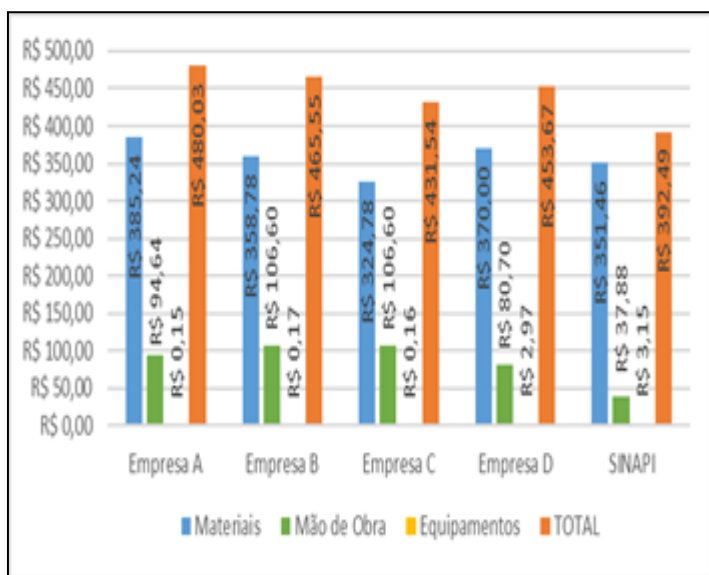


Figura 3: Análise contábil entre os custos das empresas e do SINAPI (Produção de Concreto).

Fonte: Autores, (2017).

Tabela 9: Análise percentual entre os custos das empresas e do SINAPI (Produção de Concreto).

SINAPI	Materiais	Mão de Obra	Equipamentos	TOTAL
Empresa A	109,61%	249,84%	4,76%	122,30%
Empresa B	102,08%	281,41%	5,40%	118,61%
Empresa C	92,41%	281,41%	5,08%	109,95%
Empresa D	105,28%	213,04%	94,29%	115,59%

Fonte: Autores, (2017).

Para os insumos referentes aos materiais, os índices não provocam diferenças significativas para as empresas, onde a divergência máxima entre os valores corresponde a 109,61% do proposto pelo SINAPI. Porém, nos insumos de mão de obra e equipamentos, observa-se que o primeiro apresentou a maior diferença percentual, cerca de 281,41% do valor da CEF (Empresas B e C), enquanto o segundo corresponde a 4,76% (Empresa A).

Nota-se também, quando comparadas aos valores de insumo do SINAPI, as empresas apresentam valores relativamente próximos, exceto no que se trata aos valores de equipamentos referentes à Empresa D, onde há uma expressiva diferença em relação às demais.

Por fim, ao analisar o custo total do serviço, percebe-se que a diferença máxima trata de 122,30% do valor apresentado pelo SINAPI (Empresa A).

III.4.2 ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

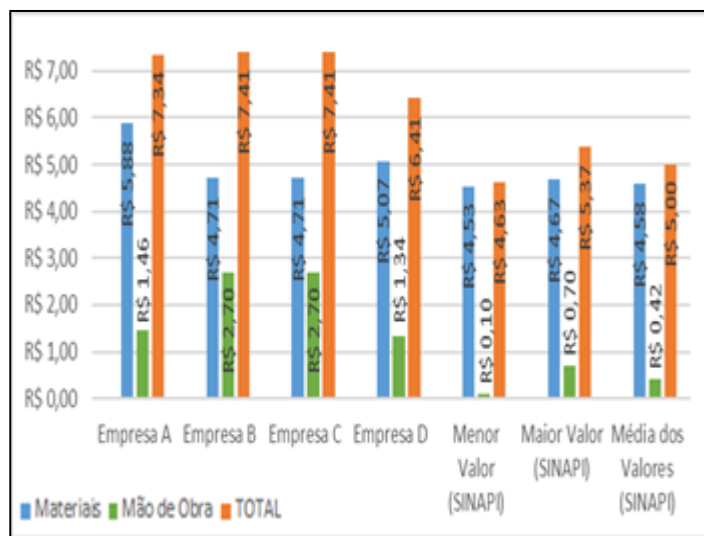


Figura 4 - Análise contábil entre os custos das empresas e do SINAPI (Armação).

Fonte: Autores, (2017).

Tabela 10 - Análise percentual entre os custos das empresas e do SINAPI (Armação).

Empresa A	SINAPI		
	Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Material	129,80%	125,91%	128,38%
Mão de Obra	1460,00%	208,57%	347,62%
TOTAL	158,53%	136,69%	146,80%
Empresa B	SINAPI		
	Menor Valor	Maior Valor	Menor Valor
Material	103,97%	100,86%	102,84%
Mão de Obra	2700,00%	385,71%	642,86%
TOTAL	160,04%	137,99%	148,20%
Empresa C	SINAPI		
	Menor Valor	Maior Valor	Média Geral
Material	103,97%	100,86%	102,84%
Mão de Obra	2700,00%	385,71%	642,86%
TOTAL	160,04%	137,99%	148,20%
Empresa D	SINAPI		
	Menor Valor	Maior Valor	Menor Valor
Material	111,92%	108,57%	110,70%
Mão de Obra	1340,00%	191,43%	319,05%
TOTAL	138,44%	119,37%	128,20%

Fonte: Autores, (2017).

Quanto ao serviço de armação de estruturas de concreto armado, também se percebe que não há diferenças significativas entre os custos das empresas e dos menores e maiores valores do SINAPI, assim como da média geral. Neste caso, em relação aos valores da CEF, a maior diferença percentual corresponde a 129,80% do menor valor, 125,91% do maior e 128,38% da média geral (Empresa A).

No que se refere à mão de obra, observa-se que há uma expressiva diferença entre os valores das empresas e do SINAPI, retratada nos 2700,00% do menor valor, 385,71% do maior e 642,86% da média geral, referentes às Empresas B e C.

Quando analisado o custo total do serviço, percebe-se que as Empresas B e C também apresentam os maiores custos, onde 160,04% correspondem ao menor valor, 137,99% ao maior e 148,20% à média geral.

IV. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos através dos estudos comparativos e simulações orçamentárias, foi possível avaliar a utilização dos índices do SINAPI, para a elaboração de orçamentos de obras na cidade de Manaus, no tocante às composições de materiais, mão de obra e equipamentos dos serviços de produção de concreto e armação de estruturas de concreto armado.

Verificou-se, através da presente pesquisa, que no caso do SINAPI, os índices do serviço de armação de estruturas de concreto armado que proporcionam um maior impacto no ponto de vista econômico, são os que mais se aproximam da realidade das empresas de Manaus, onde o serviço é considerado para todas as bitolas e aplicações estruturais (lajes, vigas e pilares).

Quanto aos insumos de mão de obra e equipamentos, verificou-se uma significativa diferença, que pode ter como origem os diferentes processos construtivos existentes nas regiões do Brasil e dessa forma, é necessária uma maior análise dos processos de aferição dos coeficientes das empresas e do SINAPI.

Portanto, conclui-se que a utilização das tabelas do SINAPI para a cidade de Manaus apresenta-se como viável no que diz respeito aos materiais. Porém, no que se refere à mão de obra e equipamentos, a condição de viabilidade não é verdadeira, pois conforme os resultados apresentados nesta pesquisa, o orçamento com uso dos coeficientes da CEF pode não representar a realidade executiva do serviço, resultando em prejuízo em relação ao tempo e ao custo total.

V. REFERÊNCIAS

[1] MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Editora PINI, 2010. 420 p.

[2] ALVES, G. S.; ARAÚJO, N. M. C. **Composições de custos unitários: TCPO X Apropriação in loco**. João Pessoa, PB, 2010. Acesso em 18/ 12/ 2017. Disponível em:<<http://www.congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1548/756>>

[3] LOSSO, Iseu Reichmann. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração preliminar de custos: estudo de caso em uma empresa de construção civil**. 1995. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). PPGEC, UFSC, Florianópolis, 1995.

[4] MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas, estudos de caso, exemplos**. São Paulo: Editora PINI, 2006. 281 p.

[5] MAÇAHIKO, T. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. São Paulo: Editora PINI, 2006.

[6] BRASIL, Caixa Econômica Federal. **SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>> Acesso em: out. 2017.

[7] _____. **SINAPI: Cadernos técnicos de composições para armação de estruturas de concreto armado**. Lote 1, versão 006. 2017.

[8] _____. **SINAPI: Cadernos técnicos de composições para produção de concreto**. Lote 1, versão 004. 2017.

[9] _____. **SINAPI: Metodologias e conceitos**. Fev, 2017. 169 p.

[10] GEHBAUER, F. et al. **Planejamento e gestão de obras: um resultado prático da coordenação técnica Brasil-Alemanha**. Curitiba: CEFET-PR, 2002. 520 p.

[11] LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

[12] THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Editora PIN

Study of the effect of carbonation on concrete produced with vegetable fiber (buriti)

Murilo Ferreira dos Santos¹, Renato Acriz de Menezes², Evailton Arantes de Oliveira³, Eloadir Afonso Reis Brasil Filho⁴, Darlei dos Anjos Lavor⁵

¹Student of Civil Engineering – Northern University Center (UNINORTE) - Manaus-AM.

²Master in Civil Engineering – Federal University of Uberlandia (UFU) – Uberlandia-MG.

³Doutorado in progress in PhD, Program in Ecology and Environmental Health – University Fernando Pessoa (UFP) - Porto - Portugal.

⁴Bachelor's Degree in Civil Engineering - Northern University Center (UNINORTE) - Manaus-AM.

⁵Laboratory Technician I - Northern University Center (UNINORTE) - Manaus-AM.

Email: mullasantos@gmail.com, renatoufu@hotmail.com, arantestop@hotmail.com, eloadir_brasil@hotmail.com, darleilavor27@gmail.com

Received: January 15th, 2018.

ABSTRACT

Accepted: February 20th, 2018.

This article is based on the production of concrete with vegetable fiber (buriti), emphasizing the effect of carbonation as a form of prevention in relation to pathological causes caused in reinforced concrete. The structuring of this project is done through the preparation of a conventional concrete as the basis of the study to be applied as addition and / or replacement of cement in 0.5% and 1.0% of buriti fiber. After the rupture at 28 days, these materials were exposed and the chemical indicator of phenolphthalein was applied to be observed at 7, 28, 63, 91 and 120 of the spray.

Published: March 30th, 2018.

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Keywords: Concrete, Buriti Fiber, Carbonation.

Estudo do efeito da carbonatação no concreto produzido com fibra vegetal (buriti)

RESUMO

Este artigo está fundamentado na produção do concreto com fibra vegetal (buriti), dando ênfase no efeito da carbonatação como forma de prevenção em relação às causas patológicas ocasionadas em concreto armado. A estruturação deste projeto é dada através da confecção de um concreto convencional como base do estudo para que fosse aplicado como adição e/ ou substituição do cimento em 0,5% e 1,0% da fibra de buriti. Após a ruptura aos 28 dias, esses materiais foram expostos e aplicados o indicador químico de fenolftaleína para que fossem observados em 7, 28, 63, 91 e 120 da aspersão.

Palavras Chaves: Concreto, Fibra de Buriti, Carbonatação

I. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da construção civil trata-se da durabilidade das estruturas de concreto armado [1]. A durabilidade e a vida útil da estrutura dependem, além das características do concreto e de fatores de execução, fundamentalmente das condições ambientais às quais será submetido.

A carbonatação é um dos mecanismos mais correntes de deterioração do betão armado [2]. O dióxido de carbono presente no ar penetra nos poros do betão e reage com o hidróxido de cálcio formando carbonato de cálcio e água. Esse processo é

acompanhado pela redução da alcalinidade do betão. Compósitos de fibrocimento também sofrem carbonatação, sendo que há estudos publicados a esse respeito [3]. A carbonatação em telhas de fibrocimento causa retração significativa, de modo que quando estocadas em pilhas por muito tempo, esta retração é diferencial na borda e região central das telhas, causando fissuração de borda [4]. No entanto, nos casos onde não ocorre carbonatação diferencial, os seus efeitos podem ser benéficos, devido à redução da porosidade do material, com ganho de desempenho mecânico [5]. Uma vez que não há armadura metálica nestes compósitos, a redução do pH não é danosa ao material [6].

A adição de fibras nas matrizes pode melhorar as suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto [7]. Além disso, altera seu comportamento após fissuração diminuindo os efeitos de uma ruptura brusca da matriz cimentícia. Escreveram em seu trabalho que nos últimos anos a produção de artigos e pesquisa referente à compósitos utilizando fibras vegetais aumentou consideravelmente[8]. Entretanto, compósitos reforçados com fibras vegetais ainda estão na dependência de alguns fatores importantes, relacionado a sua aplicação e desempenho. É importante considerar que as fibras vegetais tem composição química diferente e depende do tipo de planta, da dimensão da célula cristalina, do ângulo helicoidal que a celulose faz em relação ao eixo central, defeitos superficiais, estrutura da macrofibra vegetal, propriedades físicas e mecânicas das fibras e a interação que a fibra pode fazer com a matriz do compósito [9].

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 FIBRA DA PALMEIRA DE BURITI

O buriti (*Mauritia flexuosa* Martius) é a palmeira mais comum e abundante no território brasileiro e encontra-se distribuída em toda a América do Sul [10]. Conhecida como “Árvore da Vida”, dela tudo se é aproveitada e muitos moradores de comunidades rurais têm nessa palmeira a sua principal fonte de renda. Em diferentes Estados brasileiros, a fibra retirada das folhas jovens da palmeira de buriti é utilizada na confecção de artesanato, sendo esta parte da fibra conhecida popularmente como “linho ou seda” de buriti.



Figura 1: Palmeira de buriti ou Buritizeiro.

Fonte: Adaptado do site G1, (2017).

A coleta das fibras de Buriti foi retirada de forma manual, com a indispensável prévia de lavagem dos fechos, eliminando os resíduos putríficos que pudessem afetar as características para a confecção do concreto.



Figura 2: Palmeira de buriti coletada e lavada previamente.

Fonte: Autores, (2018).

II.2 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM FIBRA VEGETAL

A adição de fibras orgânicas (vegetal) em concreto vem ganhando espaço gradativamente como material alternativo para adição e/ ou substituição, pois é um material com um custo baixo comparado com os vários tipos disponíveis no mercado, onde produzem uma excelente flexibilidade e resistência mecânica às matrizes de concreto [11].

As fibras são materiais com propriedades mecânicas de bastante relevância como a alta resistência e rigidez, além de grande esbeltez e pequenas seções como características geométricas de relevância [12]. O aumento da tenacidade é influenciado pela concentração de fibras e pela resistência das fibras ao arrancamento que por sua vez são governadas pela relação do aspecto (comprimento/ diâmetro) da fibra e por outros fatores como forma ou a textura superficial. Atualmente tem ganhado destaque os Concretos Reforçados com Fibras (CRF) que são utilizados para diversas finalidades, devido as suas propriedades.



Figura 3: Fibra da palmeira de buriti.

Fonte: Autores, (2018).

II.3 DEFINIÇÃO SOBRE O EFEITO DA CARBONATAÇÃO NO CONCRETO

A carbonatação é um fenômeno físico-químico decorrente da reação entre os constituintes ácidos do meio com o líquido intersticial existente nos poros do concreto, que se encontra

saturado por hidróxidos de cálcio provenientes da hidratação do cimento, e também, com outros compostos hidratados do cimento em equilíbrio com o líquido intersticial [13]. O ácido carbônico (H_2CO_3), o dióxido de enxofre (SO_2) e o gás sulfídrico (H_2S) são os principais constituintes ácidos do meio.

O processo de carbonatação ocorre devido às reações do CO_2 , presente no ar, com os hidróxidos alcalinos presentes no material [14]. Isso ocorre especialmente com o hidróxido de cálcio, em meio aquoso, formando o carbonato de cálcio e reduzindo o pH, inicialmente em torno de 13, para valores próximos a 8.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

III.1 PREMISSAS TÉCNICAS

As premissas técnicas das atividades para a caracterização dos materiais pertinentes ao concreto foram desenvolvidas atendendo as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Todas as análises realizadas atendem os pré-requisitos especificado por norma para que a qualidade do concreto.

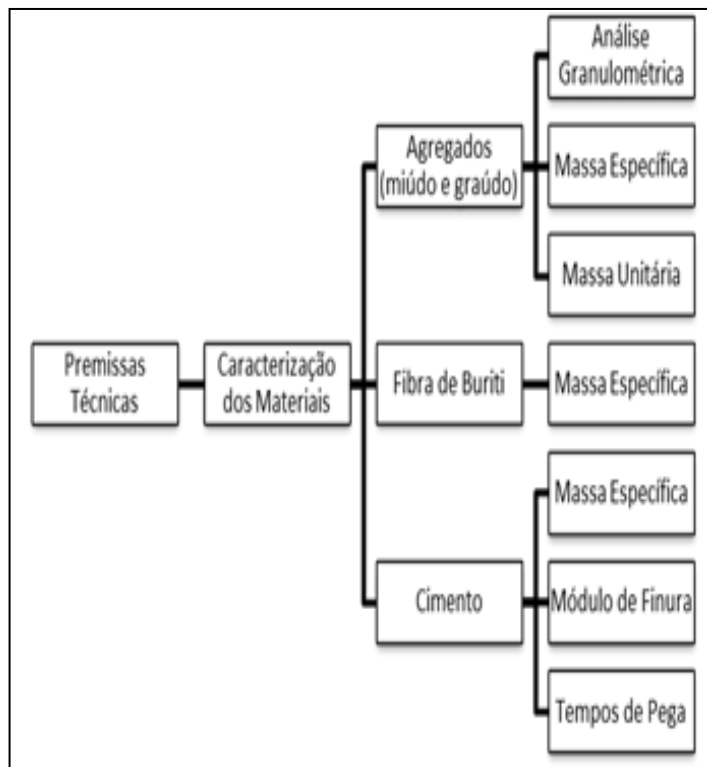


Figura 4: Fluxograma das atividades realizadas para a caracterização dos materiais.

Fonte: Autores, (2018).

III.2 DOSAGEM DO CONCRETO COM FIBRA DE BURITI

O método utilizado para o cálculo de dosagem do concreto foi conforme os procedimentos da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2009); onde se encontrou os seguintes valores para um traço referencial: (1: 0,8 : 1,14 : 2,34 : 0,55); do qual foram elaborados mais dois traços com a adição de fibras em 0,5% e em 1,0% do material.

Tabela 1: Traço unitário do concreto convencional.

Concreto	
Fck (MPa)	25
Sd (MPa)	4
Cimento	
Resistência normal aos 28 dias (MPa)	40
Massa específica (Kg/m³)	3100,96
Agregado miúdo	
Módulo de finura	2,51
Massa específica Areia (Kg/m³)	2620,0
Massa unitária Areia (Kg/m³)	1560,0
Massa específica Pó de Brita (Kg/m³)	2620,0
Massa unitária Pó de brita (Kg/m³)	1580,0
Agregado graúdo	
Dimensão máxima característica (mm)	9,5
Massa específica (Kg/m³)	2770,0
Massa unitária (Kg/m³)	1580,0
Água	
Massa específica (Kg/m³)	1000

Fonte: Autores, (2018).

III.3 MOLDAGEM E CURA

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com as especificações da NBR 5738 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015. As dimensões das formas utilizadas foram de 10x20 cm. Após o período de 24h, os CP's foram retirados das formas e colocados no tanque de cura para as idades de 3, 7 e 28 dias.



Figura 5: Moldagem dos corpos de prova.

Fonte: Autores, (2018).

III.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão foi realizada com o auxílio da prensa hidráulica com painel digital. Abaixo, na tabela 2 encontram-se os resultados das idades de 7 e 28 dias.

Tabela 2: Resultados obtidos da resistência à compressão aos 28 dias.

Mistura	Carga de ruptura (Kgf)		Resistência à compressão (MPa)		Média aos 28 dias (MPa)
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	
TR1-CP-0,0%	18100,0	19780,0	23,05	25,18	26,43
	19000,0	21730,0	24,19	27,67	
TR2-CP-0,5%	20700,0	20520,0	26,36	26,13	28,66
	20760,0	24500,0	26,43	31,19	
TR3-CP-1,0%	20240,0	28000,0	25,77	35,65	36,35
	20250,0	29100,0	25,78	37,05	

Fonte: Autores, (2018).

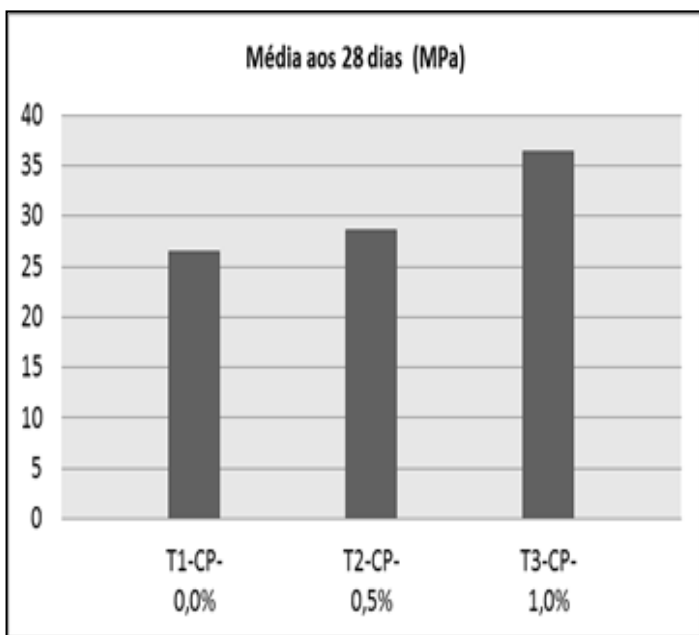


Figura 6: Gráfico da média dos resultados obtidos aos 28 dias. Fonte: Autores, (2018).

III.4 ANÁLISE DO INDICADOR QUÍMICO DE FENOLFTALEÍNA

A fenolftaleína é uma substância química que quando dissolvida em álcool produz uma coloração vermelha na presença de álcali, além de ser utilizada como indicador nas análises volumétricas. O pó dessa substância, para este projeto experimental, foi diluído em álcool etílico, 1:100 (1% de fenolftaleína). O indicador químico fenolftaleína foi aplicado a partir da ruptura dos corpos de prova aos 28 dias e separados ao meio.



Figura 7: Limpeza dos CP's para aplicação do indicador químico de fenolftaleína.

Fonte: Autores, (2018).

A medição da carbonatação dar-se-á através da observação da coloração do indicador químico fenolftaleína em relação a sua profundidade e a sua absorção entre os poros. A quantidade do indicador químico foi de 5ml para cada lado fraturado.



Figura 8: Início da aplicação do indicador químico de fenolftaleína nos corpos de prova. Fonte: Autores, (2018).

A profundidade da carbonatação foi medida em todas as faces do corpo de prova fraturado. A observação foi embasada conforme a idade de cura especificada pela norma. Os dias observados foram: 7, 28, 63, 91 e 120 dias.

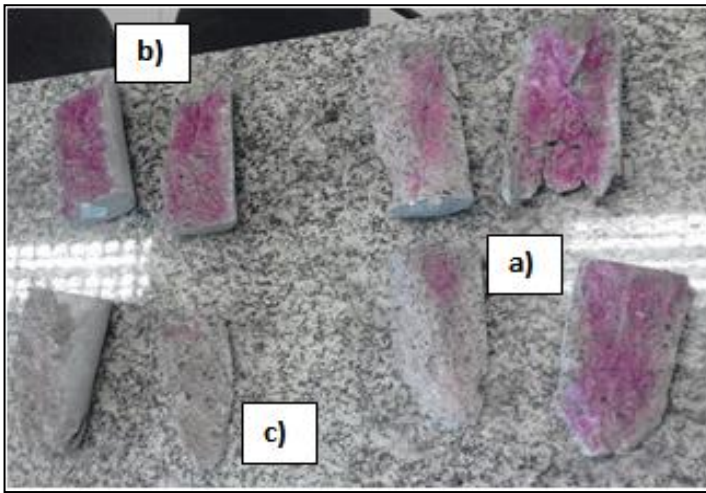


Figura 9: Corpos de prova após a aplicação do indicador químico de fenolftaleína. a) Traço com 0,0% de fibra; b) Traço com 0,5% de fibra; c) Traço com 1,0% de fibra.

Fonte: Autores, (2018).

IV RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através da observação após aplicação do indicador químico de fenolftaleína demonstram um processo acelerado, o que pode ser preocupante em termos de segurança, dependendo da função que esse material irá exercer. Abaixo, as figuras mostram o processo da carbonatação nos concretos: convencional, com 0,0% de fibra vegetal; com 0,5% de fibra vegetal e 1,0% de adição da fibra vegetal, conforme as idades estabelecidas.

Nota-se que as partes mais claras, quando o indicador químico de fenolftaleína se aspersa, já são indícios de carbonatação. As faces que mantem a cor de vermelho-marfim significam que as amostras de concreto não estão carbonatadas.

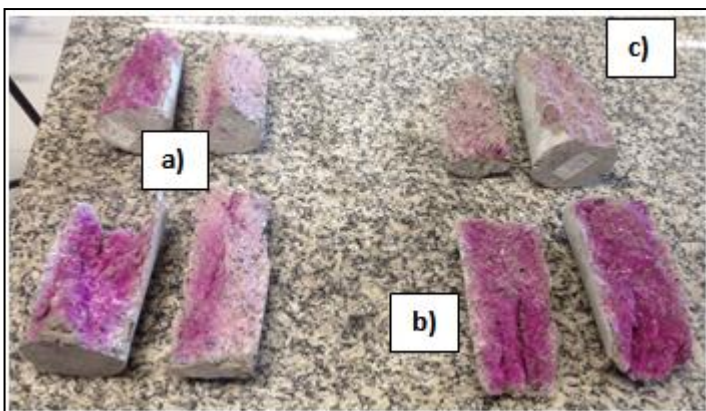


Figura 10: Observação dos CP's aos 7 dias após aplicação do indicador químico de fenolftaleína. a) Traço com 0,0% de fibra; b) Traço com 0,5% de fibra; c) Traço com 1,0% de fibra.

Fonte: Autores, (2018).

Na figura 10, observa-se que a coloração do indicador químico de fenolftaleína nas amostras a) e b), a cor é mais intensa quanto que na amostra c), onde encontra-se uma cor de intensidade leve apenas com 7 dias de exposição, do qual já pode-se afirmar que o processo de carbonatação já se iniciou.

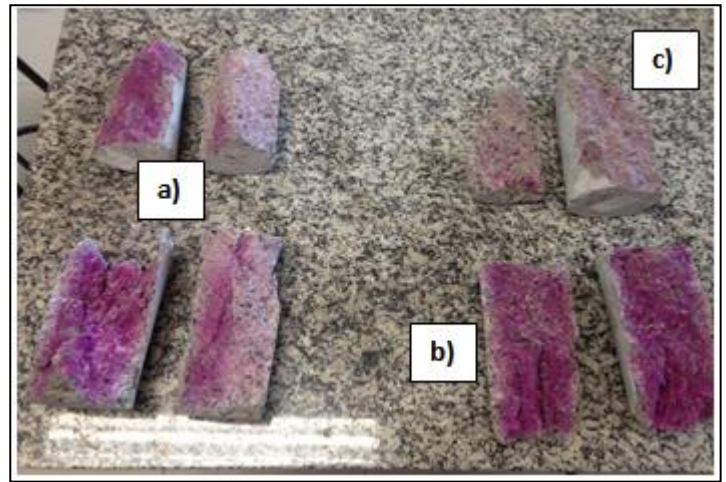


Figura 11: Observação dos CP's aos 63 dias após aplicação do indicador químico de fenolftaleína. a) Traço com 0,0% de fibra; b) Traço com 0,5% de fibra; c) Traço com 1,0% de fibra.

Fonte: Autores, (2018).

Na figura 11, aos 63 dias de exposição dos materiais, a intensidade da cor vermelho-marfim continua mais perceptível nas amostras a) e b), podendo-se constatar que o processo do efeito da carbonatação ainda está lento. Na amostra a), existem cores mais claras, sendo que é o concreto convencional e na amostra b) a intensidade da coloração é mais intensa, enquanto na amostra c) o processo deu-se início desde o dia da aplicação.

Já na figura 12, a exposição dos materiais aos 120 dias ficou menos intensa a coloração nas amostra a) e b), praticamente se igualando a amostra c).

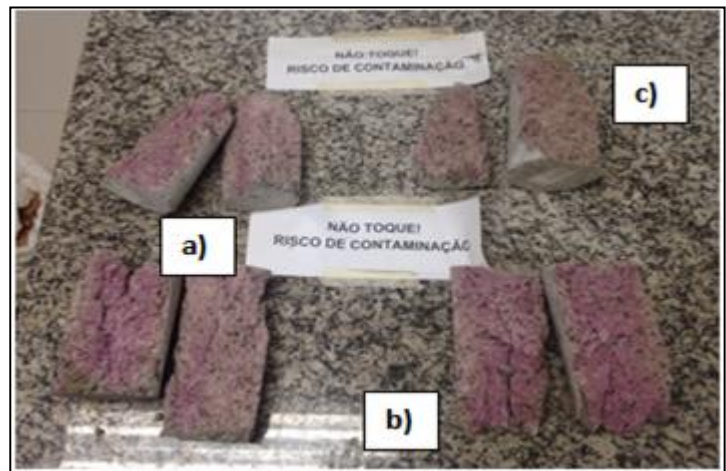


Figura 12: Observação dos CP's aos 120 dias após aplicação do indicador químico de fenolftaleína. a) Traço com 0,0% de fibra; b) Traço com 0,5% de fibra; c) Traço com 1,0% de fibra.

Fonte: Autores, (2018).

Todas as amostragens, de acordo com o processo de observação, desde a aplicação do indicador químico até o último dia de observação estabelecido, tiveram suas pastas de cimento carbonatadas, uns com o processo menos acelerado que os outros. Toda essa observação indica que o processo de carbonatação do concreto é bem mais rápido e o tempo de vida útil do concreto armado é bem menor do que se determina. Mas isso pode ser um indicador no processo da pasta de cimento ou da argamassa envolvendo inúmeros fatores dos quais pode ocorrer o efeito da carbonatação, não especificamente o concreto armado.

O efeito da carbonatação é dado através da intensidade da coloração do indicador químico de fenolftaleína reage com a pasta de cimento. Quanto mais forte for a tonalidade da cor de vermelho-carmim no concreto, menor é o processo de carbonatação do concreto.

V. CONCLUSÃO

A carbonatação é um dos mecanismos mais ocorrentes de deterioração do concreto armado [15]. O processo, felizmente é lento e pode ser esclarecido por causa da hidratação crescente da pasta de cimento. O dióxido de carbono que atua no ar adentra nos poros úmidos do concreto e reage com o hidróxido de cálcio e forma o carbonato de cálcio, daí o nome de carbonatação. Este processo é seguido pela redução da alcalinidade do concreto juntamente com várias etapas envolvendo diversas reações secundárias [16].

Os resultados apresentados advertem o acompanhamento do avanço da aspersão do indicador químico de fenolftaleína no procedimento do efeito da carbonatação do concreto, conforme os dias de exposição e observação indicados em condições ambientais habituais do laboratório de Materiais de Construção e Técnicas Construtivas do Centro Universitário do Norte - UNINORTE/LAUREATE.

De acordo com a intensidade da cor das amostras acometidas com o indicador químico de fenolftaleína é possível determinar até onde a carbonatação ocorreu. A amostra c), com a maior porcentagem da fibra buriti (1%) foi a que mais aspirou o indicador químico, enquanto as amostras a) e b) se mantiveram no processo lento do efeito da carbonatação. Então, pode-se afirmar que o efeito da carbonatação foi maior na amostra c) com a porcentagem maior de fibra vegetal (buriti).

VI. AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram com a pesquisa para a confecção deste artigo, em especial a coordenação do curso de engenharia civil do Centro Universitário do Norte (UNINORTE/LAUREATE), pela disponibilidade do laboratório de Materiais de Construção, juntamente com o apoio técnico tanto dos professores responsáveis quanto ao técnico de laboratório Darlei A. Lavor.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] REBMANN, M.S. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento portland e alta resistência**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.
- [2] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC F029 – **Determinação da profundidade de carbonatação de betões, argamassas ou outros materiais cimentícios**. Acesso em 15/ 01/ 18. Disponível em: <<http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20029.pdf>>
- [3] FERNANDEZBERTOS, M. et al. **A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂**. Journal of Hazardous Materials, v. 112, n. 3, p. 193–205, ago. 2004.
- _____, PIZZOL, V. D. et al. **Effect of accelerated carbonation on the microstructure and physical properties of hybrid fiber-cement composites**. Minerals Engineering, v. 59, p. 101–106, maio, 2014.
- [4] DE SOUZA, R. B. **Estudo da retração em fibrocimento reforçado com fibra polimérica**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.
- [5] DIAS, C. M. R. **Efeitos do envelhecimento na microestrutura e no comportamento mecânico dos fibrocimentos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- [6] BRANDÃO, G. B., SOUZA, R. B. **Efeito do empacotamento de partículas da fase matriz na carbonatação de compósito cimentício**. Bonito. Anais... MS, 2015, 17 p.
- [7] AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H. **Fibras vegetais como materiais de construção**. In ISAIA, G. C. (editor) *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.
- [8] FARUK, O.; BLEZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010**, Prog Polym Sci, 2012.
- [9] SILVA, E.; MARQUES, M.; FORNARI JUNIOR, C. **Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias**. In SILVA et al. (editor), *Revista electronica em gestão, educação e tecnologia ambiental*. Bahia: REGET/ UFSM, 2012. 8v. 1555-1561 p. Acesso em 15/ 01/ 2018. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revista/ojs-2.2.2/index.php/reget/index>
- [10] CATTANI, I. M.; BARUQUE-RAMOS, J. **Fibra de buriti (mauritia flexuosa mart.) e aplicações em produtos têxteis**. 2º congresso científico têxtil e de moda, CONTEXMOD, 2014. São Paulo-SP.
- [11] FILHO, E. A. R. B. **Análise do desempenho físico-mecânico do concreto convencional de cimento Portland com substituição parcial das fibras da palmeira de buriti 0,3, 0,5 e 1%**. Manaus. Amazonas, 2017.
- [12] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, 573 p.
- [13] SCHRODER, F.; SMOLCZ YK, H. G. **Carbonation and protection against steel corrosion**. In: Fith Int. Symp. Chemistry of Cement. vol. 4, p. 188-198, Tokyo, 1968.
- [14] TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Sweden: CBI, 1982. 468p.
- [15] WERLE, A.P., TROIAN, A., KAZMIERCZAK, C.S., KULAKOWSKI, M.P. **Carbonation in concrete with coarse recycled concrete aggregates**. In: Conference Proceedings of 12th International Conference on DBMC, 4., 2011, Porto. Proceedings... Porto: FEUP Edições, 2011, p. 1677-1684.
- [16] CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. 1. ed., São Paulo: Ed. Pini, 1997. 237 p.