

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 2 · Número 1 · Junio 2020 · Publicación semestral



INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

ISSN 2600-5565

Volumen 2

Número 1

Junio 2020

Publicación Semestral

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca, Quito - Ecuador

Contactos:

www.istct.edu.ec

www.investigacionistct.ec

email: investigacionistct20@gmail.com

Tel.: 099 924 1151

Dirección General

MBA. José Luis Flores, Rector
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

Editor General

MSc. Katalina Sarmiento, Vicerrectora
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

MSc. Luis Daniel Andagoya Alba
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

Gestor de La Revista

MSc. Daniel Isaías Barzallo Núñez
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

*Aprobada mediante Resolución ROCS-SE-005-
No.002-2020, en la quinta Sesión Extraordinaria
del Órgano Colegiado Superior, a los veinte y cinco
(25) días del mes de junio de 2020.*

Comité Editorial Externo

PhD Diego Fernando Riofrío Luzcando
Universidad Internacional SEK
Quito-Ecuador.

PhD Antonio Gómez García
Universidad de Especialidades Espíritu Santo
Guayaquil-Ecuador.

MSc. Humberto Ramos Sánchez
Universidad Autónoma de México
México- México.

MSc. Gissele Estefanía Mosquera Campaña
Universidad de Manchester
Manchester-UK.

MSc. Rina Iliana Rosa Sanabria
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Tegucigalpa - Honduras

PhD(c). Elva Gioconda Lara Guijarro
Instituto Tecnológico Internacional
Quito-Ecuador

MSc. Flavio Anibal Corella Guerra
Instituto de Capacitación Profesional del Valle
Quito-Ecuador

Editores de Sección

MSc. Joyce Shirley Narváez Sarango
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

MSc. Lenin Daniel Valdivieso Simba
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

Maquetación

Ing. Hilda Jacqueline Montesdeoca Orozco
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

La aventura de descubrir



Junio 2020

Prólogo



En esta oportunidad presentamos a la comunidad educativa, el volumen 2, número 1 de la revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico, con 12 artículos relacionados a las áreas de Mecánica Automotriz, Mecánica Industrial, Electricidad y Electrónica, con líneas de investigación claramente definidas en nuestra Planificación Estratégica de Investigación, Desarrollo e Innovación.

La revista nació con la idea de difundir los trabajos de investigación de los estudiantes, docentes investigadores del instituto y de otras instituciones de educación superior, y estoy seguro que lo que comenzó como un sueño, cada semestre en que se publica la revista, este sueño se vuelve realidad.

Los artículos que se publican en la revista, no solo que fomentan la investigación; sino que también, permiten el fortalecimiento de las competencias de docentes y estudiantes, por esta razón seguiremos trabajando incansablemente hasta que la revista alcance la categoría de indexada, y en este contexto trabajamos con estándares internacionales de investigación, que se ven reflejados en las investigaciones que se publican en este volumen.

Lo que buscamos con la revista, es poder contribuir con investigaciones que permitan resolver problemas y que tengan impacto directo o indirecto en la sociedad.

Por lo expuesto, extiendo un sincero agradecimiento por el trabajo firme y desinteresado de todos los que colaboran en este volumen, Director General, Editores Generales, Gestor de la revista, Comité Editorial externo, Editores de Sección y Maquetación.

Ing. José Luis Flores Flores, MBA

Rector IST Central Técnico
Director General

Nota Editorial

La relación docencia-investigación en los últimos años se ha constituido como la base del quehacer académico en la educación superior, en este sentido el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, fiel a su responsabilidad de promover la búsqueda del conocimiento, pone a consideración de la comunidad académica, investigadores y público en general, el tercer número de la revista de divulgación científica "Investigación Tecnológica IST Central Técnico".

A quienes conformamos el equipo editorial de la revista de investigación institucional nos complace y enorgullece presentar esta nueva edición, de la cual resaltamos el enorme interés generado en investigadores tanto nacionales como internacionales, quienes nos han hecho llegar sus trabajos con notables aportes al conocimiento científico.

Actualmente la revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico es una publicación con carácter semestral, que a lo largo de los últimos meses ha tenido una constante mejora tanto en su presentación como en su gestión, con miras a cumplir los procesos requeridos para pertenecer a catálogos indexados y de esta manera lograr que los trabajos científicos publicados estén al alcance de un mayor número de personas en todo el mundo.

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento por el apoyo incondicional recibido, a todos quienes conforman la comunidad del Instituto Superior Tecnológico Central Técnico encabezada por sus autoridades, Ing. José Flores Flores. MBA, Rector y Lcda. Katalina Sarmiento. Mgs, Vicerrectora.

Expresamos de igual manera nuestro agradecimiento y reconocimiento a todos quienes conforman la Comisión de Investigación, Comité Editorial, Revisores y Autores por su arduo trabajo, pues gracias a su compromiso ha sido posible llevar a cabo la publicación del presente número de la revista y de esta manera contribuir a la consecución de este proyecto.

Kay llamkaykuka tukuy ñukanchik hatun taytamamakunamanmi kapan, paykunapa yuyay, paykunapa rurashkakunamantapash, kunan pachakupi, Kaypimi kanchik nishpa purikunchik.

Kunan pachakupika, ashka kushikuykunawan, kay mushuk uchillakamuta tukuykunaman rikuchipanchik. Ñuka Comisión de investigación pushak shina, ashka yupaychaykunata kupani, tukuy taripak mashikunaman, paykunapa yanapaykunamanta.

Shina nishpaka, shunkumanta yupaychani, tukuy Comisión de Investigación nishkamanta mashikunaman. Sinchi llamkaykunata charishkanchik shinapash, pakta pakta llamkakushkanchik, tukuy ñukanchik ruraykunata paktachinkapak. Shunkumanta yupaychani, kuyashka wawkipanikuna. Tukuy shukuwan - Tarik.

Ing. Daniel Andagoya Alba. MSc.

Editor General

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

ÍNDICE

UNA METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE JUNTAS EMPERNADAS	7
REVISIÓN DE LOS TIPOS DE CONTROL PARA LOS SISTEMAS BOLA Y PLACA	20
ANÁLISIS DEL USO DE DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS Y ADITIVOS EN LA VIDA ÚTIL DE ALGUNOS ELEMENTOS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	34
CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN RESIDENCIAL Y COMERCIAL CON FUNCIONAMIENTO POR PERFILES DE DEMANDA	43
PROPUESTA DE BASTIDOR AUXILIAR CON PERFIL Z PARA CAMIONES HINO 6 TONELADAS	54
CONTROL DE MODO DESLIZANTE PARA MICRORREDES: UNA REVISIÓN	65
INFLUENCIA DE LA MARCA AUTOMOTRIZ GREATWALL EN EL PARQUE AUTOMOTOR ECUATORIANO.	79
ETIQUETADO DE VEHÍCULOS EN ECUADOR, EN BASE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMISIONES DE CO2 Y KILOMETRAJE VEHICULAR.	90
IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON PUNTO DE ACCESO BASADO EN LA METODOLOGÍA STEAM	99
IMPLEMENTACIÓN DE ALERTA AL SOBRECALENTAMIENTO DE FRENOS COMO SISTEMA DE SEGURIDAD EN VEHÍCULO DE 1600CC	109
CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA PERSONAS INVIDENTES	121
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ENCHUFABLE EN EL VEHÍCULO TOYOTA PRIUS HÍBRIDO DE TERCERA GENERACIÓN	130

UNA METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE JUNTAS EMPERNADAS

A METHODOLOGY TO OPTIMIZE THE DESIGN OF BOLTED JOINTS

Christian Guzmán Palacios¹, Daniel Trias Mansilla², Alejandro Maldonado Arteaga³

¹ Universitat de Girona, España
e-mail: christian.guzman.p@gmail.com

² Universitat de Girona, España
e-mail: dani.trias@udg.ed

³ Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador
e-mail: samaldonado_92@hotmail.com

Abstract

The current paper presents a methodology to optimize the design of bolted joints under traction and shear loading in horizontal plates and pressure vessels. The MATLAB optimization tool is used to compute the ideal combination of bolt type and geometry, which leads to minimum joint cost, weight and maximum safety factor.

The methodology shows a cost of the joint-safety factor/mass-safety factor comparison which provide optimal options (curves) for the customer. These results allow choosing options according to the necessity, and decide if the cost or the mass of the bolted joint is more important in function of the safety factor with several correct solutions that can be adapted to the customer's necessities.

Key Words— Genetic Algorithm (GA), Bolted Joints (BJ), Multi-objective optimization (MOO)

INTRODUCTION

Advanced and optimal designs are a common objective for all industries due to the necessity of reducing manufacturing cost and structure weight.

The design of bolted joints involves working with the variables i) the resistance of the bolt, ii) the joint plates, iii) the thickness of the structures to be join, where normally a diameter of a bolt

is chosen to check if the structure will be safe enough. Joint cylindrical plates normally are related to welding, but in this paper, cylindrical and horizontal bolted joints will be considered.

In the last decades a set of modern optimization tools which can solve engineering problems has been spreading. Examples of these tools are: genetic algorithms, simulated annealing, particle

swarm optimization, ant colony optimization, fuzzy optimization or neural-network based methods. In this paper, the problems will be solved by the genetic algorithms due to the ability for solving Multi-objective optimization (MOO) problems.

The methodology adopted in this paper aims to maximize the safety factor of the joint and minimize the weight of the elements needed to the joint (number of bolts, size of the bolt, and

thickness of the joint plates), and the material costs of the joint.

This paper will solve three kinds of problems. First, horizontal plates of steel will be joined under traction and shear loading; then, horizontal plates of composite material will be joined under the same conditions, and finally, steel cylinders under internal pressure will be joined using the same optimization tool.



REVIEW

A. GA optimization

Genetic Algorithms (GA) is one of the modern methods of optimization which can manage several objective functions to be maximized or minimized because GA is ability under given restrictions and limits, and GA is emerging to solve engineering problems.

In the last years, there has been a close relationship between the researchers studying evolutionary computation methods, which in many cases, GA has different meaning from its original approach from Holland.

B. Failure criteria

There are many failure criteria for making a safe bolted joint, where the material used is steel and there are countless theories available in the literature to predict a failure in all the elements of the joint under specific loads. (Budynas, Nisbert, & Screws, 2002)

In the same way, there are many failure criteria for composite materials (Orifici, Herszberg, & Thomson, 2008), having two categories to classify the failure criteria of the composite materials which are adopted in this paper, for more details the reader is referred to (Guillamet, Turon, Sebaey, & Costa, 2012)

The design of the bolted joint in this paper has been divided in two parts. The first one includes the design and selection of the bolt with all the necessary dimensions and values such as length of the bolt, step, height of the nut, threaded and non-threaded length of the grip, tension's stress area and nominal diameter's area. The stress resistance is also chosen as a parameter inside de GA. The first part of the design of the bolted joints will predict the necessary bolt strength to support the load factors in the design. The design will include the design and selection of the thickness of the joint plates and its width as a function of the bolt diameter, and finally, the internal and external diameter of the cylinders under an internal pressure to be jointed are considered as parameters when we work with cylinders as elements to joint, and the thickness of the horizontal plates is considered as a parameter in the other case. In fact, the optimal selection of the bolt and its dimensions including thickness of the rest of elements involved is the goal in this category.

The second category includes the criteria associated to failure of the elements. That is possible by including mathematical expressions and some restrictions inside the GA's program. These restrictions allow to the GA to provide

solutions which satisfy the failure criteria. The stresses values generated by the internal pressure or loads i) tension and ii) shear. The stresses values must be lower than the strength of the bolts and the elements that make the bolted joint. In this category, the mechanical properties of the elements involved in the joint are clearly analyzed for all the cases.

According the design of the bolted joints developed in this paper, the formulation of the all the cases of study will be analyzed but, in the pressurized cylinders case, the load conditions must be just described.

B.1 For cylinder case

(a) The maximum pressure available (:

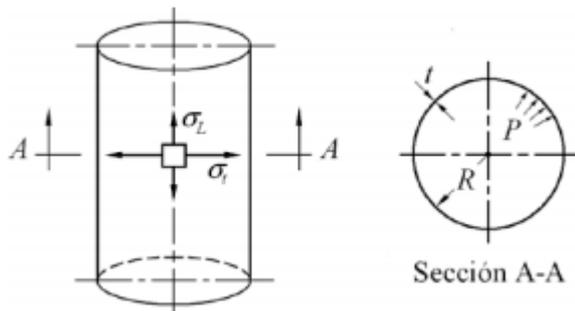


Figure 1: Stresses in a cylindrical body.
Source: (American Society of Mechanical Engineers, 2013)

To determinate the admissible pressure (Pa) it is considered the maximum admissible strength (S), joint efficacy (Ej=0.65), thickness of the cylindrical body (t) and internal ratio (Ri).

For the tangential axis:

$$P_a = \frac{S E_j t}{R_i + 0.6 t} \quad (1)$$

If: $t \leq R_i/2$

For the longitudinal axis

$$P_a = \frac{2 S E_j t}{R_i - 0.4 t} \quad (2)$$

To determinate the stresses it is considered the working pressure (Pi), external ratio (Ro) and internal ratio (Ri).

(b) Longitudinal stress and tangential stress

$$\sigma_t = \frac{R_i^2 P_i}{R_o^2 - R_i^2} \left(1 + \frac{R_o^2}{R^2} \right)$$

$$\sigma_L = \frac{R_i^2 P_i}{R_o^2 - R_i^2} \left(1 - \frac{R_o^2}{R^2} \right)$$

(c) Area across the thickness (area_t)

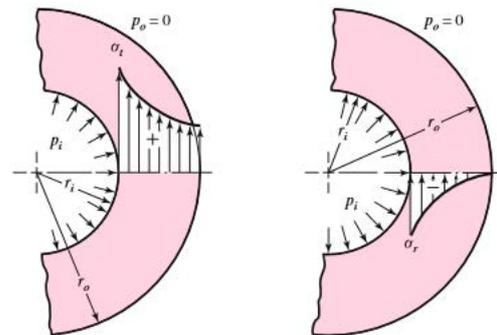


Figure 2: Tangential (a) and Longitudinal (b) distribution of stresses.

Source: (Budynas, Nisbert, & Screws, 2002)

$$area_t = 2 \pi (R_o^2 - R_i^2)$$

Where the original area is multiplied by two because there will be two areas to joint under the load conditions. (F_L, F_t)

For the present research the material selected for the study is a high speed steel which properties may be found on Table 1.

C. Bolted joint design analysis

Once we have the stresses (3)(4)/forces (1) (2) that will affect the joints (load conditions) in function of the internal pressure (for the case of cylindrical joint case), the maximum available pressure, and the traction and shear loads (for the horizontal plates joint case), the design to support these loads conditions begins.

First, the properties of the material i) maximum admissible strength (S), Young Modulus (E) and steel density ($dens_1$) to be used in the cylindrical case is defined:

Table 1
Material properties of HSS steel

<i>HSS Properties</i>	$S = 250 \text{ MPa}$ $E = 250 \times 10^3 \text{ MPa}$ $dens_1 = 7.85 \times 10^{-3} \text{ (g/mm}^3\text{)}$
-----------------------	--

Source: Authors

Then, for the horizontal plates joint case, two materials will be joined under the same load conditions, one is the same high-speed steel with the properties shown in Table 1, and the other one is the composite material T300/5208 CFRP laminae (transversely isotropic material) with the following properties:

Table 2
Material properties of T300/5208 CFRP laminae

<i>Composite Properties</i>	$E_1 = 181 \times 10^3 \text{ MPa}$ $E_2 = 10.3 \times 10^3 \text{ MPa}$ $\nu_{12} = 0.28$ $G_{12} = 7.170 \times 10^3 \text{ MPa}$ $S_{11t} = 1.5 \times 10^3 \text{ MPa}$ $S_{11c} = 1.5 \times 10^3 \text{ MPa}$ $S_{22t} = 40 \text{ MPa}$ $S_{22c} = 246 \text{ MPa}$ $S_{12} = 68 \text{ MPa}$ $dens_2 = 2.95 \text{ kg/m}^3$
-----------------------------	--

Source: Authors

The properties of the metric bolts: M8, M10, M12, M14, M16, M20 and M24 in different classes (strength) are shown in table 3.

Table 3
Material properties for bolts

Bolt type	d(mm)	Step (mm)	H-nut (mm)	Sp (MPa)	Class	Prize/u (\$)
1	8	1	6.8	600	8.8	0.38
2	10	1.25	8.4	600	8.8	1.11
3	12	1.25	10.8	600	8.8	1.27
4	14	1.5	12.8	600	8.8	2.05
5	16	1.5	14.8	600	8.8	2.28
6	20	1.5	18	600	8.8	3.96
7	24	2	21.5	600	8.8	6.05
8	8	1	6.8	970	10.9	0.75
9	10	1.25	8.4	970	10.9	1.85
10	12	1.25	10.8	970	10.9	2.20
11	14	1.5	12.8	970	10.9	2.90
12	16	1.5	14.8	970	10.9	3.40
13	20	1.5	18	970	10.9	5.72
14	24	2	21.5	970	10.9	7.28

Source: Authors

These bolts have been chosen due to the necessity to obtain commercial bolts (prize of the nut included considering a length of 200 mm). The tension's stress area is a property of each bolt, but there is a curve relationship between this and the diameter of the bolt, so the next equation is taken on the way to reduce one variable inside the GA.

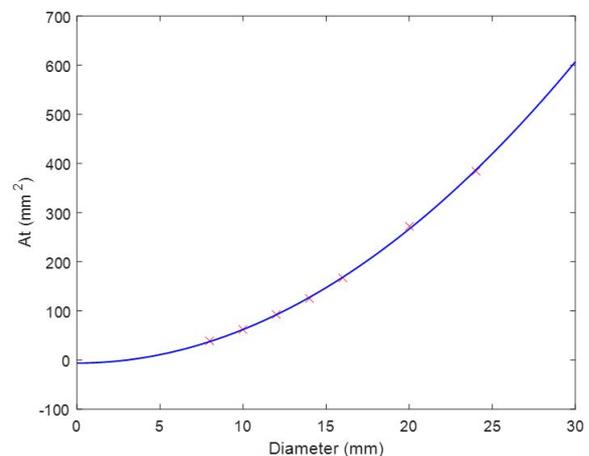


Figure 3: (tension's stress area) curve.
Source: Authors

Where the area is defined by:

$$A_t = 0.6799 d^2 + 0.0496 d - 6.4340 \quad (5)$$

Then, the stiffness of the bolts and joint needs to be calculated.

(a) Stiffness of the bolt (k_b)

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{(A_d l_t) + (A_t l_d)} \quad (6)$$

Where A_d is the area of the nominal diameter of the bolt; l_t is the threaded length in the grip, l_d is the length of the grip (thickness of the cylinder + the thickness of the two joint plates) and d is the length of the non-threaded portion in the grip.

(b) Stiffness of the joint (k_m)

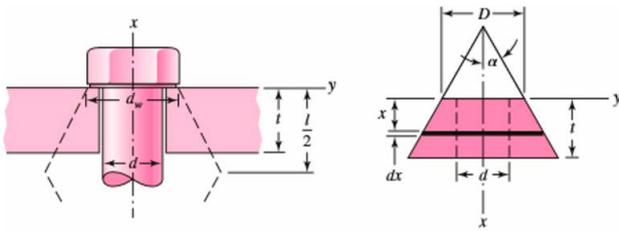


Figure 4: Compression of an element with equivalent elastic properties represented by a trunk of a hollow cone. Here, "l" represents the length of the grip. Source: (Budynas, Nisbert, & Screws, 2002)

$$k = \frac{0.5774 \pi E d}{\ln \frac{(1.115t + D - d)(D + d)}{(1.155t + D + d)(D - d)}} \quad (7)$$

If the two union members have the same Young modulus with symmetrical back-to-back trunks, then they act as two identical springs in series configuration. From equation (7), we know that $k_b = k_m / 2$. Using the grip as $l = 2t$, it is found that the spring ratio of the elements and alpha is 30° is given by:

$$k_{m1} = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln \left(\frac{5(0.5774 l + 0.5 d)}{0.5774 l + 2.5 d} \right)} \quad (8)$$

Then, the stiffness of the joint elements is given by:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_{m1}} + \frac{1}{k_{m2}} + \frac{1}{k_{m3}} + \dots + \frac{1}{k_{mi}} \quad (9)$$

(c) Stiffness constant (C)

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (10)$$

Note that these values will change in function of the bolt chosen which are inside de GA.

(d) Preload of the bolt (F_i)

$$F_i = 0.9 A_t S_p \quad (11)$$

Where F_i is for permanent joints and S_p is the strength probe (minimum).

For more details, the reader is referred to (Budynas, Nisbert, & Screws, 2002).

Finally, in Figure (5), it is represented graphically the description of the problem which is solved by the GA (cylindrical joint case).

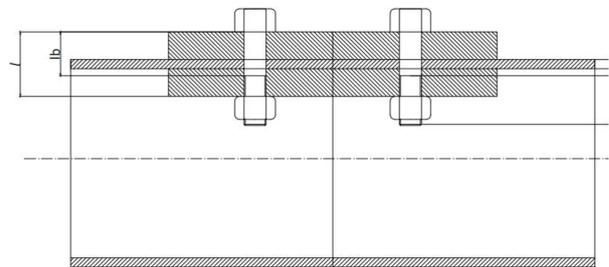


Figure 5: Problem description (cylindrical joint case) Source: Authors

For the horizontal plates' joint case, is the same idea, joint two plates of HSS or composite material in the middle, with two joint plates of HSS (one above and one below) with one line of bolts in each horizontal plate as well.

D. Composite Failure Criteria

Mechanically as we defined, there is an explained approach to make a safety bolted joint with metal and with any other material using the equations (7), (8), and (9), but in this paper an analysis of the strength of all the plies in composite material with the laminate theory is necessary, for that reason the stress failure criteria will be adopted in this paper due to the simplicity of the theory, and its extensively use in the industry.

The composite material to be used in this paper is the T300/5208 CFRP laminae with a ply orientation $[0, 45, -45, 90]_s$, the properties required to solve the laminate theory are detailed on Table 2. This material is transversally isotropic, having one plane as an isotropic, and that will be useful in the methodology to calculate the stresses in the plies under the load conditions mentioned.

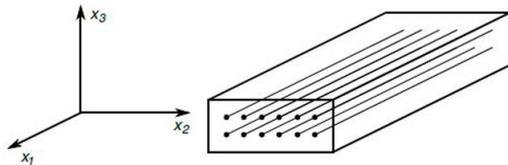


Figure 6: Transversally Isotropic material.
Source: Authors

Five independent constants are required to characterize this material, considering the plane 2-3 as isotropic we have:

$$E_{11}, E_{22} = E_{33}, \nu_{12} = \nu_{13}, \nu_{23}, G_{12} = G_{13}$$

And with these values the compliance [S] and stiffness [C] matrixes are defined:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{23} & C_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{C_{22} - C_{23}}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{23} & S_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(S_{22} - S_{23}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}$$

Then, the laminate theory is applied and the in-plane stiffness matrix [A], the coupling matrix [B], and the bending stiffness matrix [D] are required, for more information about the laminate theory the reader is referred to (Barbero, 2010).

Once we have the laminate theory, the maximum stress failure criteria is applied:

(a) Stress Failure Criteria.

$$\text{Fiber: } \sigma_{11} \geq \sigma_{11T}^u \text{ or } \sigma_{11} \leq \sigma_{11C}^u$$

$$\text{Matrix: } \sigma_{22} \geq \sigma_{22T}^u \text{ or } \sigma_{22} \leq \sigma_{22C}^u$$

$$\text{Shear: } |\sigma_{12}| \geq \sigma_{12}^u$$

The limit values are explained in Table 2.

The stress concentration produced by the presence of holes is considered by means of Stress concentration factor (Toubal, Karama, & Lorrain, 2005).

(b) Stress concentration factor ($K_{\pi/2}$)

$$K_{\pi/2} = \frac{\sigma_y(r, 0)}{\sigma_\infty} = 1 + n \quad (12)$$

The variable is defined:

$$n = \sqrt{2 \left(\frac{E_{11}}{E_{22}} - 2\nu_{12} \right) + \frac{E_{11}}{G_{12}}} \quad (13)$$

Before to apply the equation (13) it is necessary to compute the apparent properties of the consider laminate, due to this numerical approach needs the properties of the laminate, which are:

Table 4
Apparent Properties of the laminate (definition).

	$E_{xx} = \frac{1}{S_{11}}$	$E_{yy} = \frac{1}{S_{22}}$	$E_{zz} = \frac{1}{S_{33}}$
Apparent properties.	$G_{yz} = \frac{1}{S_{44}}$	$G_{zx} = \frac{1}{S_{55}}$	$G_{xy} = \frac{1}{S_{66}}$
	$\nu_{xy} = -\frac{S_{12}}{S_{11}}$	$\nu_{yz} = -\frac{S_{23}}{S_{22}}$	$\nu_{zx} = -\frac{S_{31}}{S_{33}}$

Source: Authors

Table 5
Apparent Properties of the laminate (values).

$E_{xx} = 118560 \text{ MPa}$	$E_{yy} = 54090 \text{ MPa}$
$E_{zz} = 12028 \text{ MPa}$	

Apparent properties.	$G_{yz} = 4719.8 \text{ MPa}$	$G_{zx} = 6077 \text{ MPa}$	
	$G_{xy} = 15314 \text{ MPa}$		
	$\nu_{xy} = 0.20$	$\nu_{yz} = 0.38$	$\nu_{zx} = 0.03$

Source: Authors

Once we have the stress concentration factor at $K_{\sigma_2} = 4.36$ at $(x=R)$, this value must be multiplied to the stress obtained in the stress analysis to have a very close approach to the real stresses in the most critical zone of the composite material, for more information the reader is referred to (Touba, Karama, & Lorrain, 2005).

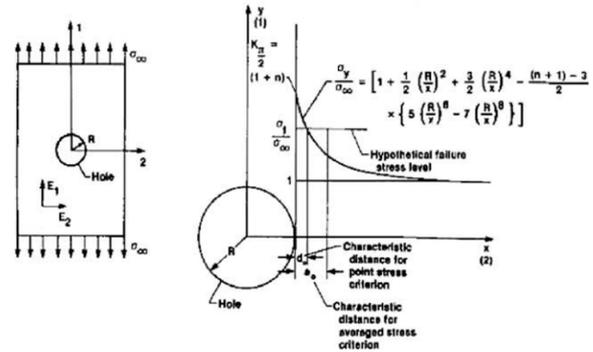


Figure 7: Failure hypothesis
Source: (Whitney & Nuismer, 1974)

METHODOLOGY

A. Constraint analysis

As mentioned above, the goal of this paper is to minimize the mass of the joint, the prize of it and maximize the safety factor. For that the GA used to solve this engineering problem is

“gamultiobj”. This GA allow us to manage as many objective functions as we need to solve a specific problem under some engineering constraints, which will provide us a safe joint, for that the variables in the GA are the next, considering that the function to be called (N).

Table 6

Variables in the GA program (cylindrical joint case).

Variables	$N(1) = \text{Bolt type (14 types available)}$
	$N(2) = \text{Number of total bolts (Num)}$
	$N(3) = \text{Thickness of joint plates (2)(mm)}$
	$N(4) = \text{Internal Ratio (Ri)(mm)}$
	$N(5) = \text{Safety factor (n)}$
	$N(6) = \text{Thickness of cylinder(mm)}$

Source: Authors

Table 7

Variables in the GA program (horizontal plate case).

Variables	$N(1) = \text{Bolt type (14 types available)}$
	$N(2) = \text{Number of total bolts (Num)}$
	$N(3) = \text{Thickness of joint plates (2)(mm)}$
	$N(4) = \text{Safety factor (n)}$
	$N(5) = \text{Thickness of the horiz. plate (mm)}$

Source: Authors

With these values in the program as variables, the GA solution will provide us the optimal solutions making a "Pareto Plot" to visualize all the combinations of the workable solutions. Next, the engineering restrictions needs to be defined in a function of the restriction function (c):

For more details about the Pareto plot, the reader is referred to (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 2009).

(a) Traction in the bolt (c_1)

$$\frac{\left(\frac{C n F_L}{Num} + F_i\right)}{A_t} \leq S_p \quad (14)$$

(b) Shear in the bolts (c_2)

$$\frac{F_t n}{\left(\frac{0.577 Num \pi D^2}{4}\right)} \leq S_p \quad (15)$$

(c) Bearing on the elements (Joint plates/cylinder) (c_3)

$$\frac{F_L n}{2 N(3) D Num} \leq S \quad (16)$$

(d) Bearing in the bolts (c_4)

$$\frac{F_L n}{2 N(3) D Num} \leq S_p \quad (17)$$

These constrains will provide us a safe joint to these of the possible failures mentioned, but there are other important parameters to consider especially in the cylindrical case. It is necessary to design the joint plates, and these plates need to be designed in function of the diameter of the bolt. The design of the joint plates includes the distance between the center of the holes length and wide (NBE EA-95, 1996). For that in the cylindrical recipient, a longitudinal constrain is generated, because we cannot have more bolts along the perimeter of the joint plate under these distances conditions.

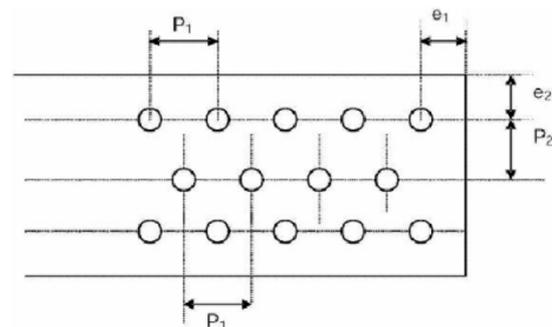


Figure 8: Bolts distributions

Source: Authors

Where:

Table 8

Distances between holes and edges.

	Maximum Value	Minimum Value
P_1	$8 d$	$3 d$
P_2	$8 d$	$3 d$
e_1	$3 d$	$2 d$
e_2	$3 d$	$2 d$

Source: (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 2009)

(e) Longitudinal restriction (c_3)

$$1.5 D * Num \leq 2 \pi (R_o + N(3)) \quad (18)$$

The next constrain is defined by the admissible pressure in the cylinder case, this paper will show different curves for different internal pressures how is defined in the equation (1) and (2), but we cannot exceed the admissible pressure, that is not necessary to be done in the horizontal plates, for that in this paper, for the horizontal plates case, there will be a comparison between the joint steel plates and composite plates under the same load conditions.

(f) Internal pressure (P_i) (c_6)

A. Objective functions

How was said, the objective of this paper is to work with several main functions in the way to maximize or minimize according the engineering requirements, for that the functions used by the GA program are in a function of the main function (f):

(a) Prize objective function (f_1)

To determinate the prize objective function it is considered the parameter $t_1 = (Num - 1) * 3 D + 4 D$ (Length of the plates), $w_1 = 300$ (mm) width of the plate to be joined, : 3.85 dollars/Kg for steel, $cost_2$: 150 dollars/m² (1 ply 0.125mm thick) of composite material

(a.1) Prize function for steel horizontal plates joint.

$$f_1 = Num Prize + (2 (8 D t_1 N(3)) * dens_1 * cost_1) + (2 (w_1 t_1 N(5)) dens_1 * cost_1)$$

(a.2) Prize function for composite material horizontal plates joint.

$$f_1 = Num Prize + (2 (8 D t_1 N(3)) * dens_1 * cost_1) + (2 \left(w_1 t_1 \frac{N(5)}{0.125} \right) * cost_2 / 10^6)$$

The result has 3 terms in the summation, the first one is the number of bolts obtained by the GA and multiplied by the correspond prize of each bolt detailed in Table 3, the second one is the volume of the two joint plates of steel (all the cases is the same. And, the third term is the calculation of the prize of the steel/composite material to be joined. For steel as a function of the density and for the composite material in function of the area of one ply of it.

(a.3) Prize function for cylindric joint.

In this case, the prize of the joint plates is not included because, this will add a kind of constant value to the total prize, that happens due to the cost of these plates are in function of the weight of them (here we only work with steel), so these values are in a range that be considered like a constant and will not represent a change in the results.

$$f_1 = Num Prize$$

(b) Safety factor of the joint (f_2)

$$f_2 = \frac{1}{n}$$

This is only a mathematical expression to be included in the GA to maximize the safety factor of the joint as we expect.

(c) Mass of the joint (f_3)

(c.1) Mass function for steel horizontal plates joint.

$$f_{(3)} = \left[\left(\frac{\pi D^2}{4} (l_b + l_t) Num \right) + 2 \left(\frac{1.5 \pi D^2}{4} H Num \right) \right] \cdot dens_1 + (2 (8 D t_1 N(3)) * dens_1) + (2 (w_1 t_1 N(5)) dens_1)$$

(c.2) Mass function for composite material horizontal plates joint.

$$f_{(3)} = \left[\left(\frac{\pi D^2}{4} (l_b + l_t) Num \right) + 2 \left(\frac{1.5 \pi D^2}{4} H Num \right) \right] \cdot dens_1 + (2 (8 D t_1 N(3)) * dens_1) + (2 (w_1 t_1 N(5)) dens_2)$$

(c.3) Mass function for cylindrical case.

In this case the mass of the joint plate and the cylinders are not included neither, for the same reason mentioned below

$$f_{(3)} = \left[\left(\frac{\pi D^2}{4} (l_b + l_t) Num \right) + 2 \left(\frac{1.5 \pi D^2}{4} H Num \right) \right] \cdot dens_1$$

This procedure includes the same aspects of the objective function (), and the dimensions previously defined in the Figure 5, In fact the mass of all the elements of the bolted joint.

C. Variables' limits

The GA needs to work in range of values to evaluate the main functions inside values given by the programmer, so these values are added to

the GA in the way to obtain values for a common dimension of the cylinder case / horizontal plates' case and those respective thicknesses.

Table 9
GA's variables' range for the cylindrical case.

VARIABLE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
N(1)	1	14
N(2)	1	200
N(3)	2	100
N(4)	400	600
N(5)	2	+inf
N(6)	2	100

Source: Authors

Table 10
Variables' range in the GA for horizontal plates case.

VARIABLE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
N(1)	1	14
N(2)	1	200
N(3)	2	100
N(4)	2	20
N(5)	2	90

Source: Authors

RESULTS AND DISCUSSION

A. Horizontal joint plate case.

The results for this case are shown after applying two loads, one perpendicular to the plates (F_L), and one axial load (F_t), the values are detailed in the Table 9.

Table 11
Loads for horizontal joint plates.

Load conditions	$F_L = 11000 (N)$ $F_t = 110000 (N)$
-----------------	---

Source: Authors

For the joint of steel or composite material, the prize to obtain a correspond safety factor is:

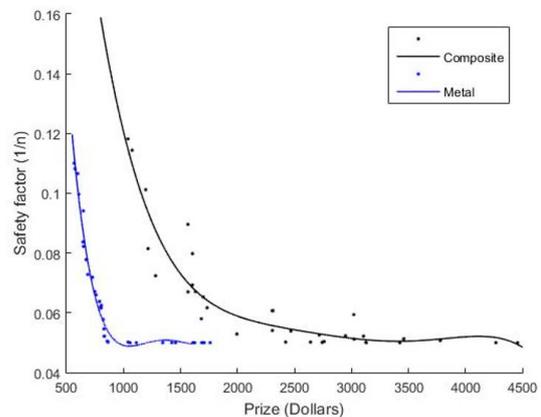


Figure 9: Prize vs safety factor for metal and composite material.

Source: Authors

As we can see, the values and curves obtained have big differences, that happens because we are considering all the elements which make the bolted joint for each case, the joint plates, one above and one below of the horizontal plate (steel or composite), and the bolts, all of them are considered in the Figure 9 under the same load conditions. Having as results for the same safety factor, prizes around two or three times difference between both materials. Then, the analysis of the mass of all the joint is also analyzed under the same load conditions and the same considerations, assuming 300 millimeters width of the plate to join again (steel or composite) (w_1).

in the same conditions, where the values of each Variable factor inside the GA are detailed (Table 7).

This information gives us a real and useful idea to decide how to design, where the designer or the costumer must take the decision if the budget or the mass of the structure has more importance, because only as an example, for the same safety factor (0.05), which is the biggest one, using steel, the bolted joint will have a mass of 224.13Kg with an inversion of 1687.2 dollars and, using the composite material it will have a mass of 65.93Kg with an inversion of 4458.5 dollars. The difference of mass and price are between two and three times, for that it is important to make the chose in function of the applications and the conditions of the bolted joint.

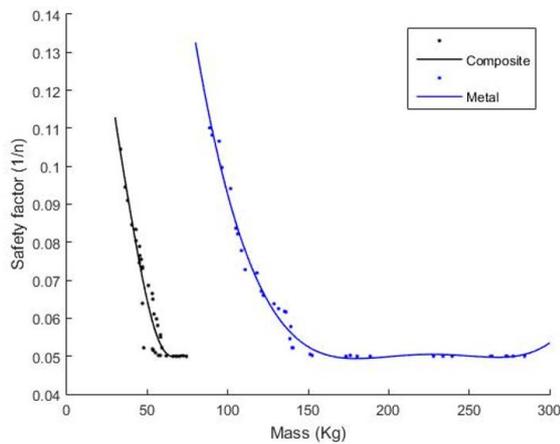


Figure 10: Mass vs safety factor for metal and composite material.

Source: Authors

Table 12

Prize, mass and GA's variables for each material.

Material to join	Safety Factor (1/n)	Prize (\$)	N(1)	N(2)	N(3)	N(5)	Mass (Kg)
Steel	0.11	567.6	11	8	25.15	37.55	84.92
Composite	0.11	1076.3	8	29	6.83	20.98	35.25
Steel	0.05	1687.2	10	25	15.61	45.55	224.13
Composite	0.05	4458.5	8	59	6.78	43.21	65.93

Source: Authors

The values in the Table 12 correspond to a comparison between the highest and lowest safety factor value and the material to be joined

Then, how was mentioned before in the part II-D an analysis of the plies of the composite material is required to verify if there is not any ply overcharged. For that, in this analysis using the laminate theory and under the stress failure criteria (Barbero, 2010), only one load in the direction 2, detailed in the Figure 6, was applied.

This load was the highest one, having the following ply's behavior.

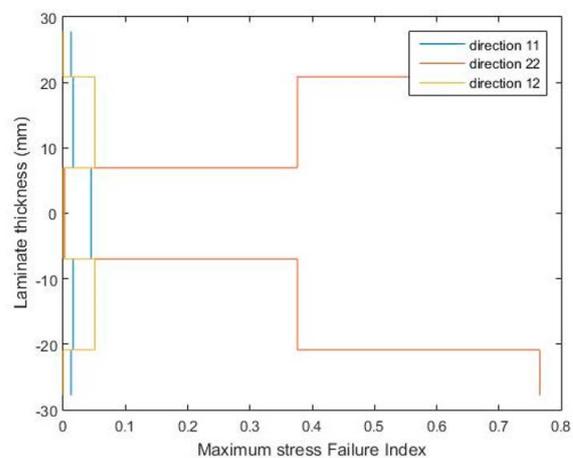


Figure 11: Failure stress criteria vs Laminate thickness.

Source: Authors

In the composite material analysis under 110000 Newtons in the direction 22 and according to the Figure 10, The composite material does not present any failure along the thickness, for that reason we can assume, in the direction 3, detailed in the Figure 6, and because the laminate behaves as a Quasi Isotropic material due to the plies orientation, there not will be failures under a lower load in that direction (load of 11000 Newtons) having not the necessity to analyze the plies in the direction 3.

In this case, to joint horizontal plates many loads conditions were tried in this part of the paper but, these combinations of loads can be supported for both materials without failures.

B. Cylindrical joint case

In the cylindrical joint case GA, the restriction of the internal pressure is included, so we cannot expect to obtain results if an input value above the internal pressure limit for that. In this paper, typical pressures common thicknesses of pressure Vessels were considered, but these values could change depending the application.

Table 13

Internal pressures to be considerate in the GA.

Internal Pressures	$P_1 = 0.8 \text{ (MPa)}$
	$P_2 = 1.0 \text{ (MPa)}$
	$P_3 = 1.2 \text{ (MPa)}$
	$P_4 = 1.5 \text{ (MPa)}$

Source: Authors

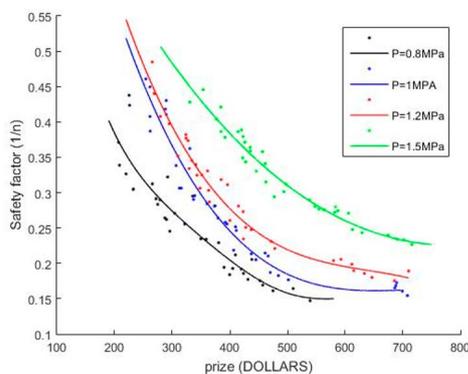


Figure 12: Prize vs Safety Factor.
Source: Authors

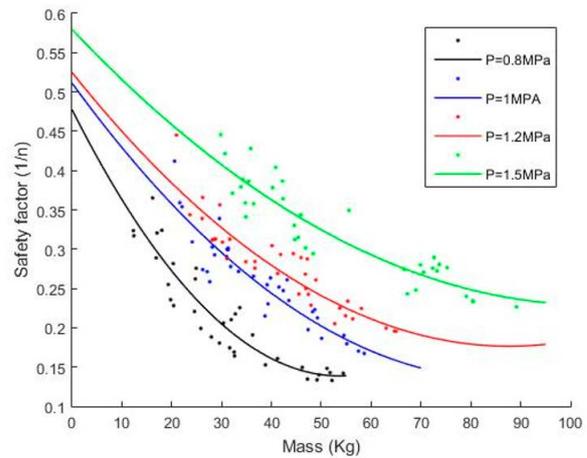


Figure 13: Mass vs Safety Factor
Source: Authors

According to the results shown in Figure 12 and Figure 13, all the points generated are a possible solution of the problem for each pressure, which means that every point is a solution which satisfy the design requirements. In fact, for each point shown in the Figures 12 and 13, there are solutions for all the variables mentioned in the Tables 6 and 7, and these variables are making that, the all the possible combinations, give us the maximum safety factor, the minimum weight and the minimum prize of make it which are adjusted to a tendency line.

Next, as an example, the variables inside the GA are shown for all the internal pressures to obtain a safety factor between 0.25 and 0.26

Table 14

Prize, mass and GA's variables for cylindric joint.

Internal Pressure (MPa)	Prize (\$)	N(1)	N(2)	N(3)	N(5)	N(6)	Mass (Kg)
0.8	264.02	12	77	42.15	422.6	72.06	26.89
1	317.60	12	93	32.98	457.0	82.91	31.16
1.2	450.78	13	78	47.98	437.4	62.45	45.47
1.5	663.37	13	115	67.59	487.5	76.56	82.08

Source: Authors

CONCLUSIONS

A methodology to design optimal bolted joints is proposed. The design variables considered are: bolt diameter, thickness of plates and joint geometry.

The objective functions considered are minimum weight, minimal cost and maximal safety factor.

The methodology works in the way to obtain the maximum or minimum value for each objective function in the GA, but satisfying the constraints given for the corresponding failure criteria theory.

The results aim to give to the designer/costumer all the family of optimization values to analyze what constrain has more influence (weight/prize) for a specific application.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the support from AMADE research group of the University of Girona - Spain.

REFERENCES

- American Society of Mechanical Engineers. (2013). ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section III. UNE ENV 1090-1 (Eurocode).
- Barbero, E. J. (2010). Introduction to Composite Materials Design (2nd Ed. ed.). CRC Press.
- Budynas, R., Nisbert, K., & Screws. (2002). Fasteners, and the Design of Nonpermanents Joints. Shigley's Mechanical Engineering Design, 9th Ed., 409-459.
- Guillamet, G., Turon, A., Sebaey, T., & Costa, J. (2012). A Methodology to Optimize Laminate Stacking Sequence to Maximize Laminate Delamination Resistance Using the Ant Colony Optimization Technique. 1-10.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2009). Herramientas para la Mejora de la Calidad. UNIT.
- Melanie, M. (1996). Genetic Algorithms: An Overview. An Introduction to Genetic Algorithms(5th Ed.), 2-10.
- NBE EA-95. (1996). Steel Building Structures.
- Orifici, A., Herszberg, I., & Thomson, R. (2008). Review of Methodologies for Composite Material Modelling Incorporating Failure. Composite Structures 86, 194-210. Retrieved from 10.1016/j.compstruct.2008.03.007
- Toubal, L., Karama, M., & Lorrain, B. (2005). Stress in a Circular Hole in Composite Plate Concentration. Science Direct, 31-36. Retrieved from 10.1016/j.compstruct.2004.02.016
- Whitney, J., & Nuismer, R. (1974). Stress Fracture Criteria for Laminated Composites Containing Stress Concentrations. J Compos Mater, 8-253.

REVISIÓN DE LOS TIPOS DE CONTROL PARA LOS SISTEMAS BOLA Y PLACA

REVIEW OF CONTROL TYPES FOR BALL AND PLATE SYSTEMS

Darío Fernando Yépez Ponce¹ Héctor Mauricio Yépez Ponce²

¹Instituto Superior Tecnológico Eloy Alfaro, Esmeraldas, Ecuador
E-mail: dfyp1991@gmail.com

² Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador
E-mail: mauroyeppez32@gmail.com

Resumen

En este artículo se realizó una revisión de los diferentes tipos de control para el posicionamiento de sistemas bola y placa (B&P). Se inició analizando la estructura básica que debe tener un sistema B&P, sus propiedades y problemas que se presentan para el control de seguimiento de ruta; el mismo se subdivide en dos: el control de posición de la bola y el control del ángulo de placa. Posteriormente, se revisaron los algoritmos generales básicos; para el modelado matemático los más utilizados son las ecuaciones de Euler-Lagrange, la teoría de estabilidad de Lyapunov y los criterios de estabilidad de Routh. Para el control lo más común son los ciclos con doble retroalimentación utilizando las técnicas de control más comunes: control de modo deslizante (SMC, por sus siglas en inglés), controlador proporcional-integral-derivativo (PID) y los controladores de lógica difusa (FLC, por sus siglas en inglés). En algunos artículos no se utiliza estos controladores solos; sino también en combinación de los mismos con otras técnicas como inteligencia artificial, redes neuronales, visión artificial, entre otros. Finalmente, se muestra una tabla en la que se observa el rendimiento del algoritmo de cada control revisado.

Palabras clave– bola y placa, sistemas de control, técnicas de control, no-linear, multivariable.

Abstract

In this article, a review of the different types of control for the positioning of ball and plate systems (B&P) was carried out. It began by analyzing the basic structure that a B&P system must have, its properties and problems that arise for route tracking control; it is subdivided into two: the ball position control and the plate angle control. Subsequently, the basic general algorithms were reviewed; For mathematical modeling, the most widely used are the Euler-Lagrange equations, Lyapunov's theory of stability and Routh's stability criteria. For control, the most common are double feedback loops using the most common control techniques: slider mode control (SMC), proportional-integral-derivative controller (PID) and fuzzy logic controllers (FLC). In some articles these drivers are not used alone; but also in combination with other techniques such as artificial intelligence, neural networks, artificial vision, among others. Finally, a table is shown in which the performance of the algorithm of each revised control is observed.

Key Words-- ball and plate, control systems, control techniques, non-linear, multivariable.

INTRODUCCIÓN

Los modelos educativos facilitan la prueba de algoritmos que simulan el funcionamiento de un sistema real en una réplica simplificada. Por ejemplo, diseñar y probar una estrategia de control en un robot humanoide sería imprudente y económicamente costoso experimentar directamente en el robot; sin embargo, un péndulo invertido, que imita la caminata de un ser humano, sería la opción más adecuada y económicamente alcanzable tanto para la experimentación como para la investigación (A.N. Hunde, 2011; Fabregas, Chacón, Dormido-Canto, Farias, & Dormido, 2015; Kalúz, Klaučo, Ćirka, & Fikar, 2019; Lian, Xu, Zuo, & Huang, 2014; Parga, Yu, & Li, 2015).

Para Nguyen, Olaru, Gutman, & Hovd (2012), los sistemas B&P en términos simples se describen como sistemas constituidos por una placa plana que puede ser rectangular o circular, la misma se encuentra fijada de forma móvil en su centro por un apoyo para que pueda inclinarse libremente en dos direcciones ortogonales; una bola generalmente de acero rueda libremente sobre la placa; una cámara; dos servomotores y una placa de control como se puede ver en la Figura 1. El principal objetivo de estos sistemas, es ordenar que la bola se coloque en un lugar determinado dentro de la placa o indicarle la trayectoria a seguir sin que la misma salga fuera de los bordes de la placa. Los sistemas B&P son sistemas no lineales que tiene más de una variable, en estos sistemas los grados de libertad son mayor que la cantidad de actuadores que accionan el sistema. El control de este tipo de sistemas se dificulta debido a las fricciones, reacción de los efectos en la transmisión, retrasos en las mediciones y parámetros inestables que afectan al control del sistema (KOSE, KAPLAN, & Ertunc, 2018; Sun & Li, 2012).

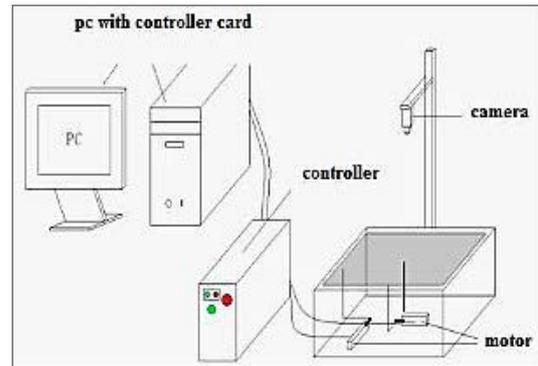


Figura 1: Hardware para un sistema B&P.
Fuente: Sun & Li, 2012.

En Sun & Li (2012), se propone un diagrama de bloques que podría representar el control del sistema B&P como se indica en la Figura 2.

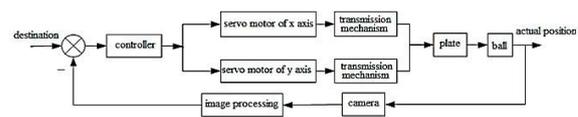


Figura 2: Bloque de control de los sistemas B&P.
Fuente: Recuperado de (Sun & Li, 2012).

Los sistemas B&P tienen cuatro grados de libertad (dos movimientos independientes de la bola sobre el plano de la placa y otros dos movimientos de las inclinaciones combinadas de la bola y la placa sobre el pivote fijo en el centro de la placa). Los sistemas B&P ofrecen la oportunidad de estudiar problemas relacionados al seguimiento de trayectorias y de estabilidad. El sistema B&P fue establecido por primera vez en los laboratorios de Rockwell de la Universidad de Checoslovaquia en 1990 (Chevalier, Copot, Ionescu, & Keyser, 2016; KASSEM, HADDAD, & ALBITAR, 2015; H. Liu & Liang, 2010).

Las técnicas de control más utilizadas para controlar este tipo de sistemas suelen ser: PID, SMC y FLC.

La técnica del control PID, es una técnica de control muy usada para controlar sistemas dinámicos debido a su simplicidad en la aplicación. El cálculo y la determinación de los parámetros PID es un tema importante en el diseño del controlador; estos parámetros pueden ser sintonizados y ajustados durante la operación y en tiempo real utilizando redes neuronales artificiales o técnicas de control de lógica difusa (Köse, Kaplan, Ertunç, & Üniversitesi, 2013).

El SMC es conocido por su incertidumbre sobre el sistema y su insensibilidad a los efectos perturbadores. Este método de control, es esencialmente discontinuo, espera que las condiciones del sistema alcancen la superficie deslizante para que el controlador mueva la situación a la superficie deslizante generando una señal de salida repentina (Köse E., Abacı K., 2010).

El FLC a diferencia de los métodos de control tradicionales, no requiere de un modelo matemático, es una técnica muy ocupada en el control de sistemas no lineales, genera grupos difusos usando variables lingüísticas. Para este tipo de control es necesario disponer de una tabla de reglas que conste las variables lingüísticas y la relación entre los grupos de entrada y salida en el FLC (Köse et al., 2013).

Por lo descrito anteriormente, el objetivo de esta revisión es analizar las técnicas de control desarrolladas en el pasado y las comúnmente utilizadas en los sistemas B&P. Se describen y comparan los principios de funcionamiento, ventajas, desventajas y revisión de trabajos relacionados con cada técnica de control. Por lo tanto, de esta revisión, las técnicas de control de sistemas B&P pueden ser estudiadas más a fondo y servir de base para investigaciones de mayor complejidad.

Este artículo consta de 3 secciones. La sección 1 cubre la introducción de los sistemas B&P y sus diferentes tipos de control. La Sección 2 describe la metodología empleada para obtener la información relevante acerca del tema en estudio y una revisión literaria; revisión del modelo matemático y técnicas de control. Se discuten los principios de funcionamiento de cada método con sus ventajas y limitaciones a tener en cuenta en los sistemas B&P, también se describe y compara las ventajas, desventajas y revisión de trabajos pasados relacionados con cada técnica. Finalmente, en la Sección 3 se describen las conclusiones a las que se ha llegado luego de la revisión.

DESARROLLO

2.1. Metodología

Se diseñó una investigación teórica aplicando la metodología Prisma (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Grp, 2009). La investigación se fundamentó en la pregunta: ¿Cuáles son las técnicas de control usadas en sistemas B&P?

Con base en la pregunta de investigación planteada y con la finalidad de especificar la investigación, se emplearon los términos booleanos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1:
Ecuaciones de Búsqueda.

N	Ecuaciones de búsqueda
1	"ball and plate system" AND "control techniques"
2	"ball and plate system" AND "PID Controller"
3	"ball and plate system" AND "artificial vision"
4	"PID Controller" AND "ball and plate system" AND "artificial vision"
5	"ball and plate system" AND "artificial intelligence"
6	"bio controllers" AND "ball and plate systems"

Fuente: Propia

La búsqueda de información se realizó en cuatro bases de datos reconocidas e indexadas: IEEExplorer, Scopus, ScienceDirect y Web of Science; al no obtener mucha información del tema de investigación propuesto, se tomaron en cuenta las conferencias y artículos publicados entre los años 2002 y 2019; se encontró información en tres de las seis ecuaciones planteadas. Para garantizar la exhaustividad de la información, se usó como criterio de exclusión "controladores para motores DC" y se complementó con la literatura científica no indexada.

2.1.1. Plan de análisis

La revisión de los artículos de investigación se realizó en base al título de la publicación con la finalidad de extraer y segregar la información útil para desarrollar satisfactoriamente la investigación. En primer lugar, se buscó información referente a la definición de los sistemas B&P, tipos de control empleados en estos sistemas y sus aplicaciones. Esta información se halló en el resumen y la introducción de los artículos investigados. Consecutivamente, con base en los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas, se describió las técnicas de control más utilizadas en estos sistemas. Finalmente, se realizó un cuadro comparativo con las diferentes

técnicas de control para los sistemas B&P y sus respectivas ventajas y desventajas.

2.1.2. Resultados

La búsqueda de los artículos de investigación se llevó a cabo en las bases de datos anteriormente descritas, en abril de 2020. Los resultados que se obtuvieron fueron 15 en IEE-Explorer, 28 en Scopus, 31 en ScienceDirect y 4 en Web of Science; dando un total de 78 resultados. Partiendo de estos resultados, se buscaron archivos duplicados en el gestor de referencias Mendeley, encontrando 27 archivos duplicados; fusionando estos archivos quedaron 51 artículos resultantes. Posteriormente, se aplicaron los criterios de búsqueda de inclusión y de exclusión para eliminar los artículos que no pertenecieran a la temática; de esta manera, se obtuvieron 36 artículos de investigación indexados. Referente a la literatura científica no indexada, se encontró en Google Académico 4 artículos de investigación y 2 tesis. Finalmente, aplicando los criterios de sensibilidad, especificidad y exhaustividad, la revisión sistemática realizada dio como resultado final 42 investigaciones en el tema propuesto como se ve en la Figura 3.



Figura 3: Proceso de búsqueda de información.

Fuente: Propia

De las 42 publicaciones utilizadas en la revisión sistemática, se halló que la mayoría de estas proceden de China y Suecia como se aprecia en la Figura 4.

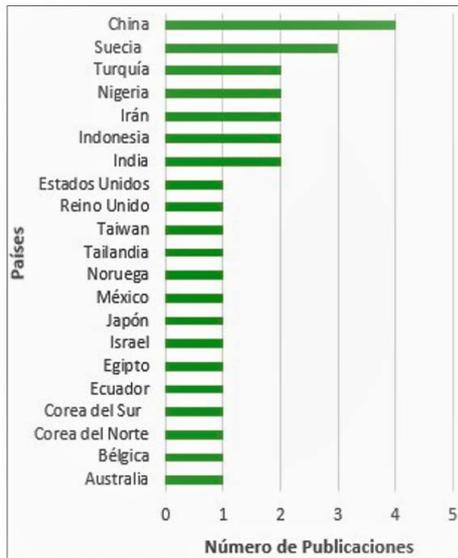


Figura 4: Publicaciones por país.
Fuente: Propia

2.1.3. Revisión de la literatura

A continuación, se muestra un resumen de la literatura publicada acerca de los sistemas B&P.

H. Liu y Y. Liang (2010), propusieron un algoritmo de control de modo deslizante de seguimiento de trayectoria para el control de posición de la bola, logrando demostrar la estabilidad asintótica del sistema lazo cerrado por medio de la teoría de estabilidad de Lyapunov. Lo característico de este artículo es la estructura de la placa, debido a que en lugar de usar una sola placa plana como lo hacen en la mayoría de los casos; usaron dos placas como se muestra en la Figura 5. Sin embargo, en el artículo se menciona sobre un control de doble retroalimentación, pero no se presentó el modelo del lazo interno por lo que se desconoce la naturaleza de los controladores utilizados en el diseño.

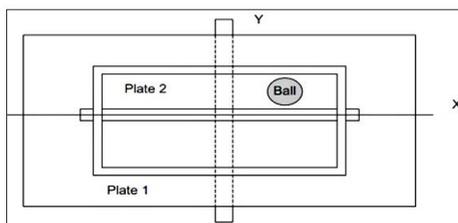


Figura 5: Mecanismo para el sistema B&P.
Fuente: Liu y Y. Liang 2010.

En (Andrews, Hermann, & Colasuonno, 2004; Yaovaja, 2018), se utiliza un mecanismo de placa similar al propuesto en el artículo anterior y se emite un comentario similar del mecanismo de control de la placa propuesto.

H. Wang, Y. Tian, Z. Sui, X. Zhang y C. Ding (2007), propusieron un control de doble retroalimentación para el seguimiento de los sistemas B&P en la plataforma experimental BPVS-JLU I; el sistema utiliza dos codificadores fotoeléctricos para medir las inclinaciones de las placas, para controlar utilizaron un único controlador de lógica difusa de módulos de reglas de entrada con grado de importancia dinámica. Para el lazo de retroalimentación interna se usaron el FLC, el control bang-bang y el control PD. El FLC fue utilizado para mejorar el rendimiento servo-dinámico, el control PD y el control bang-bang fueron utilizados para acelerar la respuesta del sistema y finalmente se empleó un esquema de conmutación para determinar el algoritmo que debe elegirse. El lenguaje del programa de control fue escrito en lenguaje C++ a diferencia de (Knuplei, Chowdhury, & Sveeko, 2003; Yuan, 2009).

D.H. Yuan (2009), propuso un mecanismo de accionamiento neumático compuesto de una placa de circuito amplificador de potencia, una válvula proporcional controlada por flujo, un cilindro oscilante y un mecanismo de varilla de empuje para usar en los sistemas B&P, disponible comercialmente por HUMUSOFT. A diferencia de (Knuplei et al., 2003), Yuan implementó una estructura de doble lazo con el lazo interno y el lazo externo compensados con los controladores PID y PD-Fusy. El FLC es de doble entrada y salida única. La posición y la velocidad de la bola son las entradas, de las cuales la posición se mide mediante una pantalla táctil y el observador de estado diseñado obtiene la velocidad. El ángulo de inclinación de la placa es la salida del controlador.

A. Knuplei, A. Chowdhur y R. SveEko (2003), utilizaron un producto comercial de HUMU-

SOFT de B&P llamado CE151 para demostrar la estabilidad de la bola. El aparato utiliza un servo-drive con un controlador y dos motores paso a paso para controlar la inclinación de la placa. Para calcular la posición de la bola, se utiliza un sistema de video inteligente compuesto por una cámara CCD, una interfaz de marco de imágenes y un programa para el procesamiento de imágenes en tiempo real (suministrado con el aparato). La interfaz de encuadre de la imagen recibe la señal de video analógica, que se digitaliza con el convertidor AD y se guarda como hoja de datos en un medio de almacenamiento. Una computadora determina, a partir de los datos recibidos, la posición de la bola y calcula la diferencia entre el valor de referencia y el real sobre el cual el controlador genera la señal necesaria para los motores paso a paso. Las regiones aceptables para la ubicación de los dos parámetros, la ganancia y el cero del controlador; se determinan a partir de los criterios de estabilidad de Routh para garantizar la estabilidad de la función de transferencia de lazo cerrado.

D. Liu, Y. Tian y H. Duan (2009), propusieron basándose en el modelo dinámico no lineal obtenido de la ecuación de Euler-Lagrange, un observador de elementos inciertos, es decir, los términos de acoplamiento a menudo descuidados en el diseño. Aplicaron la estimación para diseñar un SMC para el sistema B&P. Los resultados de la simulación no incluyen los efectos de la dinámica del actuador y no se pueden comparar con los resultados de otros documentos.

G. Andrews, C. Colasuonno y A. Herrmann (2004), basados en un modelo dinámico no lineal obtenido de la ecuación general de movimiento para un sistema multicuerpo desarrollaron un modelo matemático. Se realizaron linealizaciones para poder aplicar la teoría de control lineal. El esquema de control para el sistema de equilibrio B&P consta de dos lazos: un lazo interno para controlar el torque del motor basado en un ángulo de la placa deseado y un lazo externo para controlar un ángulo de pla-

ca basado en la ubicación deseada de la bola. Para visualizar mejor los resultados de la simulación, se generó una animación tridimensional utilizando el Toolbox de realidad virtual de MATLAB. Propusieron también un diseño idéntico al de (H. Liu & Liang, 2010). En general, esta disposición requiere un motor costoso con un mayor requisito de par de lo que normalmente es necesario y elimina las ventajas obtenidas como resultado del diseño simétrico de los dos movimientos independientes.

H. Duan, Y. Tian y G. Wang (2010), presentaron un documento sobre una técnica de control de rechazo de perturbaciones activas (ADRC, por sus siglas en inglés). El ADRC se aplicó al control de seguimiento de trayectoria del sistema B&P. En el marco ADRC, la perturbación y el acoplamiento se tratan como variables de estado adicionales, que luego se estiman usando el observador de estado extendido (ESO, por sus siglas en inglés) y se compensan en tiempo real. Los resultados obtenidos fueron interesantes, pero se necesitan varios parámetros para ser ajustados.

N. Mohajerin, M. B. Menhaj (2010), aplicaron técnicas de FLC para controlar la posición estática de la bola en la placa. Se utilizó el HUMUSOFT CE 151 y la idea de diseño era dividir (idealmente) la placa en pequeñas regiones rectangulares para aproximar la ubicación de la bola rodante. Estas regiones se usaron como una indicación de la medida de la distancia de la bola desde el centro de la placa. La acción de control se ajustó en base a un mapeo difuso de la distancia de la bola al ángulo de inclinación de la placa. Para el control combinado de la pelota en ambas direcciones ortogonales, se requieren un total de 22 reglas, por lo que la determinación de las reglas difusas y las funciones de membresía es complicada y depende del conocimiento de un experto, no sería lo más adecuado por el tiempo.

M. Moarref, M. Saadat y G. Vossoughi (2008), introdujeron un sistema de actuación compues-

to por motores paso a paso y un mecanismo paralelo espacial de cinco enlaces. Al no estar los motores conectados directamente a la placa, se derivaron relaciones cinemáticas. Basado en las ecuaciones dinámicas de B&P, la estructura de control de doble circuito y tratando el problema multivariable de control de posición de B&P como dos sistemas SISO separados, se propuso un FLC de supervisión para ajustar las ganancias de PD obtenidas en el diseño. El error y la derivada del error fueron las dos variables difusas definidas para ajustar las dos ganancias PD.

X. Fan, N. Zhang y S. Teng (2004), implementaron un esquema jerárquico de FLC en el modelo educativo HUMUSOFT B&P. El esquema estaba compuesto por tres niveles. El nivel más bajo es un controlador de tachuelas difusas; el nivel medio es un controlador de supervisión difuso que realiza acciones en situaciones extremas; y el nivel superior es un controlador de planificación difuso que determina la trayectoria deseada. Para optimizar la trayectoria de movimiento de la bola; se introdujo un algoritmo genético para ajustar las funciones de membresía de salida del controlador de planificación difusa. Los desafíos planteados en este artículo son similares a los de (Moarref et al., 2008).

2.2. Modelo matemático de los sistemas B&P

Para Awtar et al. (2002), las características esenciales que debe tener un sistema B&P se muestran en la Figura 6.

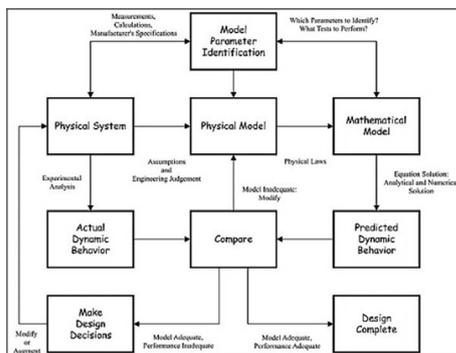


Figura 6: Proceso dinámico de un sistema.
Fuente: Awtar et al., 2002.

En (KOSE et al., 2018; Morales, Camacho, Leica, & Chávez, 2017), se sugiere un modelo físico para el sistema B&P como se muestra en la Figura 7 y en la Figura 8 se muestra los grados de libertad.

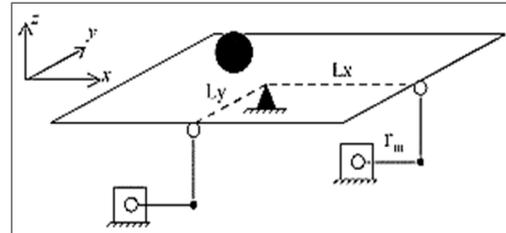


Figura 7: Modelo físico de los sistemas B&P.
Fuente: KOSE et al., 2018.

Para el modelado de los sistemas B&P, en su mayoría utilizan el método de Euler-Lagrange, debido a que es una poderosa alternativa para sistemas que tienen muchos grados de libertad. Para el modelado de los sistemas B&P se deben asumir las siguientes suposiciones (A.N. Hunde, 2011; Wellstead, 2008):

- La bola siempre debe estar en contacto con la placa.
- No hay deslizamientos entre la bola y la placa.
- No se consideran las fuerzas de fricción.
- La bola debe ser simétrica y homogénea.
- No hay límite para la pendiente de la placa.

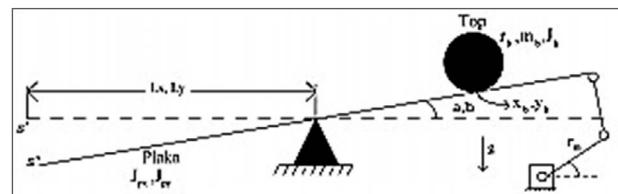


Figura 8: Diagrama de cuerpo libre.
Fuente: KOSE et al., 2018.

Las ecuaciones de la energía cinética y potencial de la bola se muestran en (1) y (2) respectivamente, mientras que la ecuación de la energía cinética de la placa se indica en (3) (KOSE et al., 2018).

$$T_b = \frac{1}{2} \left(m_b + \frac{I_b}{r_b^2} \right) (\dot{x}_b^2 + \dot{y}_b^2) \quad (1)$$

$$V_b = -m_b g (x_b \sin \alpha + y_b \sin \beta) \quad (2)$$

$$T_p = \frac{1}{2} \left[J_{px} \dot{\alpha}^2 + J_{py} \dot{\beta}^2 + J_b (\dot{\alpha}^2 + \dot{\beta}^2) + m_b (x_b \dot{\alpha} + y_b \dot{\beta})^2 \right] \quad (3)$$

Tabla 2:
Parámetros de los sistemas B&P.

Símb.	Unid.	Explicación
m_b	kg	Masa de la bola
r_b	m	Radio de la bola
r_m	m	Longitud del brazo del motor
g	m/s ²	Aceleración gravitacional
L_x	m	Longitud del eje x de la placa
L_y	m	Longitud del eje y de la placa
x	m	Posición de la bola en el eje x
y	m	Posición de la bola en el eje y
α	grados	Ángulo en el eje x de la placa
β	grados	Ángulo en el eje y de la placa
θ_x	grados	Ángulo en el eje x del motor
θ_y	grados	Ángulo en el eje y del motor
J_b	kgm ²	Momento de inercia de la bola
J_{px}	kgm ²	Momento de inercia del eje x de la placa
J_{py}	kgm ²	Momento de inercia del eje y de la placa

2.3. Tipos de control para los Sistemas B&P

2.3.1. Control del modo deslizante (SMC)

Es una técnica de control potente que es capaz de hacer que un sistema de circuito cerrado sea robusto con respecto a las variaciones limitadas de los parámetros de la planta y las perturbaciones externas limitadas (Jeon & Hyun, 2017). En la descripción teórica más básica, un SMC usa un control acotado, que cambia infinitamente rápido, para conducir la trayectoria del espacio de estado sobre una superficie diseña-

da independientemente de los parámetros de la planta (Suleiman et al., 2018). Los parámetros de la superficie están directamente relacionados con la dinámica de bucle cerrado, y el movimiento del espacio de estado en esta superficie se llama modo deslizante. Dado que los parámetros de la superficie se eligen independientemente de los parámetros de la planta, la respuesta de bucle cerrado puede hacerse teóricamente invariable a las variaciones de la planta (Rojko & Jezernik, 2002). A pesar de tal poder, el uso real del control de estructura variable en sistemas prácticos de ingeniería es algo limitado. La renuencia a aplicar el SMC a menudo se debe a la preocupación de que exista charla en el sistema práctico de estructura variable (VSC, por sus siglas en inglés) (Hung & Hung, 1994).

En KOSE et al. (2018), se propone un esquema general del sistema B&P para el lazo SMC como se puede ver en la Figura 9.

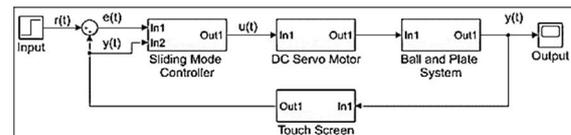


Figura 9: Esquema del SMC en un sistema B&P.

Fuente: KOSE et al., 2018.

En la ecuación (4), se muestra la ecuación que describe en forma general el sistema con incertidumbres y perturbaciones externas:

$$\dot{x}_t = f(x, t) + \Delta f(x, \theta, t) + \{B(x, t) + \Delta B(x, \theta, t)\} \mu(t) + d(x, \theta, t) \quad (4)$$

donde, $x(t) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estados, $\mu(t) \in \mathbb{R}^m$ es el vector de control, $f(x, t) + \Delta f(x, \theta, t) \in \mathbb{R}^n$, $B(x, t) + \Delta B(x, \theta, t) \in \mathbb{R}^{n \times m}$, $\Delta f(x, \theta, t)$ y $\Delta B(x, \theta, t)$ representan el sistema de incertidumbres, θ el parámetro desconocido del vector y $d(x, \theta, t)$ incluye dinámicas no modeladas y perturbaciones externas (Rojko & Jezernik, 2002).

Para mejorar los resultados Roy et al. (2017), propone realizar un diseño de SMC en cascada para el sistema B&P, en este diseño el sistema se divide en dos sistemas idénticos independien-

tes a lo largo de los ejes X e Y. Por lo tanto, el movimiento a lo largo del eje X se considera para la síntesis del controlador y lo mismo se replica para el movimiento a lo largo del eje Y.

2.3.2. Controlador PID

En KOSE et al. (2018), se propone un esquema general del sistema B&P para el lazo de control PID como el que se muestra en la Figura 10.

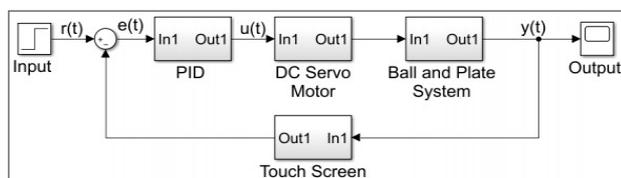


Figura 10: Esquema del PID para sistemas B&P.
Fuente: KOSE et al., 2018.

Los controladores PID en el lazo exterior están diseñados por separado para ambos ejes y los parámetros PID son independientes entre sí. Por otro lado, la salida PID paralela para ambos ejes se calcula como en (5) y (6).

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (5)$$

$$\mu(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (6)$$

A pesar de que en las últimas décadas han aparecido muchas técnicas de control sofisticadas y avanzadas, Borah, Roy, & Roy, (2018), sugieren no dejar de lado los controladores de la familia PID de enteros de orden (IOPID, por sus siglas en inglés) debido a su simplicidad en diseño e implementación, rentabilidad y robustez aceptable.

2.3.3. Controlador de lógica difusa (FLC)

En (KOSE et al., 2018; Mansouri, Teshnehlab, & Aliyari Shoorehdeli, 2015), usaron el modelo difuso de Mamdani, y como método de defuzzificación, el método del centro de gravedad para lograr resultados realistas. El esquema de control se indica en la Figura 11.

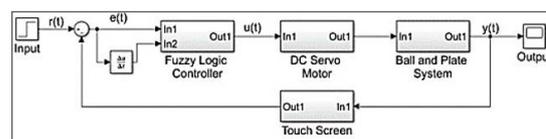


Figura 11. Esquema del FLC para sistemas B&P.
Fuente: KOSE et al., 2018.

La pantalla táctil detecta la posición de la bola sobre la placa. Una vez que la bola se coloca sobre la palca, la pantalla táctil envía directamente la posición de la bola a la computadora a través de un controlador de pantalla táctil. Y donde sea que la bola se deslice, el cambio de posición se enviará al computador. La tecnología de pantalla táctil es muy eficiente, pero calcula un punto a la vez. Si se tocan dos puntos en la pantalla, el sensor no sabe la entrada a calcular, creando un error en las posiciones de detección. La pantalla táctil tiene cuatro cables, dos de los cuales son para la alimentación (Sinaga, Manurung, Chee, & Djajadi, 2011).

2.3.4. Controlador borroso integrado neuronal

El controlador neuro-difuso combina los méritos de la red neuronal difusa y artificial mediante una sola estructura. Por lo tanto, el controlador neuro-difuso tendrá la fácil interpretación de la lógica difusa y el aprendizaje que caracteriza a la técnica de optimización neuronal (K. Han, Tian, Kong, Li, & Zhang, 2012; Singh & Bhushan, 2018).

2.3.5 Discusión

El mayor inconveniente para controlar satisfactoriamente este tipo de sistemas es el retraso que se da durante el procesamiento de información recibida en la tarjeta microcontroladora y su procesamiento para ejecutar una acción, para solventar este inconveniente Braescu, Ferariu, Gilca, & Bordianu (2012), adoptaron una solución de código abierto, utilizaron la FreeRTOS; esta placa facilita obtener una comprensión profunda de cómo funciona un kernel en tiem-

po real. Vale la pena mencionar que FreeRTOS ilustra las instalaciones que son comunes para una gran variedad de sistemas operativos en tiempo real, como los mecanismos específicos para la ejecución multitarea en combinación con las rutinas de servicio de interrupción (ISR), la comunicación entre procesos a través de mensajes en cola y sin cola y recurso compartido pasivo a través de sincronizaciones basadas en mutex/semáforo; mientras que Žáková & Rábek (2018), sugieren utilizar una Raspberry Pi debido a su procesador y otros autores como (Kasula, Thakur, & Menon, 2018; Zheng, Li, Wang, & Ding, 2011) recomiendan usar una placa Arduino en conjunto con LAbVIEW y MATLAB.

Al usar el filtro clásico de Kalman, (J. Han & Liu, 2016), recomiendan tener en cuenta que la precisión de la estimación del estado depende del modelo discreto exacto del sistema controlado. El modelo discreto del sistema B&P es un modelo lineal simplificado y de discretización, por lo que el modelo discreto no reflejará completamente el sistema B&P real. El uso de este filtro clásico de Kalman para estimar el estado de un modelo tan discreto dará como resultado una divergencia de filtrado, por lo que es necesario superar el error del modelo de una manera efectiva. Para ello recomienda usar adicionalmente el método de filtrado de memoria que desaparece para superar efectivamente la divergencia de filtrado, su idea general es aumentar la influencia de los nuevos datos de medición y reducir la influencia de los datos de medición antiguos al realizar el filtrado.

En la Tabla 3, se muestran los mejores resultados obtenidos con las tres técnicas de control convencional aplicadas experimentalmente por varios autores de la revisión realizada.

Tabla 3:
Resultados de las experimentaciones.

Criterio de Rendimiento	SMC	
	Eje X	Eje Y
Sobreimpulso	0.0 %	25.0 %
Tiempo de subida	1.0 s	0.7 s
Tiempo de asentamiento	4.3 s	3.5 s
Error en estado estacionario	± 8.0 mm	± 4.0 mm

Criterio de Rendimiento	PID	
	Eje X	Eje Y
Sobreimpulso	0.0 %	38.7 %
Tiempo de subida	1.0 s	4.3 s
Tiempo de asentamiento	9.0 s	10.0 s
Error en estado estacionario	9.5 mm	-8.0 mm

Criterio de Rendimiento	FLC	
	Eje X	Eje Y
Sobreimpulso	9.5 %	0.0 %
Tiempo de subida	0.6 s	2.5 s
Tiempo de asentamiento	6.3 s	2.8 s
Error en estado estacionario	± 6 mm	± 4.5 mm

Fuente: Propia

El estado del arte realizado, sirve de base para el desarrollo del tema de tesis de Maestría "Desarrollo de una estrategia de optimización híbrida basada en un algoritmo de forraje bacterial (BFA) y un algoritmo por enjambre de partículas (PSO) para la sintonía de controladores tipo PID". El desarrollo de esta nueva estrategia

de control, será de utilidad para las aplicaciones lineales y no lineales que usen el controlador PID como es el caso de los sistemas B&P. Para el procesamiento del algoritmo se hará uso del software MATLAB y para el accionamiento del sistema la placa Raspberry Pi 4. Además, el sis-

tema será retroalimentado por Visión Artificial; con esto se estaría implementando un controlador totalmente híbrido que usaría lo mejor de cada técnica de control tradicional para mejorar el rendimiento y consumo energético.

CONCLUSIONES

La mayoría de los autores concuerdan que utilizar una sola técnica de controlador no basta para mejorar la obtención de los resultados por lo que los nuevos estudios se enfocan en la utilización de dos o más técnicas e incluso están proponiendo mejoras a los controles comunes, todo con el fin de mejorar los resultados que se han obtenido hasta el momento en este tipo de sistemas.

El controlador de lógica difusa es uno de los más sencillos de implementar debido al uso de reglas en lugar de modelos matemáticos, pero al ser los sistemas B&P muy dinámicos y sus-

ceptibles a muchas perturbaciones externas hacen que esta técnica use demasiadas reglas lo cual toma demasiado tiempo para su puesta en marcha.

Para la optimización de los parámetros varios autores usan los software LabVIEW y MATLAB para procesar los modelos matemáticos y obtener mejores resultados, ya que las placas de control solo adquieren los datos y accionan los actuadores y todos los procesos matemáticos se realizan en la computadora, es así que al usar herramientas de estos software los sistemas B&P actuales cuentan con visión artificial.

REFERENCIAS

- A.N. Hundel. (2011). Design of Fuzzy Sliding Mode Controller for The Ball and Plate System.
- Andrews, G., Hermann, A., & Colasuonno, C. (2004). Ball on Plate Balancing System.
- Awtar, S., Bernard, C., Boklund, N., Master, A., Ueda, D., & Craig, K. (2002). Mechatronic design of a ball-on-plate balancing system. *Mechatronics*, 12(2), 217-228. [https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(01\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0957-4158(01)00062-9)
- Borah, M., Roy, P., & Roy, B. K. B. K. (2018). Enhanced Performance in Trajectory Tracking of a Ball and Plate System using Fractional Order Controller. *IETE Journal of Research*, 64(1), 76-86. <https://doi.org/10.1080/03772063.2017.1343157>
- Braescu, F. C., Ferariu, L., Gilca, R., & Bordianu, V. (2012). Ball on plate balancing system for multi-discipline educational purposes. 2012 16th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2012 - Joint Conference Proceedings, 1-6.

- Chevalier, A., Copot, C., Ionescu, C. M., & Keyser, R. De. (2016). Automatic calibration with robust control of a six DoF mechatronic system. *Mechatronics*, 35, 102–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2016.01.005>
- Duan, H., Tian, Y., & Wang, G. (2010). Trajectory tracking controller design of high-order ball and plate system based on improved auto-disturbance rejection controller. *ISSCAA2010 - 3rd International Symposium on Systems and Control in Aeronautics and Astronautics*, (m), 80–85. <https://doi.org/10.1109/ISSCAA.2010.5633233>
- Fabregas, E., Chacón, J., Dormido-Canto, S., Farias, G., & Dormido, S. (2015). Virtual Laboratory of the Ball and Plate System. *IFAC-PapersOnLine*, 48(29), 152–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.229>
- Fan, X., Zhang, N., & Teng, S. (2004). Trajectory planning and tracking of ball and plate system using hierarchical fuzzy control scheme. *Fuzzy Sets and Systems*, 144(2), 297–312. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(03\)00135-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-0114(03)00135-0)
- Han, J., & Liu, F. (2016). Positioning control research on Ball&Plate system based on Kalman filter. *Proceedings - 2016 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IHMSC 2016*, 1, 420–424. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2016.196>
- Han, K., Tian, Y., Kong, Y., Li, J., & Zhang, Y. (2012). Tracking control of ball and plate system using a improved PSO on-line training PID neural network. *2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2012*, 2297–2302. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2012.6285702>
- Hung, J. Y., & Hung, J. C. (1994). Chatter reduction in variable structure control. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 3, 1914–1918. <https://doi.org/10.1109/iecon.1994.398110>
- Jeon, J.-H., & Hyun, C.-H. (2017). Adaptive sliding mode control of ball and plate systems for its practical application. *2017 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering, ICCRE 2017*, 119–123. <https://doi.org/10.1109/ICCRE.2017.7935054>
- Kalúz, M., Klaučo, M., Čirka, L., & Fikar, M. (2019). Flexy2: A Portable Laboratory Device for Control Engineering Education. *IFAC-PapersOnLine*, 52(9), 42–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.121>
- KASSEM, A., HADDAD, H., & ALBITAR, C. (2015). Comparison Between Different Methods of Control of Ball and Plate System with 6DOF Stewart Platform. *IFAC-PapersOnLine*, 48(11), 47–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.09.158>
- Kasula, A., Thakur, P., & Menon, M. K. K. (2018). GUI based Control Scheme for Ball-on-Plate System using Computer Vision. *2018 IEEE Western New York Image and Signal Processing Workshop, WNYISPW 2018*. <https://doi.org/10.1109/WNYIPW.2018.8576461>
- Knuplei, A., Chowdhury, A., & Sveeko, R. (2003). Modeling and control design for the ball and plate system. 1064–1067.
- Köse E., Abacı K., A. S. (2010). Mekanik Sistemlerin PID ve Kayma Kipli Kontrol ile Modellenmesi ve Analizi, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*. 2–6.

- KOSE, F., KAPLAN, K., & Ertunc, H. M. M. (2018). Real time position and trajectory control of ball and plate system using different control techniques. 2018 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology, CEIT 2018, (October), 25–27. <https://doi.org/10.1109/CEIT.2018.8751946>
- Köse, F., Kaplan, K., Ertunç, H. M., & Üniversitesi, K. (2013). PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda STM32F407 Tabanlı Hız Kontrolü. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 26–28.
- Lian, C., Xu, X., Zuo, L., & Huang, Z. (2014). Adaptive critic design with graph Laplacian for online learning control of nonlinear systems. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 28(3–5), 290–304. <https://doi.org/10.1002/acs.2344>
- Liu, D., Tian, Y., & Duan, H. (2009). Ball and Plate Control System based on sliding mode control with uncertain items observe compensation. *Proceedings - 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, ICIS 2009*, 2(60974067), 216–221. <https://doi.org/10.1109/ICICISYS.2009.5358057>
- Liu, H., & Liang, Y. (2010). Trajectory tracking sliding mode control of ball and plate system. *CAR 2010 - 2010 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 3, 142–145. <https://doi.org/10.1109/CAR.2010.5456649>
- Mansouri, M., Teshnehlab, M., & Aliyari Shoorehdeli, M. (2015). Adaptive variable structure hierarchical fuzzy control for a class of high-order nonlinear dynamic systems. *ISA Transactions*, 56, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2014.11.014>
- Moarref, M., Saadat, M., & Vossoughi, G. (2008). Mechatronic design and position control of a novel ball and plate system. 2008 Mediterranean Conference on Control and Automation - Conference Proceedings, MED'08, 1071–1076. <https://doi.org/10.1109/MED.2008.4602212>
- Mohajerin, N., Menhaj, M. B., & Doustmohammadi, A. (2010). A Reinforcement Learning Fuzzy Controller for the Ball and Plate system. 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, WCCI 2010. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2010.5584025>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Grp, P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Physical Therapy*, 89(9), 873–880. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Morales, L., Camacho, O., Leica, P., & Chávez, D. (2017). A sliding-mode controller from a reduced system model: Ball and plate system experimental application. *ICINCO 2017 - Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 1, 590–597. <https://doi.org/10.5220/0006425905900597>
- Nguyen, H.-N., Olaru, S., Gutman, P.-O., & Hovd, M. (2012). Improved vertex control for a ball and plate system. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 45(13 PART 1), 400–405. <https://doi.org/10.3182/20120620-3-DK-2025.00151>
- Parga, C., Yu, W., & Li, X. (2015). A low-cost ball and plate system for advanced control education. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 52(4), 370–384. <https://doi.org/10.1177/0020720915591582>

- Rojko, A., & Jezernik, K. (2002). Adaptive fuzzy sliding mode motion control of robot manipulator. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 15(1), 49-54. <https://doi.org/10.3182/20020721-6-es-1901.01079>
- Roy, P., Acharjee, S., Ram, A., Das, A., Sen, T., & Roy, B. K. (2017). Cascaded sliding mode control for position control of a ball in a ball and plate system. *2016 IEEE Students' Technology Symposium, TechSym 2016*, 79-84. <https://doi.org/10.1109/TechSym.2016.7872659>
- Sinaga, E. F., Manurung, E. B., Chee, V. A., & Djajadi, A. (2011). Building and Controlling a Ball and Plate System. In *Communications in Computer and Information Science: Vol. 142 CCIS* (pp. 600-608). https://doi.org/10.1007/978-3-642-19542-6_118
- Singh, R., & Bhushan, B. (2018). Real-time control of ball balancer using neural integrated fuzzy controller. *Artificial Intelligence Review*. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9658-7>
- Suleiman, H. U. H. U., Murazu, M. B. B. M. B., Zarma, T. A. T. A. A., Salawudeen, A. T. T. A. T., Thomas, S., & Galadima, A. A. A. A. (2018). Methods of chattering reduction in sliding mode control: A case study of ball and plate system. *IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology, ICAST, 2018-Augus*. <https://doi.org/10.1109/ICASTECH.2018.8506783>
- Sun, S. Q., & Li, L. (2012). The Study of Ball and Plate System Based on Non-Linear PID. *Applied Mechanics and Materials*, 187, 134-137. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.187.134>
- Wang, H., Tian, Y., Sui, Z., Zhang, X., & Ding, C. (2007). Tracking control of ball and plate system with a double feedback loop structure. *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2007*, 1114-1119. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303704>
- Wellstead, P. E. (2008). Introduction to Physical System Modelling. In *Essays in Biochemistry* (Vol. 45). <https://doi.org/10.1042/BSE0450001>
- Yaovaja, K. (2018). Ball Balancing on a Stewart Platform using Fuzzy Supervisory PID Visual Servo Control. *ICAICTA 2018 - 5th International Conference on Advanced Informatics: Concepts Theory and Applications*, 170-175. <https://doi.org/10.1109/ICAICTA.2018.8541349>
- Yuan, D. H. (2009). Pneumatic servo ball & plate system based on touch screen and oscillating cylinder. *2009 International Workshop on Intelligent Systems and Applications, ISA 2009*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/IWISA.2009.5073011>
- Žáková, K., & Rábek, M. (2018). Remote Control of Thermo-opto-mechanical Plant via Raspberry Pi. *IFAC-PapersOnLine*, 51(6), 479-483. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.188>
- Zheng, F., Li, X., Wang, S., & Ding, D. (2011). Position control of ball and plate system based on switching mechanism. *IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL*, (61074055), 233-237. <https://doi.org/10.1109/ICAL.2011.6024719>

ANÁLISIS DEL USO DE DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS Y ADITIVOS EN LA VIDA ÚTIL DE ALGUNOS ELEMENTOS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

ANALYSIS OF THE USE OF DIFFERENT TYPES OF GASOLINE AND ADDITIVES IN THE USEFUL LIFE OF SOME ELEMENTS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

José Andrés Beltrán Ruiz ¹

¹Comision de investigación IST Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: joseandresbeltran16@gmail.com

Resumen

Debido al aumento en el uso de la gasolina extra en la ciudad de Quito, por el incremento en el costo de la gasolina super y por publicidad de diferentes empresas automotrices que indican la posibilidad de usar únicamente gasolina extra, esta investigación busca determinar qué sucede con los diferentes elementos fungibles del motor, como lo son los cables de bujías, bujías, filtros de gasolina y filtro de aire. Los diferentes elementos, según explica el manual del fabricante, encontrándose que la gasolina que mejor trabajo realiza en el motor es la super, debido a su número de octanos, ya que su valor en octanaje en el mercado nacional es de 92 octanos, frente a los 87 octanos de la gasolina extra, sirviendo de pruebas tres vehículos diferentes en los que se realizó la experimentación en períodos de 600 km en cada uno de ellos, con un recorrido final de 2400 km de manera individual.

Palabras clave—Contaminación; gasolina extra; gasolina super; ganador de octanaje; detonación

Abstract

Due to the increase in the use of extra gasoline in the city of Quito, due to the increase in the cost of super gasoline and advertising from different automotive companies, this research seeks to determine what happens with the different fungible elements of the engine, such as They are spark plug wires, spark plugs, gasoline and air filters. The methodology that was used was that of a field analysis, making measurements and verifications in the different elements, according to the manufacturer's manual, finding that the gasoline that works best in the engine is super gasoline, since its value in Octane in the national market is 92 octane, compared to 87 octane of the extra gasoline, serving three different vehicles in which the experimentation was carried out in lapses 600 km in each of them, with a final route of 2400 km.

Key words—Pollution; extra gasoline; super gasoline; octane winner; detonation.

INTRODUCCIÓN

La polución generada por el uso de combustibles de origen fósil en los motores de los automóviles es una de las causas del efecto invernadero y calentamiento global. En el caso de Quito, circulan en promedio más de 450 mil vehículos, de los cuales, el parque automotor liviano con motor a gasolina representa aproximadamente el 91% (5.4% de motocicletas y 85.6% automóviles), junto con las fuentes fijas de emisión de gases contaminantes (industrias) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), son responsables de más del 40% de las emisiones de material particulado (PM) y de gases contaminantes como CO, HC, NOx y CO₂. (Secretaría de Ambiente, 2014).



Figura 1: Octanaje de los combustibles
 Fuente: <https://n9.cl/co7on>

Una solución a la disminución de gases contaminantes originados por las fuentes móviles es mejorar las propiedades de los combustibles, para lograrlo-en la mayoría de los casos sin ningún respaldo técnico- se propone añadir aditivos, oxigenar el combustible con etanol, realizar mezclas entre combustibles, etc.

El realizar mezclas entre los combustibles sigue siendo un mito en Ecuador del que no es posible emitir un criterio técnico referente a si se debe o no mezclar las gasolinas y su afectación en el rendimiento de los motores de combustión interna. (Guzmán, Cueva, Peralvo, Revelo, & Armas, 2018) utilizando gasolina Súper (92 octanos

En esta investigación se busca generar una conclusión sobre la manera en que afecta el uso de diferentes combustibles en el recambio de los elementos fungibles del motor, siendo estos bujías, filtro de aire, filtro de combustible, cables de bujías y los micro filtros de los inyectores; cabe destacar que la prueba se realiza con gasolina extra, gasolina super (Kindelán, 2017) y un ganador de octanaje, no se toma en cuenta la gasolina Eco país que en muchas provincias reemplaza a la gasolina extra debido a que en el cantón Quito, lugar donde se desarrolla la investigación no se comercializa dicho combustible, lo que si se ha tomado en cuenta como variable es el movilizar a los vehículos en los que se realizará las pruebas por todo el espacio del cantón Quito, para que de esta manera las pruebas sean iguales entre sí y se pueda tener una forma de replicar la experimentación.

La idea de poner a prueba la gasolina extra y super nace de la publicidad que actualmente se encuentra en las marcas del mercado automotor nacional, ya que, por ejemplo, KIA (véase la Figura 1), que es el segundo vendedor a nivel nacional de vehículos, con 23141 unidades comercializadas en el año 2018, dato tomado como referencia la publicación de la revista EKOS del miércoles 25 de septiembre de 2019. Publicita sus vehículos pese a tener una elevada relación de compresión en su motor como aptos para el uso de gasolina extra. (Ekos, 2019).



Figura 2: Página de Kia Ecuador
Fuente: <https://www.kia.com/ec/main.html>

La relación de compresión en un motor es un factor que determina el rendimiento del mismo. En la actualidad se ha buscado aumentar esta relación en motores de baja cilindrada para que de esta manera se pueda también aumentar el performance del propulsor sin la necesidad de aumentar la cilindrada o número de cilindros, además, se usa tecnología de distribución variable y reducción de cargas de arrastre del motor, generándose una tendencia de DOWNSIZE en los motores de combustión interna. (De Ingeniería et al., 2018).

Además de que este vehículo cuenta con una relación de compresión de 10.5 : 1. (cochesyconcesionarios.com, 2020), considerándose a criterio del autor del artículo, una relación de compresión media, misma que podría requerir el uso de un combustible de elevado valor de octanaje, para que, de esta manera se eviten detonaciones por parte del combustible, que podrían de alguna manera disminuir la vida útil del motor de combustión interna de ciclo Otto. (Dago-Morales et al., 2006)

Ya que al tener un bajo valor de índice de octanos el ECM del motor pueda compensar a través del Knock sensor (sensor de golpeteo), un aumento del ángulo de avance al encendido y un aumento de cantidad de combustible inyectado en el motor, y de esta manera disminuir las detonaciones ocasionadas por el uso de un combustible inadecuado.

Siendo un agravante a este inconveniente la altura en la que se encuentra la Ciudad de Quito. (Lapuerta, Armas, Agudelo, & Agudelo, 2006).

En la figura 2 mostrada a continuación se detalla el recorrido estimado de los vehículos.

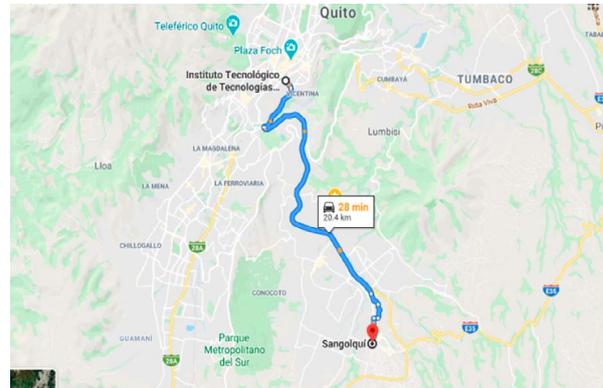


Figura 3: Recorrido diario de los vehículos de prueba
Fuente: Autor

Se trabajó con dos taxis que cubren una ruta en el sector del hospital militar, cantón Quito, además se empleó otro vehículo privado que cubre una ruta entre Quito y Sangolquí.

La verificación de los elementos fungibles del motor fue realizada de la siguiente manera:

Se usó un multímetro para medir la resistencia de los cables de las bujías. En los tres casos se pudo observar que al usar gasolina super, la resistencia en cada medición se mantenía casi constante, y en el caso de gasolina extra la variación de los valores era mucho más significativa.

En el caso de las bujías, se realizó una verificación visual usando dados y una palanca de fuerza, de la misma manera, al usar gasolina super se determinó que la coloración de la bujía es la adecuada para el tipo de trabajo a realizar. (Vallejo, Benavides, & Pozo, 2020).

En la Tabla 1 se explica la media de los valores obtenidos en las mediciones realizadas en uno de los taxis Kia río 2014 sujetos del análisis experimental del presente artículo.

GASOLINA EXTRA

Cables de bujías

Tabla 1: Resistencias de los cables de bujías usando gasolina extra

MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 0KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
4	1.74	3.07	2.92
MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 200 KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
3.76	2	3.00	2.5
MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 400 KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
3.27	3.03	3.30	1.765
MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 600 KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
3.27	4.09	2.65	1.77

Fuente: Autor

Verificación de elementos fungibles

A continuación, se detalla la manera en que se realizaron las pruebas:

Cables de bujías

Para la verificación de los cables de bujías se utilizó un multímetro que permitió medir la resistencia que este conductor generaba, se debe tener en cuenta que la temperatura elevada y condiciones desfavorables con las que cuenta el motor para funcionar puede generar una resequedad de los cables, produciendo pérdidas o fugas de corriente a lo largo de su cuerpo, por lo que es recomendable reemplazarlos a los 20000 km. Sin embargo, que esto pueda variar debido al uso de diferentes combustibles y aditivos pueda generar un incremento en el calor que irradia el motor y se encierra dentro del capó del vehículo produciendo en estos cables una degradación en su calidad y resequedad, generando así un desgaste mucho más precipitado.

GASOLINA SUPER

Cables de bujías (ver Tabla 2).

Tabla 2: Resistencias de los cables de bujías usando gasolina super

MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 0KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
3.17	3.7	3.06	1.7
MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 200 KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
3.27	3.07	3.00	1.77

MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 400 KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
4.16	4.33	4.06	1.17
MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN OHMIOS 600 KM			
CABLE 1	CABLE 2	CABLE 3	CABLE 4
3.27	4.19	2.85	1.70

Fuente: Autor

Bujías

Las bujías son los elementos que permiten la explosión de la mezcla aire combustible, se encuentran trabajando en condiciones muy duras y extremas, debido a que la parte en donde las bujías están ubicadas corresponde a la cámara de combustión en el motor, dicha cámara se encuentra expuesta a elevadas temperaturas, lo que en ocasiones produce el desgaste acelerado de la bujía. Adicionalmente, la coloración que toma la bujía a lo largo de su periodo de trabajo puede dar fe de la manera en que se está realizando la combustión en el motor. Sin embargo, este resultado es bastante relativo ya que en el motor nosotros tenemos varios elementos que influyen o afectan la normal estanqueidad de la mezcla aire combustible, por lo que para el caso de este estudio se inició haciendo un mantenimiento preventivo del motor y usando elementos genuinos como repuestos, para que las mediciones sean eficaces. (BELLO, 2017).

GASOLINA SUPER

Cables de bujías

Lo que se tuvo presente es que en cada verificación, con el mismo combustible se mantenía el filtro de aire, y de gasolina, pero, para cambiar

de combustible se los reemplazaba, garantizando así que el combustible que vaya al motor este limpio, además, se drenó el combustible sobrante del tanque de gasolina. (Díaz Mejía, 2017)

Tabla 3: Filtros de aire para las pruebas con las diferentes gasolinas

Filtro de aire	
Super	
Extra	

Fuente: Autor

Filtro de aire

El filtro de aire (véase Tabla 3) no es un elemento muy relevante en la investigación, ya que su desgaste va a depender de condiciones externas al combustible, siendo la de principal importancia el medio ambiente en el que el vehículo se desenvuelve, sin embargo, se lleva un control del mismo porque de la limpieza del mismo van a depender factores como consumo de combustible, pérdidas de potencia en el motor y desgaste acelerado.

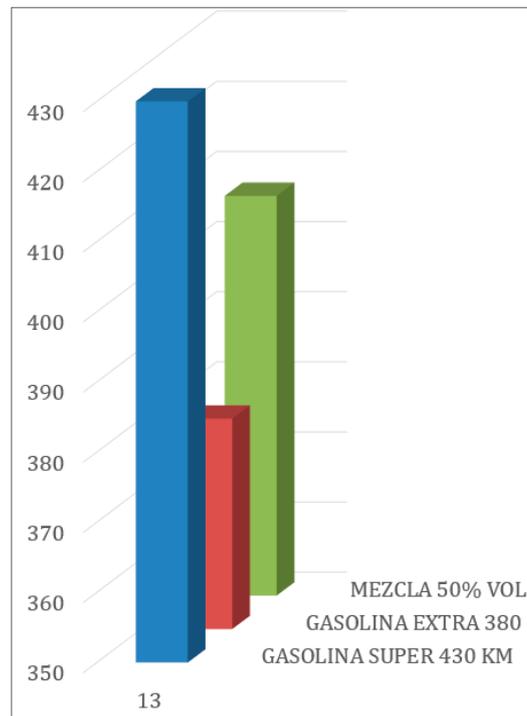


Figura 4: Consumo de combustible
Fuente: Autor

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente estudio, se utilizó la metodología de campo realizada en el taller “Mecánica Europea”, ubicado en el sector norte de la ciudad de Quito. También se realizó el estudio bibliográfico usando artículos, libros y la internet, coadyuvando así con información faltante relacionada al tema de estudio.

En el caso de la verificación de elementos fungibles, se realizó un estudio del estado de estos midiendo diferentes parámetros y comparándolos con los que el fabricante indica, para determinar de los elementos, aclarando que el procedimiento se realizó en dos vehículos ue han sido conducidos por las mismas personas y han generado un recorrido regular, explicado en la figura 2. El recorrido fue de 2400 Km, con intervalos de medición de 600 Km.

En el caso de la verificación de los cables de bujías se usó un multímetro automotriz, verificándose en cada parada del vehículo el valor de su resistencia para verificar los cambios de esta. (Díaz Mejía, 2017)

Con relación a las bujías también se realizaron las verificaciones en cada parada del vehículo, sirviéndose de un análisis visual de las mismas, para así determinar la calidad de combustión que se realiza en el motor, determinándose que la mejor opción en cuanto a cuidado es el uso de gasolina super, ya que con la gasolina extra se tiene un hollín excesivo. (BELLO, 2017)

Resultados

Al usar gasolina super se puede verificar que elementos del motor como bujías, cables de

bujías y filtro de combustible se mantienen en mejores condiciones, ya que la gasolina super no genera un excesivo cascabeleo en el motor. (Guzmán et al., 2018) utilizando gasolina Súper (92 octanos. Además de que este combustible en percepción de la prueba reiste más kilometraje con un mismo volumen detallado en la Tabla 4, además en la tabla 1 y tabla 2 se puede apreciar la variación de las medidas de los cables de bujías con el uso de diferentes combustibles.

Tabla 4. Consumo promedio de combustible

Combustible	Nº Gal	Km	\$	Rendimiento
Super	13 G	430 Km	\$39.20 (\$2.80)	430km=33.07 13 G km/G 1GL=33.07km
Extra	13 G	380 Km	\$24.05 (\$1.85)	380km=29.23 13 G km/G 1GL=29.23km
Super y extra	13 G	407 Km	\$21,00 + \$13.9= \$34.9 (\$1.85 y \$2.80)	407km=31.3k 13 G m/G 1GL=31.3km

Fuente: Autor

Aclarándose que esta tabla se construyó de una manera experimental, es decir no se siguió un proceso controlado en un laboratorio de pruebas, sino que su elaboración fue realizada con mediciones en campo por parte de los conductores de los vehículos usados en el análisis.

Discusión

En el país pese a que marcas como KIA promocionan sus vehículos para usar gasolina ex-

tra y dan garantías super extendidas de hasta 7 años o 150000 km, (Kia Ecuador, 2020) es preferible usar un combustible con elevado número de octanos para mantener así de mejor manera el motor y sus elementos internos. En la presente investigación se comprobó que la gasolina super mantiene en mejores condiciones los elementos fungibles del motor en comparación con la gasolina extra.



Figura 5: Publicidad de KIA
Fuente: <https://n9.cl/isvx>

Esta investigación podría llevarse a cabo también al revisar los elementos internos del motor como la cadena cinemática, bombas y subsistemas del mismo, sin embargo, que ese tipo de investigación requerirá de un mayor presupuesto y tiempo de desarrollo, además de que el incluir la variable de la altura podría servir mucho para obtener resultados de valor en el territorio nacional.

También se puede decir que existen varios artículos a nivel nacional que han realizado estudios similares y en la mayoría de ellos se concluye, de la misma manera, que el combustible que mejor mantendría al motor en cuanto a prestaciones de potencia es la gasolina super, e incluso la mezcla de gasolinas extra y super, pero no el uso de gasolina extra por su bajo número

de octanos. Solamente en el artículo Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto, utilizando mezclas de dos tipos de gasolinas "Extra y Super" (Guzmán et al., 2018) utilizando gasolina Súper (92 octanos, se indica que al usar gasoli-

na extra y luego de una prueba dinamométrica, el torque del vehículo de prueba aumentó con el uso de gasolina extra, sin embargo, la potencia del motor disminuyó.

CONCLUSIONES

- Al usar gasolina extra los motores cascabelean, generan golpeteo del pistón con el cilindro, se deterioran pistones, rines, cilindros (cadena cinemática), esto reduce la vida útil del motor, debido a que el número de octanos es menor 87 octanos de la gasolina extra frente a 92 octanos de la gasolina super.
- Ciertos componentes como las bujías, inyectores, sensores de oxígeno e inclusive el catalizador reducen vida útil al usar gasolina extra, esta información se la determina de la recopilación bibliográfica que se realizó en la elaboración del presente artículo.
- En muchos concesionarios a nivel nacional marcas muy conocidas recomiendan usar gasolina extra, principalmente la marca KIA, pese a que los vehículos que comercializan tienen una elevada relación de compresión, por lo que esta publicidad obedece al marketing más que a una recomendación real.
- Según los conductores de los diferentes vehículos, la potencia y rendimiento bajan notablemente entre el cambio de gasolina extra y super, esto se debe a que en bajas revoluciones el motor cascabelea, desgastándose de esta manera de una forma prematura.
- Sería importante revisar en una futura investigación el uso de la gasolina extra y super con relación a la generación de plomo, ya que en ocasiones este elemento es usado para poder subir el número de octanos.
- El uso de gasolina extra mezclada con super aumenta la distancia que se puede recorrer con el vehículo en un 6.7 % y con relación a la gasolina super es de 11.7%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLO, M. A. P. (2017). Sistemas auxiliares del motor 2.a edición - MIGUEL ANGEL PEREZ BELLO - Google Libros. Retrieved March 11, 2020, from <https://cutt.ly/YtsdXC6>

cochesyconcesionarios.com. (2020). Ficha técnica, prestaciones y dimensiones del Kia Rio 1.4 CVVT Eco Dynamics 109 Cv Drive 3P. Retrieved April 27, 2020, from Comparador de vehículos

website: <https://www.cochesyconcesionarios.com/fichas/kia/rio-2011/70774170001-prestaciones-dimensiones.html>

Dago-Morales, C., Fernández, F., Martínez, R., Dolores, M., Moure, B., Noa, L., ... Simeón, L. (2006). La espectroscopia infrarroja y el método de calibración multivariada de mínimos cuadrados parciales en la predicción del índice de octano

- experimental de gasolinas. *Ciencias Químicas*, 37(1), 3–7. Retrieved from <http://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=181620524001>
- De Ingeniería, F., Automotriz, M., Andrés, C., Rojas, R., Antonio, G., Coveña, S., ... Alquina, V. (2018). UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR Contenido. QUITO/UIDE/2018.
- Díaz Mejía, F. E. (2017). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14867/1/UPS-CT007298.pdf>
- Ekos. (2019). Las marcas de autos más vendidas en Ecuador | Ekos Negocios. Retrieved April 27, 2020, from Guía de negocios website: <https://www.ekosnegocios.com/articulo/las-marcas-de-autos-mas-vendidas-en-ecuador>
- Guzmán, A. R., Cueva, E., Peralvo, A., Revelo, M., & Armas, A. (2018). Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto al utilizar mezclas de dos tipos de gasolinas: “Extra” y “Super.” *Enfoque UTE*, 9(4), 208–220. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.335>
- Kia Ecuador. (2020). Rio Sedan Características | Autos | Kia Motors Ecuador. Retrieved April 27, 2020, from Kia Rio website: <https://www.kia.com/ec/showroom/rio-sedan/features.html>
- Kindelán, J. C. (2017). ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE COMBUSTIÓN Y MEJORA DE UN MOTOR CFR PARA LA MEDICIÓN DEL NÚMERO DE OCTANO Adrián Álvarez Sánchez.
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Agudelo, A. F. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 2: Motores Diesel. *Información Tecnológica*, 17(5). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000500006>
- Secretaria de Ambiente. (2014). REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR.
- Vallejo, J., Benavides, V., & Pozo, M. (2020). Combined Circuit Model for a Four Quadrant Operating Luo-Converter. *Revista Politécnica*, 44(2), 51–54. <https://doi.org/10.33333/rp.vol44n2.06>
- Gonzales C. (2015). *Metrología*. Editorial McGraw-Hill interamericana de México, S.A.
- Álvarez F. (2015) *Motores Alternativos De Combustión Interna*. Editorial UPC
- Sanz Acabes S. (2017). *Motores, Ciclos Formativos*. Editorial Editext

CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN RESIDENCIAL Y COMERCIAL CON FUNCIONAMIENTO POR PERFILES DE DEMANDA

AUTOMATIC CONTROL OF THE RESIDENTIAL AND COMMERCIAL LIGHTING SYSTEM WITH OPERATION BY DEMAND PROFILES

Ángel Quinatoa Lema¹ Vicente Quispe Toapanta² Diego Lalaleo Achachi³

1Docente IST Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: quinatoa.angel@yahoo.es

2Docente IST Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: vj09.quispe@gmail.com

3 Docente IST Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: diego.lalaleo.ei@gmail.com

Resumen

Uno de los mayores consumidores de energía eléctrica son los usuarios residenciales y comerciales, dentro del sistema eléctrico de distribución, en virtud de aquello una carga importante de estos usuarios son los sistemas de iluminación, que en la mayoría presentan altos consumos de energía por su mal uso, ya que aun cuando un área no presente personas a quien brindar iluminación permanecen en funcionamiento, esto constituye en un consumo innecesario de energía provocando una ineficiencia energética. Además, en el sistema eléctrico residencial y comercial, la energía consumida por el sistema de iluminación es importante dentro del pago de la planilla del servicio eléctrico, por ello, se diseñó e implemento un dispositivo electrónico que permite la optimización del consumo de energía en los sistemas de iluminación. El sistema de control automático implementado para el control de iluminación para luminarias incandescentes y de tipo led, trabaja en forma autónoma, gracias a que se puede programar una curva de tendencia del comportamiento de personas que concurren a un área de una instalación.

El sistema de control del circuito de iluminación es a través del funcionamiento de un TRIAC para luminarias incandescentes y una señal de modulación de ancho de pulso (PWM) para luminarias de tipo led, el análisis energético fue realizado a través de un equipo analizador de red.

Palabras clave: Consumidor, Control automático, Consumo de energía, Energía eléctrica, Iluminación, Optimización

Abstract

One of the largest consumers of electrical energy is residential and commercial users, within the electrical distribution system, by virtue of which an important burden on these users is lighting systems, which in most cases present high energy consumption due to their poor use, since even when an area does not present people to whom lighting is provided they remain in operation, this constitutes unnecessary energy consumption causing energy inefficiency. In addition, in the residential and commercial electrical system, the energy consumed by the lighting system is important within the payment of the electric service bill, therefore, an electronic device was designed and implemented that allows the optimization of energy consumption in Lighting systems. The automatic control system implemented for lighting control for incandescent and LED-type luminaires works autonomously, thanks to the fact that it is possible to program a trend curve for the behavior of people who come to an area of an installation. The lighting circuit control system is through the operation of a TRIAC for incandescent luminaires and a pulse width modulation signal (PWM) for led-type luminaires, the energy analysis was performed through a network analyzer equipment.

Key Words: Consumer, Automatic control, Energy consumption, Electric energy, Lighting, Optimization

INTRODUCCIÓN

Según el Plan Nacional de Eficiencia Energética de Ecuador (PLANEE) los sectores Residencial, Comercial y Público son los responsables del 18% del consumo energético total y del 57% del consumo de energía eléctrica, por lo tanto, cualquier iniciativa que contribuya a la disminución del consumo de energía eléctrica constituye un aporte significado para mejorar la brecha del calentamiento global. La meta al año 2035, el consumo acumulado de energía del sector residencial, comercial y público se debe reducir en al menos, 88.8 Mbep (Millones de Barriles Equivalentes de Petróleo), debido a las medidas de eficiencia energética implementadas.

El Plan Maestro de Electrificación (PME) 2016 - 2025 establece como política el cambio de cultura para el uso eficiente de la energía, esto constituye no solo generar electricidad para satisfacer la demanda de potencia y energía, sino de consumirla en forma inteligente, la aplicación de estas políticas energéticas permitió reducir en el año 2015 la demanda nacional

proyectada en 362 MW como se muestra en la Figura 2, en base a estos resultados el PME tiene como objetivo lograr grandes resultados en el ahorro energético y reducir el consumo de GLP por energía eléctrica, desde el 2016 hasta que finalice en el 2025.

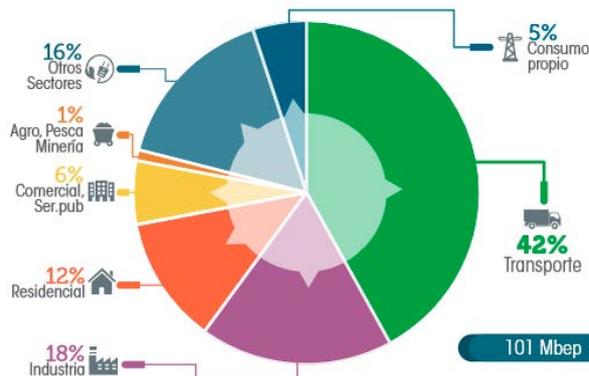


Figura 1: Estructura del consumo de energía por sectores en Ecuador

Fuente: Elaborado Por PLANEE

Muchos usuarios no cuentan con el hábito de ahorro de energía en iluminación, ya que, mantienen encendidas las luminarias de su domicilio

o su local comercial cuando no existe presencia de personal que requiera un espacio iluminado.

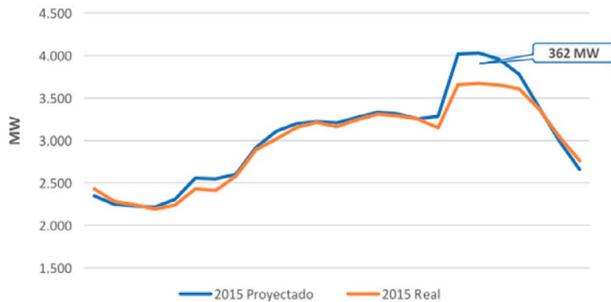


Figura 2: Demanda 2015 real vs proyectada en Ecuador
 Fuente: Elaborado Por PME 2016-2035

Al disponer de un sistema automático programable que analice una curva de tendencia de la presencia de usuarios en un área iluminada permitirá el control de la potencia que consume la luminaria, así como el nivel de iluminación de la misma, según el requerimiento lumínico mínimo, esto permitirá optimizar el uso de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación.

Este sistema evitaría el consumo del sistema de iluminación a su máxima capacidad o potencia de carga, ya que, su comportamiento sería dependiente de la curva de tendencia programada.

Los domicilios que cuenten con este sistema se despreocuparían del control en forma manual de los sistemas de iluminación, ya que el nivel de iluminación dependería de la curva de tendencia programada según la hora del día.

El proyecto de investigación busca relacionar en forma directa la eficiencia energética a través de la automatización de sistemas de control electrónicos con programación de perfiles o patrones de comportamiento del uso del sistema de iluminación y cuantas personas permanecen y concurren según el área, sin afectar el confort y seguridad con inapropiados niveles de iluminación.

Este proyecto pretende innovar los controles de sistemas de iluminación convencionales a través de autómatas programables por tendencias y adaptables a la necesidad de cada usuario, contribuyendo a una optimización del consumo de energía, brindando una reducción de la demanda de potencia a nivel de empresas eléctricas de distribución y como consecuencia menos energía transmitida desde los centros de generación a nivel nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presenta el desarrollo en síntesis de la metodología y procedimientos que se desarrolla en el tema de investigación:

2.1 Método

Se aplica la investigación experimental partiendo de la premisa que el consumo de energía a nivel residencial y comercial es alto dentro del balance energético de un país, el estudio se centra en los sistemas de iluminación de domicilios y locales comerciales y su ineficiente ren-

dimiento energético debido a tecnología de antaño como lámparas incandescentes.

Se plantea una pregunta directriz que el control automático programable del sistema de iluminación permitirá optimizar el consumo energético independientemente de la tecnología utilizada en un domicilio o local comercial.

Se implementa un sistema de control aplicando conceptos de la electrónica de potencia que permita el control de los sistemas de ilumi-

nación tanto para lámparas incandescentes o de tipo led regulable.

Las pruebas de funcionamiento se las realiza con luminarias incandescentes y led, siendo monitoreadas a través de un analizador de red eléctrica de bajo voltaje para determinar los parámetros eléctricos en tiempo real, esta información nos permite el análisis del prototipo diseñado.

2.2 Análisis de la curva de demanda para la determinación de los estados.

Los valores analizados para la determinación del número de estados son realizados en función de la curva de duración de la demanda diaria de un usuario residencial estándar, obtenida en un análisis de demanda máxima con el analizador de red, la Figura 3 representa la demanda máxima de consumo por intervalos por cada hora del día, finalmente a través de histogramas que se ajustan a la curva se crea cuatro escenarios diferentes según el aumento del consumo.

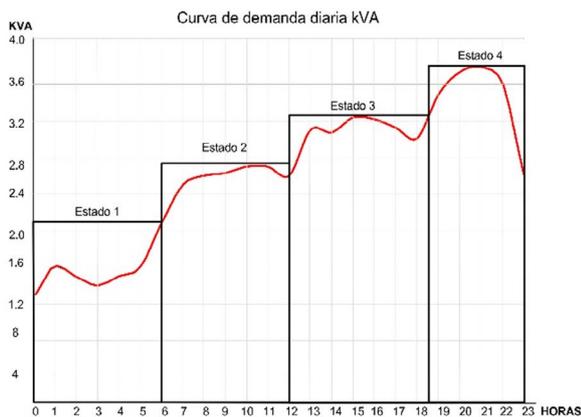


Figura 3: Curva de duración de la demanda diaria de un consumidor residencial.

Fuente: Propia

Con la selección de los estados se transforman los valores de la potencia registrados cada hora en valores por unidad para la interpretación y calibración con los valores PWM, en la Tabla 1 se describe los valores medidos con el analizador de redes eléctricas por un tiempo de

7 días e intervalos de 10 minutos como lo sugiere la regulación ARCONEL 005/18 de calidad de servicio eléctrico.

Tabla 1

Registro de valores de demanda de potencia por horas de un consumidor residencial.

HORA	KVA	P.U.
0	1.2	0.33
1	1.5	0.41
2	1.4	0.38
3	1.3	0.35
4	1.4	0.38
5	1.5	0.41
6	1.9	0.54
7	2.4	0.65
8	2.5	0.68
9	2.5	0.69
10	2.6	0.70
11	2.6	0.70
12	2.5	0.68
13	3.0	0.81
14	2.97	0.81
15	3.13	0.85
16	3.11	0.84
17	3.02	0.82
18	2.90	0.79
19	3.38	0.92
20	3.63	0.98
21	3.69	1.00
22	3.52	0.95
23	2.52	0.68

Fuente: Propia.

2.3 Materiales

2.3.1. Análisis técnico del circuito control

Se presenta el diagrama de bloque para utilizado en la investigación y posterior implementación del proyecto, como se muestra en la Figura 4.

ESQUEMA DE CONTROL

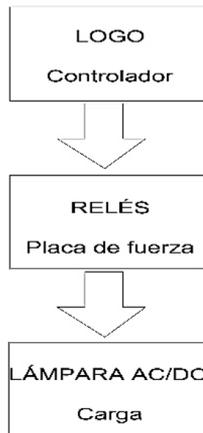


Figura 4: Diagrama de bloque de control.
Fuente: Propia

En esta etapa del proyecto se realizó el análisis de los principales elementos de control, placa electrónica y la carga para la cual está diseñada el circuito de iluminación.

En la Figura 5 se indica de manera general la arquitectura del sistema automatizado, con los principales elementos de maniobra y control requeridos para realizar el control automático de iluminación.



Figura 5: Arquitectura del sistema de iluminación.
Fuente: Propia

2.3.2. Selección del controlador

Se utilizó un relé lógico programable, más conocido como LOGO, para programar la lógica de control del sistema de iluminación, pues tiene la capacidad de recibir, acondicionar y ejecutar las señales digitales presentes en la aplicación. Se selecciona el LOGO V8, modelo 230RC de Siemens de la Figura 6.



Figura 6: LOGO V8, 230RC.
Fuente: Por determinar

2.3.3. Tarjeta electrónica de control

Se diseñó e implementó dos tarjetas electrónicas con componentes de semiconductores electrónicos de potencia como son: relés, transistores, triac y mosfet. Adicional a esto en el circuito se utiliza 4 resistencias de 1/4 vatio para obtener cuatro diferentes estados de control de iluminación en las lámparas de AC y se utiliza un control PWM para obtener los mismos estados en lámparas DC, presentado en la Figura 7.

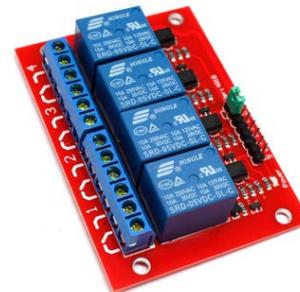


Figura 7: Placa electrónica de nivel de iluminación
Fuente: Propia

2.3.4. Esquema de placa electrónica de control de un sistema de iluminación tipo AC.

Usando el programa Proteus se diseñó y simuló el circuito de control de nivel iluminación con los elementos electrónicos necesarios para su funcionamiento, posteriormente se realizó su implementación.

En la Figura 8 se observa el esquema del circuito electrónico para una lámpara incandescente de voltaje alterno de 120 VAC de 110 W.

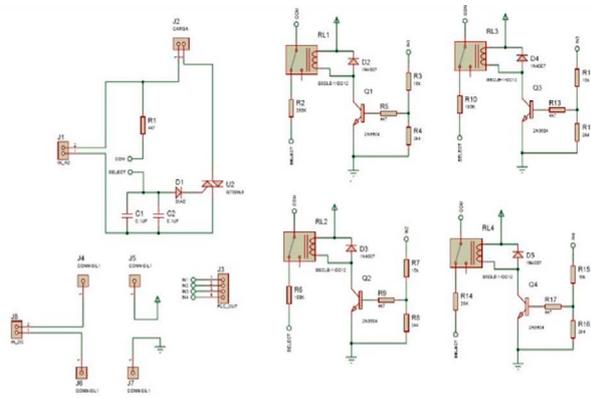


Figura 8: Esquema nivel de iluminación AC.
Fuente: Propio

2.3.5. Esquema de placa electrónica de control de un sistema de iluminación tipo DC.

Mediante el programa Proteus se diseñó y simuló el circuito de control de nivel iluminación donde se utiliza un microcontrolador y a través del PWM se logra variar el ancho de pulso del voltaje para su funcionamiento.

En la Figura 9 se muestra el diagrama del circuito electrónico para un panel led de 40 vatios de 24 VDC de características dimerizable.

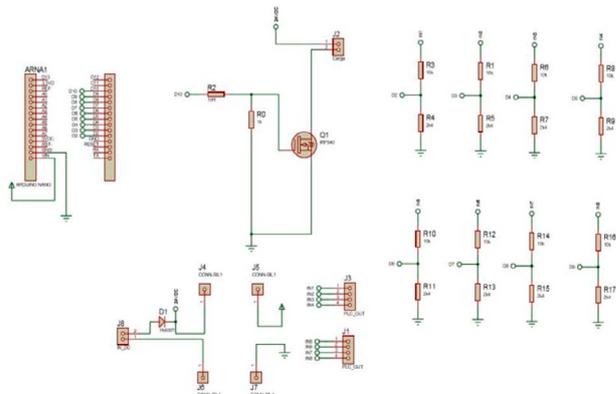


Figura 9: Esquema nivel de iluminación DC.
Fuente: Propio

2.3.6. Diagrama de conexión eléctrico del sistema de iluminación

En la Figura 10 se indica la conexión eléctrica del control automático de iluminación para la comprobación de su funcionamiento.

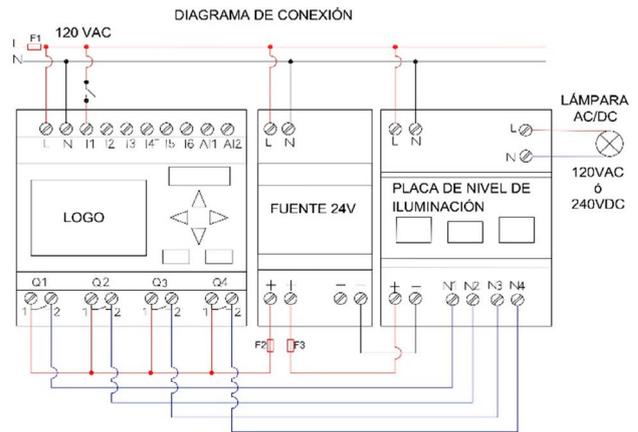


Figura 10: Diagrama de conexión eléctrico del sistema.
Fuente: Propio

2.3.7. Lógica de control

Para la automatización del sistema de iluminación residencial y comercial, es necesario realizar la programación del LOGO V8, se utiliza el programa LOGO SOFT COMFORT V8.2 de la compañía Siemens, mismo que posee una licencia libre y evita inconvenientes de compatibilidad al trabajar con la misma marca. Mediante este software se procede a programar los equipos que realizarán el control del proyecto.

La programación del sistema se basa en una curva de demanda y mediante el control del tiempo se puede determinar los niveles de iluminación que requiere el lugar residencial o comercial sin afectar el uso y confort del usuario.

2.3.8. Lenguaje Ladder

El lenguaje ladder o escalera se caracteriza por ser de fácil programación y de simple lógica de control.

En la Figura 11 se observa un segmento de la programación realizada para este trabajo, en lenguaje ladder, como es la activación de los niveles de iluminación.

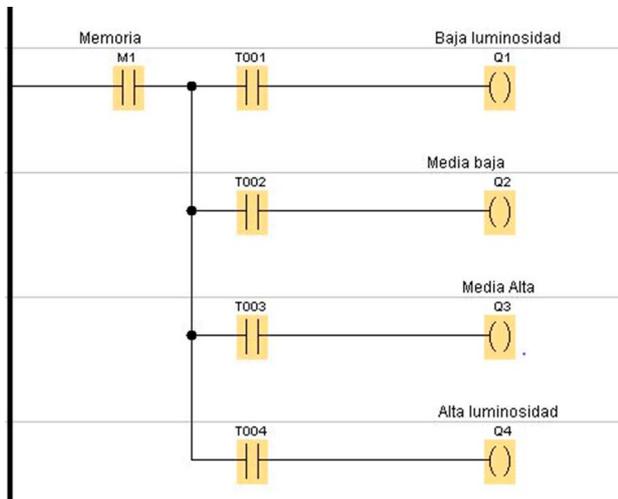


Figura 11: Segmento de programación en Ladder
Fuente: Propio

2.3.9. Comunicación PC y LOGO V8

Para que exista comunicación entre los equipos se debe verificar las direcciones IP, tanto del LOGO V8 y computadora. Así se designó las siguientes direcciones IP, para el LOGO V8 192.168.1.8 y computadora la 192.168.1.20. En la Figura 12 se observa la dirección IP del LOGO V8.

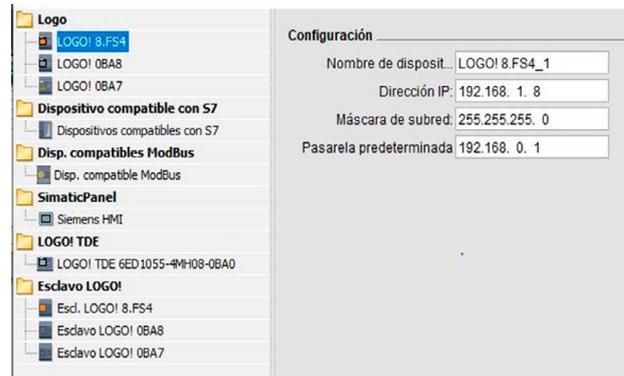


Figura 12: Dirección IP del LOGO V8
Fuente: Propio

2.4 Resultados.

2.4.1. Pruebas y resultados de mediciones en DC

Las mediciones se realizaron con un analizador redes eléctricas de marca Metrel MI 2883 en un intervalo de tiempo de cada segundo, creando dos escenarios diferentes con una luminaria led dimerizable de 40 vatios en DC, en el primer escenario la luminaria funciona de forma convencional con el voltaje nominal y en el segundo escenario se conectó el controlador de iluminación que consta de cuatro estados de funcionamiento, cada estado presenta un diferente nivel de iluminación con accionamiento autónomo, cada ciclo es monitoreado por el analizador de red.

Los valores registrados se realizan un promedio de cada estado, se puede observar la variación de la potencia de la luminaria con los registrados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2
Estados de funcionamiento de la luminaria dimerizable con la potencia consumida.

Estado	Potencia [w]
1	0.91
2	3.39
3	11.45
4	18.38

Fuente: Propia.

En la curva de demanda diaria se identificó la duración de los estados similares, por lo que las mediciones de la luminaria encendida se realizaron durante 6 horas en cada estado, el consumo en todos los estados del escenario 1 es de 19.61 Wh, y el consumo en el escenario 2 varía dependiendo el estado, en el estado 1 es de 0.45 Wh y en el estado 4 es de 9.19 Wh, los valores se presentan en Tabla 3.

Tabla 3
Medidas de la luminaria sin controlador y con el controlador de iluminación.

Estado	Escenario 1 [Wh]	Escenario 2 [Wh]	Energía neta consumida [%]
1	19.61	0.45	2.33
2	19.61	1.69	8.66
3	19.61	5.72	29.20
4	19.61	9.19	46.89

Fuente: Propia.

Con los datos registrados en la Tabla 3 se realiza la gráfica convirtiendo en por unidad, la curva de color rojo corresponde a la curva de demanda diaria con los valores representativos de cada estado tabulado, se observa que la curva de color azul que corresponde al consumo de la luminaria sin control la tendencia es uniforme lineal, el consumo de energía es aproximadamente igual en todo el tiempo, la curva de color verde corresponde al consumo del escenario 2 con la luminaria funcionando con el controlador de iluminación en cuatro estados, el consumo de energía crece en forma escalonada, se observa en la Figura 13.

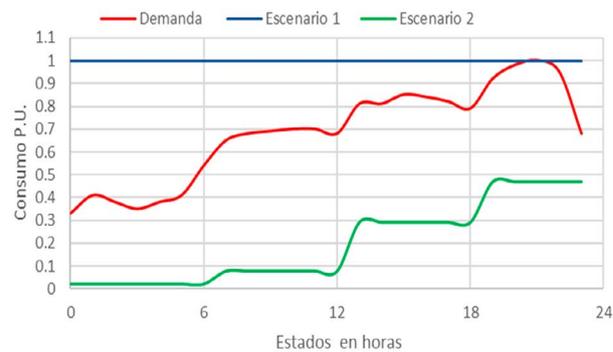


Figura 13: Comparación de consumos en el consumo diario de los estados de luminarias en DC.

Fuente: Propia

2.4.2 Pruebas y resultados de mediciones en AC

En corriente alterna para el funcionamiento en diferentes estados se realizó con una lámpara incandescente, que al variar el nivel de voltaje se obtiene control de la iluminación, en la Tabla 4 se representa los valores de voltaje configurados.

Tabla 4
Potencias configuradas en la lámpara incandescente.

Estado	Voltaje Nominal [v]	Voltaje Controlado [v]	Potencia consumida [w]
1	124.34	48.3	16.60
2	124.34	85.23	51.68
3	124.34	98.41	68.90
4	124.34	124.34	110.00

Fuente: Propia.

Con los datos registrados en la Tabla 4 se realiza la gráfica convirtiendo en por unidad, la curva de color rojo corresponde a la curva de demanda diaria, la curva de color azul que corresponde a la potencia nominal del foco incandescente funcionando sin controlador al 100% de la capacidad, en la curva de color verde se observa que con el control de la iluminación se va variando el voltaje creciendo en forma escalonada y se obtiene diferentes potencias controladas de la luminaria incandescente, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14: Comparación de consumos en el consumo diario de los estados de luminarias en AC.
Fuente: Propia

En la Figura 15 se presenta la forma de onda sinusoidal completa del funcionamiento de la luminaria que representa el en estado 4, la lámpara se comporta en forma convencional. Además la operación de la luminaria al 100% del voltaje nominal. (Carga AC - Foco Incandescente).

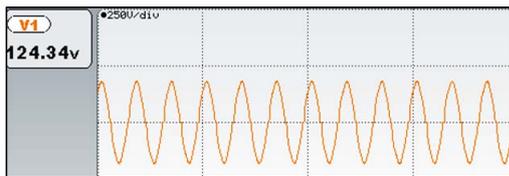


Figura 15: Señal de voltaje en Estado 4
Fuente: Propia

En las Figuras 16, 17, 18, se presenta la forma de onda sinusoidal controlado por ángulo de disparo por el TRIAC del circuito electrónico de control, la lámpara funciona en forma controlada. (Carga AC - Foco Incandescente).

Para la Figura 16 el funcionamiento representa el estado 3, la lámpara funciona con el 79% del voltaje nominal.

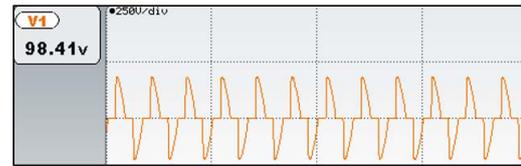


Figura 16: Señal de voltaje en Estado 3.
Fuente: Propia

Para la Figura 17 el funcionamiento representa el estado 2, la lámpara funciona con el 69% del voltaje nominal.

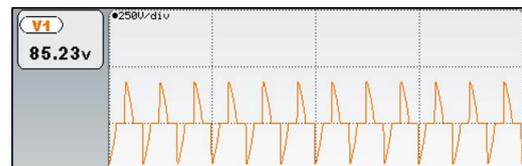


Figura 17: Señal de voltaje en Estado 2.
Fuente: Propia

Para la Figura 18 el funcionamiento representa el estado 1, la lámpara funciona con el 39% del voltaje nominal.

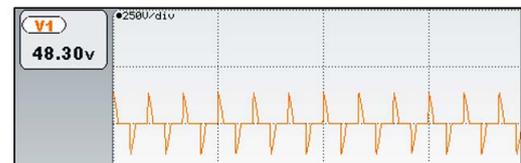


Figura 18: Señal de voltaje en Estado 1.
Fuente: Propia

DISCUSIÓN

El control propuesto se puede aplicar en sistemas de iluminación que utilicen un comportamiento rutinario en forma diaria como es la curva de demanda, ayudando a reducir gastos innecesarios por mantener encendidas luminarias que no sean necesarias, también se puede adaptar al sistema de iluminación existente si se trata de iluminación incandescente evitando costos por el cambio de tecnología, si se planifica una nueva instalación con luminarias tipo led debe ser de característica dimerizable para

optar por la propuesta y obtener los beneficios que conlleva. Los estados de programación dependerán del patrón de comportamiento de la curva que la define cada tipo de usuario en la forma de consumir la energía.

Los costos de la implementación del control propuesto tanto en AC como en DC son relativamente iguales, es decir, que no existe problema para su utilización en todos los usuarios residenciales y comerciales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema implementado es un controlador de voltaje automatizado, no requiere de un usuario para su operación, la forma de control por un PWM y de relés para carga DC y AC respectivamente, los circuitos de control son muy versátiles en caso que se requiera realizar algún cambio en la programación del proyecto.

La determinación de los estados de funcionamiento se realiza en función del comportamiento de la curva de duración de la demanda diaria de un usuario residencial, siendo cuatro estados de control adaptados a la curva, en el sistema de control DC la luminaria LED (40w) reduce la energía consumida al 46.89% en el estado más alto (4) y 2.33% en el estado más bajo (1), en el sistema AC la luminaria incandescente (110w) reduce la potencia consumida al 15% en el estado más bajo (1). El tiempo de funcionamiento de la luminaria para cada estado fue de 6 horas.

Con la automatización del sistema de iluminación residencial y comercial se logra la disminución del consumo de energía eléctrica debida al olvido en el encendido y apagada del sistema de iluminación. Además, el consumo de energía de los sistemas de iluminación es constante una vez que entra en funcionamiento, aunque su tendencia obedece a la curva de duración de la demanda diaria afectando el pico de la demanda, al lograr optimizar la energía consumida por los sistemas de iluminación se puede disminuir la demanda máxima de un sistema eléctrico, su efecto se puede evidenciar en una aplicación a gran escala.

El principio de la tele gestión se aplica en el presente proyecto a nivel residencial y comercial, ya que son consumidores que influyen directamente en la demanda de potencia y energía de un sistema eléctrico, siendo que la tele gestión es una tecnología actualmente aplicada en alumbrado público por su alto costo de instalación e implementación.

REFERENCIAS

- Ecolumen. (2011, 3 de enero). Manual de mantenimiento preventivo y correctivo. <https://ecolumen.net/uploads/0d067f495a055a-7f1022c4159f46de3d.pdf>.
- Martínez, F. J. R., & Gómez, E. V. (2006). Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas. Paraninfo.
- Muhammad H. Rashid. (2004). Electrónica de potencia. Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. Prentice hall.
- PARA, R. D. C. P. C., EL EMPLEO, E. P., & DE LA CONSTRUCCIÓN, V. A. S. (2011). Eficiencia Energética en Edificios.
- Peña, A. C., & Sánchez, J. M. G. (2012). Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora. AENOR.
- Plan Maestro de Electrificación 2016-2035 (2016) <https://www.celec.gob.ec/hidroa-goyan/images/PME%202016-2025.pdf>
- Plan nacional de eficiencia energética 2016-2035 (2016) <https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf>
- Salazar, P. R. (2011, 9 de enero). Equipamiento tecnológico. <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/eu/equipamiento-tecnologico/hardware/954-libros-electronicos>
- Vásquez, R. (2015, 4 de agosto). Certicalia.com. https://www.certicalia.com/empresa/roberto_aira_vazquez/108422315
- Vilarrasa, J. F. (2012). Iluminación con tecnología Led. En A. G. Calderón, 318-320

PROPUESTA DE BASTIDOR AUXILIAR CON PERFIL Z PARA CAMIONES HINO 6 TONELADAS

PROPOSED AUXILIARY FRAME WITH Z PROFILE FOR HINO TRUCKS 6 TONS

Alexander G. Paucar G.¹ Rodrigo A. Cárdenas Y.² Edwin A. Chamba M.³

¹Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador
E-mail: alexgiovan7@hotmail.com

²Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: racardenasy@istx.edu.ec

³Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) EP, Quito, Ecuador
E-mail: echamba.monar1989@gmail.com

Resumen

En el presente proyecto de investigación, se escogió y validó al acero ASTM A-572 Gr. 65, como material constructivo de un bastidor auxiliar, a desarrollar por parte de la empresa Siderúrgica Ecuatoriana S.A., el mismo se proyectó para ser montado sobre el chasis principal del camión marca HINO de la serie 300, el perfil escogido fue tipo "Z", diseñado para soportar una carga máxima de 6000 *kgf*. El análisis se basó en la aplicación de los métodos convencionales de cálculo estructural, se utilizó el enfoque de "Diseño por Factores de Carga y Resistencia o Estados límites" (LFRD) y se creó un modelo utilizando herramientas de diseño asistido por computador (CAD), para ser ensayado con el método de elementos finitos (MEF). Se consiguieron los resultados de deformación, factor de seguridad y esfuerzos admisibles, para el modelo del bastidor auxiliar, contrastándose para determinar y seleccionar el material más adecuado, tomando en cuenta la economía, resistencia y ligereza respectiva.

Palabras Claves: bastidor, MEF, LFRD, esfuerzos, deformación.

Abstract

In this research project, ASTM A-572 Gr. 65 steel was chosen and validated as the construction material of an auxiliary frame, to be developed by the company Siderúrgica Ecuatoriana SA, it was designed to be mounted on the chassis The main profile of the HINO 300 series truck, the chosen profile was type "Z", designed to withstand a maximum load of 6000 *kgf*. The analysis was based on the application of conventional structural calculation methods, the "Design by Load and Resistance Factors or Limit States" (LFRD) approach was used and a model was created using computer aided design (CAD) tools. , to be tested with the finite element method (MEF). The deformation results, safety factor and admissible stresses were obtained for the subframe model, contrasting to determine and select the most suitable material, taking into account the economy, strength and respective lightness.

Key Words: frame, MEF, LFRD, stresses, deformation.

INTRODUCCIÓN

El proyecto se enfoca a la reingeniería y topología del diseño de un nuevo perfil estructural que conforma el bastidor (García, 2014) reforzado (chasis + bastidor auxiliar) para los camiones de marca HINO de hasta seis toneladas de carga, su fabricación se realizará en la empresa Siderúrgica Ecuatoriana S.A. (SIDEC S.A.), fabricantes de vigas HEB, IPE y elementos en metal.

Para su línea de producción, se requiere validar un diseño de un perfil longitudinal con espesores de material de hasta cinco milímetros, que permita soportar las cargas estáticas sobre los chasis de los camiones, además colocar travesaños (Donoso P. & Velasco A., 2010), para tener una resistencia suficiente y absorber fuerzas laterales; se utiliza el método del elemento finito MEF, por sus ventajas significativas en las fases de diseño y prueba de productos (Cook, Malkus, Plesha, & Witt, 2002).

Asimismo, se requiere para el bastidor auxiliar, utilizar y optimizar el material importado anualmente, realizando un estudio comparativo de costos con los perfiles ya existentes en el mercado nacional, puesto que la empresa busca reducir los costos de producción en un 30%, utilizando los recursos de máquinas y equipos con los que dispone.

El análisis mediante el MEF, tiene un valor de referencia importante para proporcionar una mejora y optimización de la estructura del bastidor (Guo-Bin & Nan, 2014), se aplican cargas sobre la longitud del chasis comprobando parámetros óptimos de la sección requerida, como son el espesor, tipo de material a usarse, aportando al proceso de fabricación y montaje, al garantizar una distribución uniforme de las cargas sobre el bastidor original del vehículo y una

unión desmontable entre el bastidor del vehículo y la carrocería prevista. Utilizando la teoría de la energía de distorsión, del esfuerzo cortante octaedral o la de von Mises (Chandrupatla & Belegundu, 2002), (Norton, 2011), (Budynas, Nisbett, & Keith, 2008), es posible estimar la falla de un material dúctil antes que ocurra, razón de su amplio uso en el diseño de piezas o cuando se investiga el origen de la falla real de un elemento mecánico o cuando los márgenes de seguridad son estrechos. La misma establece que un material sometido a un estado general de esfuerzos fallará por fluencia cuando el esfuerzo cortante octaedral alcance un determinado valor, el cual corresponde al esfuerzo cortante octaedral que se genera en el ensayo de tracción cuando se llega al límite fluencia (Goncalves, 2002).

Para efectos de la validación se hace uso del enfoque LRFD (*Load and Resistance factor design*) (Vinnakota, 2006), el cual se aplica para el diseño de estructuras de acero. Este enfoque se basa en la consideración de las cargas muertas que son de magnitud constante y permanecen fijas en un mismo lugar, las cargas vivas que son todas las cargas que estén en movimiento, autos, grúas, personas. Este método por factores de carga y resistencia, se basa en los estados límites del material, (Galambos & Ravindra, 1976), se considera la resistencia o la condición de falla las cargas de servicio o de trabajo se multiplican por factores de seguridad que son mayores a uno, la resistencia de diseño de cada componente estructural o del ensamblaje debe ser igual a la resistencia requerida o superior a ésta, de acuerdo con las cargas nominales factorizadas.

Se efectúa al bastidor un análisis estructural clásico, el cual complementa los dos primeros.

MÉTODO

Para realizar el rediseño del perfil se tomarán en cuenta las especificaciones del modelo del camión (Figura 1).

MODELO	716 XZU710L-HKFQ13	816 XZU720L-HKFR13
Configuración	4X2	
CAPACIDADES		
Capacidad carga eje delantero	3.100 Kg.	3.100 Kg.
Capacidad carga eje posterior	5.100 Kg.	5.500 Kg.
Peso bruto vehicular	8.200 Kg. (*6.500 Kg.)	8.600 Kg. (*7.500 Kg.)
Peso vacío	2.440 Kg.	2.500 Kg.
Capacidad de carga	5.760 Kg. (*4.060 Kg.)	6.100 Kg. (*5.000 Kg.)

Figura 1: Especificaciones técnicas del modelo de camión HINO Serie 300 DUTRO 16
Fuente: (HINO, 2018)

El diagrama de procesos para la ejecución del presente proyecto se indica en la Figura 2, en la Figura 3 se muestra el flujo de actividades.

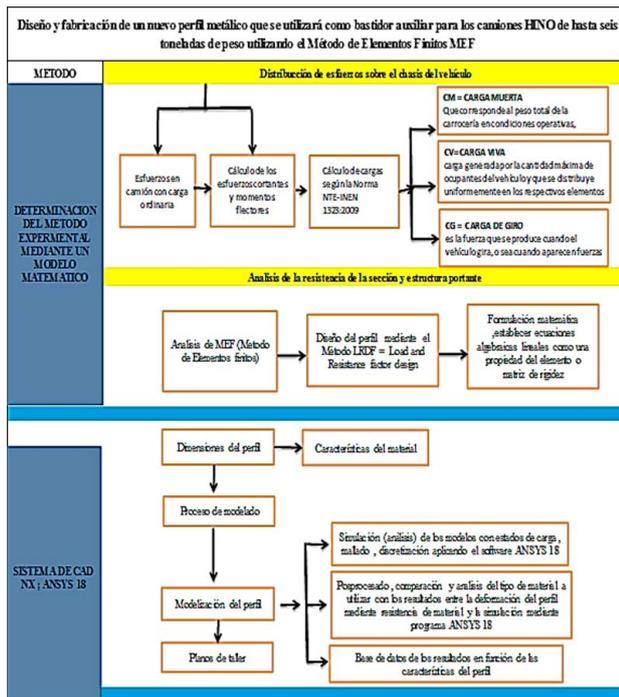


Figura 2. Diagrama de procesos para efectuar el diseño del proyecto.
Fuente: (autores)

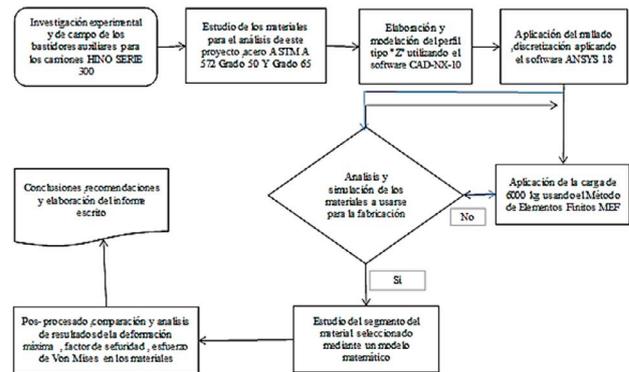


Figura 3: Flujo de actividades del proyecto
Fuente: (autores)

Se procede al estudio del diseño a flexión de un perfil conformado en frío, para uso como bastidor auxiliar, se escoge por requerimiento de SIDEC S.A. un perfil de geometría tipo "Z", justificado en la facilidad de construcción, ahorro de material y adaptabilidad de montaje al bastidor principal del camión. De los aceros estructurales que la compañía importa anualmente ASTM A572 GR.50 y GR.65, se debe escoger uno como material constructivo, las propiedades mecánicas se indican en la Tabla 1.

Tabla 1:
Propiedades Mecánicas del acero A572

	Gr. 42 [290]	Gr. 50 [345]	Gr. 60 [415]	Gr. 65 [450]
Resistencia a la tracción:	60,000 psi [415 MPa]	65,000 psi [450 MPa]	75,000 psi [520 MPa]	80,000 psi [550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	42,000psi [290 MPa]	50,000psi [345 MPa]	60,000psi [415 MPa]	65,000psi [450 MPa]
Elongación en 8"	20% min	18% min	16% min	15% min
Elongación en 2"	24% min	21% min	18% min	17% min

Fuente: (Phone Limited, 2018)

2.1. Modelado del perfil tipo "Z"

Usando el software de simulación ANSYS - 8 se modela el perfil tipo "Z" requerido y sugerido por la empresa, como se indica en la Figura 4.

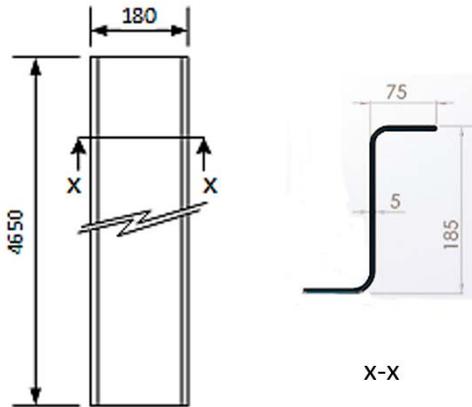


Figura 4: Modelación del perfil tipo "Z" para uso del bastidor auxiliar
Fuente: (autores)

En la Figura 5, se establece la estructura base y las dimensiones del bastidor, para el camión, de acuerdo a las especificaciones, también en la Figura 6, se indica la sección de ubicación de la armadura metálica.

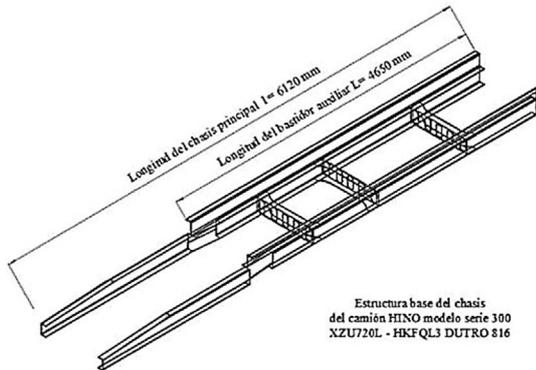


Figura 5: Modelación de la estructura base del chasis principal con el bastidor auxiliar
Fuente: (autores)

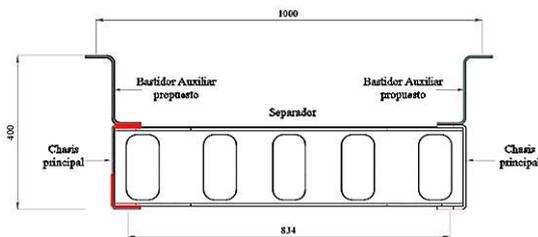


Figura 6: Sección de la estructura metálica entre el chasis principal con el bastidor auxiliar
Fuente: (autores)

Previo al estudio de la simulación con el método de elementos finitos (MEF) se realizará el análisis de los esfuerzos cortantes, momentos flectores, factor de seguridad y la deformación de cada uno de los materiales utilizados en este proyecto, utilizando el método LRFD.

2.2. Análisis usando el método LRDF

Se analiza el caso de camión con carga ordinaria distribuida, la distribución del peso de carga más la carga útil transportada sobre cada eje del vehículo, se muestra en la Figura 7, el diagrama de cuerpo libre se indica en la Figura 8.

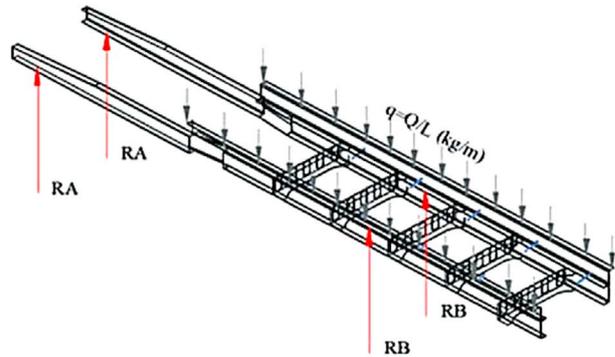


Figura 7: Distribución del peso de la carga más carga útil, reacciones, dimensiones
Fuente: (autores)

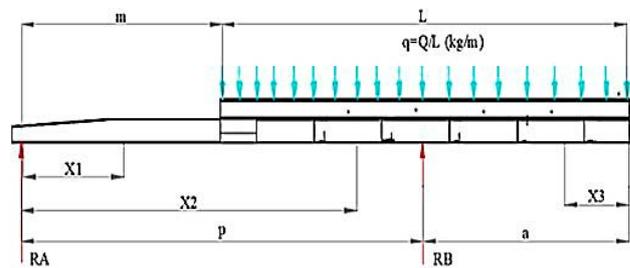


Figura 8: Diagrama de cuerpo libre de la carga, reacciones, dimensiones
Fuente: (autores)

Los valores dimensionales del vehículo se indican en la tabla 2.

Tabla 2:
Dimensiones generales del camión HINO Serie 300
DUTRO 816

Denominación	Valor
Longitud total del vehículo (mm)	6120
Anchura total del vehículo (mm)	1995
Altura total del vehículo (mm)	2220
Distancia entre ejes (p) (mm)	3430
Longitud de la caja de carga (L) (mm)	4450
Voladizo posterior de la caja de carga (a) (mm)	2690
Distancia del eje delantero al comienzo de la	1670
caja de carga (m) (mm)	
Ancho de vía eje delantero (mm)	1835
Ancho de vía eje trasero (mm)	1680

Fuente: HINO 2018

El peso admisible MMA , que se aplicará será el resultado de la sumatoria de Q' (peso del vehículo en chasis - cabina), y Q (peso carrozado de la caja de carga más la carga útil).

$$MMA = Q' + Q \quad (1)$$

$$MMA = 8600 \text{ kgf}$$

$$Q' = 2485 \text{ kgf}, \quad Q = 6115 \text{ kgf}$$

Las reacciones en el eje delantero R_A y trasero R_B son respectivamente $R_A = Q(L/2 - a)/p$ y $R_B = Q(L/2 + m)/p$ De donde se obtiene:

$$R_A = 659.63 \text{ kgf}; \quad R_B = 2478.09 \text{ kgf}$$

2.3. Cálculo de los esfuerzos cortantes y momentos flectores

Para las condiciones mostradas en la Figura 9, se construyen los diagramas de fuerza cortante y momento flector, (Figura 10).

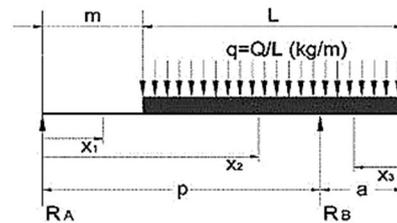


Figura 9: Diagrama de cuerpo libre donde actúan las fuerzas y reacciones del vehículo

Fuente:

Se obtiene como valores máximos: Momento flector máximo $M = 4971.74 \text{ kgf.m}$ y Esfuerzo cortante máximo $V = 3696 \text{ kgf}$

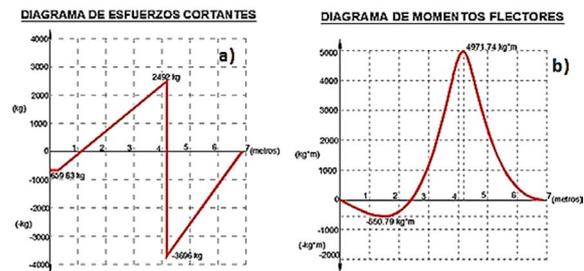


Figura 10: a) Fuerza cortante b) Momentos flector

Fuente: (autores)

El esfuerzo a flexión que se produce en la sección del bastidor debido al momento flector M actuante, viene dada por (2):

$$\sigma_f = \frac{M}{2W_x} \quad (2)$$

El módulo resistente de la sección de los largueros, se determina con (3):

$$W_x = \frac{I_{xx}}{Y_{max}} \quad (3)$$

Donde:

W_x = Módulo resistente a flexión (cm^3)

I_{xx} = Momento de inercia de la sección del perfil respecto al eje x de flexión (cm^4)

Y_{max} = Distancia del eje neutro de la sección a la fibra más alejada de la misma (cm)

De acuerdo a la Figura 4 de la modelación de la sección entre el chasis del camión y del bastidor auxiliar se consigue:

$$I_{xx} = 14206.82 \text{ cm}^4$$

$$Y_{max} = 40.2 \text{ cm}$$

Remplazando los valores anteriores en y , se obtiene:

$$W_x = 353.40 \text{ cm}^3$$

$$\partial_f = 703.41 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

2.4. Factor de seguridad de resistencia del material

El cálculo del factor de seguridad se consigue con la ecuación .

$$\frac{\partial}{k'} = \frac{k}{2W} \quad (4)$$

Donde:

∂_f = Esfuerzo de flexión (kgf/cm²)

M = Momento flector máximo (kgf.cm)

W = Modulo de resistencia a flexión (cm³)

k' = Factor de resistencia de carga (LRDF)

k = Factor de seguridad

De , se obtiene k (5)

$$k = \frac{\partial_f 2W}{k' M} \quad (5)$$

$$k = \frac{(703.41)2(353.40)}{0.75(497174)} = 1.33$$

Se aplica la teoría de distorsión de von Mises, para estimar las fallas por fluencia que pudiese ocurrir en el modelo, para que el material no falle por fluencia, se debe cumplir (6)

$$\tau_{oct} < \frac{\sqrt{2}}{3} S_T \quad (6)$$

En términos de los esfuerzos principales, se tiene (7)

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 < 2S_T^2 \quad (7)$$

La denominada intensidad de esfuerzo de von Mises, resulta como

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (8)$$

Entonces, como se debe cumplir el criterio se consigue

$$\sigma \leq S \quad (9)$$

La inecuación , se convierte en una ecuación cuando se verifica , al término N_s se le denomina factor de seguridad

$$N_s = \frac{S}{\sigma} \quad (10)$$

Donde:

S = Resistencia a la fluencia S_T (Pa)

σ = Intensidad esfuerzo de von Mises σ_{VM} (Pa)

Sustituyendo los valores calculados con el MEF, Figura 11, en , se estiman los valores N_s indicados en la Tabla 3.

Tabla 3
Factor de seguridad (N_s)

Ítem	Material	(S_v) psi	(σ) psi	(N_s)
1	ASTM A572 Gr. 50, t = 5mm	50000	96825	0.52
2	ASTM A572 Gr. 65, t = 5mm	65000	49978	1.30

Fuente: (autores)

2.5. Análisis mediante modelo matemático

Se estiman los desplazamientos y valores de σ para uno de los tramos del bastidor, Figura 12, la geometría y cargas del tramo escogido A-B, se muestra en la Figura 13

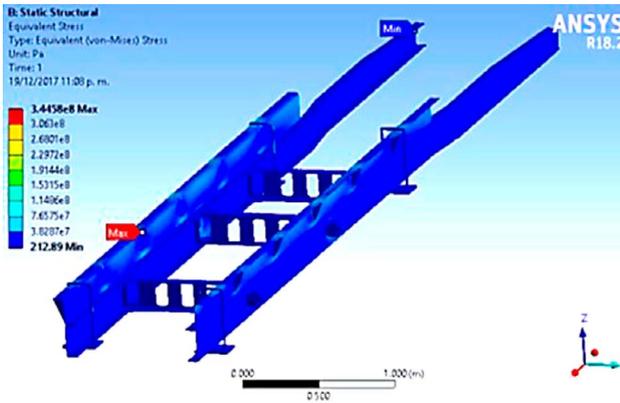


Figura 11: Valores máx. y mín. de σ del material ASTM A572 Gr. 65
Fuente: (autores)

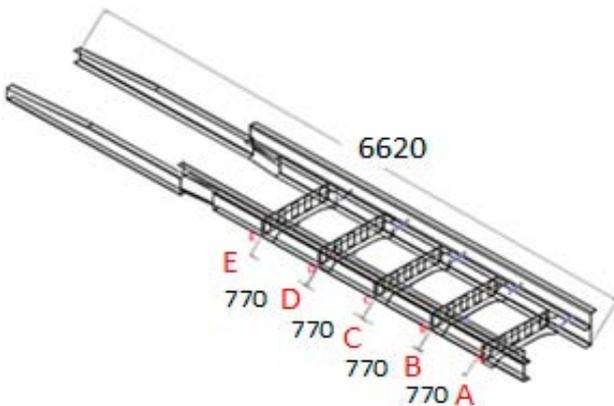


Figura 12: Diagrama del tramo AB para la simulación
Fuente: (autores)

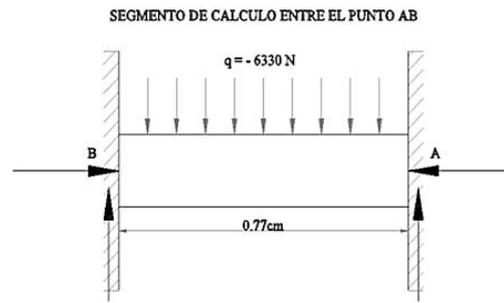


Figura 13: Diagrama del tramo AB establecido como viga doblemente empotrada
Fuente: (autores)

En la Figura 14 se muestra la intensidad del esfuerzo de von Mises σ , se utiliza para comparar los resultados de la deformación del material ASTM A572 Gr. 65 con el segmento del mismo material. Resulta $\sigma_{\max} = 124.97 \text{ MPa}$ y $\sigma_{\min} = 0.177 \text{ MPa}$.

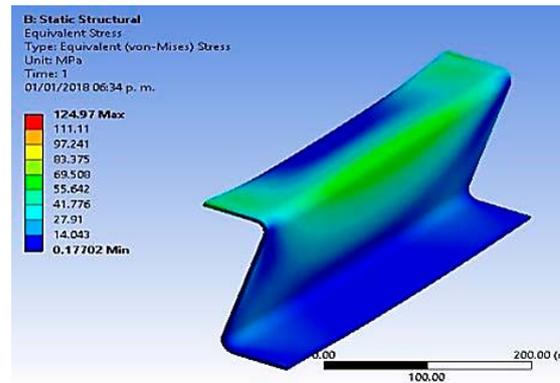


Figura 14: Intensidad de esfuerzo de von Mises - máximo y mínimo
Fuente: (autores)

Para el tramo A-B, se tiene $\sigma = 124.79 \text{ MPa}$, factor de seguridad mínimo = 3, elongación máxima = 4.32 mm

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del cálculo analítico y el MEF muestran que el mayor factor de seguridad estático fue de 1.3 correspondiente al acero ASTM A572 Gr. 65, se acepta como válido al estar por encima de 1, sugerido por la norma AISC sección 2 (American Institute of Steel Construction, 2016) aplicado a cálculo estructural de bastidores en camiones, el resto de valores se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4
Tabla de comparación de resultados finales
Comparación de diseños finales
carga de 6000 kgf (58800 N)

Material	Masa (Kg)	σ (MPa)	Ns	Def. máx (mm)
Acero ASTM A-572 GR. 50	44.57	344.58	0.93	1.13
Acero ASTM A-572 GR. 65	55.2	344.58	1.3	4.71
Segmento ASTM A-572 GR. 65	9.12	124.97	3	4.32

Fuente: (autores)

Los resultados obtenidos del bastidor auxiliar, diseñado con el perfil "Z", indican que el camión marca HINO serie 300 puede trasladarse con cargas de hasta 6000 kgf sin sufrir deformaciones plásticas, utilizando como material cons-

tructivo del bastidor auxiliar, al acero estructural ASTM A572 Gr. 65, el factor de seguridad mayor que uno, permite inducir que el material no fallará en esas condiciones (Teller B., 2011).

Los bastidores auxiliares deben tener la facilidad de fabricación, a partir de un material homogéneo e isótropo de calidad uniforme que permita soportar grandes esfuerzos (Galbarro, 2010). Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales. El acero seleccionado ASTM A572 Gr. 65, es de alto costo en el mercado nacional y tiene dificultad de conseguirse en planchas que cumplan con las dimensiones para la construcción del bastidor, por lo que se hace necesario su importación.

Otra de las ventajas de utilizar el perfil "Z", es que permite el rápido ensamble con otros aditamentos de la conformación del armazón de chasis principal, dando facilidades de unión con la carrocería del camión y facilita un correcto mantenimiento del mismo, cumpliéndose con la satisfacción de simplificación propuesta por (Schuch, 1999).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El acero estructural ASTM A572 Gr. 65, tal como indican los cálculos y simulaciones respectivas, es un acero dúctil, con un comportamiento estable bajo altas cargas y una relación resistencia-peso conveniente, es más económico, demostrado por los precios y dimensiones requeridas establecidas, tiene alta resistencia,

indicada en las simulaciones efectuadas y presenta una adecuada soldabilidad, lo cual facilita la adición de más componentes sin tener problemas en el ensamble con los demás elementos que conforman el chasis del camión.

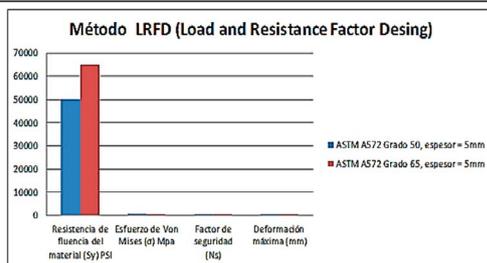
Con los resultados calculados utilizando el método LRDF (Tabla 5), se verifica que el ma-

material más adecuado es el acero ASTM A572 Gr. 65, su factor de seguridad es mayor que 1 y su deformación direccional 4.71 mm es mayor que la del Gr. 50 por lo tanto su elasticidad es mayor.

Tabla 5

Análisis de resultados utilizando el método LRDF con los materiales en estudio

Método LRFD (Load and Resistance Factor Desing)					
Ítem	Material	Resistencia de fluencia del material (Sy) PSI	Esfuerzo de Von Mises (σ) Mpa	Factor de seguridad (Ns)	Deformación máxima (mm)
1	ASTM A572 Grado 50, espesor = 5mm	50000	667.58	0.52	1.13
2	ASTM A572 Grado 65, espesor = 5mm	65000	334.58	1.3	4.71



Fuente: (autores)

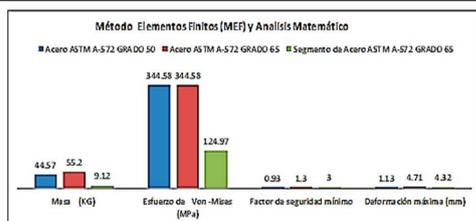
El análisis se realiza con la aplicación de la teoría de falla de la energía de distorsión.

En el análisis indicado en la tabla 6 se realizan las comparaciones utilizando el método de elementos finitos y el análisis convencional, obteniéndose que el acero ASTM A572 Gr. 65 cumple con el requerimiento óptimo.

Tabla 6

Análisis de resultados utilizando el método MEF con los materiales en estudio

Método Elementos Finitos (MEF) y Analisis Matemático				
Material	Masa (KG)	Esfuerzo de Von-Mises (MPa)	Factor de seguridad mínimo	Deformación máxima (mm)
Acero ASTM A-572 GRADO 50	44.57	344.58	0.93	1.13
Acero ASTM A-572 GRADO 65	55.2	344.58	1.3	4.71
Segmento de Acero ASTM A-572 GRADO 65	9.12	124.97	3	4.32



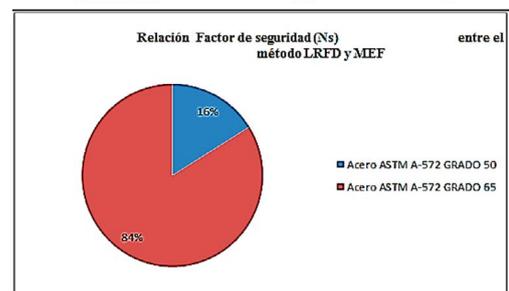
Fuente: (autores)

En la tabla 7, se muestra la comparación de resultados de los análisis efectuados con los métodos LRFD y MEF, en relación al factor de seguridad y se determina que en un 84% es mayor al utilizar el acero ASTM A572 Gr. 65.

Tabla 7

Análisis de resultados en relación del factor de seguridad con los materiales en estudio

Relación Factor de seguridad (Ns) entre el método LRFD y MEF		
Material	Acero ASTM A-572 GRADO 50	Acero ASTM A-572 GRADO 65
Método LRFD	0.25	1.3
Método MEF	0.93	1.3



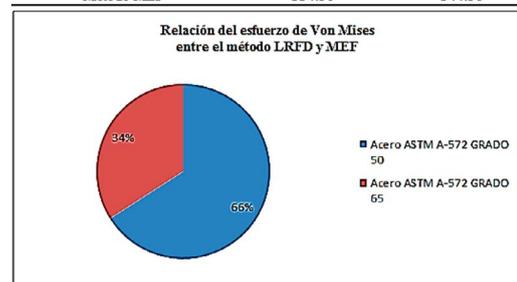
Fuente: (autores)

En la tabla 8 se visualizan las observaciones aplicando los métodos LRFD y MEF, se comprueba usando el esfuerzo de von Mises que en un 66% es mejor utilizar el acero ASTM A572 Gr. 65.

Tabla 8

Análisis de resultados en relación del esfuerzo de Von Mises con los materiales en estudio

Relación Esfuerzo de Von Mises entre el método LRFD y MEF		
Material	Acero ASTM A-572 GRADO 50	Acero ASTM A-572 GRADO 65
Método LRFD	667.58	344.58
Método MEF	334.58	344.58



Fuente: (autores)

4.1 Manufactura

El proceso de construcción, debe ser enfocado al no desperdicio de material para minimizar gastos. En la Figura 16 se indica el flujo de trabajos para la fabricación e instalación del bastidor auxiliar.

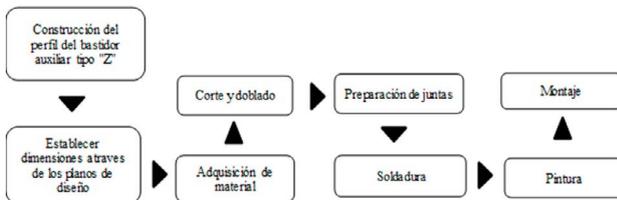


Figura 16: Proceso de fabricación del bastidor auxiliar para los camiones HINO
Fuente: (autores)

4.2 Costos

En la Tabla 9 se muestra un análisis de costos entre la compra nacional y la importada, se indi-

can los valores y el porcentaje cuya diferencia muestra la ventaja de adquirir mediante importación los materiales, ya que los proveedores tienen precios de venta más altos.

Tabla 9
Análisis de costos entre la compra nacional y la importación

Análisis de costos				
Material	Valor mercado nacional	Valor en importación	Valor diferencia	% de comparación
Acero ASTM A-572 GRADO 50	\$24,800.00	\$ 35,000.00	\$ 10,200.00	0.68
Acero ASTM A-572 GRADO 65	\$25,200.00	\$ 36,000.00	\$ 10,800.00	0.7

Fuente: (autores)

Con el diseño realizado y las dimensiones de desarrollo de 4650X300X5mm lo más conveniente es comprar en bobinas ya que en el mercado nacional la venta de las planchas es tipo estándar de 1220X2440X5mm por lo que se generara desperdicios en su fabricación del bastidor auxiliar por lo que es conveniente comprar en bobinas para que el corte de la placa sea exacto y no genere recortes innecesarios.

CONCLUSIONES

El acero estructural escogido como material constructivo del bastidor auxiliar para los camiones HINO serie 300, es el ASTM - A572 Gr. 65 con espesor de 5 mm.

El perfil tipo "Z" seleccionado para el diseño no sobrepasa la deformación crítica de 4 mm, el factor de seguridad es mayor a 1.

Los parámetros establecidos son óptimos, así como la geometría y el material cumplen con la resistencia y deflexión requerida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Institute of Steel Construction. (2016). Especificación para Construcciones de Acero ANSI/AISC 360-16. En ANSI/AISC. United States of America: Asociación Latinoamericana del acero. Obtenido de <http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com>

Budynas, R. G., Nisbett, & Keith, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (8va. ed.). (M. Á. Ríos Sánchez, Trad.) México, D. F.: McGraw-Hill/Interamericana. doi:ISBN: 978-970-10-6404-7

- Chandrupatla, T., & Belegundu, A. (2002). *Introduction to finite elements in engineering* (Third ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis* (Fourth ed.). University of Wisconsin-Madison, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Donoso P., J. C., & Velasco A., C. X. (2010). *Diseño de una plataforma autocargable para vehículos de hasta 2.0 toneladas montado sobre un chasis-camión*. Escuela Politécnica Nacional, Fac. Ing. Mecánica. Quito: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1897>
- Galambos, T., & Ravindra, M. I. (1976). *Proposed Criterion for Load and Resistance Factor Design of Steel Building Structures*. Universidad de Washington, Ingeniería civil. St. Louis: Universidad de Washington.
- Galbarro, H. R. (2010). *Ingemecanica.com*. Recuperado el 2017, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>
- García, D. (2014). Generalidades de los bastidores en los vehículos industriales y su reparación. *Revista Técnica del Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos, S.A., I(60)*, 6-9. Obtenido de http://revistacentrozaragoza.com/revistacz/revista60/files_60/assets/common/downloads/publication.pdf
- Goncalves, R. (2002). *Introducción al análisis de esfuerzos* (Segunda ed.). (R. Goncalves, Ed.) Caracas, Venezuela: USB.
- Guo-Bin, L., & Nan, X. R.-J. (2014). Modeling and Static Structural Analysis of Finite Element for a Truck Crane's Frame. En W. e. Chen (Ed.), *International Conference on Mechanics and Civil Engineering (ICMCE 2014)* (págs. 782-785). Wuhan, China: Atlantis Press. doi:10.2991/ icmce-14.2014.138
- HINO. (5 de Enero de 2018). *HINO serie 300*. (Hino Motors Sales México) Recuperado el 2018, de <https://www.hino.com.mx/images/fichas-tecnicas-nuevas/ficha-716y816.pdf>
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas - Un enfoque integrado* (Cuarta ed.). (A. Enríquez Brito, Trad.) Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México. doi:ISBN: 978-607-32-0591-7
- Phione Limited. (2018). *Phione Limited the steel specialist*. Recuperado el 2018, de <https://sites.google.com/a/phione.co.uk/espanol/products/general-structure-and-welding-steel/astm-structural-steel/astm-a-572>
- Schuch, F. W. (1999). En *Manual de la técnica del automóvil* (Tercera ed.). España: Reverté.
- Teller B., F. J. (2011). Tipos de bastidores en los vehículos industriales. *Revista Técnica del Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos, S.A., I(47)*.
- Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. (R. Del Bosque, Ed.) México: McGraw-Hill.

CONTROL DE MODO DESLIZANTE PARA MICRORREDES: UNA REVISIÓN

SLIDING MODE CONTROL FOR MICROGRIDS: A REVIEW

Héctor Mauricio Yépez Ponce¹ Darío Fernando Yépez Ponce²

¹Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador
E-mail: mauroyopez32@gmail.com

²Instituto Superior Tecnológico Eloy Alfaro, Esmeraldas, Ecuador
E-mail: dfyp1991@gmail.com

Resumen

La necesidad de suministrar energía eléctrica a cualquier parte del mundo motivó a la creación del término microrred. En los últimos años ha ido tomando fuerza debido a que una microrred facilita la integración de fuentes renovables (solar, eólica, térmica) para la distribución de energía eléctrica. Las microrredes pueden funcionar de manera independiente, ya sea de manera aislada o en coordinación con la red principal debido a que integran generadores de energía propios, recursos de almacenamiento y tecnologías de información que permiten la organización y control de la red. La implementación de una microrred obliga a plantear estrategias de control que permitan satisfacer con la demanda de carga local, aprovechar la mayor cantidad de energía, reducir costos e incrementar la fiabilidad. Este artículo de revisión presenta la arquitectura de una microrred, modos de operación, niveles de control jerárquico y una comparación de las investigaciones realizadas que han obtenido resultados al realizar simulaciones e implementar los diferentes tipos de controladores en microrredes.

Palabras clave– Control Jerárquico, Control de Modo Deslizante, Microrredes AC, Microrredes DC y Microrredes Híbridas.

Abstract

The need to supply electric power to any part of the world motivated the creation of the term microgrid. In recent years it has been gaining strength because a microgrid facilitates the integration of renewable sources (solar, wind, thermal) for the distribution of electrical energy. Microgrids can operate independently, either in isolation or in coordination with the main network because they integrate their own power generators, storage resources and information technologies that allow the organization and control of the network. The implementation of a microgrid forces to propose control strategies that allow to satisfy with the demand of local load, to take advantage of the greater amount of energy, to reduce costs and to increase reliability. This review article presents the architecture of a microgrid, modes of operation, levels of hierarchical control, and a comparison of research that has resulted in simulations and implementation of different types of microgrid controllers.

Key Words– Hierarchical Control, Slider Mode Control, AC Microgrids, DC Microgrids and Hybrid Microgrids.

INTRODUCCIÓN

Una microrred se enmarca como una red eléctrica integrada, que utiliza sus propios generadores de energía, elementos de almacenamiento, controladores e interfaces. Estos sistemas utilizan tecnología digital que permiten la inclusión de fuentes renovables (solar, eólica, térmica, otras) a la red con el objetivo de autoabastecerse y operar de forma aislada a la red principal si esta llegara a fallar; de esta manera poder asegurar la continuidad del servicio y aumentar la confiabilidad de suministro a la carga local (Gonzalez Castro, Cusguen Gomez, Mojica Nava, & Pavas Martinez, 2017).

Una microrred puede tener dos modos de operación: modo conectado a la red y modo aislado (Ahmed, Hojabri, Humada, Daniyal, & Frayyeh, 2015). En el modo conectado a la red, la red suministra energía a los diferentes elementos de la microrred, en este modo el control se enfoca principalmente en el flujo de potencia activa y reactiva. En el modo aislado el mayor desafío es mantener la tensión y frecuencia dentro de parámetros aceptables que permitan a los generadores cumplir con la demanda de la red (Medina, 2014).

Entre los beneficios que puede satisfacer una microrred están: mejorar la confiabilidad y calidad de energía, corrección de caída de voltaje, reducir costos, proporcionar funciones de suministro de energía interrumpible, regulación de frecuencia y capacidad de potencia de la red (Ahmed et al., 2015)(Lasseter, 2003). Para lograr estos beneficios se aplican técnicas de control lineales y no lineales.

Según Coban (2017), El Control de Modo Deslizante, (SMS por sus siglas en inglés), fue establecido a principios de 1950 por Emelyanov, es uno de los controles más poderosos de estructura variable no lineal debido a la robustez que brinda al sistema contra incertidumbres o perturbaciones que afecten de manera directa o indirecta a la planta.

El SMC controla la cantidad de interés en un sistema mediante la aplicación de señales de control discontinuas, esto incluye la baja sensibilidad a variaciones de parámetros y un rechazo a perturbaciones, produciendo un mayor rendimiento y llevando al sistema a un estado de estabilidad que se conoce como superficie deslizante (Pathan & Thosar, 2018). Consta principalmente de dos fases: la fase deslizante que obliga al sistema a deslizarse a lo largo de una sección transversal, lugar en el cual el sistema tiene un comportamiento normal y la fase de alcance que está diseñada para alcanzar el múltiple deslizante desde cualquier punto en el espacio de estados (Gireesh & Seema, 2015).

Este artículo de revisión consta de 3 secciones, en la sección 1 se analizará la estructura de las microrredes, los niveles de control jerárquico y finalmente las investigaciones realizadas en los últimos años aplicando el control de modo deslizante en las microrredes eléctricas DC, AC e híbridas se tratan en la sección 2 y finalmente en la sección 3 se indican las conclusiones fruto de la revisión.

DESARROLLO

2.1 Métodos y Materiales

Esta investigación se diseñó bajo la metodología Prisma (Liberati et al., 2009). La investigación se fundamentó en la pregunta: ¿Cómo se ha implementado el control de modo deslizante en las diferentes estructuras de microrredes?

Con base en la pregunta de investigación planteada y con la finalidad de especificar la investigación, se definieron términos generales de búsqueda como: sliding mode control, microgrids, hierarchical control y control in microgrids en las siguientes bases de datos: IEEExplorer, Scopus y Web of Science. Se emplearon ecuaciones de búsqueda y términos booleanos con la finalidad de restringir la cantidad de documentos que se centran en esta investigación: [("Sliding mode control" AND "microgrids"), ("Sliding mode control" AND "DC microgrids"), ("Sliding mode control" AND "AC microgrids"), "Sliding mode control" AND "Hybrid microgrids")].

La búsqueda de los artículos de investigación se realizó en las bases de datos propuestas y se obtuvieron 148 resultados en IEEExplorer, 126 en Scopus y 70 en Web of Science; para un total de 344 resultados. A partir de estos últimos, se encontraron 15 duplicados en el gestor bibliográfico Mendeley, luego se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para eliminar artículos que no correspondan, de esta forma se obtuvieron un total de 37. Finalmente, se realizó la revisión sistemática en los 37 artículos de investigación originales.

2.2 Estructura de una Microrred

2.2.1 Estructura de una microrred DC

Las microrredes de DC están captando más atención que las de AC, debido a que la mayor parte de dispositivos modernos domésticos y comerciales funcionan con suministro de DC y fuentes de energías renovables. Por otro lado, el uso de microrredes AC demuestran ser ineficientes ya que utilizan múltiples conversiones DC-AC-DC (D. Zhang & Wang, 2017) (S. Singh & Fulwani, 2014b). La estructura de una microrred DC en modo aislado se representa en la Figura 1, donde los generadores distribuidos, carga activa, carga resistiva y dispositivo de almacenamiento de energía están conectados al bus de DC.

2.2.2 Estructura de una microrred AC

En la red de transmisión general, la energía eléctrica se genera, transmite y distribuye en AC; debido a que en AC los transformadores de potencia convierten la energía de un nivel de tensión a otro con el objetivo de disminuir las pérdidas en la transmisión. Su estructura típica se muestra en la Figura 2. En las microrredes AC, las generaciones distribuidas y los dispositivos de almacenamiento de energía se conectan al bus de AC a través de dispositivos electrónicos de alimentación (Ma & Ouyang, 2019).

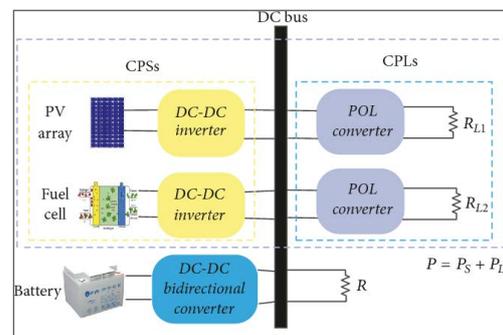


Figura 1: Estructura de una microrred DC.
Fuente: D. Zhang & Wang, 2017.

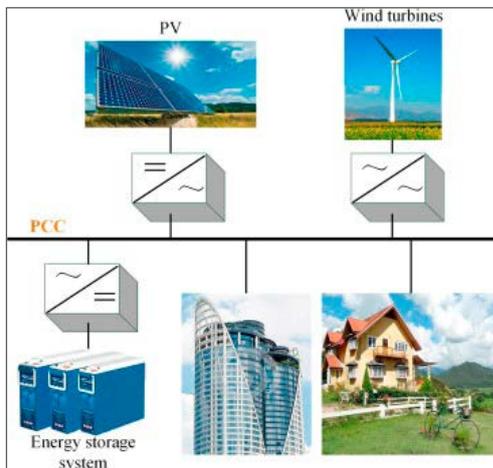


Figura 2: Estructura de una microrred AC.
Fuente: Ma & Ouyang, 2019.

2.2.3 Estructura de una microrred híbrida

La microrred híbrida AC/DC representada en la Figura 3. Contiene bus de AC y bus de DC. Puede suministrar energía a cargas de AC y cargas de DC directamente. El concepto de microrredes híbridas es más útil ya que se pueden utilizar las ventajas de ambas microrredes, sin embargo la operación y control resulta más compleja debido a la coexistencia de ambas microrredes (Roy et al., 2018).

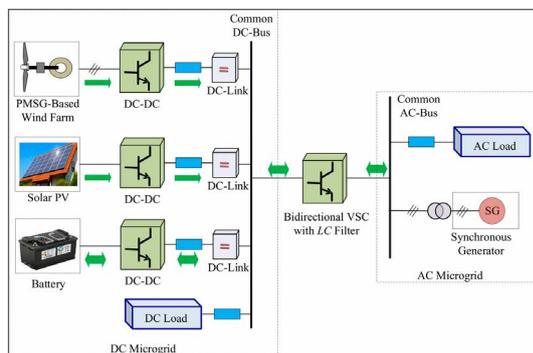


Figura 3: Estructura de una microrred AC/DC.
Fuente: Roy et al., 2018.

2.3 Control jerárquico de una Microrred

El modelo tradicional de control jerárquico de microrredes tiene tres niveles: el nivel de control primario es el encargado de mantener el equilibrio de potencia de la microrred para lo-

grar una operación autónoma (Morstyn, Savkin, Hredzak, & Tuan, 2018). El control secundario se introduce para restaurar la frecuencia y voltaje a los valores nominales introducidos por el control primario y/o para corregir las relaciones de carga compartida entre las fuentes (R. Zhang & Hredzak, 2019). Finalmente, el control terciario es responsable del control del flujo de energía y de la toma de decisiones dependiendo de la demanda y el estado de la microrred (Ghazzali & Haloua, 2018).

2.4 Control de Modo Deslizante

El controlador de modo deslizante es un caso especial de un controlador de estructura variable, donde una ley de control de conmutación de alta velocidad impulsa la trayectoria del sistema no lineal en una superficie específica y elegida por el usuario en el espacio de estado (Zhijun Li, Deng, & Gu, 2010).

En el diseño de SMC, se consideran dos aspectos importantes: Primero establecer la dinámica de la superficie de deslizamiento que se define por primera vez en el espacio de estado, debe ser estable y puede ser lineal, esta superficie es la encargada de regir el comportamiento del sistema cuando se encuentra en el modo de deslizamiento (Zhijun Li et al., 2010). Segundo es el diseño de un controlador que permita a las trayectorias que se encuentren cerca de la superficie de deslizamiento se dirijan hacia la superficie establecida por el diseñador. Una vez alcanzada esta superficie, la dinámica del lazo cerrado, lo hace independiente de las perturbaciones en los parámetros del sistema, de esta manera se logra una excelente robustez (Utkin, 1992).

La característica más importante de este controlador es no ser sensible a las incertidumbres estructurales, la dinámica y las perturbaciones no modeladas, lo que permite ser empleado en aplicaciones para el control de sistemas no lineales, variantes en el tiempo y sistemas con incertidumbre. En la Figura 4, se presenta

la interpretación gráfica del control por modo deslizante, parte de un punto inicial (X_0), la ley de control lo conduce a la superficie de deslizamiento (modo de alcanzabilidad) y una vez allí se desliza atrapado por la superficie hasta el valor deseado (superficie deslizante) (García & Zambrano, 2004).

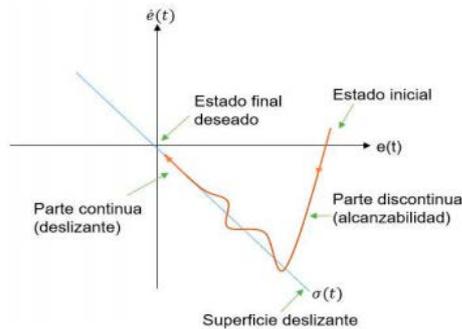


Figura 4. Superficie de deslizamiento.
Fuente: García & Zambrano, 2004.

2.4.1 Estructura del SMC

La estructura del controlador se modifica intencionalmente a medida que su estado cruza la superficie de acuerdo con una ley de control prescrita (Sira-Ramírez & Llanes-Santiago, 1994) Por lo tanto, el primer paso en SMC es definir la superficie deslizante $S(t)$. $S(t)$ se elige para representar un comportamiento global deseado, por ejemplo, estabilidad y seguimiento del rendimiento. $S(t)$ presentada en (1), es una ecuación diferencial integral que actúa sobre la expresión de error de seguimiento.

$$S(t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^n \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

Donde $e(t)$ es el error de seguimiento, es decir, la diferencia entre el valor de referencia o el punto de ajuste, $R(t)$ y la medición de salida, $X(t)$, o $e(t) = R(t) - X(t)$ y es un parámetro de ajuste, que ayuda a definir $S(t)$; Este término es seleccionado por el diseñador, λ determina el rendimiento del sistema en la superficie deslizante, n es el orden del sistema.

El objetivo del control es asegurar que la variable controlada sea igual a su valor de referencia en todo momento, lo que significa que $e(t)$ y sus derivados deben ser cero. Una vez que se alcanza el valor de referencia, la ecuación. (1) indica que $S(t)$ alcanza un valor constante. Para mantener $S(t)$ en este valor constante, lo que significa que $e(t)$ es cero en todo momento, Es decir:

$$\frac{dS(t)}{dt} = 0 \quad (2)$$

Una vez que se ha seleccionado la superficie deslizante, se debe prestar atención al diseño de la ley de control que lleva la variable controlada a su valor de referencia y satisface la ecuación (2). Se procede a representar la ley de control de un SMC, $U(t)$, compuesta por dos partes que se suman, una parte continua, $U_c(t)$, y una parte discontinua, $U_d(t)$, [5], Es decir:

$$U(t) = U_c(t) + U_d(t) \quad (2)$$

La parte continua viene expresada de la siguiente manera:

$$U_c(t) = f(X(t), R(t)) \quad (3)$$

Donde $f(X(t), R(t))$ es una función variables de la variable controlada y el valor de referencia.

La parte discontinua, $U_d(t)$, incorpora un elemento no lineal que incluye el elemento de conmutación de la ley de control. Esta parte del controlador es discontinua a través de la superficie deslizante.

$$U_d(t) = Kd \frac{S(t)}{|S(t)| + \delta} \quad (4)$$

Donde KD es el parámetro de ajuste responsable del modo de alcance. δ es un parámetro de ajuste utilizado para reducir el problema de parloteo. El parloteo es una oscilación de alta frecuencia alrededor del punto de equilibrio deseado. No es deseable en la práctica, porque implica una actividad de alto control y también puede excitar dinámicas de alta frecuencia ig-

noradas en el modelado del sistema (Colantoni, Desages, Romagnoli, & Palazoğlu, 1995).

En resumen, la ley de control generalmente da como resultado un movimiento rápido para llevar el estado a la superficie deslizante, y un movimiento más lento para continuar hasta alcanzar el estado deseado (Camacho & Smith, 2000)

2.4.2 Aplicaciones del SMC

Considerando la robustez de este controlador se han realizado múltiples investigaciones en diferentes áreas, por ejemplo en robots móviles: en (Benaziza, Slimane, & Mallem, 2017), se propone un enfoque de seguimiento de trayectoria. Se utiliza el SMC para converger el error de ángulo y posición a cero en poco tiempo con estabilidad asintótica, los resultados de la simulación muestran una buena convergencia para trayectorias circulares, sinusoidales y específicas. También ha sido aplicada en brazos robóticos, en (Eltayeb, Rahmat, Eltoum, Ibrahim M. H., & Basri, 2020), se aplica un controlador de modo deslizante adaptativo (ASMC) diseñado para un sistema de manipulador no lineal de brazo robótico de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). Se descubrió que, incluso en presencia de las incertidumbres de los parámetros, el rendimiento del controlador propuesto para el seguimiento de la trayectoria es robusto. Además, el parloteo se reduce significativamente. Incluso se han realizado estudios en el área espacial que implican un alto grado de complejidad. En (Wang, Liu, Wu, & Tang, 2012), se aplica un método de SMC basado en tecnología de control de tiempo finito, con la finalidad de lograr un seguimiento a la posición de salida de la nave espacial en presencia de perturbaciones externas. También se da una ley de control de tiempo finito para estabilizar la posición de la nave espacial.

En este trabajo se hará énfasis en la aplicación de este tipo de control en microrredes eléctricas.

2.4.3 SMC en microrredes DC

Los controles de modo deslizante son los más adecuados para controlar la estructura de los convertidores DC-DC debido a su robustez y resistencia. A continuación, se presentan algunos ejemplos de SMC aplicado a microrredes DC.

El uso SMC basado en modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) se utiliza para hacer que la frecuencia sea constante; así, la frecuencia de conmutación del sistema es la misma que la de una onda triangular. En (D. Zhang & Wang, 2017), se propone un control de voltaje del bus para una microrred DC en modo isla. La estrategia de control usada en este caso es un control adaptativo en modo deslizante basado en PWM, que reduce en gran medida la dificultad del diseño del filtro y permite rastrear el voltaje del bus de manera rápida y precisa sin sensores o circuitos de hardware adicionales, lo cual es esencial para la escalabilidad del sistema. En (P. Singh & Lather, 2018), se utiliza el control antes mencionado para controlar el voltaje de un convertidor elevador que permita el funcionamiento estable de la microrred DC. Finalmente en (S. Singh & Fulwani, 2014), se presenta un diseño de SMC basado en PWM para disminuir las inestabilidades de impedancia negativa producidas por el comportamiento negativo de la resistencia incremental de los convertidores en el punto de carga y asegura el voltaje terminal requerido dentro de los límites cercanos, mostrando una robustez razonable para suministrar y cargar variaciones laterales.

En (Yasin, Ashraf, Bhatti, Ahmad, & Rashid, 2016), se diseñó un control de modo deslizante para resolver el problema de las corrientes circulantes y el reparto de carga desequilibrado y se lo compara con un control PID lineal. El SMC demostró ser superior ya que a pesar de existir un alto contenido de ondulación presenta un buen rendimiento y hace frente a perturbaciones externas coincidentes mejor que el controlador

PID. Sin embargo, el control indirecto del voltaje lo hace vulnerable al cambio de resistencia de carga, esto se debe a que la superficie deslizante fue diseñada a partir de la corriente del inductor.

En (Setyawan, Peng, & Jianfang, 2014), se implementó el SMC en una microrred DC compuesta por un panel solar fotovoltaico, batería de plomo ácido para almacenamiento de energía y una resistencia de carga DC. El método de control se implementó al convertidor de carga y descarga de la batería con el fin de mantener una estabilidad en el voltaje de salida y equilibrio de potencia en caso de variaciones de irradiación solar. También se aplicó un filtro de lavado que minimiza la respuesta transitoria del sistema dando como resultado que el control de modo deslizante es 0.387% más eficiente durante los sobre impulsos que el control PI, además el tiempo de establecimiento del control de modo deslizante es menor que el control PI.

En (Armghan, Yang, Wang, Ali, & Armghan, 2020), se propuso un algoritmo integral de retroceso para el control de múltiples generadores renovables y los resultados se comparan con el rediseño adaptativo de Lyapunov (ALR, por sus siglas en inglés) y el control de modo deslizante. En esta investigación se estudiaron varios aspectos como la variación de la velocidad del viento para la energía eólica, el cambio de temperatura y la irradiancia en los paneles fotovoltaicos y también la variación de carga resistiva de DC. Luego de realizar las respectivas simulaciones en Matlab/Simulink se obtuvo que las tres técnicas de control responden de manera eficiente a los transitorios y rastrean el voltaje del bus de DC, sin embargo; el que mostró mejor desempeño fue el algoritmo integral de retroceso.

También se ha investigado el modelo matemático de una microrred DC para analizar la estabilidad y el rendimiento dinámico, utilizando un SMC basado en modulación de histéresis (Muhammad Rashad, Muhammad Ashraf,

Bhatti, Minhas, & Ahmed, 2018); este método se utiliza principalmente para mejorar el efecto parloteo en SMC. El efecto parloteo se produce cuando la frecuencia de conmutación inicia un comportamiento dinámico en la superficie deslizante y hace que el sistema comience a fluctuar a frecuencia alta que puede producir grandes pérdidas de conmutación.

La implementación de un esquema de control descentralizado en una microrred DC real en (Cucuzzella et al., 2018); muestra el análisis teórico y la validación de un SMC de orden superior para la regulación de voltaje en convertidores DC basadas en impulso en cuatro escenarios diferentes: Perturbación con una variación de potencia con una velocidad rampa limitada, perturbación con una variación de potencia por pasos, variación escalonada de la referencia de voltaje y uso compartido de corriente. Demostrando que el método de control en el múltiple deslizante propuesto, es exponencialmente estable en el punto de operación deseado.

La investigación en (Chang, 2018)an intelligent sliding mode controlled voltage source inverter (VSI, presentó un controlador híbrido, el cual asocia una tecnología de control robusta como el SMC y un algoritmo de aprendizaje automático para controlar un inversor de voltaje. El uso de un sistema adaptativo neuro difuso (NFIS, por sus siglas en inglés), garantiza la estabilidad en tiempo finito de los errores de seguimiento con una mayor solidez a las incertidumbres del sistema. Las simulaciones y experimentos realizados en esta investigación ilustran un comportamiento transitorio rápido y una respuesta satisfactoria de estado estacionario a los cambios en los pasos de carga, variaciones de parámetros de filtro y cargas de tipo rectificador.

En (Benadero, Cristiano, Pagano, & Ponce, 2015), Se analizaron los efectos no lineales de dos convertidores de potencia interconectados en una microrred DC aislada. La técnica de control se aplicó a un convertidor de potencia bidi-

reccional DC-DC para controlar el voltaje del bus DC bajo cargas de potencia constantes instantáneas. Mostrando un rendimiento rápido para rechazar cambios de potencia de carga, útil para determinar la región en la cual se puede operar de manera segura el sistema y mantener la estabilidad bajo variaciones de carga desconocidas.

En (Vivek, 2019), se presentó una microrred DC que tiene tres micro fuentes y una carga resistiva. En esta investigación se compara el diseño de un control basado en PI y un SMC enfocados en la caída de voltaje, que permita regular el voltaje de salida de la red y potencia compartida entre las fuentes. Mediante las pruebas de simulación en el software de Matlab/Simulink se observa que el controlador de caída basado en SMC da una respuesta más rápida y una mejor regulación del voltaje que el controlador basado en PI.

En (Cucuzzella, Rosti, Cavallo, & Ferrara, 2017), se realizó un estudio de las estrategias de SMC de orden superior aplicadas a la regulación de voltaje en una microrred DC aislada, compuesta por varias unidades de generación distribuida interconectadas, líneas de alimentación y cargas. Primero se aplica un SMC de segundo orden para resolver el problema de control de voltaje, luego se utiliza un SMC de tercer orden para obtener una señal de control continuo y disminuir el parloteo del sistema. Además, se prueba la estabilidad asintótica de todo el sistema y el rendimiento del enfoque de control descentralizado.

En (Mokhtar, Marei, & El-Sattar, 2019), se estableció un esquema de caída de voltaje adaptativo para superar la no linealidad del sistema basado en dos controladores PI adaptativos. Uno tiene la función de eliminar los errores de intercambio de corriente entre las unidades de la microrred y el otro se asigna al bucle secundario para mantener el voltaje del bus DC en el valor nominal al cambiar las líneas de caída. Finalmente, un SMC para controlar simultáneamente el voltaje de salida y la corriente de entrada de

cada convertidor. Los resultados obtenidos por medio del paquete PSCAD/EMTDC, muestran que el esquema de caída adaptativo logra mantener una distribución de potencia precisa entre los convertidores y restablece el voltaje del bus DC a su valor nominal incluso bajo la dinámica de la carga. Además, el SMC regula estrictamente los voltajes terminales y las corrientes de entrada de las unidades de microrred con una respuesta dinámica rápida.

En (Agarwal, Deekshitha, Singh, & Fulwani, 2015), se propuso un SMC robusto para la unidad de almacenamiento de un convertidor de impulso bidireccional DC/DC en una microrred aislada alimentada por una carga de energía constante. El controlador propuesto regula el voltaje del bus DC dentro de los límites establecidos y es robusto con respecto a las grandes variaciones en la fuente de energía renovable y carga. La estabilidad del diseño fue validada por medio del simulador digital OPAL-RT, con una efectividad del 0.83% de su valor nominal.

En (Minhas, Khalid, & Frey, 2017), se utilizó un algoritmo de aprendizaje, para predecir la generación de energía renovable con anticipación. Este modelo de predicción presenta algunas incertidumbres como el exceso de energía y cargas no controladas. Para mitigar las incertidumbres y equilibrar el flujo de energía de la microrred se propone un control de carga directa que utiliza el SMC. Los resultados numéricos demuestran la validez de la metodología propuesta, al equilibrar con éxito la potencia generada con respecto a la demanda de carga.

En (Saha, Roy, Mahmud, Haque, & Islam, 2018), se utilizó el SMC para estimar con precisión el error en la medición de datos sea por falla de sensores o ataques cibernéticos. Esta técnica de control lo que hace es estimar el error en las mediciones y rectificar los datos corruptos medidos por el sensor. Por medio de rigurosas pruebas en el simulador bajo condiciones de falla y ataque se pudo comprobar que la técnica

de control utilizada presenta resistencia a fallas y detecta cuando se está efectuando un ataque cibernético a una microrred DC.

2.4.4 SMC en microrredes AC

En las microrredes AC los principales objetivos de control son la estabilidad del voltaje y frecuencia que funcionan una vez que la red principal ha sido desconectada (Morstyn et al., 2018). A continuación, se presentan algunas investigaciones realizadas en los últimos años.

En (Morstyn et al., 2018), se desarrolló una estrategia de control jerárquico para una microrred AC con batería distribuida y sistemas de almacenamiento de energía por ultra condensador. Se utiliza SMC de múltiples agentes para el equilibrio del estado de carga entre los sistemas de almacenamiento de energía de la microrred AC. El uso de este control evita las corrientes circulantes, aumenta la eficiencia y reduce la degradación en la vida útil de los componentes. Para las pruebas se utilizó un simulador digital en tiempo real de RTDS Technologies que verifica la correcta comunicación entre los niveles de control primario, secundario y terciario.

En (R. Zhang & Hredzak, 2019), se planteó una estrategia de control multiagente para la restauración de frecuencia, regulación de voltaje promedio a valores nominales, balance de estado de carga y distribución proporcional de potencia reactiva entre sistemas de baterías fotovoltaicas distribuidas en una microrred con retardos de tiempo de comunicación. Se aplica SMC en tiempo fijo para lograr el estado de equilibrio de carga a través de un valor estimado por un observador que estima el estado promedio de carga de una batería. El control propuesto garantiza robustez a las variaciones de carga y generación fotovoltaica intermitente. El rendimiento dinámico se verificó en el simulador RTDS en tiempo real en una microrred AC europea de referencia.

En (Ghazzali & Haloua, 2018), se propuso un nuevo controlador de frecuencia y voltaje secundario distribuido para microrredes AC en modo aislado. Se desarrolló un SMC distribuido que impulsa la amplitud de frecuencia y voltaje a sus referencias en tiempo finito independientemente de la naturaleza de las cargas, el controlador es insensible a los cambios en la red de comunicaciones y a las operaciones plug-and-play ya que no se producen fluctuaciones durante la conexión o desconexión de un componente de la microrred.

En (Cucuzzella, Trip, Ferrara, & Scherpen, 2019), se realizó un esquema combinado del control descentralizado en modo deslizante y el control promedio distribuido para la regulación cooperativa de voltaje en microrredes AC. En esta investigación el SMC se encarga de restringir el estado de la microrred en un colector adecuado donde el componente de voltaje de cada unidad de generación distribuida es igual a cero. Los resultados obtenidos a través del software de simulación muestran efectividad en la convergencia de los dos controles en estado estacionario.

En (Li et al., 2019), se planteó una estrategia de control jerárquico distribuido para el funcionamiento en paralelo de inversores de fuente de voltaje (VSI, por sus siglas en inglés) en microrredes de AC. Se propone un control de corriente de bucle interno basado en SMC y control de voltaje de bucle externo basado en un control mixto. Además, se usó el control de generación automática económica distribuida (EAGC, por sus siglas en inglés) basada en el sistema multiagente (MAS, por sus siglas en inglés) y el control de voltaje automático distribuido (AVC, por sus siglas en inglés) para restaurar la magnitud de voltaje y las desviaciones de frecuencia causadas por el controlador de caída y lograr un despacho de potencia activa óptimo al mismo tiempo. Los resultados de la simulación demuestran que la estrategia de control propuesta

tiene un buen rendimiento transitorio, robusto contra fallas de un solo punto y permite que las microrredes funcionen económicamente.

En (Incremona, Cucuzzella, Ferrara, & Magni, 2018), se empleó una arquitectura de control jerárquico basada en un modelo de control predictivo (MPC, por sus siglas en inglés) y SMC diseñado para estabilizar las microrredes AC en modo aislado con una topología compleja y afectadas por dinámicas de carga desconocidas e incertidumbres inevitables de modelado. El objetivo de esta investigación fue mantener los voltajes de salida de las unidades de generación distribuida en una capa límite mientras se lograba un intercambio de corriente entre las mismas. También se utiliza un SMC subóptimo de segundo orden para rastrear de manera descentralizada las referencias de voltaje generadas por un supervisor de MPC. La efectividad del algoritmo propuesto se confirma en los resultados de la simulación realizadas en una microrred con cuatro unidades de generación distribuida en una topología tipo anillo.

2.4.5 SMC en microrredes Híbridas

En general, una microrred híbrida AC/DC incluye diferentes recursos de energía distribuida y sistemas de almacenamiento, además de una cantidad de cargas AC y DC (Baghaee, Mirsalim, Gharehpetian, & Talebi, 2017). A continuación, se muestra los avances obtenidos aplicando SMC en microrredes híbridas AC/DC.

En (Baghaee et al., 2017), se propuso una estrategia de control basada en controladores basados en SMC para una microrred híbrida que incluye cargas no lineales y no balanceadas. La técnica de control robusto se diseñó en base a un SMC para el control de potencia activa y reactiva de los recursos de energía distribuidos y también para controlar la corriente de secuencia negativa y armónica en presencia de cargas no

lineales. Finalmente, el rendimiento del esquema de control se evaluó en el entorno de Matlab/Simulink en el dominio de tiempo fuera de línea y luego se verificó en el simulador digital en tiempo real OPALRT. Realizadas las pruebas la microrred híbrida mantuvo su estabilidad cuando enfrenta perturbaciones de señales grandes o pequeñas y mejoró su rendimiento para cargas no lineales y no balanceadas.

En (Sun, Zhou, Guerrero, & Zhang, 2015), se presentó un diseño de control para la distribución de energía de carga entre fases, y permitir que la energía se utilice por completo. El esquema de control combina el SMC adaptable de retroceso y el control de caída que proveen al sistema alta confiabilidad, tolerancia a fallas y capacitancia reducida. Finalmente, la simulación y los resultados experimentales demostraron la validez de la aplicación propuesta en la microrred híbrida y su esquema de control de gestión de energía.

En (Alam, Ashfaq, Zaidi, & Memon, 2016), se diseñó un controlador de corriente convencional y un SMC para el control de retroalimentación de un convertidor híbrido de interconexión bidireccional de una microrred AC/DC. El SMC mantuvo la estabilidad de potencia en diferentes condiciones de funcionamiento. Esto aseguró que el sistema híbrido permanezca estable y atienda a las no linealidades de las cargas dinámicas.

En (Amirkhan, Radmehr, Rezanejad, & Khorrami, 2020), se propuso una estrategia de control robusta para proporcionar respuestas estables basada en superficies de modo deslizante para controlar una microrred híbrida DC/AC conectada a la red bajo variaciones de carga y parámetros. Se utiliza la dinámica de error, a las superficies de modo deslizante con la finalidad de proporcionar un movimiento más estable para las variables de estado.

CONCLUSIONES

La red eléctrica convencional ha comenzado a sufrir transformaciones, prueba de ello son las microrredes eléctricas compuestas por fuentes de energía renovable, tecnologías digitales, recursos de almacenamiento, y lo más importante que pueden funcionar de manera autónoma y eficiente si la red principal llegara a fallar. En este documento se hizo una revisión de la estructura y las estrategias de control utilizadas para cada tipo de microrred. Se observó que la mayoría de investigaciones realizadas hasta la fecha están enfocadas en el control de microrredes DC, ya que este tipo de microrredes implican mayor eficiencia y menor simplicidad en su diseño.

Por otro lado se demostró que el control de modo deslizante proporciona un control robusto y con mejores resultados que los controles lineales PI y PID. Algunas ventajas del SMC son: brindar estabilidad al sistema ante incertidumbres y perturbaciones externas, menor tiempo de establecimiento, mayor eficiencia durante los sobre impulsos, mejorar el efecto parloteo, y reducir el orden del sistema. Sin embargo, una de las desventajas más relevantes que presenta el SMC es la vulnerabilidad a vibraciones de alta frecuencia durante la fase alcance, esto se debe a que la frecuencia de conmutación real no es infinita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, A., Deekshitha, K., Singh, S., & Fulwani, D. (2015). Sliding mode control of a bidirectional DC/DC converter with constant power load. 2015 IEEE 1st International Conference on Direct Current Microgrids, ICDCM 2015, (c), 287-292. <https://doi.org/10.1109/ICDCM.2015.7152056>
- Ahmed, M. N., Hojabri, M., Humada, A. M., Danial, H. Bin, & Frayyeh, H. F. (2015). An Overview on Microgrid Control Strategies. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, (5), 2249-8958.
- Alam, F., Ashfaq, M., Zaidi, S. S., & Memon, A. Y. (2016). Robust droop control design for a hybrid AC/DC microgrid. 2016 UKACC International Conference on Control, UKACC Control 2016. <https://doi.org/10.1109/CONTROL.2016.7737547>
- Amirkhan, S., Radmehr, M., Rezanejad, M., & Khormali, S. (2020). A robust control technique for stable operation of a DC/AC hybrid microgrid under parameters and loads variations. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 117(October 2019), 105659. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105659>
- Armghan, H., Yang, M., Wang, M. Q., Ali, N., & Armghan, A. (2020). Nonlinear integral backstepping based control of a DC microgrid with renewable generation and energy storage systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 117(October 2019), 105613. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105613>

- Baghaee, H. R., Mirsalim, M., Gharehpetian, G. B., & Talebi, H. A. (2017). A Decentralized Power Management and Sliding Mode Control Strategy for Hybrid AC/DC Microgrids including Renewable Energy Resources. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 3203(c), 1-1. <https://doi.org/10.1109/tii.2017.2677943>
- Benadero, L., Cristiano, R., Pagano, D. J., & Ponce, E. (2015). Nonlinear Analysis of Interconnected Power Converters: A Case Study. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 5(3), 326-335. <https://doi.org/10.1109/JETCAS.2015.7229651>
- Chang, E. C. (2018). Study and application of intelligent sliding mode control for voltage source inverters. *Energies*, 11(10), 14. <https://doi.org/10.3390/en11102544>
- Coban, R. (2017). Dynamic integral sliding mode control of an electromechanical system. *Automatika*, 58(3), 266-272. <https://doi.org/10.1080/00051144.2018.1426263>
- Cucuzzella, M., Lazzari, R., Trip, S., Rosti, S., Sandroni, C., & Ferrara, A. (2018). Sliding mode voltage control of boost converters in DC microgrids. *Control Engineering Practice*, 73(675999), 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.01.009>
- Cucuzzella, M., Rosti, S., Cavallo, A., & Ferrara, A. (2017). Decentralized Sliding Mode voltage control in DC microgrids. *Proceedings of the American Control Conference*, (January 2018), 3445-3450. <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963479>
- Cucuzzella, M., Trip, S., Ferrara, A., & Scherpen, J. (2019). Cooperative Voltage Control in AC Microgrids. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 2018-Decem(Cdc), 6723-6728. <https://doi.org/10.1109/CDC.2018.8618898>
- Ghazzali, M., & Haloua, M. (2018). Distributed voltage and frequency control of islanded AC microgrids. *Proceedings of 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2018*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2018.8702969>
- Gireesh, G., & Seema, P. N. (2015). High frequency SEPIC Converter with PWM Integral Sliding Mode Control. *Proceedings of IEEE International Conference on Technological Advancements in Power and Energy, TAP Energy 2015*, 393-397. <https://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2015.7229651>
- Gonzalez Castro, N. Y., Cusguen Gomez, C. A., Mojica Nava, E. A., & Pavas Martinez, F. A. (2017). Estrategias de control de calidad de energía en microrredes rurales. *Revista UIS Ingenierías*, 16(2), 93-104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n2-2017009>
- Incremona, G. P., Cucuzzella, M., Ferrara, A., & Magni, L. (2018). Model predictive control and sliding mode control for current sharing in microgrids. *2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control, CDC 2017, 2018-Janua(Cdc)*, 2661-2666. <https://doi.org/10.1109/CDC.2017.8264045>
- Lasseter, R. H. (2003). *MicroGrids*. 305-308. <https://doi.org/10.1109/pesw.2002.985003>
- Li, Z., Cheng, Z., Xu, Y., Wang, Y., Liang, J., & Gao, J. (2019). Hierarchical control of parallel voltage source inverters in AC microgrids. *The Journal of Engineering*, 2019(16), 1149-1152. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8620>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., ... Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and me-

ta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), e1–e34. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>

- Ma, W., & Ouyang, S. (2019). Control strategy for inverters in microgrid based on repetitive and state feedback control. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 111(March), 447–458. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.002>
- Medina, R. D. (2014). Microrredes Basadas en Electrónica de Potencia: parte II: Control de Potencia Activa y Reactiva. *Ingenius*, (12), 24–34. <https://doi.org/10.17163/ings.n12.2014.03>
- Minhas, D. M., Khalid, R. R., & Frey, G. (2017). Load control for supply-demand balancing under Renewable Energy forecasting. 2017 IEEE 2nd International Conference on Direct Current Microgrids, ICDCM 2017, (June 2016), 365–370. <https://doi.org/10.1109/ICDCM.2017.8001071>
- Mokhtar, M., Marei, M. I., & El-Sattar, A. A. (2019). An adaptive droop control scheme for DC microgrids integrating sliding mode voltage and current controlled boost converters. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(2), 1685–1693. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2776281>
- Morstyn, T., Savkin, A. V., Hredzak, B., & Tuan, H. D. (2018). Scalable Energy Management for Low Voltage Microgrids Using Multi-Agent Storage System Aggregation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(2), 1614–1623. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2734850>
- Muhammad Rashad, Muhammad Ashraf, Bhatti, A. I., Minhas, D. M., & Ahmed, B. A. (2018). Mathematical modeling and stability analysis of DC microgrid using SM hysteresis controller. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 95, 507–522. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.09.001>
- Pathan, M., & Thosar, A. (2018). Study on Microgrids and Its Control Using Conventional and Sliding Mode Control. *Proceedings of the 2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies, ICCTCT 2018*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCTCT.2018.8551133>
- Roy, T. K., Mahmud, M. A., Islam, S. N., Muttaqi, K. M., Haque, M. E., & Oo, A. M. T. (2018). Control and power sharing in hybrid AC/DC microgrids using a nonlinear backstepping approach. 2018 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS 2018, 1–8. <https://doi.org/10.1109/IAS.2018.8544450>
- Saha, S., Roy, T. K., Mahmud, M. A., Haque, M. E., & Islam, S. N. (2018). Sensor fault and cyber attack resilient operation of DC microgrids. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 99(December 2016), 540–554. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.01.007>
- Setyawan, L., Peng, W., & Jianfang, X. (2014). Implementation of sliding mode control in DC microgrids. *Proceedings of the 2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2014*, 578–583. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2014.6931231>
- Singh, P., & Lather, J. S. (2018). A PWM-based sliding mode voltage control of DC-DC boost converter for DC microgrid. 8th IEEE Power India International Conference, PIICON 2018. <https://doi.org/10.1109/POWERI.2018.8704456>
- Singh, S., & Fulwani, D. (2014a). A PWM based sliding-mode control for negative im-

pedance stabilization in DC Micro-grids. Proceedings of 6th IEEE Power India International Conference, PIICON 2014. <https://doi.org/10.1109/34084POW-ERI.2014.7117696>

Singh, S., & Fulwani, D. (2014b). Constant power loads: A solution using sliding mode control. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 1989–1995. <https://doi.org/10.1109/IECON.2014.7048775>

Stramosk, V., Benadero, L., Pagano, D. J., & Ponce, E. (2013). Sliding mode control of interconnected power electronic converters in DC microgrids. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 8385–8390. <https://doi.org/10.1109/IECON.2013.6700538>

Sun, Q., Zhou, J., Guerrero, J. M., & Zhang, H. (2015). Hybrid Three-Phase / Single-Phase Microgrid. 30(10), 5964–5977. IEEE.

Vivek, K. (2019). Design and Analysis of Voltage Droop Control Technique for DC Microgrids. Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics and Communication and Aerospace Technology, ICECA 2019, 795–799. <https://doi.org/10.1109/>

ICECA.2019.8822144

Yasin, A. R., Ashraf, M., Bhatti, A. I., Ahmad, S., & Rashid, M. (2016). Sliding mode control for efficient utilization of renewable energy sources in DC micro grid: A comparison with a linear PID controller. Proceedings of the 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, EPE 2016, (Epe), 621–625. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781414>

Zhang, D., & Wang, J. (2017). Adaptive Sliding-Mode Control in Bus Voltage for an Islanded DC Microgrid. Mathematical Problems in Engineering, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8962086>

Zhang, R., & Hredzak, B. (2019). Nonlinear Sliding Mode and Distributed Control of Battery Energy Storage and Photovoltaic Systems in AC Microgrids With Communication Delays. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(9), 5149–5160. <https://doi.org/10.1109/tii.2019.2896032>

INFLUENCIA DE LA MARCA AUTOMOTRIZ GREATWALL EN EL PARQUE AUTOMOTOR ECUATORIANO

INFLUENCE OF THE GREATWALL AUTOMOTIVE BRAND ON THE ECUADORIAN AUTOMOTIVE PARK

Darío Borja Soto¹ José Beltrán Ruiz² Andrés Moreno Constante³

¹Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Física y Matemáticas, Quito, Ecuador
E-mail: dxborja@uce.edu.ec

²Comision de investigación IST Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jbeltran@istct.edu.ec

³Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Física y Matemáticas, Quito, Ecuador
E-mail: asmorenoc@uce.edu.ec

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo demostrar la importancia que tiene la marca de vehículos China GreatWall en el mercado ecuatoriano, ya que en los compradores y pobladores existe un tabú, el cual relaciona que los vehículos de procedencia China son de mala calidad, y en este grupo GreatWall no es la excepción, mediante análisis de ventas en las distintas categorías vehiculares, con valores de venta en el mercado, análisis de servicio de postventa, stock de repuestos por parte de la marca, entrevistas a personas expertas y usuarios que tienen contacto directo con estos tipos de vehículos; con lo que se logra determinar la influencia positiva de estos automotores, tomando en cuenta adicionalmente, mediante comparación, que sus valores de adquisición son menores en cada una de las categorías, siendo en automóviles su modelo C30 con un costo 11% menor a rival más cercano, para la categoría SUV la H6 y Pick Up la Wingle 5 con valores del 13.34% y 23.54% respectivamente menor a su principal competidor, por tal motivo se posiciona en el puesto número 4 a nivel nacional en ventas, superando a las potencias mundiales Toyota y Nissan; con lo cual la marca GreatWall se convierte en una marca confiable para los consumidores con grandes prestaciones y performance, superando a sus competidores.

Palabras clave— Automotores Ecuatorianos; Categorías Vehiculares; GreatWall; Mercado Motriz Ecuatoriano; Modelos GreatWall; Vehículos Chinos.

Abstract

This research aims to demonstrate the importance of the China GreatWall brand of vehicles in the Ecuadorian market, since there is a taboo in buyers and residents, which relates that vehicles of Chinese origin are of poor quality, and in this GreatWall group is not the exception, through analysis of sales in the different vehicle categories, with sales values in the market, analysis of after-sales service, stock of spare parts by the brand, interviews with experts and users who have direct contact with these types of vehicles; with which it is possible to determine the positive influence of these automotive, taking into account additionally, by comparison, that their acquisition values are lower in each of the categories, being in cars their C30 model with a cost 11% lower than rival more close, for the SUV category the H6 and Pick Up the Wingle 5 with values of 13.34% and 23.54% respectively lower than its main competitor, for this reason it is ranked number 4 nationally in sales, surpassing world powers Toyota and Nissan; whereby the GreatWall brand becomes a reliable brand for consumers with great benefits and performance, surpassing its competitors.

Key Words– Ecuadorian Automotive; Vehicle Categories; GreatWall; Ecuadorian motor market; GreatWall models; Chinese Vehicles.

INTRODUCCIÓN

La importancia del parque automotor en la vida de las personas y en sus actividades cotidianas han representado un factor primordial, de igual forma el comercio de vehículos representó el 36% de PIB del país en un estudio realizado por Machay Castro y Poveda Burgos, el comercio de autos usados, talleres de servicio, servicio de repuestos, accesorios y demás. Son una fuente de ingreso para muchas familias en el Ecuador. (Mackay Castro & Poveda Burgos, 2016)

El parque automotriz en Ecuador se fundamenta en la compra de vehículos de marcas conocidas en el mercado como las más seguras siendo estas, Americanas (Chevrolet), Japonesas (Nissan, Mazda, Toyota), Koreanas (Hyundai, Kia), esto como marcas de vehículos de gama media y baja, para vehículos de gama alta se enfocan en marcas Europeas (Mercedez Benz, Porsche, Audi); mientras que los vehículos de procedencia desconocida como China, no son de confianza para el pueblo ecuatoriano, lo comen-

ta el Ing. Juan Carlos Panimboza jefe de ventas de Centralcar Chevrolet. (Panimboza, 2020)

En la actualidad el mercado de automotores asiáticos se ha visto en un ascenso de gran importancia en la economía mundial como lo puede mencionar en su sitio web (Haro, 2016), estas marcas se han convertido en los más grandes exportadores de vehículos comerciales, livianos, de carga entre otros, dando un gran salto de la exportación, de piezas y partes automotrices, a automotores completamente ensamblados y abasteciendo a distintas regiones en todo el mundo, tomando en cuenta que se enfocan en la producción en volumen lo cual disminuyen costos de fabricación, todo esto para ser más competitivos en el mercado mundial, por su gran poder de negociación según (Haro, 2016).

Las marcas vehiculares con procedencia de China han tenido un gran impacto en el comercio ecuatoriano en los últimos años, sobre todo la marca que destaca es GreatWall la misma que,

tiene procedencia China pero su ensamblaje en los últimos años es realizado por mano de obra ecuatoriana en la fábrica de ensamblaje CIAUTO, ubicada en la ciudad de Ambato Ecuador.

El comercio de la marca GreatWall ha tenido un crecimiento exponencial en la actualidad, la marca de a poco se empodera del comercio nacional, los talleres de servicio se adaptan para lo mismo, los distribuidores de repuestos se enfocan en la distribución de autopartes de procedencia original y alterna en cada una de sus tiendas, todo esto también se enfoca en la producción diaria de vehículos que tiene la ensambladora CIAUTO, todo esto lo menciona el jefe de control de calidad de la ensambladora CIAUTO, Ing. Danny Garcés en el año 2018. (Garces, 2018)

Pero no todo es bueno, ya que, todavía se evidencia el tabú entre usuarios y compradores, de que los carros de procedencia china no son buenos, son vehículos malos, que no duran, que no sirven para el trabajo, no es bueno comprar ese tipo de vehículos, que la posventa es mala todo esto se circula por comentarios de personas que se encuentran en el mundo motriz y personas que no están involucradas.

El presente artículo de investigación desmentirá el tabú de vehículo chinos, en la población del Ecuador y de la misma manera demostrará las propiedades de la marca, para las personas que gusten tener otra opción para la compra de vehículos sean nuevos o usados.

DESARROLLO

En el Ecuador el parque automotor es de gran importancia en la economía de sus pobladores, se debe tener en cuenta que de acuerdo a las cifras expresadas por la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) en su reporte anual de estadísticas manifiesta que existen 1271 establecimientos dedicados a la venta de vehículos tanto nuevos como usados, siendo esto de manera directa (AEADE, 2018). Adicional se debe tomar en cuenta las personas que directa e indirectamente se involucran en el campo automotriz se generan 13971 fuentes de empleo en el campo automotriz, las ensambladoras en general poseen en sus nóminas a 1534 afiliados y todo esto vale recalcar que los números están en asenso por la expansión de nuevas marcas y modelos de vehículos (IESS, 2016). Tomando en cuenta empresas aliadas al capo automotor se generan alrededor de 56000 plazas de empleo (IESS, 2016).

Por los empleos generales a nivel nacional y más aun a nivel mundial, su influencia es grande e importante en el mercado. El cual posee un crecimiento en grandes potencias mundiales como China, el cual se encuentra liderando la producción a nivel mundial en los últimos años como lo demuestra la investigación (Alegret, 2016).

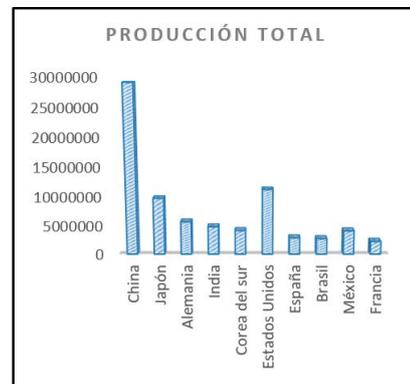


Figura 1: Producción de vehículos a nivel mundial
Fuente: (OICA, 2018)

Lo que se evidencia en la figura 1 el mayor fabricante es China con 29'015,434 autos fabricados en el año 2016, por tal motivo a nivel mundial los vehículos de fabricación China copan el mercado como números uno, el crecimiento de la marca ha sido de manera exponencial, como se puede ilustrar en la figura 2.

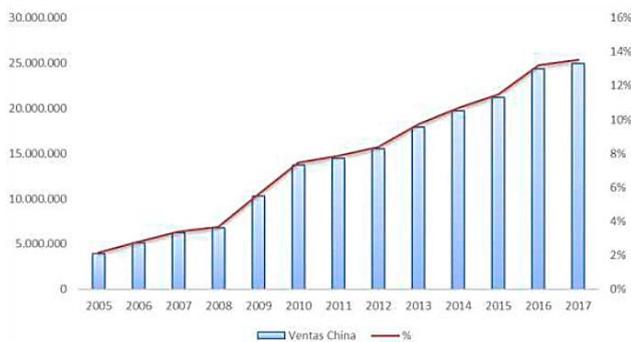


Figura 2: Crecimiento producción China a nivel mundial
Fuente: (OICA, 2018)

El aporte de la producción China, en el año 2005 paso del 2% al 14%, un número inicial cerca de los 5 millones a llegar al 2017 cerca de 25 millones de vehículos ensamblados.

En la actualidad China tiene un descenso de 9.12% en la producción del 2019 con respecto al 2018 con esto de 25'705,558 unidades a 23'362,477 en el 2019, teniendo su mayor demanda en vehículos de pasajeros con su producción del 91.43% del total, siendo el resto de uso comercial, según estudios de (China, 2020).

Con la producción de vehículos de procedencia China, en Ecuador es de gran importancia su aporte al mercado del parque automotor, sus marcas más influyentes son GreatWall, Chery y Zotye; como marca más empoderada GreatWall tiene un paso muy característico en el empoderamiento de sus ventas y producción en el mercado Ecuatoriano.

Por tal motivo el análisis se efectúa a la marca China líder en el comercio automotor ecuatoriano, GreatWall, la cual es una marca de proce-

dencia China, con una trayectoria de más de 50 años de en la fabricación de automotores (Ambacar, 2020). La empresa que se encarga de la venta y distribución de los automotores es Ambacar la cual posee sucursales en las ciudades más importantes del territorio ecuatoriano.

Se debe mencionar que la producción de vehículos GreatWall en el Ecuador se lo realiza por intermedio de la ensambladora CIAUTO, que tiene su centro de operaciones en la ciudad de Ambato-Ecuador, inicia sus actividades en el año 2013, y posee más de 600 trabajadores en su nómina, y a la fecha la ensambladora lleva fabricando un valor que supera las 20000 unidades es sus años de operación (Ambacar, 2020).



Figura 3: Ensambladora de autos CIAUTO
Fuente: (Ambacar, 2020)

CIAUTO una de las ensambladoras con mejor tecnología que posee el Ecuador, cuenta con la planta de pintura más moderna en el Ecuador, ensamble de mecanismos con ayuda de maquinaria industrial automatizada, cuyo objetivo es posicionarse en el mercado como número uno (CIAUTO, 2020).

La marca GreatWall desde su inicio en el Ecuador por el año 2009 empezó a comercializar vehículos como Mitsubishi y Skoda, y se empodera del puesto número 11 en el mercado con un año tan solo, estos datos se obtienen de las estadísticas propia de la marca (Ambacar, 2020).

El año 2019 es muy productivo para Ambacar y GreatWall ya que se comienza con el proceso de exportación de vehículos a Colombia y Costa Rica, mencionados vehículos producidos con mano de obra ecuatoriana, adicional en mencionado año como punto muy importante es su am-

pliación de garantía a 10 años o 120000 km, una de las garantías más extendidas en el mercado Ecuatoriano, demostrando así la gran calidad de producto que se fabrica, y adicional la confianza que posee la marca en sus automotores, todo esto aumentando la confianza de los usuarios a adquirir un automotor de sangre asiática pero de nacionalidad Ecuatoriana (Ambacar, 2020).

Al comercializarse más de 30 marcas de automóviles en el 2019 en el país, adicional la apertura comercial con la unión Europea, y la gran influencia de fabricantes de automotores Chinos han mejorado la oferta que va a tener el consumidor, la parte crucial es el posicionamiento tan importante de la marca GreatWall en la venta anual de automóviles, llegando a tener un cuarto puesto por detrás de Chevrolet, Kia y Hyundai; pero vale recalcar que supera en ventas a las potencias mundiales Toyota y Nissan, como se puede evidencia en la figura 4.

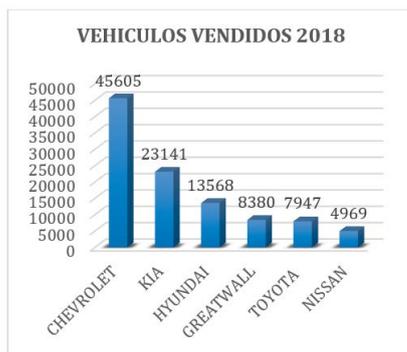


Figura 4: Producción de vehículo por marca y número de ventas año 2018
Fuente: (Vilac, 2019)

Se debe recalcar que la producción de vehículos es un 29.75% con Chevrolet que es el líder en ventas. Y tan solo supera a Toyota en ventas con 433 automotores un 5.17% más en com-

paración con sus números, todo esto se lleva a cabo por varios factores, uno de ellos es la seguridad que pueden tener los clientes con una marca tan conocida como Chevrolet, la confianza en talleres, sobre todo las referencias de familiares mayores que tienen carros de la marca, los cuales han resistido a los años manteniéndose en un estado bueno, esa es la percepción que posee el jefe de ventas de la agencia Ficoa-Ambato Centralcar Ing. Andres Morales, adicional puede aseverar que los precios son cómodos para adquirir sus vehículos, mientras que los vehículos de procedencia China ofrecen automotores con mayor equipamiento a precios iguales a los ofrecidos por otras marcas, y lo que los mantiene a flote es el matrimonio de las personas con la marca (Morales, 2020).

Gracias a la entrevista que facilitó pudo facilitar el Ing. Andrés Morales, nos podemos direccionar, que el gran auge que tiene la marca GreatWall para ubicarse en el cuarto lugar de ventas, y sigue en ascenso, debido a los equipamientos que posee sus vehículos, se debe analizar cada uno de ellos para desmentir las críticas realizadas por comerciantes, para empezar se tiene un vehículo con gran participación como automóviles sedan con su modelo Voleex; M4, H3; camionetas Wingle en sus distintas versiones las cuales serán analizadas posteriormente.

Pero esos números son los mejores, por los datos se evidencia una curva de crecimiento muy aceptable, obtenida del anuario de la AEA-DE, demuestra sus ventas desde sus inicios en el año 2009 al 2018, tomando en cuenta que su gran auge empieza en el año 2014-2015 casi duplicando sus ventas.

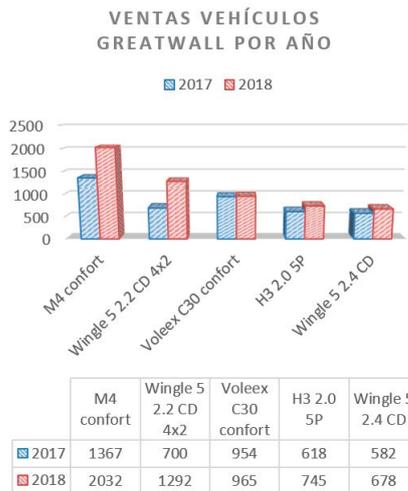


Figura 5: Ventas de vehículos por modelo Greatwall años 2017-2018

Fuente: (AEADE, 2018)

Su participación en la actualidad ya es importante, pero se debe considerar adicional la mejor respuesta del vehículo a las regiones del país, y a la acogida por parte de los usuarios para lo cual se debe tener en cuenta las ciudades de mayor importancia en el Ecuador considerando que Pichincha tiene una participación del 34,97% de las ventas totales de este modelo de automotores, es la que mayor ventas tiene, considerando que es la ciudad número uno en compra de vehículos nuevos en el país, en segundo lugar se tiene la provincia del Guayas con una participación del 25,13% del total de ventas, otras provincias que poseen gran participación se encuentran en la sierra ecuatoriana como es Tungurahua e Ibarra entre las dos suman una participación del 18.1% del número de vehículos vendidos.

Del total de vehículos GreatWall, se debe tener en cuenta adicional la participación en ventas por tipos de automotores, los cuales poseen distinta participación en sus tres categorías, la primera son los vehículos SUV(Sport Utility Vehicle) con el 50% de ventas, mientras tanto el otro 50% de vehículos comparten las categorías de automóviles con el 13% y camionetas con el 37% respectivamente según las estadísticas generada por AEADE-Ecuador (AEADE, 2018).



Figura 6: Venta de vehículos por provincias ecuatorianas GreatWall

Fuente: (AEADE, 2018)

A esto se debe incluir que la marca Haval, se incluye a la producción y distribución de GreatWall, en Ecuador a los vehículos Haval en todos sus modelos se los asocian de manera directa a GreatWall, para esto se debe tener en cuenta que los modelos contienen equipamientos futuristas, no se limitan en accesoriar sus versiones; por lo cual sus ventas a nivel mundial sobrepasan los 5 millones, pero todo esto debido a sus fabricaciones con diseño basado en investigación, cuenta con varios centros investigativos en Alemania, Estados Unidos, Austria, India, Corea y Japón, las cuales se enfocan en liderar el mercado de vehículos de categoría SUV con una conectividad e inteligencia artificial. Se basan al funcionamiento no únicamente con combustibles derivados del petróleo como gasolina y diésel, en su lugar optan por la utilización de nuevas fuentes de movilidad como energía híbrida, energía de conectividad de hidrógeno, electricidad y energías alternativas; aportando con el cuidado del planeta y sus recursos no renovables (Haval, 2020).

Pero todo lo importante en la marca GreatWall son los vehículos con sus características y valores de venta al público, en las cuales todos las personas entrevistadas y las fuentes bibliográficas

coinciden con el argumento. Con lo cual se debe realizar un análisis de cada modelo para identificar sus condiciones a su competencia directa en el mercado. La siguiente tabla demuestra el valor comercial de todos los modelos de vehículos (Robayo, El Comercio-Carburando, 2020).

Tabla 1
Valor comerciales vehículos GreatWall en Ecuador

Modelo	Valor comercial Ecuador (dólares americanos)
VOLEEX C30 CONFORT	15990
VOLEEX C30 LUXURY	16990
M4 MT	17490
M4 AT	19490
HAVAL H2 CONFORT	23990
HAVAL H2	25490
HAVAL H3 2.0L	23490
HAVAL H5 TURBO 4X2	26790
HAVAL H5 TURBO 4X4	28990
HAVAL H6 CONFORT	23990
HAVAL H6	25990
HAVAL H6 CUPE	34990
HAVAL H6 T CONFORT	29990
HAVAL H6 T PREMIUM	35990
HAVAL H6 T PREMIUM S	39990
HAVAL H9	59990
WINGLE 5 CS 4X2	21790
WINGLE 5 CS 4X4	22490
WINGLE 5 CD 4X2	19990
WINGLE 5 CD 4X4	24990

Fuente: Propia

En la categoría sedán se tiene al Voleex C30 con un costo desde 15,990.00 a 16,990.00 dólares americanos en el Ecuador, este vehículo cuenta con 2 airbags, frenos ABS, EBD, dirección eléctrica, controles eléctricos para vidrios retrovisores, los vehículos que se pueden comparar en el mercado son el Chevrolet Cavalier LT, Sail LT; Hyundai Accent Verna 1.4; Kia Rio 1.4; Volkswagen con su automóvil Virtus Confortline; la marca Nissan con su automotor Versa Sense; Toyota Yaris Sedan, completa la lista de vehi-

culos de marcas tanto Japonesas, Koreanas y Americanas, que según expertos son las más comerciales y confiables, al visualizar la figura 7, se evidencia que el C30 con características similares a todos los modelos analizados, en algún punto superándolo en ciertos accesorios. Tiene un valor inferior a cada uno de ellos, pero su competencia para poder igualar en lo posible las características ofrecidas por el vehículo de procedencia China, los automotores analizados deben estar en su versión full equipo para lograr asemejarse en condiciones al C30.

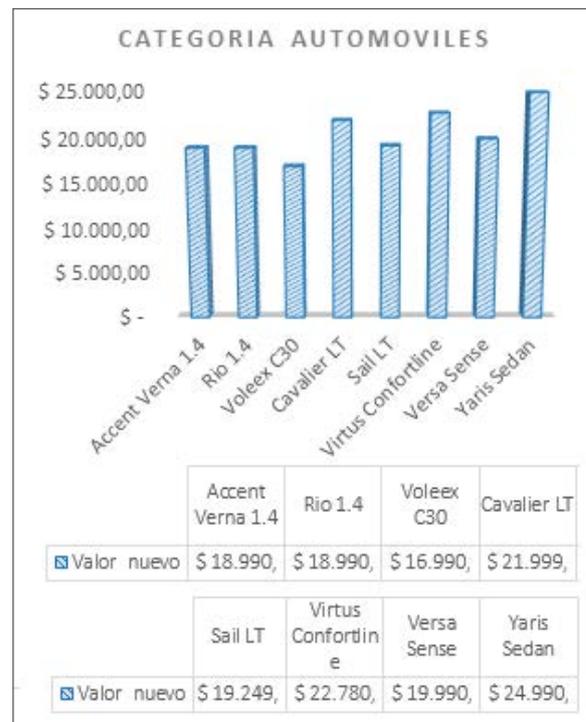


Figura 7: Valores comerciales vehículos similares Voleex C30 automoviles.

Fuente: (Robayo, El Comercio-Carburando, 2020)

Otra de las categorías de gran empoderamiento de la marca GreatWall son los SUV, se debe tener en cuenta que como marca propia no cuenta con un vehículo en específico, pero como se explicó anteriormente Haval es su aliado estratégico, con lo cual cuenta con varios modelos los cuales son M4, Haval H3, Haval H5, Haval H6 en sus 7 versiones, y como su unidad de más alta gama la Haval H9; el vehículo se-

gún sus ventas el más atractivo al mercado es el Haval H6, con un costo de 25,990.00 dólares americanos es muy competente ante el mercado ecuatoriano, sus principales rivales son en Chevrolet Captiva Turbo TM, Kia con su vehículo Sportage GT, Hyundai con su modelo Tucson, Nissan con su modelo Qashqai, Toyota con la Rav 4, Ford con su modelo Escape, Mazda con la CX5, Mitsubishi con su unidad Eclipse Cross y Volkswagen con su T-Cross Confortline, completan la lista. Nuevamente se evidencia lo visto en el segmento automóvil, el H6 de Greatwall tiene el valor más cómodo con el equipamiento de sus vehículos de competencia, se debe tener en cuenta que es el modelo más vendido, tomando en cuenta que existen las versiones de lujo que tienen un costo mayor, pero el automotor H6 es la opción más apetecida por los compradores, la figura 8 muestra el valor de precios de los vehículos categoría SUV en el mercado, acorde a las condiciones del GreatWall H6.

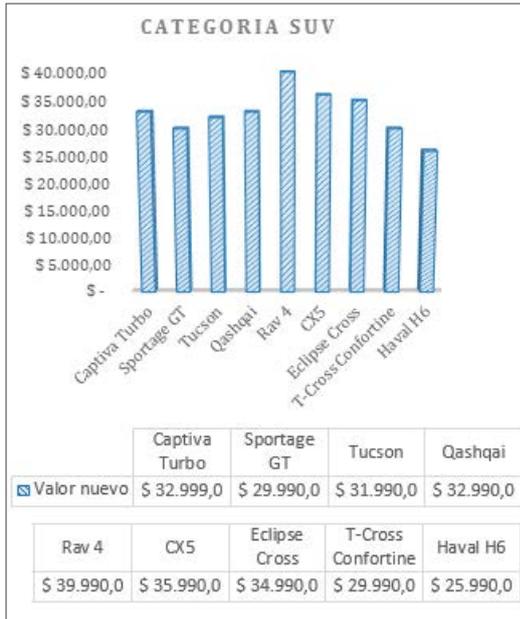


Figura 8: Valores comerciales vehículos similares Haval H6 SUV.

Fuente: (Robayo, El Comercio-Carburando, 2020)

La categoría de Pick-up o las llamadas camionetas, es una de las categorías que poseen gran relevancia en el comercio de la marca, su princi-

pal representante es la Wingle 5, la cual posee versiones en cabina simple y cabina doble, para su alimentación de combustible es gasolina y diesel, y su transmisión 4x4 o 4x2; la camioneta más usada por comerciantes y de mayor ventas es la Wingle 5 diesel 4x2 doble cabina, con un precio en el mercado de 21,790.00 dólares americanos, convirtiéndose en la pick-up más económica del mercado y compitiendo fuertemente en sus características, de fuerza, velocidad, torque; los automotores que se encuentran en la categoría de esta pick-up se tiene en Chevrolet la Dmax 2.5 4x2, Wolkswagen el modelo Amarok, Toyota con su Hilux 2.7L, Mazda con su New BT-50, Mitsubishi y su modelo L200 Hi-Rider, Nissan con su pick-up Frontier SE, Ford y su Ranger XL. Al visualizar la figura 9, demuestra que se repite las condiciones de automóviles y SUV, el precio de la pick-up de GreatWall es el más bajo del mercado, pero en esta categoría se debe resaltar que sus accesorios no son tan llamativos como en las otras categorías de vehículos.

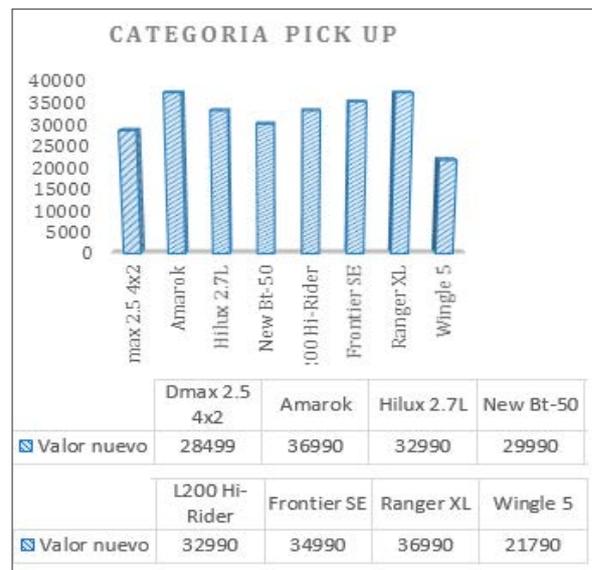


Figura 9: Valores comerciales vehículos similares Wngle 5 Pick-up.

Fuente: (Robayo, El Comercio-Carburando, 2020)

El mercado de GreatWall, además apunta a los vehículos de alta gama como es la H6 premium S y Haval H9 y su nuevo modelo lanzado

a finales del año 2019 la Wingle 7, la misma ofrece un diseño más robusto y mejorado a su antecesor la Wingle 5, se debe tener en cuenta que estos modelos superan ya el valor medio del mercado, y está enfocado a consumidores que ya son casados con la marca.

En el campo de la postventa la marca cuenta con talleres de servicio en más de 20 provincias del país distribuido en la costa sierra y amazonia, para lo cual el Ing. Andrés Peraso Analista de Garantías GreatWall, los talleres de servicio ofrecen servicios de calidad a precios competitivos del mercado, la garantía que maneja la fábrica es de 12 años o 120000km la más extendida del mercado (Ambacar, 2020), superando a marcas tan reconocidas como Toyota, Ford o Chevrolet; GreatWall produce carros de calidad, que da la confianza de adquirirlos, ese plazo amplio de cobertura, la marca se hace cargo de los daños producidos por defecto de fábrica de sus vehículos, todo esto genera confianza en los usuarios; exclusivamente en el tema de garantías manejan un proceso muy llamativo, ya que el tiempo de importación de autopartes es de 2 a 3 semanas, siendo un tiempo muy aceptable considerando que marcas semejantes tardan

más de 3 meses en ciertos casos de repuestos que no se tenga en stock (Peraso, 2020).

La compra y venta de automotores GreatWall, los famosos seminuevos, se tiene mucha restricción por parte de compradores por el tabú antes mencionado de "carro Chino es malo"; mencionada teoría queda desmentida por tema de durabilidad, tecnología, comercio, ventas nacionales; existen sectores del mercado en los cuales esto se está desmintiendo y las personas empiezan a confiar en la marca. Pero no así en todos los vehículos de procedencia China, dejando atrás la confianza en carros como Zotye, Chery, y demás marcas en el mercado; tal como lo menciona el Abogado Francisco Torres, el cual se ha dedicado más de 5 años al negocio de compra y venta de autos de segunda mano, por lo que menciona que poco a poco el tabú se va perdiendo y la marca se va posicionando en el mercado, en tiempos pasados los compradores ni se les cruzaba por la mente comprar un vehículo de procedencia China, pero en la actualidad se tiene bastante oportunidades a vender un vehículo GreatWall, considerando que existen compradores que exclusivamente buscan la marca (Torres, 2020).

CONCLUSIONES

El crecimiento de la aportación de vehículos de procedencia asiática-China tiene un ascenso de 16 puntos en la tabla porcentual de ventas de automóviles a nivel mundial del 2% a un 14%, llegando a sobrepasar números de 25 millones de automóviles repartidos por los continentes del mundo.

La compra de Vehículos GreatWall está concentrada en las provincias Pichincha y Guayas en el Ecuador con representaciones del 34,97%

y 25,13% respectivamente en ventas nacionales, demostrando que se acoplan a una geografía irregular con una altura de 2800 msnm (metros sobre el nivel del mar) en la sierra y en la costa ecuatoriana, considerando que el 50% de sus ventas es de categoría SUV, pick up 37% y automóviles con un 13% del total de su producción.

En la categoría de automóviles GreatWall posee el C30 que tiene un costo del 11% menor a su inmediato competidor el Hyundai Accnet y

Kia Rio, mientras que un 32% menor a su competidor de más alta gama que es el Toyota Yaris, tomando en cuenta que se analizó la versión full del C30, y en todos los casos GreatWall posee un valor menor de comercialización.

En la categoría SUV, GreatWall tiene un gran representante con su modelo Haval H6 que posee varias versiones según la economía del comprador, su valor es 13.34% menor al de su competidor más cercano el Kia Sportage GT y la T-Cross de Volkswagen, y 27.97% menor a su competidor más costoso la CX-5 de Mazda; la H6 posee todas las seguridades del mercado y asistencias para manejos; adicional de sistemas de confort adecuadas para un viaje placentero.

La Pick-up Wingle 5 de GreatWall es una alternativa que golpea fuertemente el mercado con un precio 23.54% inferior a su competidor más cercana la D max de Chevrolet, y un 41.09% su precio es inferior a sus competidoras de más alto costo como los modelos L200 de Mitsubishi y Ranger de Ford, siendo la Wingle 5 una camioneta apta para el trabajo y paseo según comentarios de clientes, una alternativa económica para una pickup.

El aporte de la marca GreatWall en la postventa y comercialización de vehículos de segunda mano es importante a comparación de los últimos años, la población a la que está dirigida esta gama de vehículos es media-alta, los cuales poseen características de automotores de gama alta; la aceptación es evidente y el “tabú” de que la marca no es buena y sus vehículos son malos, son desmentidos por parte de clientes, técnicos y expertos en el campo; todo esto es contrarrestado por su amplia cobertura de garantía, su alto stock de repuestos y su poca demanda en daños en talleres autorizados, adicional el gran porcentaje de ventas que poseen en sus concesionarios.

En conclusión, los vehículos GreatWall y Haval son una gran alternativa para la adquisición de un vehículo nuevo, dejando desmentida la ideología de que la marca posee mala calidad en sus productos, ya con más vetas que superan a grandes potencias mundiales como Toyota y Nissan; GreatWall es la nueva gran potencia de marcas ecuatorianas de vehículos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEADE. (2018). Anuario 2018. *AEADE*, 23-54.

Alegret, X. (2016). ¿Cuántos coches circulan por el mundo? *EDeconomíaDigital*.

Ambacar. (2020). *Ambacar*. Obtenido de <https://www.ambacar.ec/great-wall>

China. (Enero de 2020). *DatosMacro*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/negocios/produccion-vehiculos/china>

CIAUTO. (2020). *CIAUTO*. Obtenido de <http://www.ciauto.ec/index.html>

Garces, D. (22 de Mayo de 2018). Influencia de GreatWall en el mercado motriz del Ecuador. (D. X. Borja Soto, Entrevistador)

Haro, I. (1 de Septiembre de 2016). *Autobild*. Obtenido de Autobild: <https://www.autobild.es/reportajes/mejores-coches-chinos-245533>

Haval. (2020). *Haval-Ambacar*. Obtenido de <https://www.ambacar.ec/noticias/ventas-globales-great-wall-haval-2018>

- IESS. (2016). Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo. *IESS*.
- Mackay Castro, C., & Poveda Burgos, G. (2016). Revisión al impacto económico del sector automotriz en Japón y su influencia en Ecuador. *Universidad de Guayaquil*, 1-17.
- Morales, A. (15 de Enero de 2020). Influencia de las marcas chinas en el mercado ecuatoriano. (D. X. Borja Soto, Entrevistador)
- OICA. (01 de Junio de 2018). *Organización internacional de fabricantes de vehículos de*. Obtenido de <http://www.oica.net/category/economic-contributions/>
- Panimboza, J. C. (10 de Febrero de 2020). Ventas vehículos nuevos en el sector social. (D. X. Borja Soto, Entrevistador)
- Peraso, A. (16 de Febrero de 2020). Postventa y garantías en vehículos GreatWall. (D. X. Borja Soto, Entrevistador)
- Robayo, F. (25 de Abril de 2020). *El Comercio-Carburando*. Obtenido de <https://www.carburando.ec/>
- Torres, F. (20 de Marzo de 2020). Reventa de vehículos usados chinos-GreatWall. (D. X. Borja Soto, Entrevistador)
- Vilac, M. J. (25 de Septiembre de 2019). *Ekos*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/las-marcas-de-autos-mas-vendidas-en-ecuador>

ETIQUETADO DE VEHÍCULOS EN ECUADOR, EN BASE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMISIONES DE CO₂ Y KILOMETRAJE VEHICULAR

VEHICLE LABELING IN ECUADOR, BASED ON FUEL CONSUMPTION, CO₂ EMISSIONS AND VEHICLE MILEAGE

Edwin Fernando Díaz¹ Daisy Gisel Hidalgo² Luis Javier Taipe³

¹ Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: ingferdiaz2012@hotmail.com

² Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: dahito.03@gmail.com

³ Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: taipeluisjavier@hotmail.com

Resumen

El presente proyecto se basa en una herramienta informativa de etiquetado de vehículos comercializados en Ecuador a partir del periodo 2018 -2019. Tiene como objetivo concientizar e informar a los propietarios sobre la contaminación ambiental que está generando el vehículo, así como recomendar el estado de mantenimiento del mismo¹.

Para realizar esta investigación se ha utilizado los métodos de recopilación de datos y el método comparativo, a partir de bases de datos obtenidos del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) de Madrid España, del INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) de México, así como también de las casas comerciales. Una vez recopilados los valores referenciales o teóricos de rendimiento de combustible y emisiones de CO₂, se compara con los datos reales del vehículo.

Mediante fórmulas matemáticas se determina los datos reales del vehículo, donde se tiene como variable de ingreso los kilómetros recorridos del vehículo para obtener como resultado una ficha informativa que indique si el vehículo es alto, medio o bajo en ECO_{2R} (Emisiones de CO₂ reales), CC_R (Consumo de combustible real) y KRVR (kilometraje recorrido vehicular real). Finalmente se determina que los valores ideales para un vehículo en Ecuador tipo M1 o N1, deberá tener aproximadamente un consumo de 6.50 lts/100 km, y emisiones de 142 grCO₂/km

Palabras clave: Etiquetado de vehículo, Emisiones CO₂, Consumo de combustible, Kilometraje, Fórmulas matemáticas.

¹ Proyecto N° CIDE-PIA-06 desarrollado gracias al apoyo del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, la Asociación de Profesionales de Gestión de Riesgos de Ecuador y del Programa de Ciudades Intermedias Sostenibles, implementado por la Corporación Técnica Alemana (GIZ-Ecuador) y Grupo FARO.

Abstract

This project is based on an informative tool for vehicles labeling marketed in Ecuador from 2018-2019 period. It aims to raise awareness and inform owners about environmental pollution that the vehicle is generating, as well as to recommend its maintenance status.

To develop this research, data collection methods and the comparative method were used, from databases such as IDAE (Diversification and Saving of Energy Institute) from Madrid Spain, the INECC (Ecology and Climate Change National Institute) from Mexico, as well as vehicle dealers, it has been collect the reference or theoretical values of fuel efficiency and CO₂ emissions, later it is compared with the vehicle real data.

Through mathematical formulas the vehicle real data is determined, kilometers traveled of vehicle are taken as income variable to obtain an information sheet that indicates whether the vehicle is high, medium or low in ECO_{2R} (Real CO₂ Emissions), CC_R (Real Fuel Consumption) and KRVR (Actual Vehicle Mileage Traveled). At last, was determined that ideal values for a vehicle in Ecuador, type M1 or N1, should have approximately a consumption of 6.50 liters / 100 km, and emissions of 142 grCO₂ / km.

Key words: Vehicle labeling, CO₂ emissions, Fuel consumption, Mileage, Mathematical formulas.

INTRODUCCIÓN

Los medios de transporte tienen gran importancia en la vida diaria de las personas, así como en el desarrollo económico, la ciencia y la tecnología; lo que ha permitido que día a día vayan mejorando sus prestaciones tanto mecánicas como eléctricas, con el único fin del cuidado del ser humano y del medio ambiente, basado en la evolución de tecnología. Pero a la vez el debido exceso de medios de transporte ha generado un impacto negativo en el ser humano y medio ambiente ya que las ciudades se ven con más flujo vehicular y con más contaminación. (Sładkowski, 2020)

A nivel mundial las altas tasas de crecimiento tanto de población como de urbanización provocan que el sector automotriz vaya aumentando y con ello la contaminación. Para mitigar esta contaminación los países han creado políticas

públicas basadas en el cuidado del medio ambiente y del ser humano, mediante el aprovechamiento de la eficiencia energética, que tiene como objetivo utilizar menos energía para producir el mismo producto o servicio.

En el Ecuador no existe una base de datos del consumo de combustible y emisiones de los vehículos, sin embargo, en otros países si se cuenta con este tipo de información tanto de vehículos nuevos como usados, en varios de los casos utilizan dinamómetros de chasis para obtener los datos mediante la aplicación de normativas relacionadas con los ciclos de conducción. (Gutiérrez & Valarezo, 2017)

Por otro lado, el plan nacional de eficiencia energética, ha implementado algunos ejes temáticos encaminados a controlar o reducir la contaminación emitida para el sector automo-

triz, donde se menciona que el 42% del sector es el que más consumo de combustibles generó hasta el 2018, es por ello que se implementó el Proyecto de Etiquetado del Rendimiento Energético para Vehículos Nuevos y el Programa de Normalización y Etiquetado de Equipos que Consumen Energía. (Servicio de Acreditación Ecuatoriano, 2017).

Las emisiones de gases de efecto invernadero principalmente el CO₂ de los vehículos, dependen principalmente del tipo de combustible que se use y del consumo típico, generándose de esta manera la necesidad de informar a los consumidores sobre el consumo de combustibles y emisiones de CO₂ de los vehículos que se pongan a la venta en el territorio nacional. Una estrategia que permitiría cubrir esta necesidad sería la aplicación de una etiqueta facilite al comprador seleccionar entre los vehículos más eficientes y menos contaminantes

El etiquetado de Eficiencia energética al sector automotriz consiste en crear normas y especificaciones técnicas que permiten clasificar a las distintas características como emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y consumo de acuerdo a su grado de eficiencia.

A nivel mundial son varios los países que han implementado el etiquetado como aporte a la eficiencia energética del sector automotriz, entre los que destacan España, Reino Unido, Alemania, Estados Unidos, Chile, Uruguay, Brasil y México. En Ecuador hasta el 2020 no se ha ejecutado este proyecto, únicamente se han generado investigaciones, planes, acuerdos sobre el etiquetado fundamentalmente a los vehículos nuevos. (Viera, Rojas, & Méndez, 2015)

Entre las propuestas del sector automotriz encaminados a reducir la contaminación ambiental tenemos; la chatarrización, la revisión técnica vehicular con normativa y reglamento, la reducción del impuesto verde a vehículos híbridos y eléctricos, la normativa en el registro oficial para incorporar buses eléctricos hasta el año 2025. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019)

En este contexto, como aporte a la investigación técnica se estudia el etiquetado a los vehículos a gasolina y diésel tipo M1 y N1, en el cual se analiza el consumo de combustible, las emisiones contaminantes de CO₂ y los kilómetros recorridos vehicular.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se ha centrado en el etiquetado de vehículos en base a las especificaciones técnicas de los vehículos de diferentes marcas y modelos, comercializados en Ecuador en el periodo 2018 - 2019. Para lo cual se aplicaron las siguientes metodologías.

El método de recolección de datos: Este método recopila valores referenciales o teóricos como emisiones de CO₂ y rendimiento de combustible, a partir de diferentes fuentes internacionales como IDAE (Instituto para la Diversifica-

ción y Ahorro de la Energía) de Madrid España, INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) de México, Ministerio de energía de Chile, manuales de los fabricantes y fichas de casas comerciales. El Ecuador hasta el presente no cuenta con esta información para todas las marcas de vehículos. (Eco vehiculos, 2019)

Método comparativo: Mediante fórmulas matemáticas se procede a determinar los valores reales del vehículo como consumo del combustible y emisiones contaminantes de CO₂

a partir de los KRVI (kilometraje recorrido vehicular inicial) y KRVI (kilometraje recorrido vehicular final) y se comparan con los datos referenciales.

A continuación se describe el proceso completo para el etiquetado.

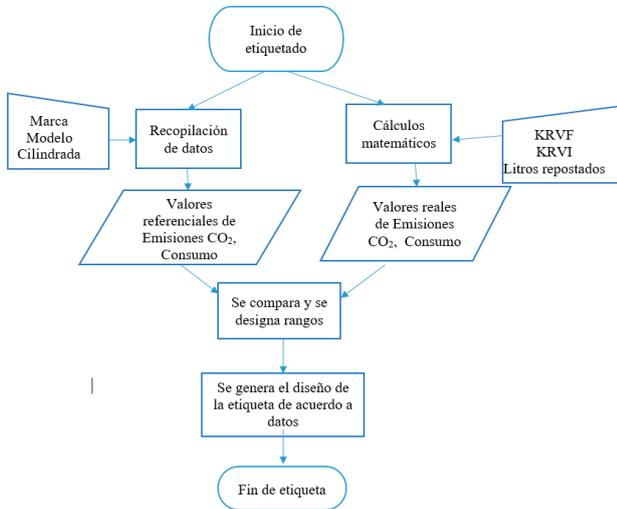


Figura 1: Metodología de investigación para determinar el etiquetado de vehículos.

Fuente: Autores

1.1.1 Recopilación de datos para valores referenciales o teóricos.

Los valores referenciales son obtenidos en pruebas de laboratorio, en condiciones y hábitos de manejo convencionales, sin tomar en cuenta las condiciones mecánicas, climatológicas, calidad de combustible, entre otras, siguiendo protocolos o ciclos estandarizados como Federal Test Procedure y el ciclo New European Driving. (Ministerio de energía Chile, 2012)

Para la recopilación de datos referenciales se identifica todos los vehículos vendidos en las casas comerciales de Ecuador en los años 2018 - 2019 y se busca en diferentes bases de datos las emisiones CO₂ y el consumo del vehículo, según la marca, modelo, cilindrada y tipo de combustible.

Marca, Modelo y Versión	Cilindrada (cm ³)	Cambio (*)	Potencia CV (kW)	Consumo (l/100km)	Emisión (g/km) CO ₂	Clasificación Por consumo
Kia						
Kia SOUL f/I 1.6 GDi DRIVE	1591	M	140,04 (103)	6,4	149	D
Kia SPORTAGE 1.6 GDi CONC	1591	M	134,6 (99)	6,4	149	C
Kia NUEVO cee'd SW 1.6 GDi [1591	M	134,6 (99)	6,4	144	C
Kia VENGA f/I 1.6 CVVT DRIVE	1591	M	125 (92)	6,4	148	D

Figura 2: Valores referenciales de consumo y emisiones para el modelos de la marca Kia.

Fuente: (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2017)

1.1.2 Cálculos matemáticos para valores reales

Para el cálculo matemático real es necesario conocer las variables como los KRVI y KRVI, los mismos que son registrados en los Centros de Revisión Técnica Vehicular anualmente en el proceso de matriculación vehicular. Por ejemplo, en el primer año de matriculación se registra los KRVI y en el siguiente año se determina los KRVI. Como se muestra en (1). (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006)

$$KRVR (Km) = KRVI - KRVI \quad (1)$$

El cálculo del CCR viene determinado por los litros repostados anualmente, que se registran en las gasolineras del país por el número de la placa del vehículo. Por ejemplo, un vehículo familiar consume aproximadamente 1.345,2 litros o 354 galones al año. Como se indica en (2). (Díaz, Encalada, & Portilla, 2017)

$$CCR(l/100km) = \frac{\text{Litros repostados} \cdot 100}{KRVR} \quad (2)$$

El cálculo para las emisiones de CO₂ reales se determinan por FE (Factor de emisión) y DA (Datos de actividad), como se indica en (3). (Meijer & Pullus, 2013)

$$ECO2R \left(g \frac{CO_2}{km} \right) = FE * DA \quad (3)$$

El dato de actividad se considera como el consumo de combustible real y el factor de emisión es una constante que depende de cada tipo de combustible e indica el grado de contaminación de los mismos. En la tabla 1 se presenta los datos de factor de emisiones para cada tipo de combustible utilizado en Ecuador.

Tabla 1
Factores de emisiones para diferentes combustibles.

Factor de emisión	
Tipo de combustible	[gr CO2/litro]
Gasolina extra	2 380.00
Diésel	2 610.00

Fuente: (Oficina Catalana del Canvi Climatic, 2011)

1.1.3 Comparación de valores reales y teóricos

Una vez determinado los valores reales se compara con los datos referenciales del vehículo para determinar si estos están dentro de un rango establecido y a la vez enseñar mediante una aplicación el etiquetado de vehículos.

Para determinar el rango de emisiones, consumo y recorrido se toma en cuenta el valor teórico para el vehículo de análisis, el mismo que se duplican para determinar el 100% del valor y poder realizar una comparación porcentual con el consumo real.

Si el valor del consumo real se encuentra en alguno de los porcentajes se determinara si es alto, medio o baja en consumo, emisiones o kilometraje con respecto al consumo teórico.

Tabla 2
Rangos establecidos para consumo, emisiones y kilometraje.

	Consumo	Emisiones CO ₂	Kilometraje	Recomendación
> 100%	MUY ALTO			Mantenimiento correctivo
67 % - 100%	ALTO			Mantenimiento preventivo
34% - 66%	MEDIO			Inspección visual
0 % - 33 %	BAJO			

Fuente: Autores

Por ejemplo, para el vehículo Chevrolet Spark life con motor a gasolina y 1000 cc indica que tiene valores teóricos de consumo 6.45 lts/100km y emisiones de 153 gCO₂/km. Si este vehículo recorre anualmente 17000 km y tienen un repostaje de combustible de 1300 lts, realizando los cálculos con las fórmulas 2 y 3 se tendrá un consumo de 7.67 lts/100 km y emisiones de 168.4 grCO₂/km. Relacionando los porcentajes el consumo real está por los 59.46% que indicaría medio en consumo. Si en el siguiente año el vehículo tiene un repostaje de 2200 lts, el consumo real será de 11lts/100 km lo que indicaría que tiene un consumo alto en relación al consumo teórico por lo cual se sugiere realizar un mantenimiento preventivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de la investigación se analizaron a 137 modelos de vehículos de las marcas como Hyundai, Nissan, Kia, Volkswagen, Renault, Toyota, Great Wall, Haval, Zotye, Shineray, Citroen, Mazda, Audi, Skoda, Peugeot, Chevrolet y Ford; de las categorías M1 (vehículos para pasajeros no mayor de 8 plazas) y N1 (vehículos de carga no mayor a 3500 kg), con motor a gasolina y diésel, con cilindradas desde 1000 cc a 5300 cc.

En la figura (3), se presentan los valores de consumo y emisiones de los modelos de vehículos.

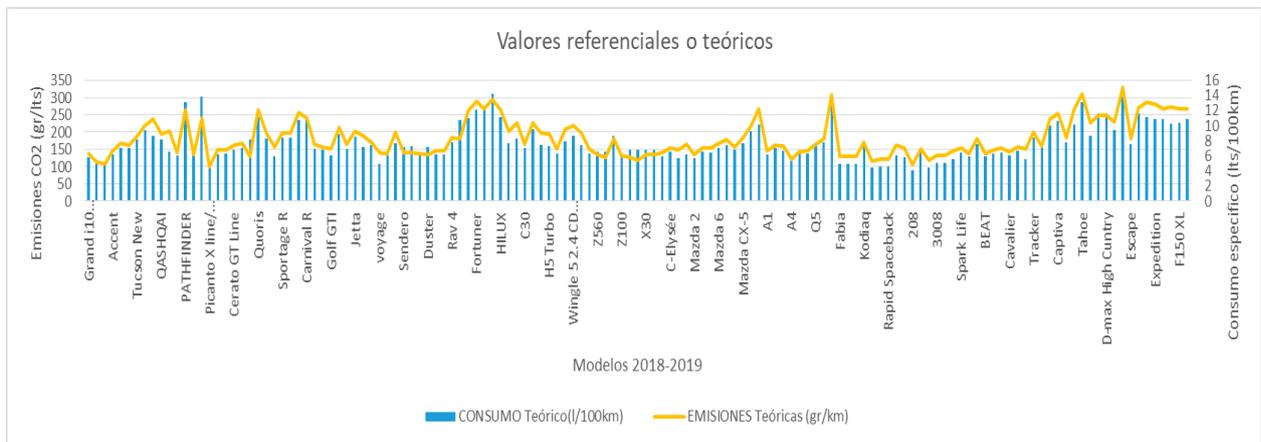


Figura 3: Consumo y emisiones teóricas de los modelos vendidos en Ecuador en el 2018 -2019.

Fuente: Autores

Los valores referenciales o teóricos determinan que aproximadamente los vehículos menores a 1500 cc consumen 6,58 lt/100 km, las emisiones de 147 grCO₂/km y para los vehículos mayores a 2500 cc aproximadamente consumen 10.43 lt/ 100km, las emisiones son 251.54 grCO₂/km. Para determinar los kilómetros recorrido vehicular teórico se toma como referencia los 16 000 km de recorrido al año, de acuerdo a lo que indican los fabricantes en su garantía. (Hyundai Ecuador, 2018)

Tabla 3
Valores reales calculados para diferentes vehículos.

Modelo vehicular	Ingresar datos		Valor Calculado	
	Kilómetros – Litros repostados [km - litros]		Consumo de combustible - Emisiones CO ₂ [lts/100 km – grCO ₂ /km]	
Hyundai Accent	20000-1300		6.50 – 142.70	
Kia Sportage	15000-700		4.67 – 102.50	
Volkswagen Polo	17000-1500		8.82 -193.80	
Toyota Yaris	20000-1300		6.50 – 142.70	
Mazda 6	8000-500		6.25 -137.30	
Chevrolet Cavalier	15000-700		4.67 – 102.50	
Ford Escape	30000 - 2800		9.33 - 205	

Fuente: Autores

Para poder calcular los valores se desarrolló la aplicación de etiquetado mediante el software llamado Matlab, el mismo que el usuario debe seleccionar la marca, modelo, cilindrada y tipo de combustible, para el vehículo de análisis. Los parámetros de ingreso manual son el kilometraje inicial y final (Ver en la agencia nacional de tránsito), así como también la cantidad de litros repostados en el año (base de datos de las gasolineras). En los resultados del vehículo se observará el valor de consumo real, emisiones reales y el kilometraje anual del vehículo, a la vez se visualizará las palabras Muy alto, alto, medio o bajo en consumo, emisiones y kilometraje referenciados por los colores violeta, rojo, amarillo y verde. Como se indica en (4) y (5).

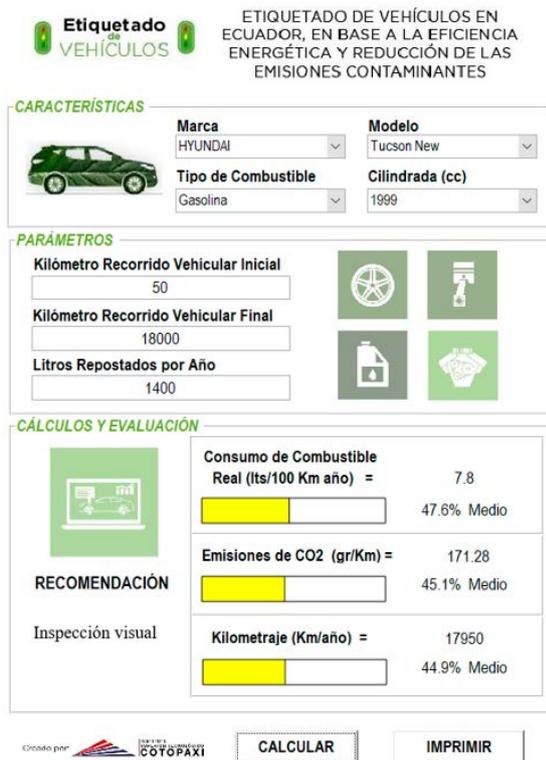


Figura 4: Diseño de la etiqueta para un vehículo medio en consumo, emisiones y kilometraje.
Fuente: Autores

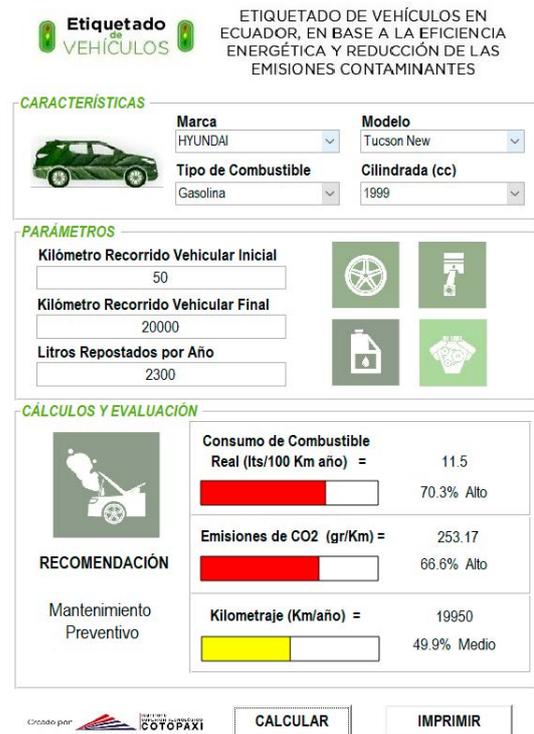


Figura 5: Diseño de la etiqueta para un vehículo alto en consumo, emisiones y bajo en kilometraje.
Fuente: Autores

Interpretación de la etiqueta: En la figura (5), se realizan los cálculos para un vehículo Hyundai Tucson, motor a gasolina, cilindrada 1999 cc, el cual tienen un consumo de 11.5 lts/100 km, emisiones 253.17 gr CO₂/km y kilometraje anual de 19950 km/año.

En cuanto a las recomendaciones que sugiere la etiqueta, se toma en cuenta los siguientes criterios.

- Los KRVF deben ser mayores a KRVI, caso contrario indica "Ingrese correctamente los datos - Los KRVI no pueden ser mayores a los KRVF".
- Si la etiqueta calcula muy alto en consumo o emisiones y medio o bajo en kilometraje, esta sugiere realizar un "mantenimiento correctivo".

- Si la etiqueta calcula alto en consumo o emisiones y bajo en kilometraje, esta sugiere realizar un "mantenimiento preventivo".
- Si todos los valores calculados son muy altos, esta sugiere "Mejorar sus hábitos de conducción"
- Si todos los valores calculados están en valores medios, la etiqueta sugiere "Realizar una inspección visual"

Al finalizar la aplicación se puede imprimir y colocar en el vehículo en la parte delantera izquierda.



Figura 6: Etiqueta colocada en el vehículo.
Fuente: Autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para determinar los valores teóricos de los vehículos se determinan por ciclos de conducción que cumplen con normativa como la Federal Test Procedure y el ciclo New European Driving, pero no reflejan la realidad de contaminación ya que las prestaciones son distintas, tanto en la manera de conducir, el mantenimiento del vehículo, el recorrido vehicular entre otros factores, por lo que la única manera de saber realmente cuanto está contaminando el vehículo es en base a valores reales como los kilómetros recorridos vehicular y los litros repostados en el vehículo.

Los valores ideales en Ecuador para un vehículo M1 o N1, que tiene un recorrido de 20000 km y un repostaje de combustible de 1300 lts al año, deberá tener un consumo de 6.50 lts/100 km, y emisiones de 142 grCO₂/km

El etiquetado de vehículos permite al usuario informarse y tomar decisiones al momento de comprar o vender el vehículo, sea por la conciencia ambiental o por la parte económica ya que proporciona información técnica de consumo, emisiones de CO₂ y el kilometraje.

Los valores calculados de consumo, emisiones y kilometraje, están directamente relacionados con los KRV y los litros repostados, por lo tanto en los cálculos no inciden la marca, modelo y cilindrada. El tipo de combustible es el único factor que se relaciona con las emisiones ya que varía su factor de emisión.

Si existe algún vehículo que funcione con diferente tipo de combustible o modifique su estado mecánico en cuanto al sistema de alimentación, este debe regirse a los factores de emisión establecidos en normas internacionales, por ejemplo para bioetanol al 5% el factor de emisiones es de 2.38 kgCO₂/litro, biodiésel al 10% el factor de emisión es de 2.61 kgCO₂/litro, para el GLP es 2.96 kgCO₂/litro.

Los datos referenciales del presente estudio como consumo y emisiones se pueden modificar, cuando en Ecuador la Norma Técnica Ecuatoriana obligue a todas las marcas a informar a sus clientes estos indicadores. Además los valores como KRV y litros repostados se pueden obtener cuando la Agencia Nacional de Tránsito y las gasolineras generen esta información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). Ley orgánica de eficiencia energética. Registro Oficial, 7.
- Díaz, F., Encalada, M., & Portilla, Á. (2017). *Modelo matemático para determinar el impuesto verde de los vehículos a través del consumo específico de combustible*. Quito: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17348>
- Eco vehiculos. (s.f.). Portal de indicadores de eficiencia energética y emisiones vehiculares. México. Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de <https://www.inecc.gob.mx/ecovehiculos/ecovehiculos/index.php>
- Hyundai Ecuador. (2018). *Garantía*. Obtenido de <https://www.hyundai.com.ec/garantia/>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). *Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera*. Madrid: IDAE.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (Mayo de 2017). *Guía de Vehículos Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO2*. Madrid, España: IDAE.
- Meijer, J., & Pullus, T. (2013). *Emisiones de gases distintos del CO2 procedentes de fuentes móviles de combustión*. IPCC, Estados Unidos.
- Ministerio de energía Chile. (2012). *Etiqueta de eficiencia energética para vehículos livianos y medios*. Obtenido de <http://www.consumovehicular.cl/inicio#/>
- Oficina Catalana del Canvi Climatic. (2011). *Guía practica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero*. España. Obtenido de <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=M-CRST234ZI97531&id=97531>
- Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (29 de junio de 2017). *SAE en el Plan de Eficiencia Energética 2016-2035*. Obtenido de <https://www.acreditacion.gob.ec/sae-en-el-plan-de-eficiencia-energetica-2016-2035/>
- Viera, A., Rojas, L. N., & Méndez, P. (2015). Programa de normalización y etiquetado de eficiencia energética. *BID*, 20-29.

IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON PUNTO DE ACCESO BASADO EN LA METODOLOGÍA STEAM

IMPLEMENTATION OF A MOBILE ROBOT WITH ACCESS POINT BASED ON THE STEAM METHODOLOGY

Alex Danilo Bastidas Jácome¹ Darío Fernando Yépez Ponce² Carlos Enrique Mosquera Bone³

¹ IST Eloy Alfaro, Esmeraldas Ecuador
e-mail: dbalexj_16@hotmail.com

² IST Eloy Alfaro, Esmeraldas Ecuador
e-mail: dfyp1991@gmail.com

³ IST Eloy Alfaro, Esmeraldas Ecuador
e-mail: libritakilo@hotmail.com

Resumen

La implementación de un robot móvil con Punto de Acceso (AP por sus siglas en inglés) pretende motivar la generación de conocimiento en base a la metodología Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemática (STEAM por sus siglas en inglés). El robot utiliza el *firmware NodeMCU* con el sistema en chip (SoC por sus siglas en inglés) Wi-Fi ESP8266 de la empresa *Espressif Systems (ESCP)*, para generar una red local Wi-Fi. Se diseñó una aplicación para sistemas Android y para navegadores web en HTML 5 (clientes) con el objeto de conectarse a la red creada por el prototipo móvil (servidor) y cualquier dispositivo conectado a esta puede enviar instrucciones al servidor. Los clientes envían una trama de datos desde cualquier navegador de internet y el dispositivo ejecutará el código traduciéndolo a movimiento. El robot se mueve en dirección frontal con giros a derecha e izquierda en su propio eje. No se implementó el movimiento hacia atrás para que el operador desarrolle aptitudes de posición, orientación espacial, creatividad, ingenio, cálculo, entre otros. Todos los programas utilizados en este trabajo son *Open Source* o de licencia libre para que sea utilizado por quien considere necesario como base para futuras mejoras o aplicaciones. Este prototipo será utilizado como instrumento para el desarrollo de la metodología STEAM, siendo parte de un proyecto mayor que intentará introducir esta metodología en la educación básica de las instituciones del cantón Esmeraldas - Ecuador; donde se evidenció en trabajos anteriores que se utilizan técnicas de estudio tradicionales evitando (por costo, por accesibilidad o por desconocimiento) la tecnología como medio de enseñanza - aprendizaje.

Palabras clave– NodeMCU, Punto de Acceso, Redes, Robótica, STEAM.

Abstract

The implementation of a mobile robot with an Access Point (AP) aims to motivate the generation of knowledge based on the Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics (STEAM) methodology. The robot uses the NodeMCU firmware with the system-on-chip (SoC) Wi-Fi ESP8266 from the company Espressif Systems (ESCP), to generate a local Wi-Fi network. An application for Android systems and web browsers was designed in HTML 5 (clients) in order to create the network created by the mobile prototype (server) and any device connected to it can send instructions to the server. Clients send a data frame from any internet browser and the device executes the code translating it into motion. The robot moves in the forward direction with right and left turns on its own axis. Backward movement was not implemented for the operator to develop position skills, spatial orientation, creativity, ingenuity, calculation, among others. All the programs used in this work are Open Source or free license to be used by whoever considers it necessary as a basis for future improvements or applications. This prototype will be used as an instrument for the development of the STEAM methodology, being part of the larger project that will try to introduce this methodology in the basic education of the institutions of the Esmeraldas canton - Ecuador; where it is evidenced in previous works that traditional study techniques are used avoiding (due to cost, accessibility or ignorance) technology as a teaching-learning medium.

Key Words – Access Point, Networks, NodeMCU, STEAM, Robotics.



INTRODUCCIÓN

La creciente importancia que tiene la tecnología en el mundo hoy en día y su continuo desarrollo, hace que la tecnología, en sí misma, se convierte en parte integral del proceso de formación en la niñez y la juventud. Por esta razón es importante desarrollar propuestas en las que se ofrezca a niños y jóvenes la posibilidad de entrar en contacto con las nuevas tecnologías; esto es posible a través del manejo de herramientas de software y hardware, como prototipos robóticos y programas especializados con fines pedagógicos (Bravo Sánchez & Forero Guzmán, 2012).

La realización de un prototipo de robot forma parte del proyecto macro “Estudio de la implementación de la robótica educativa en el cantón Esmeraldas”, en donde se pretende incluir robótica en el proceso de enseñanza - aprendizaje para desarrollar destrezas como razonamiento abstracto, espacial, matemático y lógico.

Se plantea un análisis general del estado de la enseñanza con herramientas tecnológicas en la educación inicial de la ciudad Esmeraldas. A continuación, se implementó un robot móvil basado en la placa NodeMCU capaz de ser controlado inalámbricamente por una aplicación móvil y por una aplicación de escritorio. Como punto final se estudian los resultados obtenidos proponiendo futuras mejoras y/o correcciones.

El reto actual de la robótica educativa para la mayoría de los países es pasar de ser una actividad extraescolar para integrarla como un recurso didáctico dentro del currículo escolar de forma permanente, no sólo en las asignaturas tecnológicas sino en aquellas donde pueda servir como apoyo para mejorar los procesos de enseñanza - aprendizaje; además de fomentar el desarrollo de las habilidades anteriormente mencionadas, que son tan necesarias en este nuevo milenio (Pittí, Curto Diego, & Moreno Rodilla, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Hardware

2.1.1 NodeMCU

La plataforma de conectividad inteligente de ESCP, es un conjunto de alto rendimiento y alta integración SOC inalámbricos, diseñados para desarrolladores de plataformas móviles con limitaciones de espacio y energía. El ESCP integra capacidades de Wi-Fi de una manera sencilla dentro de otros sistemas, o; puede funcionar como un programa de aplicación independiente, con un bajo costo y donde el espacio disponible es mínimo (Espressif_Systems_IOT_Team, 2015, p. 6).

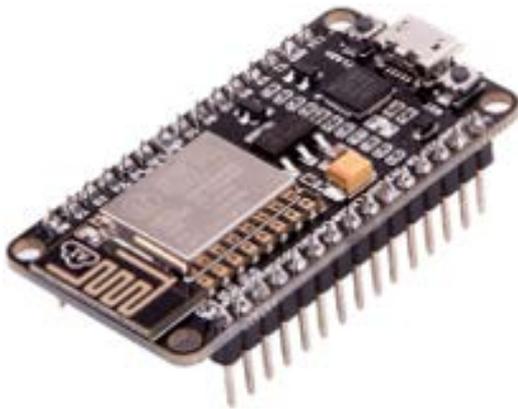


Figura 1: NodeMCU.
Fuente: NodeMCU, 2020.

Las placas de desarrollo NodeMCU se pueden programar de dos maneras diferentes: usando la programación LUA y el entorno de desarrollo de arduino IDE.

Tabla 1:
Características técnicas de la placa NodeMCU

Características	Descripción
Microcontrolador/CPU	Tensilica L106 32 bit
Voltaje de Entrada	3.3 V
Voltaje de Entrada Límite	3.3-5 V
Pines Digitales Entrada/Salida	17
Pines Entrada Analógicos	1
Memoria Flash	16 MB
SRAM	32 KB
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Micro-USB
Velocidad de Reloj CPU	80-160 MHz

Fuente: CARRICONDO MONTER, 2017, p. 35.

2.1.2 Driver L293D

La empresa Texas Instruments, define en su hoja de datos que el L293D está diseñado para proporcionar corrientes de accionamiento bidireccionales de hasta 600 mA a voltajes de 4.5 V a 36 V. Este dispositivo está diseñado para impulsar cargas inductivas como relés, solenoides, corriente continua y paso bipolar de motores, así como otros de alta corriente/alto voltaje cargas en la aplicación de suministro positivo. Su funcionamiento básico parte del concepto de puente H (p. 1).

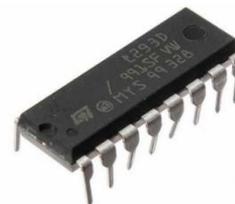


Figura 2. L293D.
Fuente: Datasheet.

2.1.3 Micromotores

Los motorreductores o micromotores para Pololu son actuadores de alta potencia de corriente continua con diversos tipos de configuración de relación en su caja de metal. Tienen una sección transversal de 10 × 12 mm, y el eje de salida del reductor en forma de D es de 9 mm de largo y 3 mm de diámetro. Pueden alcanzar altas velocidades o un par motor fuerte. Muy aplicados en robótica, odontología y proyectos donde se necesite movimiento (Pololu, 2019).



Figura 3: Micromotor.
Fuente: Pololu, 2019.

2.2 Software

2.2.1 Arduino IDE

El software Arduino de código abierto hace que sea fácil escribir código y subirlo a la placa. Se ejecuta en Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y se basa en el procesamiento y otro software de código abierto llamado Processing. Este software se puede usar con cualquier placa Arduino (Arduino, 2019, parr. 2).

Rodrigo (2016), expresa las ventajas de usar Arduino IDE para programar las placas NodeMCU y es que este lenguaje es una plataforma con la que se puede compartir código entre diferentes placas y posee una gran cantidad de librerías. Otras plataformas como Micropython y LUA tienen sus ventajas y desventajas; una de

las grandes deficiencias es que no son estables, especialmente LUA y; son lenguajes interpretados. Esto quiere decir que procesan el código un poco más lento que la contraparte Arduino.

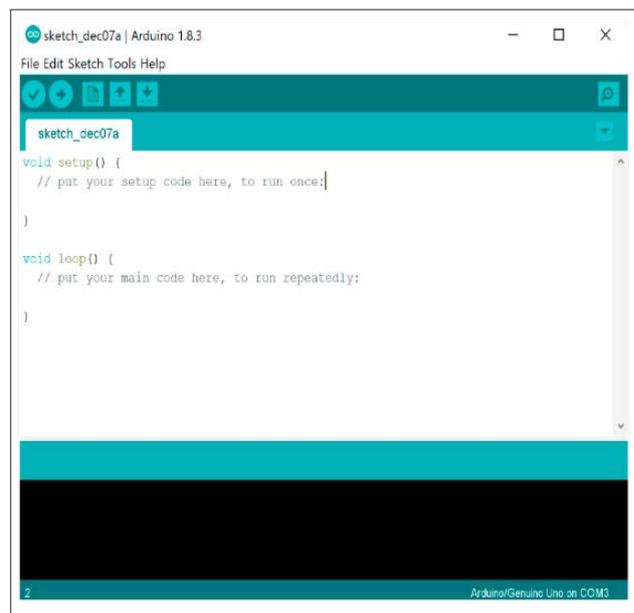


Figura 4: Interfaz de Arduino IDE
Fuente: IDE Arduino.

2.3 Metodología STEAM

Georgette Yakman acuñó el término STEAM como marco para la educación, un nuevo paradigma que plantea la ciencia y tecnología interpretada a través de la ingeniería y de las artes. Bajo ese esquema, los nuevos modelos de investigación educativa deberían de considerar la progresiva integración de las artes en el marco de las disciplinas científicas (Cilleruelo & Zubiaga, 2014, p. 2).

Las competencias STEAM desarrollan el pensamiento crítico, la creatividad, el trabajo en equipo, la reflexión, otras. Una educación donde realmente el proceso de enseñanza-aprendizaje está centrado en el entendimiento de que se está haciendo (proceso) más que en el resultado final. Un entorno de aprendizaje donde

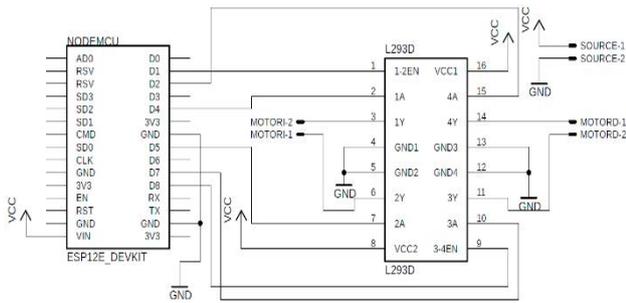


Figura 5: Diseño esquemático del robot.
Fuente: Propia.

permite la integración de una comunidad que crea proyectos y al mismo tiempo desarrolla sus habilidades de pensamiento crítico y la resolución de problemas creativo desde temprana edad, fortalece las relaciones interpersonales, desarrolla competencias en el manejo empresarial y social, además ayuda a crear un sistema de aprendizaje que conecta el hogar, comunidad e industria (Sánchez & López, 2019).

RESULTADOS

3.1 Desarrollo del prototipo

El prototipo se implementó en las siguientes etapas: diseño y construcción, programación y depuración de resultados. El objetivo por cumplir es demostrar que se puede implementar un AP móvil.

3.1.1. Diseño

El diseño mecánico del prototipo se lo realizó con un juguete prediseñado en forma de tortuga, para llamar la atención de los niños/niñas. Se realizaron perforaciones a la carcasa para colocar las llantas con sus motores y adaptar una batería de 9 V.

Internamente se colocaron los motores y la placa de control que contiene a la NodeMCU y al driver L293D. Esta placa de control (PCB) fue diseñada en el software Eagle y se presenta a escala real para que cualquier persona pueda replicar el proyecto.

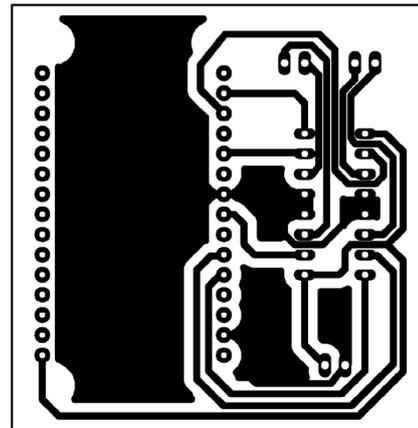


Figura 6: PCB del robot móvil.
Fuente: Propia.

En las Figura 7 y Figura 8 se pueden evidenciar la presentación de la etapa de diseño y construcción finalizada.



Figura 7: Vista isométrica del prototipo final.
Fuente: Propia.



Figura 8: Vista superior del prototipo final.
Fuente: Propia.

3.1.2. Programación del Access Point

A continuación, se muestra la configuración del AP en el IDE Arduino, teniendo en cuenta que la NodeMCU puede trabajar como cliente, AP o ambos.

La configuración importante se realiza en `WiFi.mode(WIFI_AP)` con esta sentencia se configura la placa NodeMCU como AP. A partir de esta configuración la placa se comporta como servidor y recibe instrucciones de los clientes que se conecten a la red bajo el nombre *GRUPO DE INVESTIGACIÓN* con la contraseña de acceso *GI*ISTEA-2020*.

Si se desea ver el estado de la conexión o cualquier respuesta de la NodeMCU, se lo puede hacer a través del Monitor Serie de Arduino; la velocidad de comunicación debe ser de 115200 baudios.

3.1.3. Depuración de resultados

Una vez realizada la programación y el prototipo físico, se compila y se carga el programa a la placa NodeMCU vía comunicación serial. Para comprobar su funcionamiento desde cualquier dispositivo con capacidad de conexión a internet deberá conectarse a la red creada por la NodeMCU.



Figura 9: Red creada por la NodeMCU
Fuente: Propia.

En la Figura 10, se puede observar que la red que se creó no tiene acceso a Internet, característica que no es necesaria para este proyecto debido a que solo se necesita una red local; sin embargo, la NodeMCU es capaz de crear un AP y conectarse a una red de internet simultáneamente.

Una vez conectado el dispositivo a la red creada por la NodeMCU se debe ingresar desde cualquier navegador de internet a la dirección `http://192.168.4.1/` que se trata de la dirección IP de la tarjeta. Se puede verificar los movimientos del prototipo enviando las instrucciones necesarias para cumplir con un reto específico.

Una vez enviadas las instrucciones, la NodeMCU procesa esa información y acciona la

tortuga. Si se desea combinar más de una acción en una sola instrucción se puede realizar como se indica en la Figura 10, el código para mover al robot en las direcciones *adelante, adelante, izquierda* es <http://192.168.4.1/faagd>.

Tabla 2:
Instrucciones para el movimiento del robot.

LETRA	ACCIÓN	DIRECCIÓN
f	Inicio de la acción	http://192.168.4.1/f
g	Fin de la acción	http://192.168.4.1/fg
a	Mover hacia adelante	http://192.168.4.1/fag
c	Mover hacia la izquierda	http://192.168.4.1/fcg
d	Mover hacia la derecha	http://192.168.4.1/fdg

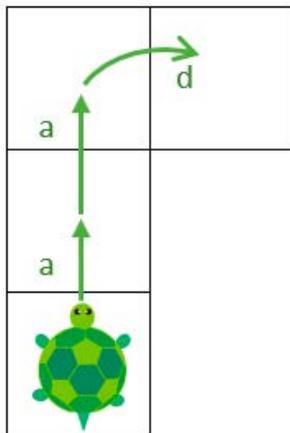


Figura 10. Accionamiento del robot móvil
Fuente: Propia.

3.2 Desarrollo de programas

El ingresar las direcciones en un navegador no ofrece al usuario una manera sencilla de utilizar el prototipo; por lo cual, se desarrollaron dos aplicaciones tanto para computador como para

celulares Android capaces de controlar a la tortuga de una manera más amigable e intuitiva.

3.2.1. Aplicación Android

Utilizando el software del Instituto Tecnológico de Massachusetts y Google, App Inventor 2. A partir de una programación gráfica y de bloques se creó la aplicación para accionar la tortuga. Una descripción rápida del funcionamiento de esta sería el envío de las direcciones según el usuario lo solicite en una interfaz gráfica sencilla de utilizar.

En la Figura 11, se indica la interfaz de bienvenida desarrollada para el control del robot móvil.



Figura 11: Pantalla de bienvenida
Fuente: Propia.

En la Figura 12, se puede ver la interfaz desarrollada para el control del robot móvil. El desplazamiento del robot móvil es controlado mediante las flechas que se encuentran en la interfaz (adelante, izquierda y derecha).

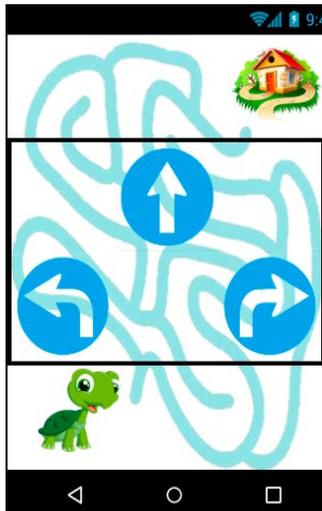


Figura 12: Pantalla de acciones.
Fuente: Propia.

3.3 Resultados de la metodología STEAM

En este apartado se realiza un análisis bibliográfico de las habilidades, cualidades y destrezas que la metodología STEAM desarrolla en los niños. No existe un programa curricular capaz de delinear esta metodología en conjunto; cada grupo responde según su entorno y demografía. Aun así, The Pear Institute en Estados Unidos y en colaboración con Harvard presentaron el siguiente marco de evaluación de calidad STEAM (Figura 16).

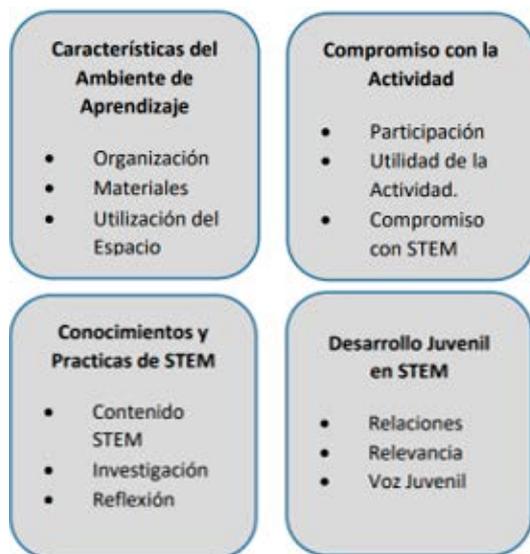


Figura 13: Evaluación de calidad STEAM.
Fuente: Bazalar Reyes de Mejía, Díaz Yupanqui, Guzmán Urrunaga, & Martínez Talavera, 2018.

3.3.1. Características del Ambiente de Aprendizaje:

Las primeras tres dimensiones analizan la logística y la preparación de la actividad, ya sea que los materiales sean atractivos para los niños/niñas y adecuados para los objetivos de aprendizaje, y como el entorno de aprendizaje utiliza el espacio de una manera que respalda el aprendizaje STEAM informal (Institute, 2020).

3.3.2. Compromiso con la actividad

Las segundas tres dimensiones analizan cómo la actividad involucra a los estudiantes: por ejemplo, las dimensiones examinan si todos los estudiantes tienen acceso a la actividad o no, si las actividades se están moviendo hacia los conceptos y prácticas de STEAM a profundidad o superficialmente y si las actividades son o no prácticas y diseñadas para ayudar a los estudiantes a pensar por sí mismos en lugar de recibir las soluciones (Institute, 2020).

3.3.3. Conocimientos y prácticas STEAM

Este dominio analiza cómo las actividades STEAM informales están ayudando a los estudiantes a comprender los conceptos de STEAM y hacer conexiones. También analiza si los estudiantes tienen o no oportunidades de participar en las prácticas de consulta que utilizan los profesionales de STEAM (por ejemplo, recopilar datos, usar modelos científicos, desarrollar explicaciones, etc.) y si los estudiantes tienen tiempo para reflexionar y dar sentido a sus experiencias (Institute, 2020).

3.4 Desarrollo Juvenil en STEAM

Finalmente, el último dominio evalúa las interacciones estudiante-facilitador y estudiante-alumno y cómo fomentan o desalientan la participación en actividades STEAM, ya sea que las actividades hagan que esta metodología sea relevante y significativo para la vida cotidiana de los estudiantes, y cómo las interacciones permiten a los jóvenes tomar decisiones y tener una voz en el entorno de aprendizaje y la comunidad (Institute, 2020).

DISCUSIÓN

El prototipo de robot con AP móvil crea una red local y es capaz de recibir instrucciones de cualquier cliente conectado a su entorno. El prototipo está listo para ser probado en instituciones e implementar la metodología STEAM. Es imperioso avanzar a la siguiente etapa donde los resultados de la elaboración de este prototipo son visibles. Además de incluir juegos interactivos, aplicaciones, funciones en pro de la enseñanza y el aprendizaje.

Es importante destacar que el prototipo realizado es más accesible que los costosos kits robóticos como los de la empresa LEGO o Cubetto. Se puede crear desde cero un robot y aprender al mismo tiempo que se emplea creatividad, ingenio, matemáticas y ciencias.

A futuro el prototipo deberá incluir sensores capaces de determinar el tiempo y distancia recorridos para que realice trayectorias precisas y no tenga desviaciones. Además, se debe incluir baterías recargables.

CONCLUSIONES

Se montó un AP en un dispositivo electrónico móvil generando una red WiFi a la cual se pueden conectar máximo cuatro dispositivos (clientes) a la vez. Cada uno de estos dispositivos pueden enviar información al servidor por la dirección IP 192.168.4.1. El alcance máximo de una señal íntegra son los 80 metros.

Las aplicaciones para dispositivos móviles como para navegadores web en HTML5 proponen una interfaz amigable con el operador, permitiéndole controlar al prototipo robótico a partir de imágenes y botones; sin estas aplicaciones el envío de secuencias de comandos dificulta esta tarea. Se recomienda utilizar la aplicación de celular debido a que el programa

para navegadores en HTML5 satura la memoria de la NodeMCU y la propiedad de los navegadores de actualizar constantemente sus páginas provoca el envío constante de instrucciones sin que el usuario haya solicitado acción alguna.

La metodología STEAM aplicada por medio de dispositivos electrónicos e inalámbricos capta de mejor manera la atención del sujeto a prueba, esto debido a que aborda temáticas de arte, creatividad, matemáticas, electrónica, redes, robótica, entre otras. Es un proceso fundamental en el desarrollo de aptitudes de los niños fomentando la ciencia desde sus niveles de educación más básicos.

REFERENCIAS

- Arduino. (2019). Arduino - Introducción. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>
- Bazalar Reyes de Mejía, M. F., Díaz Yupanqui, N. J., Guzmán Urrunaga, W. N., & Martínez Talavera, C. (2018). Plan de negocios para la implementación de una empresa de servicios educativos holísticos, basados en la metodología STEAM, para niños de nivel primario de Lima Metropolitana.
- Bravo Sánchez, F. Á., & Forero Guzmán, A. (2012). La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 13(2).
- CARRICONDO MONTER, A. (2017). Desarrollo de un sistema de monitorización domiciliaria basado en la plataforma NodeMCU V3.
- Cilleruelo, L., & Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la Educación STEAM. *Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. Jornadas de Psicodidáctica*, 1-18.
- Espressif_Systems_IOT_Team. (2015). ESP8266EX Datasheet. In E. Systems (Ed.), (4.3 ed.).
- Institute, P. (2020). The PEAR Institute: Partnerships in Education and Resilience | Belmont. Retrieved from <https://www.thepearinstitute.org>
- Instruments, T. (2002). L293D Datasheet.
- Jaime, R. (2016). ESP8266 y NodeMCU: la nueva generación de sistemas embebidos. Retrieved from <http://panamahitek.com/esp8266-y-nodemcu-la-nueva-generacion/>
- León, M. P. (2012). Uso de TIC en escuelas públicas de Ecuador: Análisis, reflexiones y valoraciones. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*(40), 201.
- NodeMCU. (2020). NodeMcu -- An open-source firmware based on ESP8266 wifi-soc. Retrieved from https://www.nodemcu.com/index_en.html
- Orbes Padilla, D. O. (2018). Juguete autónomo de aprendizaje braille.
- Pittí, K., Curto Diego, B., & Moreno Rodilla, V. (2010). Experiencias constructoras con robótica educativa en el Centro Internacional de Tecnologías Avanzadas. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 11(1).
- Pololu. (2019). Micro Metal Gearmotors.
- Sánchez, E. R. V., & López, J. B. (2019). *EduTecnología y Aprendizaje 4.0: SOMECE*.

IMPLEMENTACIÓN DE ALERTA AL SOBRECALENTAMIENTO DE FRENOS COMO SISTEMA DE SEGURIDAD EN VEHÍCULO DE 1600CC

IMPLEMENTATION OF BRAKE OVERHEATING ALERT AS A SECURITY SYSTEM ON THE 1600CC VEHICLE

Cristina Muñoz Gallegos¹ Dario Borja Soto² Andres Moreno Constante³

¹Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador

E-mail: mgca1024064@gmail.com

²Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Físicas y Matemática, Quito, Ecuador

E-mail: dxborja@uce.edu.ec

³ Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Físicas y Matemática, Quito, Ecuador

E-mail: asmorenoc@uce.edu.ec

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo el diseño y construcción de un módulo de alerta electrónico automotriz, con el cual se pueda monitorear de manera continua la temperatura del sistema de freno, mediante la medición en los discos de frenos, para evitar sobrecalentamiento; ya que a nivel Nacional se presenta un alto índice de siniestros por el motivo antes mencionado. El sistema tiene como objetivo emitir una alerta sonora y auditiva si la temperatura del sistema supera los 140°C, el cual da tiempo de reacción al conductor para tomar acciones pertinentes al posible sobrecalentamiento de los frenos, esto mediante el procesamiento de los datos tomados por una termocupla instalada en la mordaza de frenos delantera, dichos datos son procesados por una placa Arduino programada para cumplir con los requerimientos planteados, al efectuar las pruebas de implementación del dispositivo se comprobó la temperatura en pruebas de ruta efectuadas en un vehículo modelo Chevrolet Sail S3 que tuvo resultados favorables, al tener temperaturas máximas de 50,75°C en una ruta de 34km con tramos viales de autopista y ciudad, con una variación del 7,66% con respecto a la temperatura máxima de otra prueba similar, logrando controlar las temperaturas en el transcurso de un viaje y alertando de manera satisfactoria para poder lograr que el conductor tome una estrategia de conducción adecuada para prevenir el sobrecalentamiento del sistema de frenos en el vehículo.

Palabras clave— Accidentes; Frenos; Módulo electrónico; Sobrecalentamiento Frenos; Termocupla.

Abstract

This research aims to design and build an automotive electronic alert module, that will allow the temperature of the brake system to be continuously monitored to avoid overheating, since that causes high rate of accidents per year nationwide. To summarize the functioning of this system, it will turn on an alert if the system temperature exceeds 140 ° C, so that the driver will acknowledge the possible overheating issue and take action. This as a result of the data taken by a thermocouple installed is being processed by an Arduino microcontroller programmed to meet the stated requirements. Moreover, in the course of the implementation tests of the device, the temperature was verified through road tests carried out on a Chevrolet Sail S3, which had favorable results because of the maximum temperatures of 50.75 ° C on a 34 km route with highway sections and city, with a variation of 7.66% with respect to the maximum temperature of another similar test. Consequently, the system succeeded by managing to control temperatures during a trip and alerting satisfactorily the driver to persuade him to drive properly and prevent overheating of the vehicle's brake system.

Key Words– Accident; Brakes; Brakes overheating; Electronic module; Thermocouple

INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tránsito en la actualidad es un causal de muerte más usuales, esto debido a distintos factores, sean mecánicos y humanos; al relacionar accidentes de tránsito una de las causas con mayor frecuencia son las fallas mecánicas en el sistema de frenos, para lo cual el sobrecalentamiento de sus componentes es un factor determinante en el aumento de esta cifra, tomando como ejemplo el centro de colisiones de la concesionaria Chevrolet Vallejo Araujo Quito-Ecuador, en la cual se visualiza que de los automóviles ingresados por siniestros, más del 50% son por fallos en frenos (Segarra Jaque, 2015).

El sobrecalentamiento de frenos puede ocurrir por varias razones según el estudio de Ochoa y Navarro, la cual lo provocaría una conducción agresiva, errónea y fallos mecánicos, sea cualquiera de estos métodos el resultado puede costar la vida de los ocupantes; para lo cual el centro de Experimentación y Seguridad Vial (CESVI), mediante reconstrucción de acci-

dentos el 88% de accidentes provocados por alta temperatura en los mecanismos de frenos, es provocado por componentes humanos; el porcentaje restante lo atribuyen a deficiencia en los mecanismos y elementos que conforman el sistema de frenos del automóvil (Ochoa Arrieta & Navarro Terraza, 2017).

Si al manifestar o aducir que un accidente de tránsito lo provocó una falla mecánica (Orduz, 2010). Esto significa que todo un sistema clave en el vehículo falló al 100% y esto de un momento al otro, todo esto es muy poco probable encontrarlo en una investigación (López & Paucar, 2013).

Por lo cual la industria automotriz ha evolucionado con gran velocidad para poder proporcionar mecanismos de seguridad y confort en el automóvil, por lo cual los análisis en el sistema de frenos se realizan ante la necesidad de evitar accidentes de tránsito (Carranza Sanchez & Beltran Pulido, 2003).

Los sistemas de frenos de un automotor deben encontrarse en óptimas condiciones, para lo cual se emplean mantenimientos preventivos y correctivos en el sistema (Ochoa Arrieta & Navarro Terraza, 2017), pero no por ellos se debe creer que se evitará fallas en el sistema, porque los factores a los que estos afectan, van más allá de un material erróneo o un elemento no apropiado, los distintos talleres multiservicio han manejado la parte de frenos con gran responsabilidad para lo cual en la ciudad de Quito existen talleres especialistas, tales como Rapi-freno, Servifreno, Utilfreno, los cuales cuentan con sucursales en toda la capital de los ecuatorianos; esto conlleva a realizar el análisis de la importancia de este peculiar y tan esencial sistema en el automóvil.

El sobrecalentamiento de frenos adicional puede darse por un tráfico agobiante en la ciudad el cual exige un uso frecuente del sistema,

el stress ocasionado por el tráfico vehicular conlleva a una conducción brusca agresiva, la mala conducción al apoyarse únicamente el freno de pie y no ocupar freno de motor, excesos de velocidad en carreteras sinuosas que ocasiona el uso del freno de manera constante, la no conservación de distancias entre vehículos provoca presionar el pedal de freno de manera seguida y con mayor fuerza de lo habitual (ALAPA, 2016).

La presente investigación tiene como objetivo analizar la implementación de un sistema de alerta, el cual prevenga al calentamiento de elementos del sistema de frenos mediante el análisis de la temperatura a la cual el vehículo se encuentra circulando, por lo tanto, el conductor será informado para que tome las medidas de seguridad necesarias para evitar el sobrecalentamiento del sistema; y así ayudar a reducir el índice de accidentes por este tipo de fallos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se basó en un proceso experimental, cualitativa, adicional de investigación documental, la información que se obtuvo se utilizó como referencia para el análisis del factor de seguridad del sistema de alerta, esto con el fin de evitar el sobrecalentamiento del sistema de frenos en los vehículos.

Al realizar un análisis de los accidentes de tránsito con sus probables causas de origen, se llega a la conclusión que la impericia de parte de los conductores ocasiona que se use de manera exagerada los frenos en el automotor, todo esto conllevado por maniobras inadecuadas como, excesos de velocidad, lo que produce el desafortunado sobrecalentamiento en los frenos (Reyes, 2014). Por lo cual la idea central en la generación de un sistema de alerta al momento de conducción de manera activa, para la

recolección de datos de temperatura mediante sensores las cuales previo a un procesamiento se visualizan en una pantalla dentro del habitáculo del automotor.

Uno de los pilares fundamentales es la selección del vehículo de prueba, el cual mediante estadísticas de la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador que determina que la clase de vehículos Sedan, son los cuales que se tiene una mayor cantidad de vehículos siniestrados (ANT, 2020). Todo esto por la clase de vehículo, que presentan altas prestaciones y su posibilidad de accidente se eleva.

La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) en su anuario emitido en el año 2018, menciona que la categoría de vehículo sedán es la que cuenta con mayor porcenta-

je de participación en el mercado, esto gracias a sus estadísticas de distribución de ventas de vehículos, para lo cual se analiza las provincias con mayor participación, en Ecuador, Pichincha y Guayas tiene la mayor participación con 38% y 28% respectivamente, como se evidencia en la figura 1 (AEADE, 2018).

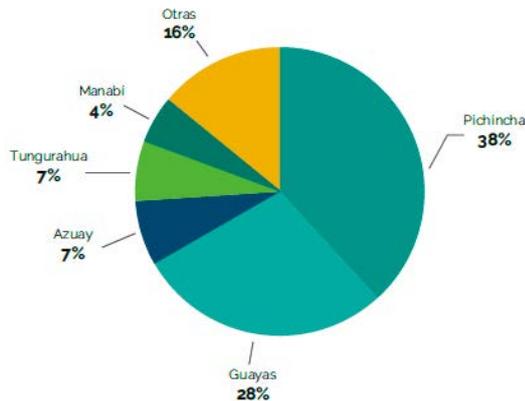


Figura 1: Participación de ventas de vehículos por provincia Ecuador
Fuente: (AEADE, 2018)

Para retomar la participación de la categoría con mayor influencia en el mercado, se utiliza las estadísticas del anuario AEADE, la provincia de Pichincha tiene un 43% de automóviles y 36% en SUV, mientras tanto la provincia del Guayas con una utilización de automóviles del 48% y los automotores SUV con el 30% de ventas (AEADE, 2018), esto ratifica el análisis del sobrecalentamiento en un vehículo tipo automóvil, un gran representante. Para la selección del modelo en específico, se tomó la marca con mayor ventas en el mercado esta es Chevrolet, con una participación del 33,14% a nivel nacional con 45605 unidades vendidas en el año 2018, el cual mantiene un 60% de su total de unidades la categoría de automóviles, en este tipo de automotor el modelo New Sail ó Sail S3, lidera con 8738 unidades vendidas en el año en mención; por lo cual se convirtió en el carro a estudio (Mackay Castro & Poveda Burgos, 2016).

El New Sail de Chevrolet, es un automóvil sedan que posee un motor 1500cc DOCH con 109 HP de potencia y 141 Nm de torque, el sistema de frenos delanteros es de discos ventilados y posterior de tambor, un peso bruto del automotor de 1485 kg (Chevrolet, 2019).



Figura 2: Vehículo Chevrolet New Sail ó Sail S3
Fuente: (Chevrolet, 2019)

Dentro de los sistema que conforman un automóvil, el sistema de frenos tiene un elemento fundamental el cual es el líquido de frenos que cumple una función importante en el sistema al realizar el transporte de fuerza, transmisor de temperatura y entre otras funciones, para lo cual el New Sail posee un fluido recomendado por el fabricante DOT 3, en el cual sus características se establecen en la norma SAE J1703 motor vehicle brake fluid, su punto de ebullición en 140°C, una temperatura no muy segura en condiciones extremas, adicional los discos de frenos otro elemento fundamental en el sistema, estos dependiendo del material pueden soportar cerca de los 400°C de manera general para vehículos de calle, y 800°C en discos de frenos especiales o cerámicos (Dominguez & Ferrer, 2015).

Para el diseño del módulo se realizó un análisis en el cual se verificó el tipo de alerta que debe tener el automotor, para lo cual se efectuaron encuestas a conductores en la cual se enfocaron la siguiente pregunta: "Una señal de aviso de sobrecalentamiento de frenos prefiere que sea visual o sonora". Para lo cual de 25 encuestas efectuadas a conductores de vehículos sedanes de distintas marcas como muestra la figura 3, llegaron a responder 17 conductores prefieren una alerta visual siendo el 68%, por la

razón que al tener un aviso sonoro se convierte en molesto en la conducción, mientras tanto 8 personas o el 32% de los conductores encuestados mencionan que una alerta sonora sería una alternativa adecuada ya que al estar atentos a una señal visual puede ocasionar distracciones al conducir.

TIPO DE ALERTA EN VEHÍCULO

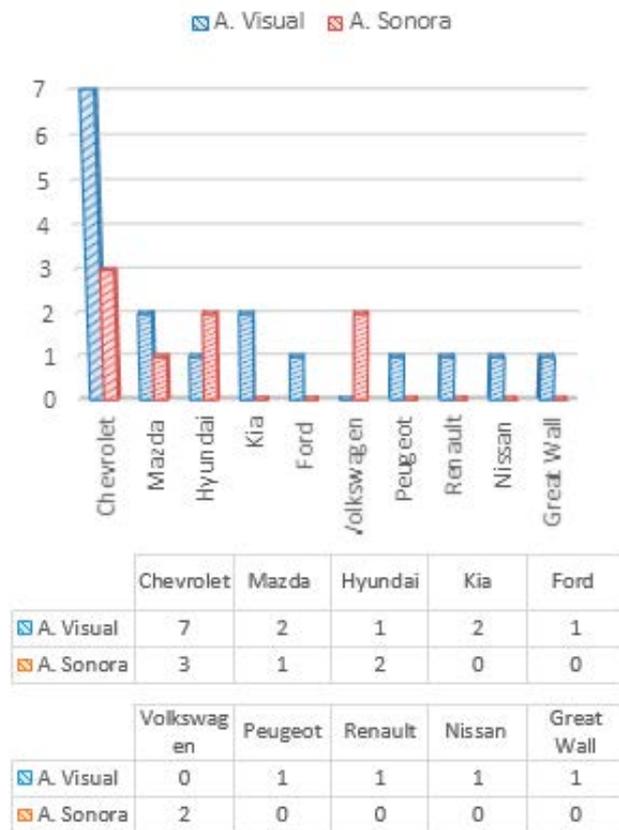


Figura 3: Distribución de encuestas acerca de tipo de alerta de sobrecalentamiento de frenos
Fuente: Propia

Para el diseño de la alerta se tomó las dos condiciones, para cumplir con expectativas por parte de cada usuario, y de esta manera obtener una la mejor aceptación en el mercado.

El diseño del módulo se enfoca en la utilización de un aviso sonoro con la implementación

de un buzzer, el cual es el encargado de producir una señal de audio mediante las corrientes internas que circulan por un electroimán en su interior, el aviso visual esta comandado por un display LCD (Display de cristal líquido) el cual es el encargado de mostrar la información de manera gráfica mediante una placa que analiza y distribuye las datos proporcionados por un controlador; el controlador en mención es una placa Arduino la cual consta de entradas y salidas analógicas/digitales cuyo elemento principal es un microcontrolador, el cual permite el desarrollo de distintos diseños a través de un lenguaje de programación C++ propio del dispositivo (García & Navarro, 2015). La medición de temperatura está controlada por una termocupla cuya función es medir el valor de temperatura por su composición interna, un termistor que cambia su resistencia al elevar la temperatura, considerando que el seleccionado por el rango de 0 a 1000°C de temperatura es de Niquel-Cromo-Niquel siendo este de tipo K con un diámetro de alambre de 2 a 3 mm (FCEFYn, 2015).



Figura 4: Termocupla tipo K.
Fuente: (FCEFYn, 2015)

La placa Arduino trabaja con un código C++, el cual maneja un sistema de programación propia; el cual responde a una entrada analógica medida por parte de la termocupla ubicada en el sistema de frenos, esta señal se traslada al microcontrolador (Arduino) para ser analizada y determinar un valor en un rango máximo de 140°C, ya que a esta temperatura la investigación de Muñoz, determina según experimenta-

ción que los vehículos de calle superando los 250°C sus elementos empiezan a presentar una falta de desempeño , todo usando un factor de seguridad de 2, para el diseño, por lo tanto superando el valor de 140°C emitirá un mensaje en el display y una alerta sonora mediante el Buzzer, tomando en cuenta que estas constituyen la salida del sistema (Muñoz Gallegos, 2016).

La programación de la placa Arduino corresponde al diagrama de flujo de la figura 5 a continuación.

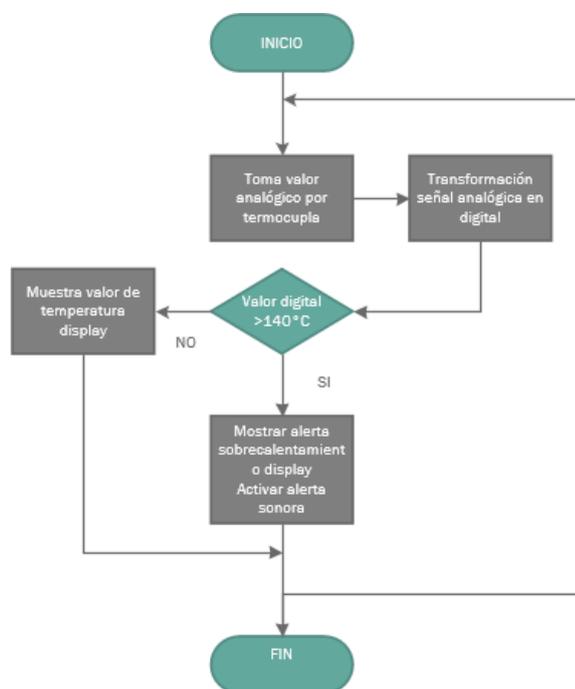


Figura 5: Diagrama de flujo de programación en placa arduino
Fuente: Propia

Para el diseño electrónico se cumple la alimentación por parte de la batería del automóvil, la cual por funcionamiento del alternador llega a tener 14.5V, por lo cual un regulador de voltaje lo reduce hasta 8v, la señal proveniente de la termocupla ingresa a la placa Arduino para ser

analizada y emita su señal de salida tanto al display como a la alerta sonora, tomando en cuenta que cuando la temperatura no se eleve a más de 140°C, únicamente se visualizará el valor de temperatura del disco de freno, todo esto para toma de valores en la investigación y posterior para información al conductor del automotor. La conexión se muestra en la figura 6, en la cual se utiliza un programa de simulación electrónica PROTEUS, el cual sirvió para comprobar el circuito diseñado por los autores.

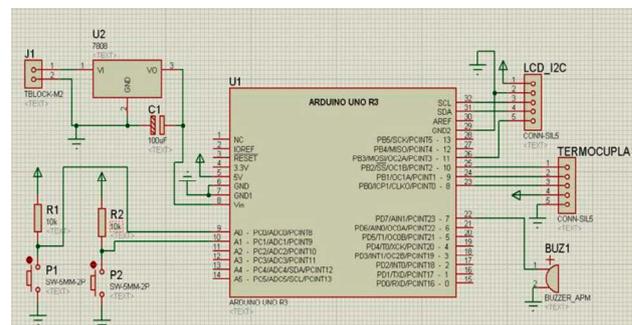


Figura 6: Conexiones electrónicas del módulo de medición de temperatura del sistema de freno
Fuente: Propia

La termocupla se ubicó en el disco de freno mediante el estudio de comparación de temperaturas de funcionamiento regular de los elementos mecánicos en una muestra de vehículos, la mencionada medición se realizó con el pirómetro marca Rayket, el cual mediante un láser obtiene el valor de temperatura con un rango de frecuencia de 80-1000 Mhz con un error promedio de $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ a 3V/m en todo el espectro (Vaca, Castro, & Quiroz, 2014). Los datos de temperatura se tomaron en discos de frenos, pastillas de freno, tambores de freno, líquido de freno; posterior a su funcionamiento para determinar la incidencia de la temperatura en cada elemento y seleccionar la mayor afectación, por lo cual los datos se evidencian en la tabla 1.

Tabla 1
Valores de mediciones temperatura

Elemento	30-74°C	75-124°C	125-140°C
Pastillas de freno	32%	55%	4%
Discos de freno	8%	60%	32%
Tambores de freno	84%	12%	4%
Líquido de freno	100%	0%	0%

Fuente: Propia

Se debe tener en cuenta que en las pastillas de freno el 8% de valores restantes sobrepasaron los 140°C llegando a más de 200°C, mediante el análisis de la tabla 1, los resultados en disco de freno son los más relevantes y más constante en elevada temperatura, adicional: si los automotores no se han efectuado un mantenimiento preventivo de limpieza y regulación de tambores de freno, no tienden a ser efectivos y toda la carga se llevan a los frenos de disco delanteros, exactamente en la mordaza de freno que están en contacto directo con por parte de la pastilla de freno, todos los antecedentes mencionados con llevaron a la incorporación de la termocupla en la mordaza de freno delantero del Chevrolet Sail S3 como se ilustra en la figura 7.



Figura 7: Instalación termocupla en la mordaza de freno delantera Sail S3.

Fuente: Propia

Las pruebas se las realizaron mediante la toma de medidas en una ruta establecida, para verificar el funcionamiento y utilidad del sistema, para lo cual se ocupó una ruta en la ciudad de Quito-Ecuador, con un inicio en Calderón y finalización en la Mena 2 al sur de la urbe, un trayecto de 34km, que atraviesa la Av. Simón Bolívar, túnel Guayasamín, Av. Eloy Alfaro, A. Versalles, Túneles, Mariscal Sucre, Mena 2. Como se puede ilustrar en la figura 8.



Figura 8: Ruta de prueba de comportamiento sistema de frenos con dispositivo de alerta.

Fuente: Propia

RESULTADOS

Al realizar la prueba de ruta y toma de valores se obtuvo los datos que se ilustran en la figura 8, en forma de los tres distintos días.

Tabla 2

Valores de mediciones de temperatura de las pruebas con dispositivo instalado en vehículo Sail S3

Kilometraje	Día 1 Temp. °C	Día2 Temp. °C	Día 3 Temp. °C
1	16,75	15,75	16,00
2	19,00	18,25	18,00
3	23,50	21,25	21,00
4	23,00	21,50	21,25
5	24,25	23,75	23,00
6	25,25	27,35	24,25
7	27,00	27,75	27,25
8	23,50	28,75	27,50
9	28,75	31,75	28,25
10	33,00	32,50	30,75
11	27,25	38,50	32,00
12	31,70	38,75	39,50
13	37,50	36,50	41,75
14	41,75	35,25	43,75
15	44,50	33,75	44,50
16	45,55	32,75	45,75
17	49,75	36,25	41,00
18	51,75	43,00	35,25
19	50,00	50,75	33,50
20	49,50	47,25	37,50
21	52,25	42,50	43,75
22	51,25	42,25	44,25
23	47,00	39,50	46,75
24	44,75	42,50	46,25
25	42,75	48,75	42,50
26	43,75	41,50	45,75
27	49,00	41,25	48,25
28	51,00	40,50	43,75
29	48,25	38,25	47,00
30	44,75	46,25	46,75
31	43,50	42,00	45,25
32	43,25	44,50	42,25
33	42,75	45,25	41,75
34	43,00	46,75	42,50

Fuente: Propia

El trayecto del día uno se da inicio a las 06:22 am y termina a las 07:48 am con una duración de 1 hora con 26 minutos. El trayecto del día dos se da inicio a las 06:19 am y termina a las 07:37 am con una duración de 1 hora con 18 minutos. El trayecto del día tres se da inicio a las 06:19 am y termina a las 07:20 am con una duración de 1 hora con 1 minuto.

La curva comparativa de valores obtenidos en los 3 días de pruebas se visualiza en la figura 8, en la cual se distinguen los picos de temperatura.

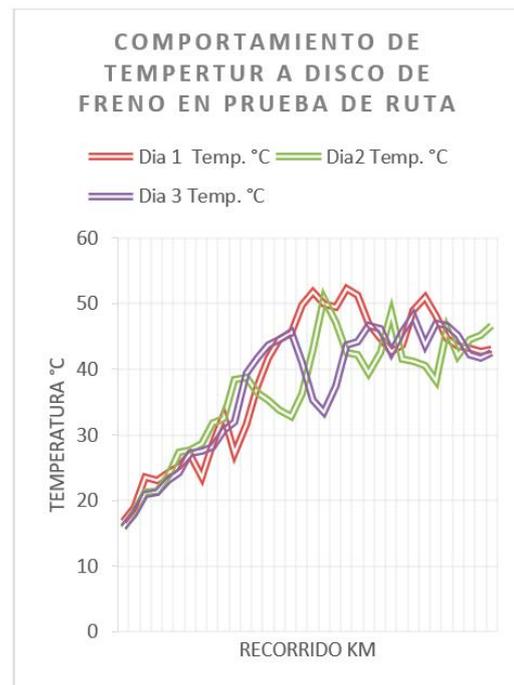


Figura 9: Tendencias de curvas de acuerdo a las pruebas del sistema de alerta en los 3 días.

Fuente: Propia

DISCUSIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos por parte de la ruta establecida y Ley Ecuatoriana de Tránsito se tiene lo siguiente:

El día 1 la velocidad mínima promedio tomada en cada prueba con el velocímetro del vehículo es 20km/h y su velocidad máxima promedio es 90km/h; el ambiente se encontraba a 17°C, con una carga de 3 pasajeros, se tiene que la temperatura más elevada es en el kilómetro 21 del trayecto con un valor de 51,25km/h a las 07:03 am, ocasionada por el tráfico en el túnel Guayasamín, lo que ocasionó el uso repetido del pedal de freno.

El día 2 la velocidad mínima promedio tomada en cada prueba con el velocímetro del vehículo es 30km/h y su velocidad máxima pro-

medio es 90km/h; el ambiente se encontraba a 14°C, con una carga de 3 pasajeros, se tiene que la temperatura más elevada es en el kilómetro 19 del trayecto con un valor de 50,75km/h a las 06:51 am, ocasionada por el tráfico en el túnel Guayasamín, lo que ocasionó el uso repetido del pedal de freno, tal como el día uno.

El día 3 la velocidad mínima promedio tomada en cada prueba con el velocímetro del vehículo es 30km/h y su velocidad máxima promedio es 90km/h; el ambiente se encontraba a 20°C, con una carga de 3 pasajeros, se tiene que la temperatura más elevada es en el kilómetro 27 del trayecto con un valor de 48,25km/h a las 06:52 am, ocasionada por el tráfico en el túnel Guayasamín hacia la Av. Eloy Alfaro, lo que ocasionó el uso repetido del pedal de freno.

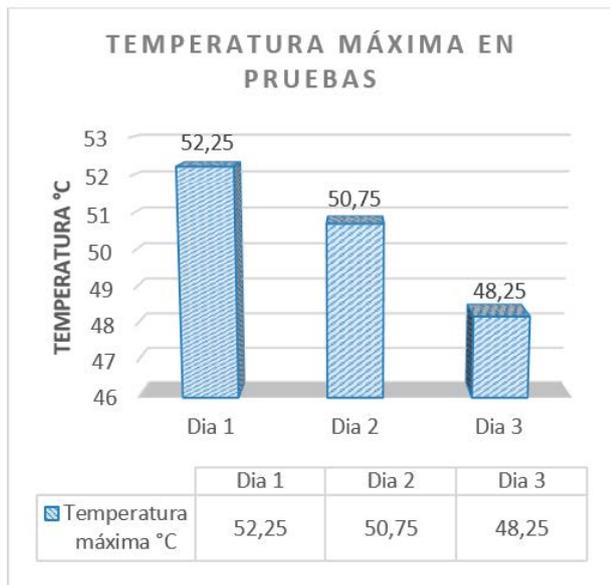


Figura 10: Resumen de temperaturas máximas en pruebas
Fuente: Propia

Dada las pruebas y lo peligroso de sobrecalentar los frenos para activar el circuito de alerta, se sacrificó los discos de frenos forzándolos en la carretera Quito-Latacunga, evidenciando el funcionamiento de la alerta visual y sonora, llegando así a concluir con el funcionamiento adecuado y de una manera satisfactoria.

CONCLUSIONES

El módulo de aviso de sobrecalentamiento de frenos, permite el monitoreo constante de la temperatura de seguridad de funcionamiento del disco de freno, a través del contacto con la pastilla y esta con la mordaza donde se instaló la termocupla, alertando así al conductor y ocupantes sobre la posible falla y a su vez poder preservar la integridad de los usuarios.

El módulo de alerta contribuye como una solución al sobrecalentamiento de los frenos en el automóvil logrando así disminuir el índice de accidentes por tal motivo.

Con las pruebas de ruta realizadas se obtuvieron resultados en el control de la temperatura de frenado, la cual se logró comprobar que, a mayor tránsito, el uso del freno es frecuente y sin ventilación por parte del aire cuando el vehículo transita a velocidad, ocasiona una elevación en la temperatura en el sistema.

La termocupla de medición de temperatura se ubica en la mordaza de freno, esto por la constancia elevada temperatura de mencionada parte del sistema con un 60% de frecuencia de pertenecer a un rango de 75 a 125°C, siendo en su mayoría superior a los distintos elementos; la alerta según encuestas se lo realizó de manera visual con un LCD, y sonora con un buzzer.

Las medidas de temperatura máximas en el transcurso de los tres días poseen una variación del 7,66%, lo que no demuestra que en una ruta establecida no tendremos mayor variación de temperatura en los frenos del automóvil, con lo cual el conductor mediante las alertas podrá planificar su estrategia de manejo.

Se recomienda complementar la investigación con el estudio de alerta de sobrecalentamiento en vehículos de carga pesada, ya que estos tienen un uso con mayor frecuencia, y los

accidentes en estos vehículos tienen terribles consecuencias.

Se recomienda efectuar el estudio de la intercomunicación de las alertas de calentamiento

en distintas etapas a una central de control, el cual sirva para el manejo de flotas de vehículos como transporte, vehículos de estado, alquiler vehicular entre otras, todo esto para precautelar la seguridad de los ocupantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEADE. (2018). Anuario 2018. *AEADE*, 23-54.
- ALAPA. (2016). Los peligros del Recalentamiento de los Frenos. *Brasil*.
- ANT. (14 de Febrero de 2020). *Estadísticas ANT*. Obtenido de <https://www.ant.gob.ec/index.php/ley-de-transparencia/ley-de-transparencia-2020/file/7081-reporte-nacional-de-siniestros-de-transito-202>
- Carranza Sanchez, Y. A., & Beltran Pulido, R. (2003). TRANSFERENCIA DE CALOR DE ESTADO INESTABLE EN FORROS PARA FRENOS. *Unirioja*, 77-82.
- Chevrolet. (12 de Abril de 2019). *Chevrolet-Ecuador*. Obtenido de <https://www.chevrolet.com.bo/wp-content/uploads/Ficha-tecnica-Sail-S3.pdf>
- Dominguez, E., & Ferrer, J. (2015). Sistemas de transmisión y frenado. *Editex*.
- FCEFYN. (06 de Junio de 2015). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOVA*. Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Matemáticas: <https://fcfyn.unc.edu.ar/departamentos/electrotecnia/cat/eye.htm#apunt>
- García, A., & Navarro, K. (29 de Septiembre de 2015). *Panama Hitek*. Obtenido de <http://panamahitek.com/uso-de-pantalla-lcd-con-arduino/>
- López, C., & Paucar, J. (2013). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA DEL FUNCIONAMIENTO DE FRENOS Y VELOCIDAD DEL VEHÍCULO APLICADO A AUTOBUSES INTERPROVINCIALES. *Unirversidad Salesiano Repositorio*.
- Mackay Castro, C., & Poveda Burgos, G. (2016). Revisión al impacto económico del sector automotriz en Japón y su influencia en Ecuador. *Universidad de Guayaquil*, 1-17.
- Muñoz Gallegos, C. A. (2016). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/13728/browse?value=Mu%C3%B1oz+Gallegos%2C+Cristina+Andrea&type=author>
- Ochoa Arrieta, R. E., & Navarro Terraza, O. J. (31 de Agosto de 2017). *ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLAS EN EL SISTEMA DE FRENADO DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR (DEPARTAMENTO DEL CESAR-COLOMBIA)*. Obtenido de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/38076/1/170832.pdf>

Ordúz, M. (2010). Las fallas mecánicas ponen en evidencia el error humano. *El tiempo*.

Reyes, J. S. (2014). A Preliminary Analysis of two Bus Rapid Transit Accidents in Mexico City. *Procedia Engineering*, 624-633.

Segarra Jaque, C. (10 de Abril de 2015). *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/deportes/carburando-autos-automoviles-frenos.html>

Vaca, P., Castro, J., & Quiroz, L. (2014). Banco de pruebas para el análisis y comportamiento. *Repositorio ESPE*.

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA PERSONAS INVIDENTES

MANUFACTURE OF AN ELECTRONIC DEVICE PROTOTYPE FOR INVIDENT PEOPLE

Diana Guerrón Bolaños¹ Diego Romo Caicedo² Priscila Sanchez³

¹Docente IST Vicente Fierro, Tulcán, Ecuador
E-mail: dianagbolanos@gmail.com

²Coodinador Estratégico IST Vicente Fierro, Tulcán, Ecuador
E-mail: diegoromo_408@hotmail.com

³Docente IST Vicente Fierro, Tulcán, Ecuador
E-mail: manuelitasanchez93@gmail.com

Resumen

El dispositivo al que se hace referencia en el presente documento es un prototipo que proporciona información de utilidad a personas con discapacidad visual, que se movilizan dentro de las instalaciones de una entidad o institución pública o privada. El fin del proyecto es que, la persona con discapacidad visual reciba mediante audio información de las áreas que se encuentran a su alrededor, quedando a decisión del usuario el camino que debe tomar y el medio empleado para su movilización diaria (evasión de obstáculos).

Las instalaciones donde las personas con discapacidad visual se van a movilizar deben estar previamente equipadas, en estas instalaciones se identifican los puntos más importantes (llamados sitios de interés), estos se encuentran conectados a una central desde donde se envía la información al dispositivo de los usuarios informando sobre lo que tienen a su alrededor. El dispositivo dispone de una interfaz desde donde puede cambiar el volumen del audio que escucha, pedir ayuda en caso de algún incidente y saber por ejemplo si se desconectó de la central que le brinda la información.

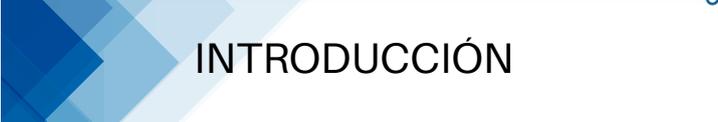
PALABRAS CLAVES - Ayuda técnica, discapacidad visual, dispositivo, invidentes, prototipo.

Abstract

The device referred to in this document is a prototype that provides useful information to persons with visual disabilities, who are mobilized within the facilities of a public or private entity or institution. The aim of the project is for the visually impaired person to receive through audio information about the areas around them, leaving the user's decision on the path to take and the means used for their daily mobilization (avoidance of obstacles).

The information points are connected to the central from where the information is sent to the device of the users informing about what they have around them. The device has a volume control by means of two buttons and a button to request help from the central system. In addition to this the device has a vibrator which will be activated when the device disconnects from the Wi-Fi network.

KEY WORDS - Technical help, visual impairment, device, blind, prototype.



INTRODUCCIÓN

Generalmente cuando se piensa en accesibilidad para personas con discapacidad se lo relaciona con rampas y puntos de fácil acceso y se deja por fuera a herramientas para invidentes.

Normalmente las personas acceden a las características del entorno: distancias, medidas de la instalación y ubicación de las diferentes áreas por medio del sentido de la visión; pero para una persona no vidente, si anteriormente no ha estado en ese entorno, estará totalmente desinformada del lugar donde se encuentra, lo que le dificulta identificar las áreas que lo conforman; esto le genera un menor grado de seguridad y mayor ansiedad.

De acuerdo a datos de la Organización Mundial de la Salud, a nivel mundial se estima que 1300 millones de personas viven con alguna forma de discapacidad visual (deficiente visión de lejos, deficiente visión de cerca o ceguera total). Con respecto a la visión de lejos, 188.5 millones de personas tienen una deficiencia visual moderada, 217 millones tienen una deficiencia visual de moderada a grave y 36 millones son ciegas (Organización Mundial de la Salud, 2011).

En el Ecuador la entidad encargada de mantener el registro de personas con algún tipo de discapacidad es el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades; de acuerdo a los datos registrados en esta entidad, en la provincia del Carchi se registran 611 personas con

diferentes grados de discapacidad visual, es así que 194 personas tienen de 30% a 49% de discapacidad, 178 personas de 50% a 74% de discapacidad, 179 personas de 75% a 84% de discapacidad y 40 personas de 85% a 100% de discapacidad; del total de personas registradas en la provincia, el 52.373% son de género masculino y 47.627% son de género femenino (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2020).

La Ley Orgánica de Discapacidades, en su artículo 58 establece que: "Se garantizará a las personas con discapacidad la accesibilidad y utilización de bienes y servicios de la sociedad, eliminando barreras que impidan o dificulten su normal desenvolvimiento e integración social. En toda obra pública y privada de acceso público, urbana o rural, deberán preverse accesos, medios de circulación, información e instalaciones adecuadas para personas con discapacidad" (Consejo de Discapacidades, 2012, p.14)

De ahí la importancia del desarrollo de una ayuda técnica que mediante el uso de la tecnología ayude a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad mediante dispositivos que les permitan alcanzar mayores niveles de autonomía y oportunidades.

La presente investigación, se realiza con el objetivo de implementar un dispositivo electrónico que permita una mayor inclusión a perso-

nas con discapacidad visual en el Instituto Superior Tecnológico Vicente Fierro, para lo cual se parte de identificar las restricciones técnicas de diseño (fuente de energía, autonomía, tamaño y peso); para continuar con la selección de

los componentes electrónicos, diseñar y construir el hardware del dispositivo, desarrollar el software que lo controla y finalmente realizar pruebas de funcionamiento del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación parte del método cualitativo, orientado a profundizar en el estudio de nuevos dispositivos electrónicos que beneficien de manera específica a personas que presenten discapacidad visual total o parcial.

Los beneficiarios directos de esta investigación se consideran a las personas con discapacidad visual del cantón Tulcán, donde se registran 313 personas con esta discapacidad de acuerdo al Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades.

Se emplea una investigación de tipo descriptiva, que permite la identificación de rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio, iniciando el proceso con la identificación del problema a resolver, los objetivos a alcanzarse, su fundamentación teórica y la metodología para la evaluación de los resultados en el proceso investigativo.

El fin de esta investigación es dar una asistencia técnica a personas con discapacidad visual; partiendo del problema que una persona con discapacidad visual no percibe alrededor del 80% de la información del medio que le rodea (Aquino Zuñiga, Garcia Martinez, & Izquierdo, 2012). El reto consiste en cómo hacer conocer a la persona no vidente la información que no percibe por la naturaleza propia de su discapacidad.

El oído es el segundo sentido (después de la visión) por el cual se recibe más información del entorno y es el sentido que se decide utilizar

para hacerle conocer a la persona con discapacidad visual de la información de su entorno por medio de una ayuda técnica que le permita ganar autonomía en el desarrollo de sus actividades (Orfila, 2015).

En el desarrollo del dispositivo se partió de la premisa que debe ser fácil de usar para todas las personas, independientemente del grado de discapacidad visual que presenten, es decir debe ser de instrucciones simples, y que pueda ser usado con el mínimo esfuerzo posible, permitiendo al usuario mantener una posición natural del cuerpo mientras utiliza el elemento.

En cuanto a las dimensiones físicas y peso, el dispositivo debe tener un tamaño adecuado, que permita la fácil manipulación del mismo pero que tampoco entorpezca el normal desarrollo de las actividades por parte del usuario. Así mismo los componentes electrónicos deben ser eficientes en el consumo de energía para optimizar el tamaño de la batería y maximizar la autonomía del dispositivo.

La funcionalidad que se desarrolló en el dispositivo es que el usuario pueda obtener información del entorno como una persona con visión normal la obtiene al interpretar las señales informativas que existen en las diferentes áreas (o sitios más importantes) al interior de una institución.

El funcionamiento con el que se concibió el dispositivo es el siguiente: cuando una persona no vidente que porta el dispositivo se acerca

a un área de interés (punto de información), el sistema a través de sensores instalados detecta su presencia. Dependiendo del lugar en donde se encuentre la persona, el sistema se comunica con el dispositivo que lleva la persona y le proporcionará a través de audio la información más importante (oficina, aulas y rutas) con mensajes como: "a su derecha puede ingresar al aula número 1" o "continuando al frente puede ingresar al laboratorio de circuitos", etc.

Si el dispositivo por alguna razón se llegara a desconectar o perdiera comunicación con el sistema central, este vibrará continuamente haciéndole conocer al usuario del problema suscitado; y en caso de que el usuario tenga algún accidente o percance puede enviar una señal de auxilio al sistema para que pueda ser asistido.

La selección de los componentes electrónicos para la construcción del hardware se realiza en base a los requerimientos del sistema descrito anteriormente; siendo los principales los que se detallan a continuación:

- Microcontrolador o placa de desarrollo
- Sensores para la detección de la persona
- Sistema auditivo
- Comunicación de los dispositivos
- Sistema de alimentación

2.1 Del Hardware

Para alcanzar las funcionalidades ya descritas, se utilizaron los siguientes componentes:

2.1.1 DFPlayer mini

Es un reproductor de audio que se puede conectar a cualquier placa de desarrollo para reproducir audio en formatos de fichero MP3, WMA y WAV. La tarjeta dispone de un lector de micro SD que es compatible con FAT16 y FAT32 hasta una capacidad máxima de 32 GB, en cuanto a la reproducción puede proporcionar velocidades de muestreo de 8, 11.025, 12, 16, 22.05,

24, 32, 44.1 y 48 kHz y un convertor digital-análogo de 24 bits. En la Tabla 1 se muestran sus características principales.

Tabla 1
Características del reproductor DFPlayer mini

Voltaje alimentación	3.2 – 5 V
Corriente standby	20 mA
Dimensiones	21x21x12 mm
Peso	4 gr.

Fuente: Propia

2.1.2 NodeMCU

Es una tarjeta de desarrollo que está basada en el ESP8266EX catalogado como un sistema en chip (SoC), consiste en un chip el cual incluye el firmware que se ejecuta en el SoC Wi-Fi ESP8266, mismo que permite programarlo y ejecutar instrucciones con el lenguaje interpretado LUA pero también puede ser programada con el entorno de desarrollo de Arduino. Las características principales de este dispositivo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2
Características de la tarjeta NodeMCU

Voltaje Alimentación (USB)	de	3.3 VDC - 5 VDC
CPU		Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)
Frecuencia de Reloj		80MHz/160MHz
RAM		32KB
Memoria Flash Externa		4MB
Pines Digitales GPIO		17 (pueden configurarse como PWM a 3.3V)
Convertor digital	análogo	Un pin (0 - 1V)
Puertos comunicación serial	de	2
Módulo Wi-Fi		2.4 GHz, 802.11 b/g/n
Corriente consumida	máxima	170 mA

Fuente: Espressif System

2.1.3 Vibrador

Se utiliza un micromotor de corriente continua el cual tiene un eje excéntrico y que al rotar produce una vibración. Se escogió este motor debido a su reducido tamaño y su reducido consumo energético lo cual contribuirá a alargar la autonomía del dispositivo. En la Tabla 3 se detallan las características del vibrador empleado en el prototipo.

Tabla 3
Características del vibrador

Voltaje alimentación	3 V
Corriente	100 mA a 12500 rpm
Dimensiones	11.6x4.6x4.8 mm
Peso	10 gr.

Fuente: Propia

2.1.4 Arduino

Es una tarjeta de desarrollo compatible con una gran cantidad de hardware disponible en el mercado, cuyas características se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4
Características de la tarjeta Arduino Uno

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje entrada	7-12V
Voltaje limite	6-20V
Digital I/O Pins	14(de los cuales 6 son salidas PWM)
Entradas analógicas	6
DC corriente	40Ma
DC corriente limite	50Ma
Memoria	32KB
Proceso	16MHZ

Fuente: Propia

2.2 Desarrollo del Software

Para el desarrollo del software se utilizaron las siguientes herramientas:

2.2.1 IDE Arduino

Es un conjunto de herramientas software que se utiliza para el desarrollo de aplicaciones con facilidades para la adquisición de información a través de sensores y el control de actuadores, tiene soporte a lenguajes de programación como C, C++, el nuevo C# y Java (Ontiveros-Paredes, Rojas-Balbuena, & Martínez-Paredes, 2014).

2.2.2 Python

Es un lenguaje de programación interpretado es decir, que los programas creados con este lenguaje pueden funcionar en cualquier sistema operativo, puesto que soporta distintos estilos de programación y puede utilizarse para diferentes tipos de programas.

RESULTADOS

En el desarrollo del dispositivo se analizaron módulos, sensores, tarjetas de desarrollo, entre otros materiales para su implementación teniendo en cuenta las características descritas en la Figura 1.

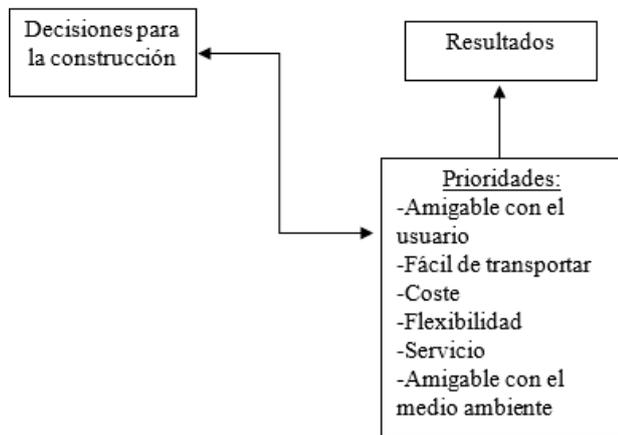


Figura 1: Modelo de la investigación
Fuente: Propia

Se consideró la capacidad de desarrollar un prototipo que sea amigable con el usuario, de fácil transporte y lo más importante que no contamine el medio ambiente.

Con la concepción de funcionamiento que se desea, se realizaron dos iteraciones en la construcción del dispositivo.

3.1 Primera Versión

Una vez que el usuario haya escogido un camino dentro de la institución, se pone en marcha, pasado un tiempo el usuario llegará hasta un determinado punto (sitio de interés) en donde el sistema le informa de los elementos y/o caminos que tiene a su alrededor, para que tome su camino en función de las necesidades particulares que el usuario tenga.

La primera versión consta del dispositivo que la persona con discapacidad lleva en su cuerpo para conocer la información de su alrededor, este dispositivo cuenta con una tarjeta de Desarrollo Arduino, un módulo bluetooth y un sistema de audio para informar al usuario, como se muestra en la Figura 2.

Los sitios de interés cuentan con un sensor de presencia con el cual se detecta al usuario; una vez detectado se informa a la central de la ubicación del usuario mediante comunicación RS-232 y ésta a su vez se comunica con el dispositivo que lleva el usuario para que le informe de lo más relevante que hay en el sitio donde se encuentra.

La central es un computador que cuenta con conexión bluetooth y RS-232 y ejecuta un programa escrito en Python, ésta se comunica con todos los sitios de interés a través de RS-232 para saber si hay la presencia o no de un usuario y dependiendo de ésta información enviar la información que se le debe suministrar al usuario a través de bluetooth.

Uno de los problemas en esta primera versión, se presentó con el alcance de comunicación que se da entre la central y el dispositivo que porta el usuario, debido a que a cierta distancia la comunicación entre el dispositivo y la central se perdía y el usuario queda completamente solo.

A raíz de este problema también se detectó que el usuario no tenía forma de saber que el dispositivo que le debe ayudar se quedó sin comunicación y está solo.

Otro punto a resolver fue también el control del volumen del audio que la persona escucha, ya que, en las pruebas realizadas, en el momen-

to de darle el dispositivo al usuario el volumen estaba bien, pero se presentaban ocasiones en donde el ruido ambiental era alto y el usuario tuvo dificultades para entender lo que se le estaba informando.

En otra de las pruebas, cuando se entregó el dispositivo al usuario, éste estaba configurado con un volumen un poco más alto (con el fin de prever algún ruido ambiental que se pueda presentar), sin embargo, ocurrieron circunstancias en donde no hubo ruido ambiental, y el usuario se sintió incómodo al escuchar el audio con volumen alto.

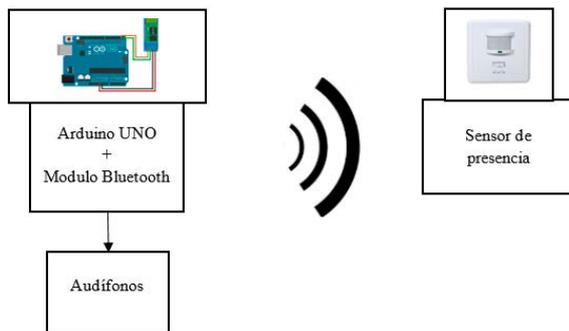


Figura 2: Sistema de prueba 1
Fuente: Propia

3.2 Segunda Versión

El fin del dispositivo es el mismo, es decir, informar al usuario de los caminos y lugares que tiene a su alrededor, en la segunda iteración del dispositivo se solucionaron los problemas presentados en la primera versión, como el corto alcance de la comunicación entre la central y el dispositivo que porta el usuario, la desinformación por parte del usuario cuando se quedaba desconectado de la central y el control de volumen del audio para la comodidad del usuario.

En esta versión el dispositivo que lleva el usuario consta de una placa de desarrollo con conectividad Wi-Fi incluida, un sistema de au-

dio, pulsadores para el control de volumen y un sistema de vibración para una mejor interacción con el usuario como se muestra en la Figura 3.

En los sitios de interés, se mantienen con los mismos dispositivos: un sensor de presencia y la comunicación RS-232 con la central para informar de la ubicación de la persona no vidente.

La central es un ordenador con conectividad a Wi-Fi, comunicación RS-232 y un paquete de software para ejecutar instrucciones del lenguaje de programación Python que permite comunicarle al usuario de las diferentes rutas.

Al realizar las pruebas con esta versión se solucionó el problema de la conectividad del dispositivo con la central, ya que el protocolo Wi-Fi tiene mayor alcance que bluetooth y la red está presente en toda la institución.

Al dispositivo que lleva el usuario también se le implementó una interfaz a través de pulsadores para que el usuario pueda controlar el volumen a su comodidad y dependiendo de las circunstancias externas como el ruido ambiental.

Adicionalmente, al dispositivo se le incorporó un sistema de vibración que tiene por objeto una mejor interacción con el usuario; de esta manera el dispositivo vibra cuando pierde conexión con la central (realizada a través de Wi-Fi) con lo cual el usuario sabe que algo pasó.

En la prueba realizada al dispositivo se mostró que el sistema implementado es de gran ayuda a las personas invidentes ya que las hace más autónomas debido a que con el bastón blanco se pueden trasladar (es su sistema de navegación) y con el dispositivo aquí detallado obtienen información de su alrededor (de los puntos más importantes) lo cual reduce en gran medida su dependencia, haciéndolas más autónomas en la realización de sus actividades.

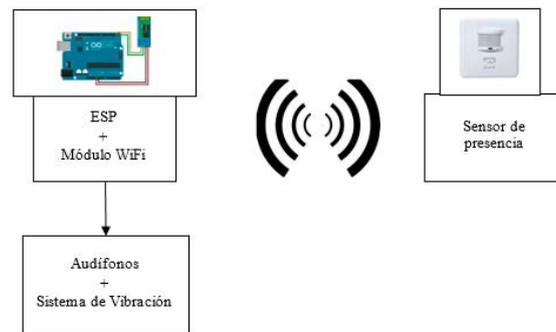


Figura 3: Sistema de prueba 2
Fuente: Propia

DISCUSIÓN

Con este trabajo se pretende mitigar algunas de las problemáticas que se les presentan a personas con discapacidad visual, específicamente en lo que se refiere a la adquisición de información del medio en el cual se encuentran, desarrollado para uso en ambientes interiores en donde el objetivo es darle al usuario mayor autonomía por medio de una asistencia técnica, evitando así que requiera la ayuda de un tercero para indicarle las áreas que se encuentran a su alrededor.

En el mercado existen dispositivos electrónicos creados específicamente para las personas que presentan discapacidad visual, en su mayoría el objetivo es la detección de obstáculos con la finalidad de evitarle accidentes al usuario.

El dispositivo desarrollado con este proyecto, pretende que el usuario al llegar a los sitios de interés, el sistema lo detecta y le informa a través de audio de los elementos y/o caminos que existen a su alrededor, permitiéndole movilizarse de manera segura hasta encontrar su destino sin la ayuda de un acompañante.

CONCLUSIONES

Este trabajo es un aporte para que las instituciones públicas y privadas den cumplimiento a las diferentes leyes y normativas en materia de inclusión a personas con discapacidad.

El prototipo desarrollado es pequeño y liviano lo cual hace que sea de fácil portabilidad y no interviene en el desarrollo normal de las actividades de los usuarios.

Para la selección de los componentes electrónicos, se consideraron las características técnicas que permitan cumplir con el objetivo del proyecto, y optimizar el consumo de energía para garantizar su funcionamiento.

El proceso de diseño y desarrollo de un prototipo hace hincapié en los métodos y tecnología utilizada, para aportar con un dispositivo que es fácil

de usar y que genera mayor seguridad y autonomía a las personas con discapacidad visual para desplazarse de un lugar a otro dentro del entorno.

El prototipo desarrollado no es la solución a toda la problemática a la que una persona invi-

dente o con visión reducida se enfrenta debido a la naturaleza de su discapacidad, sino que es un complemento a los mecanismos de ayuda técnica que se encuentran actualmente en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino Zuñiga, S. P., Garcia Martinez, V., & Izquierdo, J. (23 de Noviembre de 2012). La inclusión educativa de ciegos y baja visión en el nivel superior. Un estudio de caso. *SCielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-109X2012000200007
- Consejo de Discapacidades. (25 de Septiembre de 2012). *Consejo de Discapacidades*. Obtenido de Consejo de Discapacidades: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2020). *Personas Registradas en el Registro Nacional de Discapacidad*. Quito.
- Espressif System. (s.f.). *Mikronroller*. Obtenido de Mikronroller: https://www.mikrocontroller.net/attachment/231858/0A-ESP8266_Specifications_v4.pdf
- Ontiveros-Paredes, S. D., Rojas-Balbuena, D., & Martínez-Paredes. (2014). Ontiveros-Paredes, Sandra Denisse; Rojas-Balbuena, Dorian; Martínez-Paredes. *Científica*, 9.
- Orfila, M. D. (2015). La vista es el sentido mas importante. *Cromo*. Obtenido de <https://www.elobservador.com.uy/nota/la-vista-es-el-sentido-mas-importante-20151304550>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe Mundial sobre la Discapacidad*. Malta.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ENCHUFABLE EN EL VEHÍCULO TOYOTA PRIUS HÍBRIDO DE TERCERA GENERACIÓN

IMPLEMENTATION OF THE PLUG-IN SYSTEM IN THE THIRD GENERATION TOYOTA PRIUS HYBRID VEHICLE

Andrés Moreno Constante ^{1*} Dario Borja Soto² José Beltrán Ruiz³

1 Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Física y Matemáticas, Quito, Ecuador
E-mail: asmorenoc@uce.edu.ec

2 Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad Ciencias Física y Matemáticas, Quito, Ecuador
E-mail: dxborjas@uce.edu.ec

3 Comisión de investigación IST Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jbeltran@istct.edu.ec

* Autor a quien debe ser enviada la correspondencia

Resumen

En los vehículos híbridos uno de los mayores problemas que posee es la vida útil de las baterías de alta tensión por su autonomía y durabilidad. La investigación presenta una mejora en la autosuficiencia eléctrica del vehículo híbrido Toyota Prius de tercera generación al adaptar el sistema enchufable y baterías en paralelo de alta tensión. Se realiza pruebas dinámicas utilizando un modelo de protocolo a fin de realizar pruebas de recorrido con el vehículo en condición híbrida y con el sistema enchufable, los mismos que sirvieron para determinar el recorrido en ciudad en el distrito metropolitano de Quito(100 km) y carretera desde la ciudad de Latacunga hacia la ciudad de Quito(108 km), se monitoreo mediante el uso de una interfaz computacional (OBDLink SX EOBD), la cual muestra el consumo de combustible en galones y la distancia recorrida en millas, permitiendo descubrir una relación entre la distancia y consumo de combustible, donde se comprobó el incremento de la auto eficiencia eléctrica de 48[Km] en ciudad y 20 [Km] en carretera.

Palabras clave– Sistema Enchufable, Vehículo Híbrido, Batería de alto voltaje, Autonomía, Consumo de combustible, Protocolo de pruebas.

Abstract

In hybrid vehicles, one of the biggest problems it has is the useful life of high-voltage batteries due to its autonomy and durability. The research presents an improvement in the electrical self-sufficiency of the third-generation Toyota Prius hybrid vehicle by adapting the plug-in system and parallel high-voltage batteries. Dynamic tests are carried out using a protocol model in order to carry out route tests with the vehicle in hybrid condition and with the plug-in system, which were used to determine the route in the city in the metropolitan district of Quito (100 km) and highway from the city of Latacunga to the city of Quito (108 km), it was monitored through the use of a computer interface (OBDLink SX EOBd), which shows the fuel consumption in gallons and the distance traveled in miles, allowing to discover a relationship between distance and fuel consumption, where the increase in electrical self-efficiency of 48 [Km] in the city and 20 [Km] on the highway was verified

Index terms—Plug-in System, Hybrid Vehicle, High-voltage battery, Autonomy, Fuel consumption, Test protocol.

INTRODUCCIÓN

El daño de salud de las personas son causados por numerosos problemas en los que destacan el perjuicio a la capa de ozono y el calentamiento global causado por la contaminación ambiental de los vehículos, por lo que nace la exigencia de utilizar automotores que contengan tecnologías limpias y que empleen energías renovables, con el fin de disminuir las emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera como afirma (Cajamarca & Garcia, 2016).

Los principales retos a cumplir en los últimos tiempos por parte de sector automotriz ha sido disminuir emisiones tóxicas a la atmosfera e incrementar la autonomía del vehículo ya que el problema del calentamiento global que sufre el planeta, se debe a los miles de millones de automotores que transitan alrededor del mundo y a las emisiones contaminantes que generan como se menciona (Naranjo & Moreno, 2017).

El desarrollo de nuevas tecnologías es una notable forma para proteger el medio ambiente, por medio de automotores híbridos que trabajan con baterías de alta tensión y un motor de combustión interna. Los vehículos menciona-

dos tienen hasta un 50% menos de consumo de combustible es así que generan menos gases contaminantes al medio ambiente a comparación de un automotor convencional como se menciona en la investigación de (Cajamarca & Garcia, 2016).

Los vehículos híbridos son un medio tecnológico eficiente con tecnología para el ahorro de combustible y mantener el medio ambiente, ya que el sector automotriz al igual que el mundo entero está pendiente de las emisiones contaminantes producidas por los automotores, es así que se fabrican vehículos con diferentes tipos de propulsión: motor térmico y con motores eléctricos; de esa manera se reduce los gases tóxicos. Al fabricar automotores híbridos se busca aumentar la eficiencia y autonomía mediante tecnología de punta como se menciona (Pástor, 2015).

Los vehículos enchufables tienen como ventaja de los vehículos híbridos en que las baterías de alta tensión se recargan de manera independiente ya que tiene acceso a un conector hacia la red eléctrica de 110 o 220 voltios. Además

que tienen dos condiciones de funcionamiento como son: en distancias que no superan los 10 kilómetros funcionan en modo híbrido y en distancias que son mayores a 10 kilómetros funciona el motor térmico a su vez la parte híbrida, dado estas condiciones la autonomía en modo eléctrico del vehículo va ser mayor como firma (Soto, 2019).

La reutilización de las baterías de alta tensión puede minimizar el impacto ambiental mediante la reducción de energía requerida para su producción, así como los daños medioambientales causados por los peligrosos materiales usados en su fabricación por lo cual el reciclaje de estas baterías de alto voltaje ayudarían en la adaptación de sistemas enchufables dando más vida útil a la batería original y a su vez ayudando en la autonomía del vehículo de acuerdo con (Iza, 2017).

La mayor movilidad que emplea la sociedad es mediante los automotores como medio de transporte es así que para desplazamiento de corta distancia los automóviles con el sistema enchufable son ideales para las ciudades en su entorno rural y urbano ya que en estos trayectos se puede recuperar la energía en las frenadas por medio de los frenos regenerativos y no consumir durante las paradas. Este sería impulsado por el motor generadores y su vez con un motor de ciclo atkinson para realizar autonomías mayores. Cabe destacar que con el sistema enchufable la mayor parte de distancias recorridas son por medio del uso de la energía eléctrica acumulada en las baterías de alta tensión lo que representa energía limpia de la red para su autonomía como expresa en la investigación de (Iniasta, 2015).

Los vehículos enchufables suelen operar en diferentes condiciones dependiente de la trayectoria de manejo que tenga, es así que primero funciona como su parte eléctrica pura hasta que se carguen las baterías de alta tensión ya sea por medio de red eléctrica o por los frenos regenerativos que posee el automotor según (Xiaosong, 2016).

En la comunidad ecuatoriana se puede desarrollar un posible impacto, como la que representa la introducción del vehículo enchufable lo que favorecería a la reducción de gases contaminantes al medio ambiente y mayor autonomía a los automóviles y así que contribuyan sosteniblemente el consumo energético renovable sin desmejorar la movilidad de los ecuatorianos en las ciudades y su calidad de transporte según (Santana, 2016).

Los vehículos enchufables tienen ventajas a comparación de los vehículos híbridos en términos de disminuir las emisiones de gases al medio ambiente, gracias al consumo de energía eléctrica adicional que posee este sistema, en lugar de gasolina u otros combustibles fósiles de acuerdo con (Laberteaux, 2019)(ii)

Los vehículos híbridos presentan la ventaja que tienen la facultad de convertirse en híbridos enchufables con el fin de conectar a la toma de la red eléctrica para recargar las baterías de alta tensión siempre y cuando se implemente el sistema enchufable y las baterías adicionales de alto voltaje .

Con el fin que el vehículo tenga energía adicional y que el motor térmico se encienda en un menor tiempo sin causar una disminución de la autonomía, y así tener la ventaja de la carga de la batería adicional ya que el vehículo puede ocupar la energía eléctrica y circular en modo solo eléctrico y cuando se termine dicha energía el automotor pasará a funcionar como un híbrido normal como señala la investigación de (Guevera, 2015).

En esta investigación se implementó el sistema enchufable, para recargar las baterías de alto voltaje adicionales por medio de un módulo cargador, además se realizó un proceso de carga, descarga y recarga de la batería con el fin de incrementar la autonomía del vehículo Toyota Prius y reducir gases contaminantes al medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación se utilizó un vehículo Toyota Prius de tercera generación en donde se implementó el sistema enchufable y así lograr reducir el consumo de combustible, emisiones de gases al medio ambiente y aumentar su autonomía.

2.1. PROCESO DE SELECCIÓN DE LA BATERÍA ADICIONAL DE ALTA TENSIÓN

Se realizó la selección de la batería adicional de alta tensión por medio de los procesos de descarga y carga para determinar el porcentaje de duración de cada celda y a su vez una ecualización de voltajes, cabe recalcar que las celdas utilizadas fueron recicladas de los pack que realizan los cambios cuando el módulo del control híbrido detecta una variación de 1V entre cada bloque y es así que se preparó un nuevo pack de 28 celdas a un 75% de vida útil.

2.2. ECUALIZACIÓN DE LA BATERÍA ADICIONAL DE ALTA TENSIÓN

Con la batería adicional de alto voltaje que esta conformada por 28 celdas se procede con la ecualización, lo que consiste en lo siguiente: durante proceso de carga si existe alguna celda dañada esto quiere decir con su capacidad deficiente, existe el riesgo que durante el desarrollo la celda alcance la totalidad de su carga en un tiempo menor y exista una sobrecarga hasta que el resto de las celdas se carguen por completo. Lo que puede ocasionar el incremento de presión y temperatura y a su el deterioro de la celda.

En el proceso de descarga, la celda más dañada o deteriorada puede tener una descarga total llegando a ser probable que el voltaje de la celda disminuya con facilidad hasta que se in-

vierta sus polos, llegando así al daño total de las celdas y de la batería en conjunto.

Para evitar estos daños se realiza la ecualización de las celdas para que las que se encuentren con mayor voltaje cedan a las celdas que poseen menos voltaje equilibrando y obteniendo procesos de carga y descarga pareja.

La implementación del sistema se conformó con diferentes módulos los cuales son imprescindibles para su perfecto funcionamiento y se menciona a continuación.

- Módulo de conmutación del terminal positivo
- Módulo de seguridad
- Módulo de la señal del sensor app
- Cargador de la batería de alta tensión adicional.

Se utilizó el software de simulación de circuitos eléctricos Live Wire en donde se diseñaron los circuitos de cada uno de los módulos que ayudarán al control híbrido del vehículo.

2.3. MÓDULO DE SEGURIDAD

Este módulo es el encargado de no permitir la conducción del vehículo mientras se encuentre conectado el cable al toma corriente de la red de 220V, generando un código de diagnóstico que no habilita el "READY" o encender el vehículo, el diagrama del módulo se observa en la figura 1.

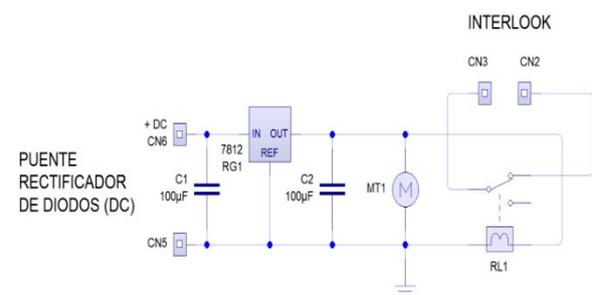


Figura 1. Diagrama eléctrico del módulo de seguridad
Fuente: Autores

2.4. Módulo de la señal del sensor de posición del pedal del acelerador

Para el diseño de este módulo se realizó previamente las mediciones en cada cable del sensor de posición del pedal de aceleración que se detallan a continuación en la siguiente tabla 1.

Tabla 1
Mediciones del sensor de posición del pedal del acelerador

COLOR	[V] CONECTADO	[V] DESCONECTADO	IDENTIFICACIÓN
VERDE	5 [V]	5	Vref
ROJO	8,2 [mV]	8,2 [mV]	GND
BLANCO	-	1,620 [V] / 3,87 [V]	Vs / 100%
AMARILLO	5 [V]	5	Vref
NEGRO	8,2 [mV]	8,2 [mV]	GND
AZUL	-	0,808 [V] / 3,119 [V]	Vs / 100%

Fuente: Autores

El comparador analógico que se seleccionó para poner en funcionamiento el módulo de la señal del sensor APP es el CA3140EZ debido a que es de tipo mosfet y muy sensible a bajas frecuencias siendo preciso al momento de enviar la señal al módulo de conmutación del terminal positivo.

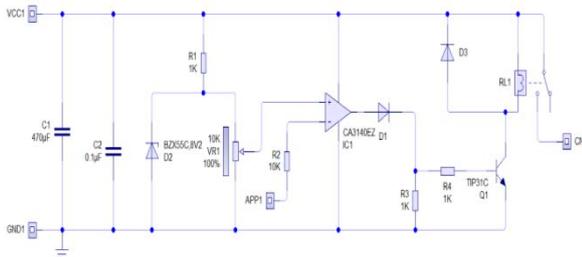


Figura 2: Diagrama eléctrico del módulo de la señal del sensor de posición del pedal de aceleración
Fuente: Autores

2.5. Cargador de la batería DE ALTA TENSIÓN adicional

Es el encargado de recargar la batería de alta tensión adicional a un amperaje de 0,74A, alimentado de la red eléctrica de 220V. El puente rectificador de AC-DC tiene una constante de 1,4 dependiendo del voltaje de la red como se

especifica en la ecuación (1) y en la figura 3 se verifica el diagrama eléctrico del cargador

$$V_f = V_{red} * 1.4 \quad (1)$$

Donde:

V_f : Voltaje de carga. [V]

V_{red} : Voltaje que entrega la red. [V]

$$V_f = V_{red} * 1.4$$

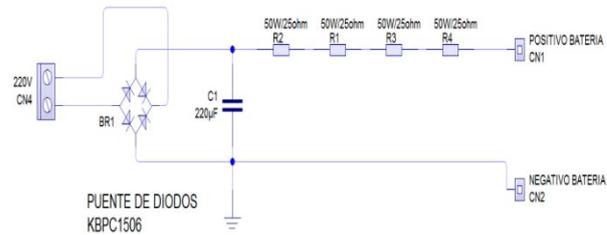


Figura 3: Cargador de la batería de alta tensión
Fuente: Autores

2.6. Módulo de conmutación del terminal positivo

A través de este módulo se conecta en paralelo el terminal positivo de la batería de alta tensión adicional hacia la original en el cual dispone de dos relés encargados de realizar el aporte antes o después del sensor de corriente dependiendo de la señal que reciba del módulo del sensor de posición del pedal del acelerador

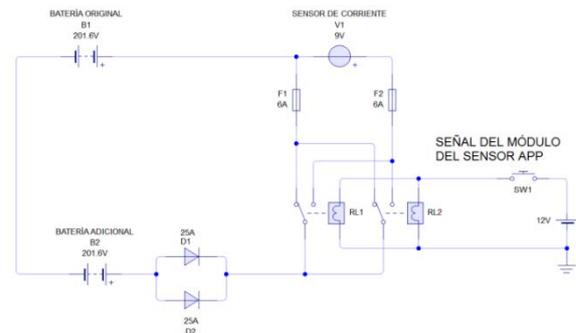


Figura 4: Diagrama eléctrico del módulo de conmutación del terminal positivo
Fuente: Autores

Los equipos utilizados para la comprobación de la batería de alta tensión adicional del vehi-

culo Toyota Prius híbrido de tercera generación fue el un multímetro automotriz para determinar voltajes al iniciales de la carga y final de la descarga, con la ayuda del interface OBDLink SX EOBD permitió elaborar una tabla comparativa del incremento de la autonomía del vehículo al implementar dicho sistema, con la ayuda de la ecuación 2 se pasa de millas a kilómetros.

$$Auto\ d \quad dist\ OBDWIZ \quad \frac{1\ 609\ km}{1\ milla} \quad (2)$$

Donde:

Auto.d: Autonomía de distancia del vehículo [Km]

dist.OBDWIZ: Distancia obtenida con el interfaz [millas]

El trayecto que se escogió para la investigación consistió en cuatro partes tanto en carretera y ciudad con el hibrido original y adaptado los componentes para el sistema enchufable, con el fin de obtener datos iniciales y finales de las dos rutas y verificar la autonomía del vehículo al implementar el sistema enchufable, las cifras de cada prueba son los siguientes: Ruta en autopista con un tiempo de 1 hora con 32 minutos y una trayectoria de 108 kilómetros, el punto de partida fue desde la estación de servicio Petro-Ecuador de la Ciudad de Latacunga hasta el centro comercial Santa María en el sector de Carapungo en la ciudad de Quito. El trayecto en la urbe tuvo como punto de partida desde el centro comercial el Condado hasta el Instituto Vida Nueva en la ciudad de Quito con un tiempo de 6 horas y con una trayectoria de 100 kilómetros.

RESULTADOS

3.1. Análisis de los valores obtenidos en el proceso de carga y descarga de la batería de ato voltaje adicional

Se realizó el proceso de carga de cada celda al finalizar esta prueba las celdas se dejan reposar durante 10 minutos y al realizar la medición con la ayuda de un voltímetro cada celda debe mantener la tensión nominal de 7.2V en caso de que la lectura sea inferior al nominal se descarta la celda. En la figura 5 de detalla los voltajes obtenidos

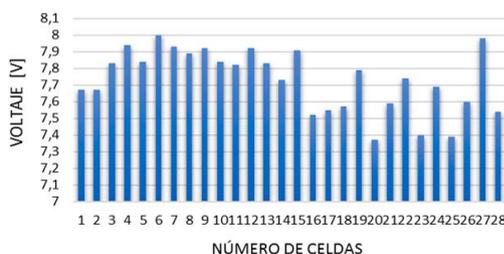


Figura 5: Voltaje de cada celda en proceso de carga Fuente: Autores

El proceso de descargar se lo realizó a 1 amperio durante 2 horas a la batería de alta tensión y a la vez se monitoreo cada 10 minutos el voltaje nominal de cada celda el cual no debe caer del 7,2 voltios, los resultados se identifican en la imagen 6.



Figura 6: Voltaje de cada celda en proceso de descarga Fuente: Autores

3.2. Analisis de resultados de la ecualización de la batería de alto voltaje adicional

Para la ecualización de la batería de alta tensión adicional, se debe conectar en paralelo los

polos de de las celdas, logrando así que las celdas que se encuentren con mayor voltaje cedan a las celdas que poseen menos voltaje equilibrando y emparejando, en la imagen 7 se muestran los resultados



Figura 7: Celdas ecualizadas
Fuente: Autores

3.3. Valores obtenidos en la ruta carretera con el sistema híbrido estándar y con el sistema enchufable.

Con la ayuda del interfaz OBDLINK SX EOBD se obtiene los siguientes valores y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Valores obtenidos en la ruta carretera

Hora Inicio	Hora final	Estado	Distancia [millas]	Consumo o Interfaz OBDwiz [gl]
07:45	09:17	Híbrido estándar	67.10	1,43
07:45	09:17	Plug in	67.10	1,16

Fuente: Autores

Se desarrolló la conversión de millas a kilómetros con la ayuda de la ecuación 2 obteniendo 108 km de autonomía con 1,43 galones de combustible en híbrido normal y 1,16 galones de combustible con el sistema enchufable obteniendo una autonomía adicional de 20 km en la figura 8 de observan los resultados.

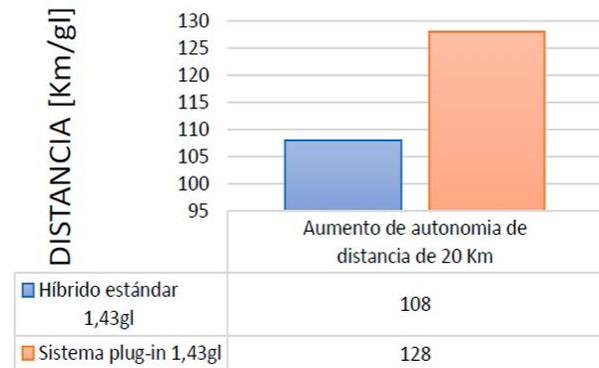


Figura 8: Aumento de autonomía en la ruta carretera
Fuente: Autores

3.4. Valores obtenidos en la ruta ciudad con el sistema híbrido estándar y con el sistema enchufable.

Con la ayuda del interfaz OBDLINK SX EOBD se obtiene los siguientes valores y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Valores obtenidos en la ruta ciudad

Hora Inicio	Hora final	Condición	Distancia [millas]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
08:40	14:40	Híbrido estándar	62.14	1,55
8:40	14:40	Plug in	62.14	0,8

Fuente: Autores

Con la ecuación 2 se realizó la transformación de millas a kilómetros obteniendo 100 km de autonomía con 1,55 gl de combustible en híbrido estándar y 0,8 gl de combustible con el sistema enchufable obteniendo una autonomía adicional de 48 km en la figura 9 de observan los resultados.

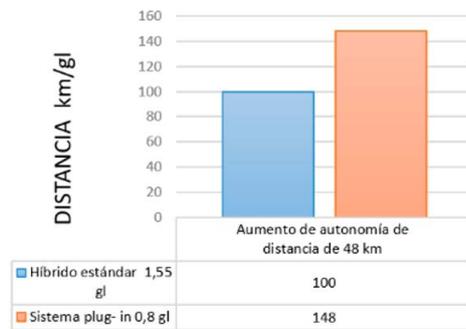


Figura 9: Aumento de autonomía del vehículo Toyota Prius en ciudad
Fuente: Autores

CONCLUSIONES

Se efectuó la selección de las celdas que conformaron la batería de alto voltaje adicional, en el Toyota Prius 3G, en donde se realizó un proceso de carga y descarga para determinar el porcentaje de vida útil de cada una de las celdas, y a su vez una ecualización de voltajes, y de esta manera se armó la batería adicional de 28 celdas, obteniendo un 75% de vida útil.

Se investigó la eficiencia energética del vehículo híbrido Toyota Prius tanto en estándar y con la implementación del sistema enchufable, haciendo énfasis en el aspecto ambiental donde se consideró consumo combustible y autonomía del mismo.

El sistema enchufable está conformado por lo siguiente: módulo de conmutación del terminal positivo, módulo de seguridad, módulo de la señal del sensor de posición del pedal de acelerador y cargador de la batería de alta tensión adicional, y se manejó el software de simulación de circuitos eléctricos Live Wire los que ayudarán al control híbrido del vehículo.

Para la recopilación de los valores, se estableció con pruebas dinámicas las cuales fueras en la ruta de autopista y urbe con una tra-

yectoria de 108 km y 100 km respectivamente en los siguientes estados tanto para híbrido y enchufable.

La prueba de ruta en ciudad se desarrolló dentro del distrito metropolitano de Quito a la misma hora y por consiguiente similar flujo de tráfico teniendo en consideración estados iniciales similares, tanto en híbrido normal y con el sistema enchufable mediante la interface OBD-Link SX EOBD que permitió identificar la distancia recorrida y ahorro de gasolina del vehículo logrando así comparar datos en cada etapa del protocolo de pruebas.

La prueba dinámica en la autopista se efectuó desde la Ciudad de Latacunga hacia el distrito metropolitano de Quito, con una distancia de 100 Km a la hora y estados iniciales similares tanto en el sistema híbrido normal y con el sistema enchufable mediante la interface OBDLink SX EOBD que permitió identificar el consumo de combustible y autonomía del vehículo.

En la prueba de ruta de ciudad que se realizó en distrito metropolitano de Quito en la cual se disminuyó de 1,55 galones a 0,8 galones teniendo así un ahorro de gasolina al adaptar el

sistema enchufable en 100 km teniendo así un aumento del 48 % de autonomía lo que representa 48 km adicionales al activar el sistema.

En la prueba de ruta en autopista desde la ciudad de Latacunga hacia Quito con una distancia de 108 Km se redujo de 1,43 galones a 1,16 galones de consumo de combustible al utilizar el sistema enchufable aumentó en un 18 % la autonomía lo que representa 20 km adicionales al activar el sistema

Una vez aplicado el protocolo de pruebas se identificó que la implementación tiene mayor beneficio en ciudad ya que se obtuvo un aumento de autonomía del 48 % y un ahorro de gasolina del 48.38 % dando así que con 0,8 galones de combustible se puede circular 148 km dando con éxito la investigación del sistema enchufable en el vehículo híbrido Toyota Prius.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cajamarca, D., & Garcia, V. (2016). Determinación De Las Ventajas Ambientales Que Presenta Un Vehículo Híbrido Respecto A Un Vehículo Normal De Similares Características.
- Guevera, E. (2015). Diseño Y Construcción De Un "Sistema Eléctrico Y Electrónico, Para Aumentar La Autonomía Eléctrica De Un Vehículo Híbrido Marca Toyota, Modelo Prius, Adaptando Un Sistema Phev (Plug-In Hybrid Electric Vehicle), En Un Sistema Hev (Hybrid Electric Vehicle)."
- Iniesta, Á. (2015). Vehículo Eléctrico: ¿Una Opción De Futuro En Los Sistemas Eléctricos? <https://E-Archivo.Uc3m.Es/Handle/10016/23352#.Xsurgdmqsoc.Mendeley>
- Iza, H. (2017). El Reciclaje Puede Minimizar El Impacto Ambiental De Las Baterías Mediante La Reducción De Energía Requerida Para Su Producción, Así Como Los Daños Medioambientales Causados Por Los Peligrosos Materiales Usados En Su Fabricación Como En La De Nuevas Bater. 1-126.
- Laberteaux, K. (2019). Optimizing The Electric Range Of Plug-In Vehicles Via Fuel Economy Simulations Of Real-World Driving In California. *Transportation Research Part D: Transport And Environment*, 73(June), 15-33. <https://Doi.Org/10.1016/J.Trd.2019.05.013>
- Naranjo, L., & Moreno, A. (2017). Investigación De La Eficiencia Energética Del Vehículo Híbrido Toyota Prius Al Implementar El Sistema Enchufable Plug In".
- Pástor, J. (2015). Reutilización De Baterías De Vehículos Híbridos Para El Consumo Alternativo; Como Energía De Emergencia En Viviendas De Bajo Consumo Energético, Recargadas Mediante Paneles Solares.
- Santana, V. (2016). Análisis De La Implantación Del Uso De Vehículos Eléctricos Como Aporte Al Cambio Verónica Leticia Santana Chóez Tutor De Tesis: Ing . Timmy García Carpio , Mba. Análisis De La Implantación Del Uso De Vehículos Eléctricos Como Aporte Al Cambio De La Matriz Productiva Y Su Impacto En La No Utilización De Combustibles Fósiles En El Ecuador., 1-117.
- Soto, D. B. (2019). Del Sistema Híbrido Estándar Y Enchufable En Un Toyota Prius Comparison Of The Fuel Consumption Of The Standard And Plug-In Hybrid System In A Toyota Prius. 26-35.
- Xiaosong, H. (2016). Greener Plug-In Hybrid Electric Vehicles Incorporating Renewable Energy And Rapid System Optimization. *Energy*, 111, 971-980. <https://Doi.Org/10.1016/J.Energy.2016.06.037>

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca

Quito - Ecuador • Telf.: (593) 2403096

www.istct.edu.ec • www.investigacionistct.ec • investigacionistct20@gmail.com