

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INGENIO

VOL. V, N.º 1, 2022 | eISSN: 2697-3243 | pISSN: 2588-0829

INGENIERÍA, INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN

Revista Ingenio es una revista semestral de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador fundada en el año 2017 | Vol. 5, núm. 1 | enero-junio 2022 | p-ISSN 2588-0829 e-ISSN 2697-3243 |

Autoridades

Dr. Fernando Sempérteguí Ontaneda, Ph.D.
Rector de la Universidad Central del Ecuador

Ing. Diego Paredes Méndez, M.Sc.
Decano, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas - FING

Ing. Flavio Arroyo Morocho, Ph.D.
Subdecano, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas - FING

Editor
Flavio Arroyo Morocho

Consejo Editorial

Ing. Diego Paredes Méndez, M. Sc., Presidente, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Abel Remache Coyago, M. Sc., Editor académico, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Paulina Viera Arroba, M. Sc., Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Dr. Johannes Ritz, MA., MIB., Ph. D. (c), EU Business School Munich, ALEMANIA
Dra. Teresa Magal-Royo, Ph. D., Universidad Politécnica de Valencia, ESPAÑA
Dr. Andrés Vivas Albán, Ph. D., Universidad del Cauca, COLOMBIA
Dr. Boris Heredia Rojas, Ph. D., Universidad del Norte, CHILE
Dr. Jaime Duque Domingo, Ph. D., Universidad de Valladolid, ESPAÑA
Dr. Giovanni Herrera Enríquez, Ph. D., Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Dr. José Luis Paz, Ph. D., Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PERÚ
Dr. Jesús López Villada, Ph. D., Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Dr. Michel Vargas, Ph. D., Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Andrés Robalino-López, Ph. D., Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR

Consejo Asesor y Evaluador

Ing. Adrián Coello Velásquez, M. Sc. Empresa Eléctrica de Guayaquil, ECUADOR
Ing. David Gomez Coello, M. Sc. Empresa Eléctrica de Guayaquil, ECUADOR
Ing. Nelson Layedra Quinteros, M. Sc., Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, ECUADOR
Ing. Edison Proaño Ayabaca, Ph. D., Investigador Independiente, ECUADOR
Ing. Holger Santillán, M. Sc., Universidad Politécnica Salesiana UPS, ECUADOR
Ing. Juan Espinoza Palacios, M. Sc., Escuela Politécnica Nacional EPN, ECUADOR
Ing. Rogger Peña, M. Sc., Instituto Superior Tecnológico Simón Bolívar, ECUADOR
Ing. Diego Cardona, M. Sc. Ph. D., Red Académica de Docentes e Investigadores en Educación Superior, COLOMBIA
Ing. Majid Khorami, M. Sc., Ph. D. (c), Universidad Tecnológica Equinoccial UTE, ECUADOR
Ing. Gustavo Moreno, M. Sc., Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Ing. Ángel Zambrano Mejía, M. Sc., Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, ECUADOR
Ing. Raymond Gabriel Suárez, M. Sc., Contraloría General del Estado, ECUADOR
Ing. Saeid Kahooi, Ph. D., Senior Research in Purdue University, EE.UU.
Ing. Jalal Rouhi, Ph. D., Senior Research in University of Tabriz, IRAN
Dis. Juan Francisco Fruci, M. Sc., Universidad de las Americas, UDLA, ECUADOR

Este número estuvo bajo la coordinación editorial del Ing. Flavio Arroyo, Ph. D., Ing. Abel Remache, M. Sc., y Lic. Tatiana Freire, M. Sc.(c)

Diseño y diagramación | Christian Echeverría
Corrección de textos | Marcelo Acuña
Portada | Jonathan Morales

Editorial Universitaria, 2022
Ciudadela Universitaria, Av. América, s. n.
Quito, Ecuador
+593 (02) 2524 033
editorial@uce.edu.ec

Revista Ingenio
fing.revista.ingenio@uce.edu.ec
vicedecanat.fing@uce.edu.ec
<http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/index>



Los contenidos pueden usarse libremente, sin fines comerciales y siempre y cuando se cite la fuente.
Si se hacen cambios de cualquier tipo, debe guardarse el espíritu de libre acceso al contenido.

ÍNDICE

Mathematical analysis and simulation in <i>Matlab</i> of differential protection in two power transformers Winding	4
<i>Cárdenas D., Chávez C., Morales L., Solís G., Rodríguez J.</i>	
Estudio de la incorporación de nano sílice en concreto de alto desempeño (HPC)	12
<i>Alvansaz F., Bombón C., Rosero B.</i>	
Evaluación del estado de funcionamiento de transformadores de potencia sumergidos en aceite en las subestaciones eléctricas	22
<i>Bastidas A., Maquilón J., Chávez C.</i>	
Adoquines de hormigón ecoamigables fabricados con la incorporación de una mezcla de micro-nano sílice	34
<i>Alvansaz F., Arévalo B., Arévalo J.</i>	
Localización óptima de equipos de regulación de voltaje y compensación de reactivos para alimentadores de medio voltaje, mediante algoritmos evolutivos	43
<i>Carreño C., Avilés J.</i>	
Influencias en el ambiente educativo de la carrera de manufactura en Ecuador	60
<i>Sópalo V., Rocha J., Peralta F., Chichande Y.</i>	
Análisis de la integración del diseño en el seno de las MiPymes de la Zona 9 del DM de Quito -Ecuador que generan productos con valor agregado para su exportación	71
<i>Bravo D.</i>	
Normas para publicar en la revista Ingenio	79

La Revista INGENIO es el órgano de divulgación especializada de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador; su objetivo es la difusión de investigaciones técnicas y científicas en los campos de Ingeniería Civil, Ingeniería Informática/Sistemas de Información, Ingeniería en Diseño Industrial e Ingeniería en Computación Gráfica/Computación. Es de periodicidad bianual y está dirigida a personas que esten inmersas tanto en el ámbito académico como industrial y a quienes les pueda interesar conocer de temas e investigaciones que se realizan dentro del ámbito de la revista.

La revista INGENIO utiliza el Open Journal Systems (OJS) como sistema de gestión editorial, desarrollado por Public Knowledge Project (PKP). Todos los manuscritos a ser considerados para publicación deben ser enviados a través de este sistema.

Los artículos de la revista INGENIO usan el sistema DOI el cual proporciona una infraestructura técnica y social para el registro y uso de identificadores interoperables persistentes, para su uso en redes digitales.

La revista INGENIO se encuentra indexada en:





Mathematical analysis and simulation in *Matlab* of differential protection in two power transformers Winding

Análisis matemático y simulación en *Matlab* de protección diferencial en dos devanados de transformadores de potencia

David Cárdenas | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Carlos Chávez | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Julio Rodríguez | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Germán Solís | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Luis Morales | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 15/06/2021

Accepted: 07/09/2021

KEY WORDS

Test bench, protection coordination, differential relay 587, Matlab program.

ABSTRACT

This project deals with the realization of mathematical modeling and simulation in Matlab of differential protection in two-winding power transformers, the same one that will be part of the Salesian Polytechnic University, Guayaquil headquarters; will have the objective of simulating the operating conditions of the protection equipment (SEL 587) found in a substation, obtaining the equation that governs the differential protection operations of said relay, by theoretically analyzing the system conditions, both under normal conditions and for any fault event (external fault, internal fault) on the primary and / or secondary side of the transformer, facilitating students who are in the last cycles of the electrical engineering career, learning the concepts and principles of operation of system protections electric power.

PALABRAS CLAVE

Inestabilidad de voltaje, potencias reactivas inductivas, voltajes, ángulos, PV, QV, factores de participación, colapso de red.

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre la realización del Modelado Matemático y simulación en MATLAB de la Protección diferencial en transformadores de potencia de dos devanados, el mismo que formara parte de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. Tendrá como objetivo simular las condiciones de operación del equipos de protección (SEL 587) encontrado en una subestación, obteniendo la ecuación que gobierna las operaciones de protección diferencial de dicho relé, al analizar teóricamente las condiciones del sistema, tanto en condiciones normales como para cualquier evento de falla (falla externa, falla interna) en el lado del primario o secundario del transformador, facilitando a los estudiantes que cursan los últimos ciclos de la carrera de Ingeniería Eléctrica, el aprendizaje de conceptos y principios de funcionamiento de protecciones de sistema eléctricos de potencia.

INTRODUCTION

Within this document you will find all the information related to the «Mathematical analysis and simulation in Matlab of differential protection in power transformers with two windings», which consists of making all the measurements in a differential protection test module using the 587 relay, in which all the connections and pos-

sible cases of failure that can occur in an electrical power system were made, obtaining real data which allowed analyzing the behavior of the relay for each event.

The first chapter deals with the demand of the problems in the electrical power systems based in daily experience, for which it is proposed to certify the reliability in

Figure 1. Module for transformer protection
Source: Politécnica Salesiana University.

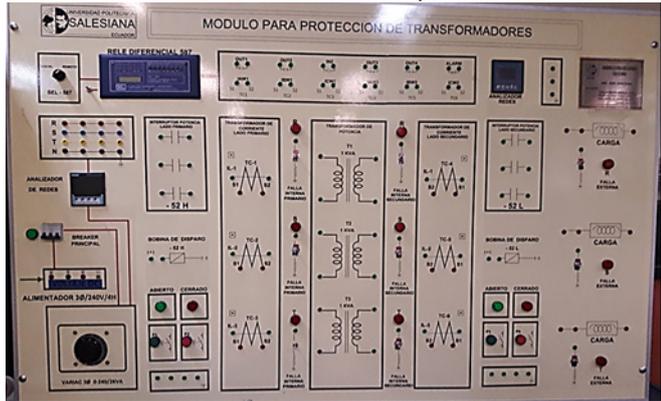


Figure 2. Variable resistive load from 0-100 Ω, 2,5 A
Sources: Politécnica Salesiana University.

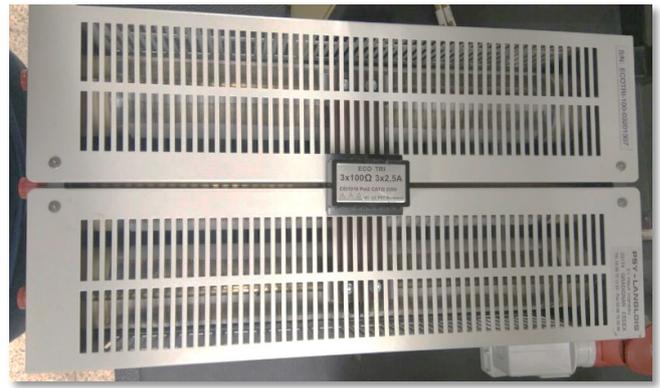


Table 1.
Nomenclature

	Three-phase Star-Star system
	Three-phase Star-Delta system
	Three-phase Delta-Delta system
	Three-phase Delta-Star system
	Ohm, unit of electrical resistance
RMS	Effective value
VRMS	RMS voltage
V	Volts
A	Amps
VA	Volt-amperes, unit of apparent power

the distribution networks through differential protection. In the second chapter, the normal operating conditions were reviewed to electrical systems operating for a finite or infinite time under nominal values. In the third chapter, the respective tests were carried out with the different connections that can be made to a power transformer and compared through the program in normal condition and when the internal fault occurs in the transformer. Finally, in the fourth chapter, the mathematical analysis was elaborated through equations which was carried out the structure of the programming in Matlab.

Likewise, the scope of the project and its benefits to society are defined, with the didactic design that allows to develop real tests where the behavior of the relay is analyzed through differential protection, making the different types of connection of the transformers in which they evaluated the internal and external faults in the laboratory that occur normally.

For the understanding and total perception of the subject, books, previous technical projects, papers and web sources were reviewed, in order to consolidate the knowledge regarding the case study.

SCENARIO DESCRIPTION

The experiments were implement using 1 test module, three single-phase transformers each one of 1500 va 120 v / 240 v to form three-phase banks with different connections Star-Star ($\nu\nu$), Star-Delta ($Y\Delta$), Delta-Delta ($\Delta\Delta$), Delta-Star (ΔY), located in the Circuits laboratory of the Politécnica Salesiana University (see Figure 1).

Figure 2 shows a 0-100 Ω variable resistive load three-phase bank, with a maximum current of 2,5 A. The measuring equipment that we use to perform all the tests is the ideal 61-746 (see Figure 2).

This measuring instrument that is displayed in figure 3 was used as a reference to be able to make comparisons of voltages and currents (see Figure 3), allowing you to perform load studies and check the capacity of the electrical systems before adding the load (see Table 1).

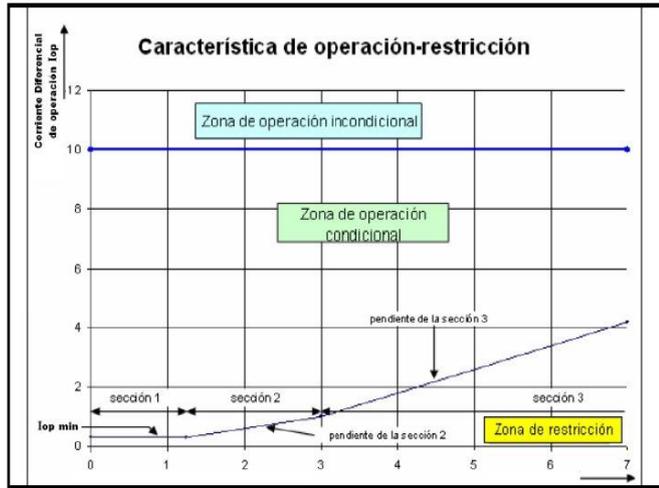
DESCRIPTION OF THE MECHANISM

For a transformer with two winding, the differential relay will detect the faults that occur both inside the protected area and its external connections to the current transformers associated with this protection. This will act as

Figure 3.
Ideal 61-746



Figure 5.
Slope of differential operation



Source: [7, p. 22].

a protection with absolute selectivity; the instantaneous current, modules and phases will be compared.

Figure 4 shows the current flows that circulate through the Tc's which send information to the differential relay, these being governed by the following equations for non-fault and fault-free conditions (see Figure 4):

$$\text{Differential current} = I_d = I_1 + I_2$$

Equation 1: Differential current.

Source: [7, p. 23]

$$I_1 = I_2 \therefore I_d = 0$$

Equation 2: Equipment without failure

Source: [7, p. 23]

$$I_1 \neq I_2 \therefore I_d \neq 0$$

Equation 3: Equipment failed

Source: [7, p. 23].

The differential protection characteristic can be set either as a percentage differential characteristic as a slope or as a variable percentage differential characteristic with double slope (see Figure 5); the element's operation is determined by the operating (I_{OP}) and holding (I_{RT})

Figure 4.
Protection of transformers with two winding

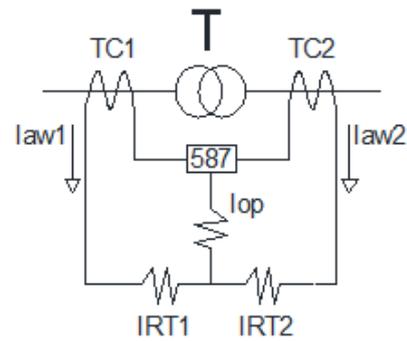
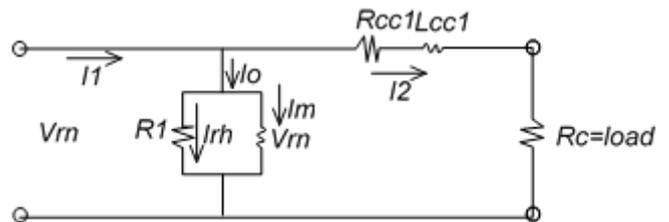


Figure 6.
Equivalent circuit of the transformer



quantities, calculated from the input currents of the windings [7, p. 21].

The figure shows the operating current I_{OP} and a restraining current I_{RT} and an 087P setting or a minimum level required for the I_{OP} operation and two operating slopes called SLP1 with their operating limit I_{RS1} which is an initial curve starting at the origin and with its intersection 087P and a second curve SLP2 which, if used, must be greater than or equal to SLP1 and its entire upper area is a region of operation of the relay and the internal area of the figure shows a region of the relay where this does not operate [7, p. 21].

Triggering occurs if the operation amount is greater than the minimum pickup level and is greater than the curve value, for a particular holding amount. Four settings define the characteristic [7, p. 21].

With careful selection of these settings, the user can closely emulate the characteristics of existing differential current relays [7, p. 21].

Differential protection responds to design criteria based on reliability, speed, selectivity, safety, sensitivity, economy and simplicity [7, p. 21].

II. MATHEMATICAL MODELING

To find the currents of the TC's, the analysis of the transformer is performed, we begin from the equivalent circuit of the transformer where (see Figure 6):

V_{rn} = Input voltage.

R_1 = Hysteresis resistance and heat losses.

L_{m1} = Inductance necessary to produce magnetic flux from the transformer.

R_{cc1} = Short circuit resistance

L_{cc1} = Short circuit inductance

R_c = Load resistance

I_1 = Primary current

I_o = Vacuum current

I_m = Magnetizing current

I_{rh} = hysteresis current

I_2 = Secondary current

Using Kirchhoff's laws, we obtain the following differential equations that define the modeling of the single-phase transformers in figure 6:

Single phase transformer 1

The voltage over time is defined by the following formula:

$$V_{rn}(t) = V_p * \text{Sen}(wt + 0^\circ) \quad (1)$$

From Kirchhoff's law, we define the current of the primary of the transformer T1 as a function of the no-load current and of the secondary:

$$I_{1T1} = I_o + I_2 \quad (2)$$

Knowing that the voltage over time of the inductor is defined as:

$$V(t) = L * \frac{dI(t)}{dt} \quad (3)$$

Applying Ohm's law we draw hysteresis current from the single-phase transformer T1.

$$I_{rh}(t) = \frac{V_{rms}}{R_1} = \frac{V_p * \text{Sen}(wt + 0^\circ)}{R_1} \quad (4)$$

Secondary current of single-phase transformer T1.

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = \frac{[V_p * \text{Sen}(wt + 0^\circ)] - [R_{cc1} * I_2(t)] - [R_c * I_2(t)]}{L_{cc1}} \quad (5)$$

Primary current of a single-phase transformer.

$$I_1(t) = \frac{V_{rn}}{R_1} + I_m + I_2 \quad (6)$$

Single phase transformer 2

The voltage over time is defined by the following formula:

$$V_{sn}(t) = V_p * \text{Sen}(wt + 120^\circ) \quad (7)$$

From Kirchhoff's law, we define that the current of the primary of the transformer T2 as a function of the no-load current and of the secondary:

$$I_{1T2} = I_o + I_2 \quad (8)$$

Knowing that the voltage at time of the inductor is defined as:

$$V(t) = L * \frac{dI(t)}{dt} \quad (9)$$

Applying Ohm's law, we draw hysteresis current from the single-phase transformer T2.

$$I_{rh}(t) = \frac{V_{rms}}{R_2} = \frac{V_p * \text{Sen}(wt + 120^\circ)}{R_2} \quad (10)$$

Secondary current of single-phase transformer T2.

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = \frac{[V_p * \text{Sen}(wt + 120^\circ)] - [R_{cc2} * I_2(t)] - [R_c * I_2(t)]}{L_{cc2}} \quad (11)$$

Primary current of a single-phase transformer.

$$I_1(t) = \frac{V_{sn}}{R_2} + I_m + I_2 \quad (12)$$

Single phase transformer 3

The voltage over time is defined by the following formula:

$$V_{tn}(t) = V_p * \text{Sen}(wt - 120^\circ) \quad (13)$$

From Kirchhoff's law, we define that the primary current of the transformer T3 as a function of the no-load current and the secondary current:

$$I_{1T3} = I_o + I_2 \quad (14)$$

Knowing that the voltage at time of the inductor is defined as:

$$V(t) = L * \frac{dI(t)}{dt} \quad (15)$$

Applying Ohm's law we draw hysteresis current from the single-phase transformer T3.

$$I_{rh}(t) = \frac{V_{rms}}{R_3} = \frac{V_p * \text{Sen}(wt - 120^\circ)}{R_3} \quad (16)$$

Secondary current of single-phase transformer T3.

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = \frac{[V_p * \text{Sen}(wt - 120^\circ)] - [R_{cc3} * I_2(t)] - [R_c * I_2(t)]}{L_{cc3}} \quad (17)$$

Figure 7.

Block diagram of protection relay operation.

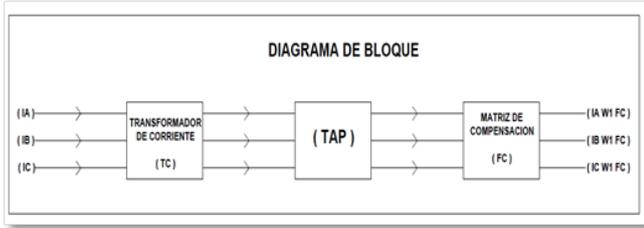


Figure 9.

Parameter entry graph window

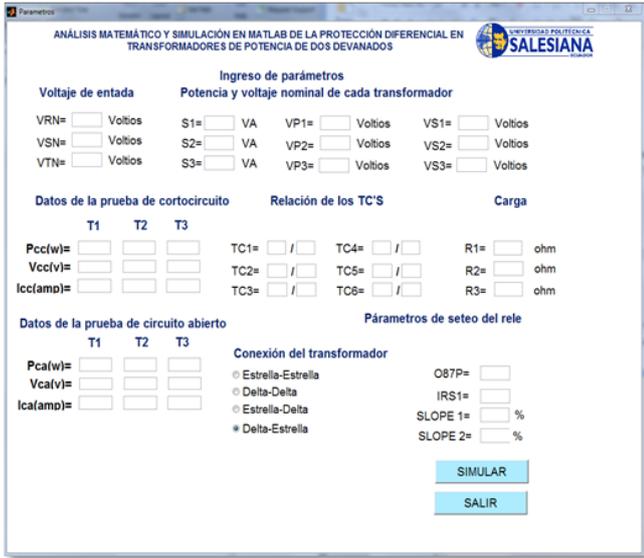


Figure 8.

Compensation matrix

$[CTC(1)] = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$[CTC(2)] = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
Matriz para devanado 30° en retraso	Matriz para devanado 60° en retraso
$[CTC(3)] = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$[CTC(4)] = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$
Matriz para devanado 90° en retraso	Matriz para devanado 120° en retraso
$[CTC(5)] = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$	$[CTC(6)] = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}$
Matriz para devanado 150° en retraso	Matriz para devanado opuesto a la fase 180°
$[CTC(7)] = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$[CTC(8)] = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$
Matriz para devanado 150° en adelanto	Matriz para devanado 120° en adelanto
$[CTC(9)] = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	$[CTC(10)] = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2 \\ -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$
Matriz para devanado 90° en adelanto	Matriz para devanado 60° en adelanto
$[CTC(11)] = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$	$[CTC(12)] = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$
Matriz para devanado 30° en adelanto	Matriz para devanado de referencia 0°

Primary current of a single-phase transformer.

$$I1(t) = \frac{Vtn}{R3} + Im + I2 \quad (18)$$

$$IBw2 = \frac{I1(t)}{Tc2} \quad (22)$$

Single phase transformer 1

Primary current of transformer T1, seen from the secondary of TC's.

$$IAw1 = \frac{I1(t)}{Tc1} \quad (19)$$

Single phase transformer 3

Primary current of the transformer T1, seen from the secondary of TC's.

$$ICw1 = \frac{I1(t)}{Tc1} \quad (23)$$

Secondary current of transformer T1, seen from the secondary of TC's.

$$IAw2 = \frac{I1(t)}{Tc2} \quad (20)$$

Secondary current of transformer T1, seen from the secondary of TC's (see Figure 7).

$$ICw2 = \frac{I1(t)}{Tc2} \quad (23)$$

Single phase transformer 2

Primary current of transformer T1, seen from the secondary of TC's.

$$IBw1 = \frac{I1(t)}{Tc1} \quad (21)$$

TAP 1 of a differential relay.

$$TAP 1 = \frac{MVA \times 1000 \times C1}{\sqrt{3} \times Vp \times CTR1} \quad (24)$$

TAP 2 of a differential relay.

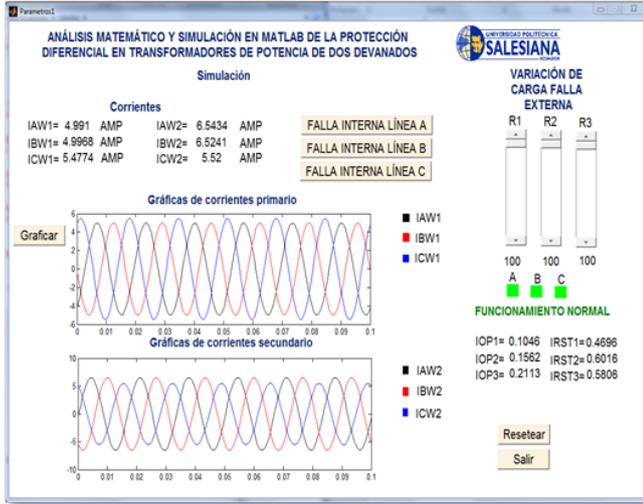
$$TAP 2 = \frac{MVA \times 1000 \times C2}{\sqrt{3} \times Vp \times CTR2} \quad (25)$$

Secondary current of transformer T1, seen from the secondary of TC's.

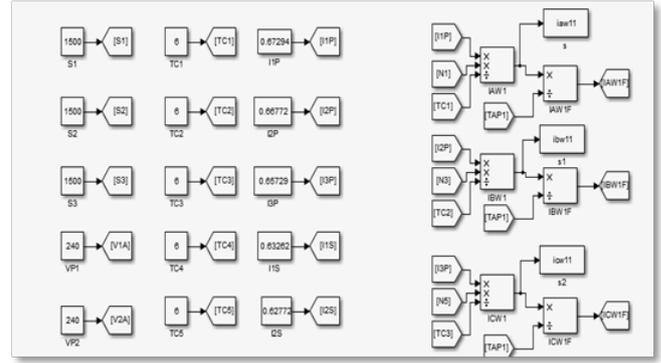
After finding the currents of said TAP which we define with the following formulas:

Figure 10.

Results graph window


Figure 11.

Simulink blocks


TRANSFORMER 1

Primary phase A current, after passing through TAP 1.

$$IAw1F = \frac{IAw1}{Tap1} \quad (26)$$

Secondary phase A current, after passing through TAP 2.

$$IAw2F = \frac{IAw2}{Tap2} \quad (27)$$

TRANSFORMER 2

Primary phase B current, after passing through TAP 1.

$$IBw1F = \frac{IAw1}{Tap1} \quad (28)$$

Secondary phase B current, after passing through TAP 2.

$$IBw2F = \frac{IAw2}{Tap2} \quad (29)$$

TRANSFORMER 3

Current of phase c of the primary, after passing through TAP 1.

$$ICw1F = \frac{ICw1}{Tap1} \quad (30)$$

Secondary phase c current, after passing through TAP 2.

$$ICw2F = \frac{ICw2}{Tap2} \quad (31)$$

Then go to the block of compensation matrices depen-

ding on the transformer connections and their phase difference that was chosen internally in the program and in turn the differential relay relates them through previously adjusted parameters, the matrices are as follows (see Figure 8).

Example:

Protection relay operation through compensation matrix.

Primary current in each of the phases, from the compensation matrix.

$$\begin{bmatrix} IAw1Fc \\ IBw1Fc \\ ICw1Fc \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IAw1F \\ IBw1F \\ ICw1F \end{bmatrix} \quad (32)$$

Secondary current in each of the phases, from the compensation matrix.

$$\begin{bmatrix} IAw2Fc \\ IBw2Fc \\ ICw2Fc \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IAw2F \\ IBw2F \\ ICw2F \end{bmatrix} \quad (33)$$

After having had all these currents, the relay proceeds to calculate the operating currents (Iop) and restriction (Irst) for which the following equation is used:

Operating current in phase A.

$$Iop_A = I_A W_1 F C_1 + I_A W_2 F C_1 \quad (34)$$

Operating current in phase B.

$$Iop_B = I_B W_1 F C_1 + I_B W_2 F C_1 \quad (35)$$

Operating current in phase c.

Figure 12.
Internal fault Line A.

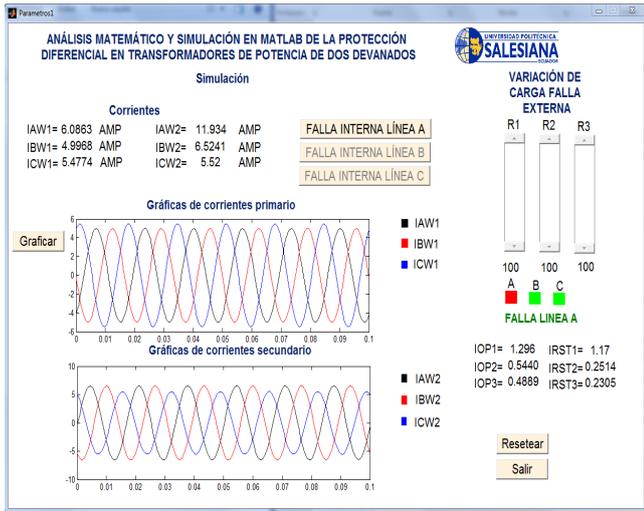


Figure 14.
Primary and secondary current in each phase seen from the CT's, with 100% load

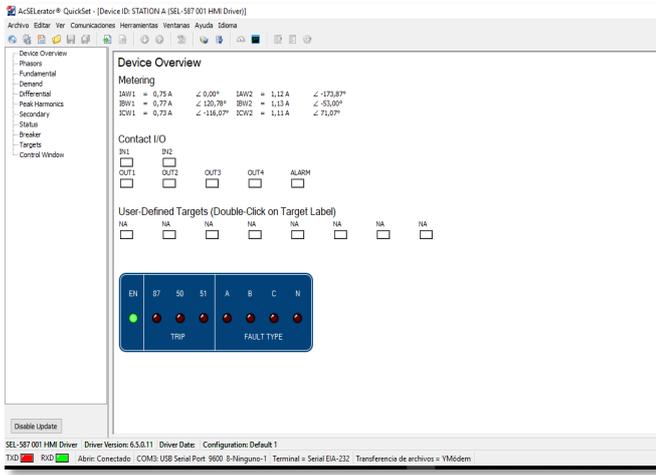


Figure 13.
Normal operation

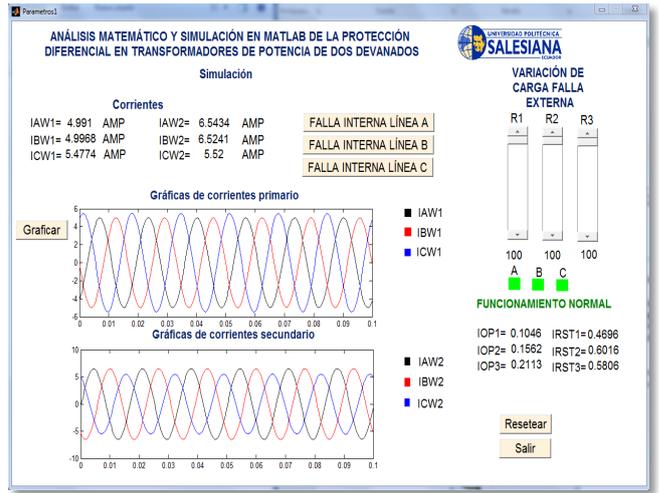
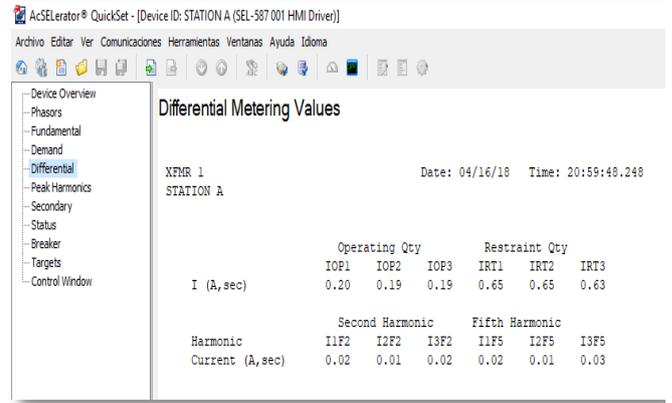


Figure 15.
Operating and restriction currents in each of the phases, with 100% load



III. TEST AND VALIDATION

After obtaining the electrical parameters of each of the transformers through short-circuit and open-circuit tests, the different connections are made under vacuum and under load. The responses of the software whose interface were compared with the graphs obtained by the measurement instrument, resulting in the following (see Figure 9):

The graphs of each of the phase currents that are seen by the relay on both the secondary side and the primary side are shown (see Figure 10).

For the coding of the different graphs the following process was used, at the moment of executing the Simulink internally, figure 11 block arrangements were created that have the equations that represent our modeled system and to be able to obtain the current graphs (see Figure 11):

$$I_{opC} = I_C W_1 FC_1 + I_C W_2 FC_1 \quad (36)$$

Restriction current in phase A.

$$I_{rst} = \frac{[I_A W_1 FC_1 + I_A W_2 FC_1]}{2} \quad (37)$$

Restriction current in phase B.

$$I_{rst} = \frac{[I_B W_1 FC_1 + I_B W_2 FC_1]}{2} \quad (38)$$

Restriction current in phase C.

$$I_{rst} = \frac{[I_C W_1 FC_1 + I_C W_2 FC_1]}{2} \quad (39)$$

Operating conditions when the relay operates.
 $I_{op} \approx 0$ relay not actuated, normal operation.
 $I_{op} \neq 0$ relay actuated, fault operation.

INTERNAL FAILURE IN EACH OF THE PHASES

By activating any of this «push button» will allow us to see the behavior of the relay in each of the phases as shown in figure 12 (see Figure 12).

Here you can see the current values in the phase where the fault occurred, and also see the operating current in the phase where it occurred.

The phase where the failure occurred will be shown in red and in turn it will proceed to block any load change that could be made in the Slider as well as the «push button» of the failures in the other phases, all this will be blocked until do not press the reset button which will return the readings to normal and clear the fault as shown in figure 13 (see Figure 13).

After reviewing the required results, we press the exit button which will ask us for an exit confirmation and by pressing «yes», the interface will be completely exited and the previously entered data will be deleted (see Figures 14 y 15 and Table 2).

TESTS AND RESULTS

Star-star connection:

Test 1:

R1 = 100,6 ohms

R2 = 100 ohms

R3 = 99,8 ohms

IV. CONCLUSION

The objective of this work was to show by means of the simulation in Matlab the behavior of the differential protection using the SEL 587 relay, of the «Module for transformer protection» which was analyzed to obtain the governing equations, comparing values and the operation of the relay both empty and loaded, the following was concluded:

A didactic modeling was carried out in Matlab where different practices and simulations were performed, in order to visualize and analyze the moment when the differential protection acted for both internal and external failure of a transformer, with the data obtained through the simulations it can be conclude that the operating results of the relay in the simulator are within the range of the trip, since it works at close operating currents of the real relay.

When comparing the responses obtained when simulating the system with the different types of connections of the single-phase transformers, the data obtained were satisfactory, since it was possible to appreciate the currents of the windings both on the primary side and on the secondary side. It was able to appreciate the operating current and restriction of the relay, which showed an error rate of less than 5%.

For the different practices, the parameters were modified in the SEL 587 relay as: (connection type of

single-phase transformers and operating current I_{op}). Through these practices it can be concluded that the load varies in percentage form for the different types of connection in the transformers.

The purpose of the SEL 587 differential relay is to protect the power transformer where the input current must be equal to or similar to the output current, in which real faults that normally occur in electrical power systems could be simulated. reliability in the system and no damage occurs.

The tests were performed on the board «Transformer protection module» which was demonstrated and analyzed the fault that eventually occurs in two-winding transformers, where the differential relay is in charge of protecting the transformer from an internal fault for this, comparison tables were made to consider the settings in the relay and to be reliably in the system.

REFERENCES

- [1] C37.91-2000, IEEE *Guide for protective relay application to power transformers*.
- [2] M. Sangrá, *Protecciones en las instalaciones eléctricas: evolución y perspectivas*, Barcelona: Marcombo.
- [3] R. Mujal Rosas, *Protección de sistemas eléctricos de potencia*, Barcelona: Oficina de Publicaciones Académicas Digitales de UPC, 2014.
- [4] F. Barberán-Núñez y M. Suárez-Ordóñez, *Diseño y construcción de módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia (SEP)*, tesis de ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana-sede Guayaquil, 2016.
- [5] V. M. Castillo y G. I. Ospina, «Análisis de los modelos de transformadores para la simulación de protección diferencial», Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, 2010.
- [6] J. Morón, *Sistemas eléctricos de distribución*, Barcelona: Ediciones Reverte, 2009.
- [7] A. A. Naranjo-Yépez, M. A. Feraud-López y R. J. Villacrés-Salazar, *Diseño y construcción de un módulo para protección diferencial de transformadores*, tesis ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [8] P. Concha, «patricioconcha.ubb» [En línea]. Available: <http://patricioconcha.ubb.cl/410113/accionamientos/razon%2016.jpg>. [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [9] O. Enrique Ras, *Transformadores de potencia de medida y de protección*, Barcelona: Marcombo Boixareu Editores, 1994.
- [10] S. Ramírez, «Protección de sistemas eléctricos», Manizales: Universidad de Manizales, 2003.
- [11] S. Laboratories, *Manual de instrucciones Sel 587-0, -1*, USA: Hopkins Court., 2004.
- [12] G. Valderrama, *Protección y coordinación de sistemas de distribución*, Sevilla: Publicaciones Litosa, 2000.
- [13] J. Briones y R. López, *Análisis y modelación matemática de paralelismo de banco trifásico de transformadores con conexión delta estrella de diferentes grupos vectoriales*, tesis, Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, 2014.
- [14] M. Sangrá, *Protección en las instalaciones eléctricas: evolución y perspectiva*, Barcelona: Marcombo, 1999.



Estudio de la incorporación de nanosílice en concreto de alto desempeño (HPC)

Study of the Incorporation of nano-SiO₂ in high-performance concrete (HPC)

Mohammad Farid Alvansaz | Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Claudio Bombon | Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Bagner Rosero | Universidad Central del Ecuador, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 21/02/2022

Aceptación: 18/04/2022

PALABRAS CLAVE

Hormigón de alto desempeño, nanosílice, microsíllice, ensayo de compresión, ensayo a flexión, propiedades físico-mecánicas del hormigón.

KEY WORDS

High performance concrete, nanosilica, microsilica, compression test, tensile test, physical mechanic properties of concrete.

RESUMEN

El proyecto de investigación está orientado al estudio de la influencia de la adición de partículas de nanosílice en las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón de alto desempeño: en la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo elástico, módulo de Poisson y módulo de rotura, en el cual se incluyó las partículas de nanosílice de 0,75%, 1,50% y 3% como reemplazo en peso de la cantidad de cemento de un hormigón patrón y también se reemplazó el 5% y el 10% de microsíllice. El hormigón de alto desempeño se diseñó para cumplir con las características de tener un f_c mayor a 55 MPa y contar con una alta trabajabilidad. Para cumplir con la trabajabilidad deseada en todas las dosificaciones se usó un aditivo superplastificante. Además, se realizaron ensayos de microscopía para conocer la influencia de las adiciones de sílice en la microestructura y en la hidratación de los hormigones. De los resultados obtenidos se concluyó que el porcentaje óptimo de nanosílice es de 1,5%, a los 28 días de edad; los resultados de los ensayos realizados determinaron que el porcentaje óptimo de nanosílice con respecto al hormigón patrón y a los hormigones con microsíllice produce una mejora de resistencia a la compresión del 8,44% y del 7,52%, resistencia a la tracción del 4,31% y del 26,30%, módulo de rotura del 16,21% y del 9,63%, y módulo de elasticidad del 16,53% y del 4,51%, respectivamente. El reemplazo de nanosílice mostró ser viable y beneficioso para las propiedades físico-mecánicas de un hormigón de alto desempeño.

ABSTRACT

The research project aims to study the influence of the addition of nanosilica particles on the physical and mechanical properties of high-performance concrete: compression resistance, tensile strength, elastic module, Poisson module and break module. In which nanosilica particles of 0,75%, 1,50% and 3% were added as a weight replacement for the amount of a concrete pattern and also replacements of 5% and 10% of microsilica. The high performance concrete was designed to fulfill the characteristics of having a f_c greater than 55 MPa and having high workability, to meet the desired workability, a superplasticizing additive was used. Microscopy test were conducted to determine the influence of silica additions in the microstructure and in the hydration of the concrete. From the results obtained, it was concluded that the optimal percentage of nanosilica is 1,5%. At 28 days of age, the results of the tests carried out determined that the optimal percentage of nanosilica with respect to the pattern concrete and the microsilica concretes produces an improvement of: resistance to compression of 8,44% and of 7,53%, tensile strength of 4,31% and of 26,30%, break module of 16,21% and of 9,63%, and elasticity module of 16,53% and of 4,51% respectively. Nanosilica replacement showed to be viable and beneficial for the physical-mechanical properties of high performance concrete..

I. INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más empleados en las obras de ingeniería civil, el cual se elabora con la combinación de varios componentes, como son: cemento, agua, agregado grueso y agregado fino, adicionalmente se les puede incorporar en la mezcla un componente que se denomina adición;

por ello se cree que con la incorporación de nanomateriales en la mezcla matriz del hormigón, éste incrementa las propiedades físico-mecánicas, debido a las propiedades de finura y cementantes, que permite la elaboración de concretos más densos, con mayor durabilidad y resistentes.

Un hormigón de alto desempeño debe cumplir con las características de alcanzar grandes resistencias y a la vez poseer trabajabilidad, propiedades que serán estudiadas a través de la recolección de datos y resultados de distintos tipos de ensayos mecánicos como son: compresión simple, tracción indirecta, flexión, módulo elástico, módulo de Poisson, de probetas cilíndricas y vigas que serán elaborados y ensayados de acuerdo a las normativas vigentes como es la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN), la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) y del Instituto Americano del Concreto (ACI). Los cuales precisan los requisitos y valores permitidos para validar los resultados obtenidos en los ensayos del estudio.

Adicionalmente, se efectuarán ensayos de microscopía de electrones (SEM) y difracción de rayos x (XRD), para establecer la morfología y la microestructura de las nanopartículas presentes en el hormigón fabricado con y sin adiciones de nanosílice y microsíllice.

FUNDAMENTACIÓN

Para el diseño del hormigón de alto desempeño se fundamentó principalmente en las normativas y manual siguientes:

- ACI 318-19: requisitos del Código para el hormigón estructural.
- ACI 363-10: reporte sobre hormigón de alta resistencia.
- ACI 211.4R-08: Guide for selecting proportions for high-strength concrete using Portland cement and other cementitious materials.
- Terence C. Holland: *Silica fume user's manual*.

DEFINICIONES

Hormigón de alto desempeño: hormigón que cumple con las combinaciones especiales y requisitos como el rendimiento y uniformidad, los cuales no siempre se pueden lograr de manera rutinaria usando componentes convencionales y prácticas normales de mezclado, colocación y curado [1].

Nanopartículas: partículas muy finas, las cuales poseen diámetros entre 1 y 100 nm.

Sílice: Dióxido de silicio (SiO₂).

Humo de sílice: sílice no cristalina muy fina producida en hornos de arco eléctrico como subproducto de la producción del silicio elemental o aleaciones que contienen silicio.

Resistencia temprana: resistencia del concreto o mortero que generalmente se desarrolla durante las primeras 72 horas después de la colocación [1].

FORMULACIÓN

- Determinar experimentalmente las propiedades físico-mecánicas del hormigón de alto desempeño con la incorporación de las partículas de nanosílice y microsíllice.
- Diseñar una mezcla de un hormigón patrón con una resistencia mayor a 55 Mpa.
- Diseñar mezclas de hormigón de alto desempeño con la adición de diferentes porcentajes: 0,75%, 1,5% y 3% de partículas de nanosílice.
- Diseñar mezclas de hormigón de alto desempeño con la adición de diferentes porcentajes: 5% y 10% de partículas de microsíllice.
- Obtener los valores de la resistencia a la compresión ($f'c$), resistencia a la tracción (σ_t), resistencia a la flexión, módulo de elasticidad (E_c), coeficiente de Poisson (μ) de las diferentes dosificaciones planteadas.
- Realizar un análisis comparativo entre las propiedades físico-mecánicas de un hormigón estándar, un hormigón con adiciones de microsíllice y un hormigón con adiciones de nanosílice.

Si fabricamos un hormigón de alto desempeño con adición de partículas de nanosílice y microsíllice, sus propiedades físico-mecánicas se ven influenciadas positivamente.

II. MATERIALES, FUENTES Y MÉTODOS

MATERIALES

El hormigón de alto desempeño tiene varios componentes como son: cemento Portland tipo I, arena lavada, grava triturada lavada, agua, adiciones de nanosílice y microsíllice, y aditivo superplastificante.

Agregado grueso

Consiste en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantes mayores a 5 mm, las que generalmente tienen diámetros entre 9,5 mm (3/8 pulgadas) y 37,5 mm (1 1/2 pulgadas) [2].

Agregado fino

Partículas provenientes de la trituración de las rocas cuyo tamaño o diámetro es inferior a 5 mm, o aquellas partículas que pasan por el tamiz N.º 4 (4,75 mm), y que es retenido en su totalidad en el tamiz N.º 200 [3].

Cemento

El cemento es un material conglomerante; al entrar en contacto con el agua se produce una reacción química

por la cual adquiere propiedades de adherencia y cohesión, luego se convierte en un aglutinante que unifica a los agregados gruesos y finos.

Agua

El agua cumple la función de hidratar el cemento y brindar la trabajabilidad de la mezcla del hormigón de alto desempeño. Para la elaboración de los hormigones se debe utilizar agua natural, que sea potable y que no presente sabor u olor [4].

Microsílice

Las partículas de microsílice tienen una presentación en polvo, que es extremadamente fino, las cuales están compuestas del 90% al 95% por dióxido de sílice amorfo. Este material es producido por la fabricación de silicio y ferrosilicio [5].

Nanosílice

Este producto nace como una alternativa al uso del microsílice, se produce por la reacción del silicio, tetracloruro, hidrógeno y oxígeno en hornos de altas temperaturas; en donde se fabrican con diferentes áreas de superficie específicas que van desde 50 m²/g a 400 m²/g [6].

Aditivo superplastificante

Los aditivos superplastificantes tienen el efecto de aumentar la fluidez del hormigón, mejorando la trabajabilidad y, con la baja relación agua/cemento que presenta el hormigón de alto desempeño, trata de producir un hormigón fluido con un alto valor de asentamiento, sin afectar las resistencias de diseño [7].

FUENTES

Las características y propiedades del hormigón dependen de la calidad de sus agregados. Para el desarrollo del estudio se utilizaron agregados provenientes del cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

MÉTODOS

Muestra

Los agregados gruesos y finos se obtuvieron de la cantera Copeto Cía. Ltda. ubicada en el margen derecho del río Toachi, en la urbanización Brasília del Toachi, se utilizó cemento Holcim tipo GU, microsílice Rheomac SF 100, aditivo superplastificante Master Glenium 7955, que se adquirieron en la empresa Imperquik Cía. Ltda. y el na-

nosílice Aerosil® 200 que se adquirió a la empresa Evonik, a través de la comercializadora química Comerquim Cía. Ltda.

Técnicas

Se realizó la caracterización de los agregados a través de ensayos de laboratorio, de acuerdo a las especificaciones de las normas INEN y ASTM, para asegurar la calidad de los materiales a emplearse en la elaboración del hormigón de alto desempeño.

RECOPIACIÓN DE DATOS

ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para la caracterización de los agregados se ejecutaron varios ensayos de laboratorio en los cuales se determinaron las propiedades de densidades aparentes, sueltas y compactas, peso específico, granulometría y capacidad de absorción. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 1 (ver Tablas 1 y 2).

DISEÑO DEL HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO

El diseño del HPC se basa principalmente en la metodología presentada en el *Manual de usuarios de microsílice* [8].

PROCESO PARA EL DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO

1. Propiedades de los materiales

Para comenzar la dosificación se debe primero conocer las propiedades de los materiales como se indica en las tablas 1 y 2.

2. Ubicar una dosificación base

Este método de diseño se basa en encontrar la dosificación de un hormigón que obtuvo propiedades similares a las que se pretende diseñar en el estudio; y ésta se utiliza como dosificación base, según consta en la tabla 3 (ver Tabla 3).

3. Modificación de dosificación

Conociendo las propiedades de los materiales utilizados en la dosificación base se la modifica usando los datos de las densidades de los materiales en estudio a fin de obtener la dosificación de control para 1 m³ de hormigón.

De acuerdo con las especificaciones de la obra se determina qué características deberá cumplir el hormigón

Tabla 1.
Datos de las propiedades de los agregados

<i>Propiedad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
Capacidad de absorción	%	1,99	2,75
Densidad aparente suelta	g/cm ³	1,67	1,31
Densidad aparente compactada	g/cm ³	1,76	1,45
Peso específico	g/cm ³	2,43	2,60
Módulo de finura	-	3,03	2,65
Tamaño nominal máximo	pulgada	-	3/8

Tabla 2.
Densidades reales de los materiales

<i>Material</i>	<i>Densidad real (g/cm³)</i>
Cemento	2,87
Microsílice	2,20
Nanosílice	2,00
Superplastificante	0,91

Tabla 3.
Cantidades por metro cúbico del hormigón base

<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>
Cemento	550
Agua	165
Grava	1067
Arena	705
Superplastificante	3,85

Fuente: [6].

de alto desempeño utilizando las ecuaciones presentadas en el trabajo de titulación de Bombón C. y Rosero B. *Estudio de la incorporación de nanosílice en concreto de alto desempeño HPC* (p. 78). Se obtiene la dosificación patrón como se indica en la tabla 4 (ver Tabla 4).

4. Adición de sílice a las dosificaciones

Determinadas las cantidades en peso de cada material para elaborar 1 m³ de hormigón patrón se reemplaza porcentajes en peso del cemento por el nanosílice o microsílice que se desee incluir en la dosificación.

La diferencia en la densidad del cemento con las adiciones de sílice hace necesario modificar las cantidades de los agregados y esto se lo hace como se describe en la norma ACI 211.4R-08. [9] De esta forma se obtiene las cantidades a emplear en cada dosificación de hormigones de alto desempeño. Como se indica en la tabla 5 (ver Tabla 5).

5. Proceso de fabricación del hormigón de alto desempeño

Para la fabricación de hormigones de alto desempeño se debe seguir el siguiente procedimiento, previo a la elaboración de la mezcla:

- En primer lugar, se debe obtener el contenido de humedad de los agregados gruesos y finos, mediante el procedimiento descrito en la norma, [10] para realizar las correcciones por humedad pertinentes a la dosificación.
- Las adiciones de sílice requieren una predisposición, antes de ser incorporados en la mezcla del hormigón, en especial el nanosílice que, debido a su superficie específica que es $200 \pm \text{m}^2/\text{g}$, fue necesario un mezclador de altas revoluciones para su solubilidad con una parte del agua de la mezcla a 800 r. p. m. durante 25 minutos.
- Se procede a medir las cantidades determinadas de cada uno de los componentes del hormigón de acuerdo a la cantidad a fabricar.
- A continuación, se humedece el tambor de la concreteira para evitar la pérdida de agua de mezclado durante

Tabla 4.*Cantidades por metro cúbico del hormigón patrón*

Material	Peso (kg)
Cemento	550
Agua	165
Grava	971,89
Arena	647,92
Superplastificante	3,3

Tabla 5.*Cantidades por metro cúbico de hormigones de alto desempeño con inclusión de partículas de microsílíce y nanosílíce*

Material	Cantidad en peso de los materiales (kg)				
	MS-5%	MS-10%	NS-0,75%	NS-1,5%	NS-3%
Cemento	522,50	495,00	545,88	541,75	533,50
Agua	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00
Grava	964,70	958,43	966,35	961,72	952,48
Arena	643,13	638,95	644,23	641,15	634,99
Microsílíce	27,50	55,00	-	-	-
Nanosílíce	-	-	4,13	8,25	16,50
Superplastificante	4,95	6,05	6,05	8,25	12,65

la fabricación del hormigón de alto desempeño.

e. Finalmente, se procede de acuerdo a lo sugerido en [6]:

- Se añade a la concreteira el agregado grueso y fino, se procede a mezclar durante un minuto.
- Luego se agrega el cemento a la concreteira y los materiales se mezclan durante 30 segundos.
- Posteriormente se le incorpora la predisposición de microsílíce o nanosílíce a la concreteira de acuerdo al hormigón de diseño y se mezcla durante otros dos minutos.
- Finalmente, se añade el agua de mezcla faltante junto con el aditivo superplastificante en la concreteira y se mezcla los materiales por dos minutos.

f. Se descarga la concreteira y se procede a determinar la consistencia, trabajabilidad y homogeneidad del hormigón mediante los procedimientos descritos en [11] y [12].

g. En caso de no lograr la trabajabilidad que se requiere, se procede a modificar la cantidad de aditivo superplastificante y se vuelve a realizar la mezcla.

h. Una vez obtenido un hormigón con las características de trabajabilidad adecuadas se procedió a elaborar las probetas de hormigón según lo establecido en [13].

TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES

La determinación de las propiedades del hormigón en estado fresco se realizó inmediatamente luego de haber terminado la mezcla, obteniéndose los valores de consis-

tencia, homogeneidad, asentamiento, [11] fluidez [12] y densidad fresca del hormigón de acuerdo a la normativa ASTM C-138.

En el hormigón endurecido, se procede a la medición de las propiedades mecánicas como son: la resistencia a la compresión, de acuerdo a la norma INEN 1573, la resistencia a la tracción indirecta bajo la normativa INEN 2648, el módulo de la rotura descrita en la INEN 2254, módulo elástico detallado en la ASTM C-469 y la densidad seca referido a la normativa ASTM C-567.

III. RESULTADOS

Para el hormigón de alto desempeño en estado fresco se realizó ensayos de laboratorio determinando los valores de las propiedades de densidad, asentamiento y fluidez de cada mezcla fabricada; mientras que para el estudio del hormigón en estado endurecido se ejecutó ensayos a los 3, 7, 28 y 56 días de edad para conocer la evolución de la resistencia a través del tiempo, de acuerdo a lo que indican las siguientes tablas (ver Tablas 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, Figuras 1, 2, 3 e Imágenes 1, 2 y 3).

IV. CONCLUSIONES

1. Los resultados de la caracterización del hormigón en estado fresco muestran que con la incorporación de las partículas de nanosílíce y microsílíce en la mezcla del

Tabla 6.

Valores de las propiedades del hormigón del alto desempeño en estado fresco

Mezcla	Asentamiento (cm)	Fluidez (cm)	Densidad (kg/m ³)
H. de control	22,00	55,00	2410,54
H. con 5% de microsílíce	21,00	59,50	2370,11
H. con 10 de microsílíce	20,50	64,50	2368,20
H. con 0,75% de nanosílíce	19,50	67,00	2392,55
H. con 1,5% de nanosílíce	19,00	58,50	2398,25
H. con 3,0% de nanosílíce	18,00	50,00	2392,05

Tabla 7.

Valores de densidad endurecida de los hormigones de alto desempeño

Mezcla	Densidad (kg/m ³)			
	3 días	7 días	28 días	56 días
H. de control	2382,57	2380,71	2400,19	2403,42
H. con 5% de microsílíce	2363,30	2338,34	2342,30	2377,32
H. con 10% de microsílíce	2345,59	2362,00	2350,47	2346,84
H. con 0,75% de nanosílíce	2370,30	2385,94	2387,45	2388,22
H. con 1,5% de nanosílíce	2376,33	2402,43	2387,02	2389,08
H. con 3,0% de nanosílíce	2375,97	2383,00	2366,71	2394,07

Tabla 8.

Valores de resistencia a la compresión de los hormigones de alto desempeño

Mezcla	Resistencia a compresión(Mpa)			
	3 días	7 días	28 días	56 días
H. de control	34,77	45,36	61,16	69,08
H. con 5% de microsílíce	21,87	36,03	61,51	69,50
H. con 10% de microsílíce	21,41	36,72	61,68	69,99
H. con 0,75% de nanosílíce	35,13	46,04	63,22	71,18
H. con 1,5% de nanosílíce	36,36	46,97	66,32	74,01
H. con 3,0% de nanosílíce	35,28	46,63	65,21	71,05

Tabla 9.

Valores de resistencia a la tracción indirecta de los hormigones de alto desempeño

Mezcla	Resistencia a tracción indirecta (Mpa)			
	3 días	7 días	28 días	56 días
H. de control	3,13	3,53	5,11	5,22
H. con 5% de microsílíce	2,36	3,06	4,21	4,87
H. con 10% de microsílíce	2,24	2,53	4,22	4,59
H. con 0,75% de nanosílíce	2,69	3,79	4,70	4,89
H. con 1,5% de nanosílíce	2,63	3,94	5,33	5,56
H. con 3,0% de nanosílíce	2,59	3,85	4,67	5,25

Tabla 10.

Valores de módulo dinámico de los hormigones de alto desempeño

Mezcla	Resistencia (Mpa)	
	28 días	56 días
H. de control	6,17	7,24
H. con 5 % microsílíce	6,54	8,08
H. con 10% microsílíce	6,51	8,38
H. con 0,75% nanosílíce	6,39	8,35
H. con 1,5% nanosílíce	7,17	8,69
H. con 3,0% nanosílíce	6,94	8,10

Tabla 11.

Valores de módulo dinámico de los hormigones de alto desempeño

Mezcla	Resistencia (Gpa)			
	3 días	7 días	28 días	56 días
H. de control	32,77	36,21	39,35	41,43
H. con 5% de microsílíce	28,18	31,14	38,02	39,32
H. con 10% de microsílíce	28,54	31,84	36,73	38,82
H. con 0,75% de nanosílíce	33,66	36,90	37,33	39,86
H. con 1,5% de nanosílíce	17,49	33,70	40,99	45,27
H. con 3,0% de nanosílíce	28,25	33,04	42,94	43,61

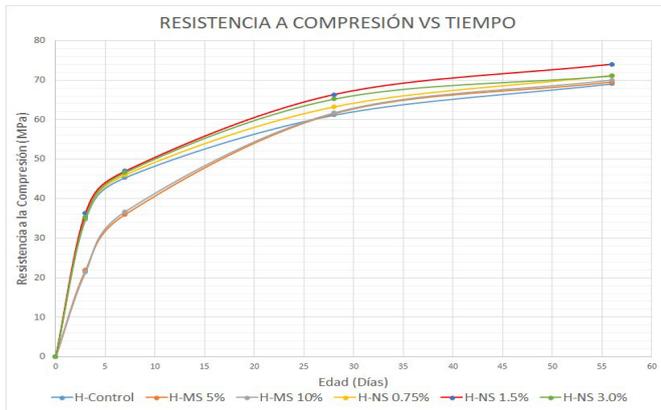


Figura 1.
Resistencia a la compresión vs. tiempo de los hormigones de alto desempeño

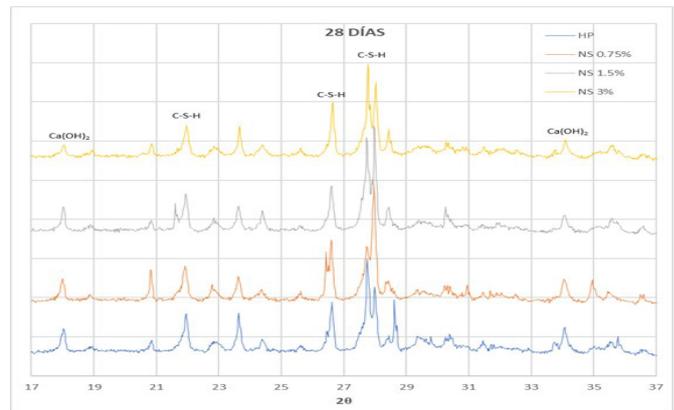


Figura 3.
Comparación de los ensayos XRD de las dosificaciones del hormigón de alto desempeño con nanosílíce a los 28 días

Tabla 12.

Valores de módulo elástico y coeficiente de Poisson de los hormigones de alto desempeño

Mezcla	Módulo elástico (Mpa)	Coefficiente de Poisson
H. de control	31.667,20	0,21
H. con 5 % microsílíce	35.713,53	0,20
H. con 10% microsílíce	36.901,74	0,20
H. con 0,75% nanosílíce	36.367,91	0,20
H. con 1,5% nanosílíce	35.310,52	0,20
H. con 3,0% nanosílíce	35.189,01	0,20

Figura 1.
Resistencia a la compresión vs. tiempo de los hormigones de alto desempeño

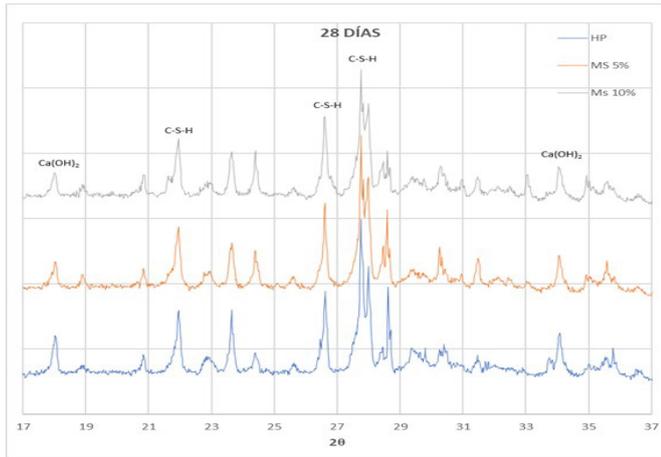


Imagen 1.
Ensayo SEM, del hormigón patrón de alto desempeño a los 28 días. Laboratorio de Microscopía, ESPE

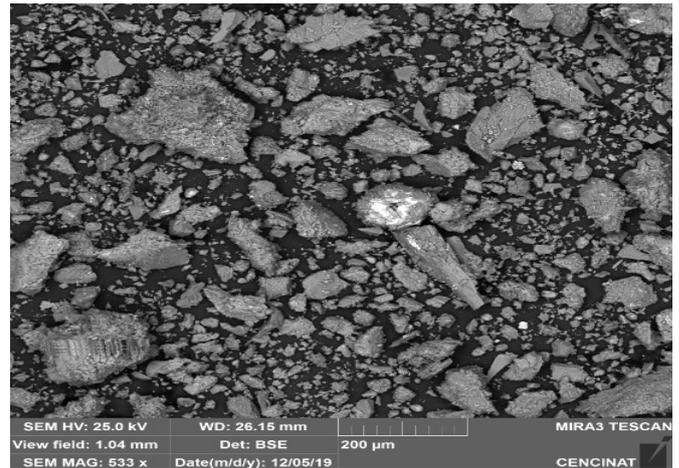


Imagen 2.
Ensayo SEM del hormigón de alto desempeño con adición de nanosílice 1,5% a los 28 días del Laboratorio de Microscopía, ESPE

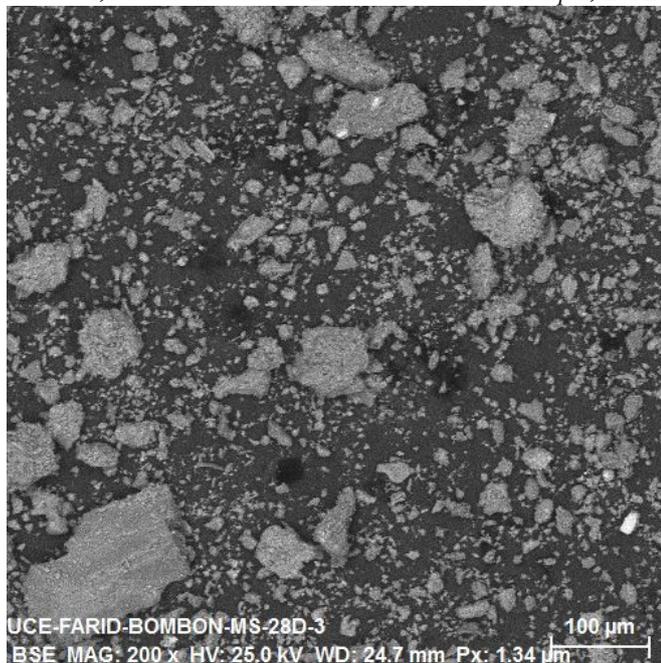
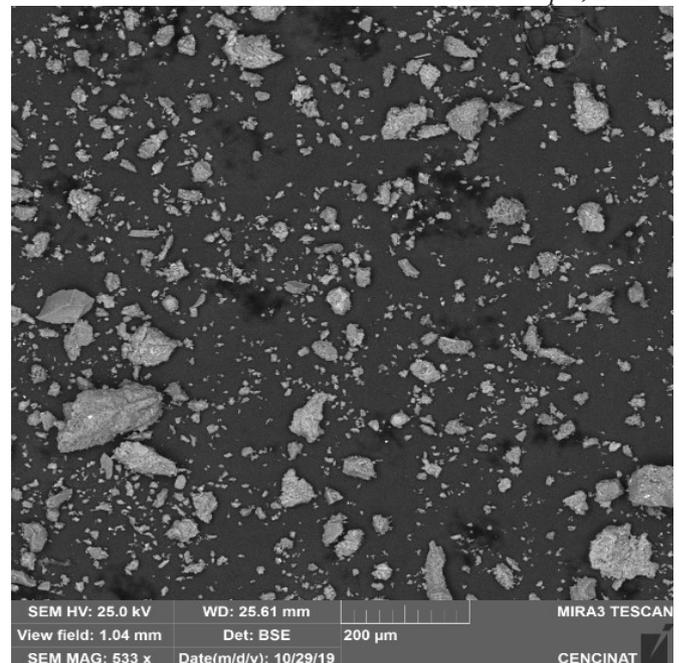


Imagen 3.
Ensayo SEM del hormigón de alto desempeño con adición de microsíllice 5% a los 28 días del Laboratorio de Microscopía, ESPE



hormigón, existe una pérdida de trabajabilidad a medida que aumenta el contenido de partículas de sílice, esto se compensa con el incremento de la cantidad del superplastificante para lograr la trabajabilidad deseada.

2. Las propiedades físicas y mecánicas de los hormigones de alto desempeño con inclusión de partículas de sílice se vieron afectadas positivamente en comparación con el hormigón de control (ver Tablas de la 6 a la 12). En donde se evidencia que con adición de nanosílice se incrementa la resistencia a la compresión en un 8% a los 28 días del ensayo.
3. La propiedad que se vio más beneficiada por la inclusión de nanosílice en un hormigón de alto desempeño

fue el módulo de rotura, el cual alcanzó un valor de hasta 120% del obtenido con el hormigón patrón.

4. La inclusión del 1,5% de nanosílice resultó ser el porcentaje óptimo en reemplazo en peso del cemento, ya que con aquel porcentaje se logró obtener mejores resultados de las propiedades mecánicas del hormigón de alto desempeño.
5. En los ensayos xrd, se determinó que el hormigón con partículas de nanosílice tiene un aumento en el pico de la curva de la figura 2, siendo el sulfato de calcio hidratado, producto de la hidratación del cemento, lo que significa que se tuvo mayor hidratación de la mezcla en comparación con la curva del hormigón patrón.

6. En el ensayo sem, se observa que las partículas de nanosílice producen un llenado de poros de la mezcla, generando así un hormigón más resistente, de baja permeabilidad, y más durable en el tiempo.

REFERENCIAS

- [1] ACI CT-18: ACI Concrete terminology.
- [2] A. Imbaquingo, *Diseño de hormigón de alto desempeño*, tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2012.
- [3] ASTM 125-20: Terminología referente al concreto y agregados para concreto.
- [4] ACI 318-19: Requisitos del Código para hormigón estructural.
- [5] C. Salgado, *Estudio de la actividad puzolánica de microsílíce/nanosílíce y su aplicación en hormigones de altas resistencias*, tesina de especialidad, Universidad de Catalunya, 2010.
- [6] A. Khaloo, M. Hossein y P. Hosseini, «Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete», Elsevier, Teherán, Irán, 2016.
- [7] S. Kosmatka, B. Kerckhoff, W. Panarese y J. Tanesi, *Diseño y control de mezclas de concreto*, 1.ª ed., Illinois, EE. UU., 2004.
- [8] Terence C. Holland. *Silica fume user's manual*, 2005.
- [9] ACI 211.4R-08. *Guía para la selección de proporciones de hormigones de alta resistencia usando cemento Portland y otros materiales cementicios*.
- [10] NTE INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad, 2011.
- [11] NTE INEN 1578. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. 2010.
- [12] ACI 237R-07. Self-consolidating concrete. Reapproved 2019.
- [13] NTE INEN 1576. Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.

ELEMENTOS GRÁFICOS

Imagen 4.

Extracción de los agregados gruesos y finos de la cantera Cope-to Cía. Ltda., ubicada en el margen derecho del río Toachi, Santo Domingo.



Imagen 5.

Fabricación del hormigón de alto desempeño (hpc)



Imagen 6.

Curado del hormigón de alto desempeño (HPC)



Imagen 7.

Ensayo de asentamiento del hormigón de alto desempeño (HPC)



Imagen 8.

Ensayo de compresión del hormigón de alto desempeño (HPC)



Imagen 9.

Ensayo a tracción indirecta o método brasileño del hormigón de alto desempeño (hpc)



Imagen 10.

Ensayo a flexión del hormigón de alto desempeño (HPC)



Imagen 11.

Estructura interna del hormigón de alto desempeño (HPC)



Imagen 12.

Ensayo de ultrasonido del hormigón de alto desempeño (HPC)





REVISTA INGENIO

Evaluación del estado de funcionamiento de transformadores de potencia sumergidos en aceite en las subestaciones eléctricas

Evaluation of the operating status of power transformers submerged on oil on electrical substations

Adán Bastidas | Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Jaime Maquilón | Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Carlos Chávez | Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 21/02/2022
Aceptación: 18/04/2022

PALABRAS CLAVE

Transformador, subestaciones, análisis físico-químicos, análisis cromatográficos de gases.

KEY WORDS

Transformer, substations, physical-chemical analysis, gas chromatographic analysis.

RESUMEN

En la presente investigación se detalla la evaluación del estado de funcionamiento de transformadores de potencia sumergidos en aceite en las subestaciones eléctricas. El estudio se realizó al transformador 13, TEKSA 24-30 MVA, SN: T130201-1 en la subestación de Villa Club, donde se evaluó al transformador de potencia sumergido en aceite, empleando la normativa correspondiente a los procedimientos aplicables para el óptimo funcionamiento en las subestaciones eléctricas. Para la evaluación se consideraron diferentes pruebas, análisis dieléctrico y físico-químicos, análisis de furanos y cromatografía de gases mediante un proceso secuencial de ejecución, de acuerdo a la vigente Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2111:2013, para el óptimo funcionamiento de los transformadores de potencia, además se plantea diagnosticar fallas iniciales por medio de un documento estandarizado para comparar con la norma vigente la vida útil de los transformadores de potencia sumergidos en aceite de las subestaciones eléctricas. Los resultados de esta publicación varían de acuerdo a las pruebas, sin embargo, por las condiciones de trabajo, en todas las pruebas se mantuvieron varios resultados sobre las condiciones del transformador. Los transformadores de potencia, durante el funcionamiento normal, y en particular durante una falla eléctrica, están sujetos a tensiones eléctricas, mecánicas y térmicas. Por lo tanto, es importante que las concesionarias eléctricas realicen periódicamente pruebas a sus transformadores de potencia, con el fin de evaluar su condición, programar trabajos de mantenimiento y planificar su sustitución.

ABSTRACT

This investigation details the evaluation of the operational state of power transformers immersed in oil in electrical substations. The study was carried out on the transformer 13, TEKSA 24-30 MVA, SN: T130201-1 in the Villa Club substation where the power transformer immersed in oil was evaluated using the regulations corresponding to the applicable procedures for optimal operation in electrical substations. The different physical-chemical tests and analyzes and gas chromatography were considered for the evaluation through a sequential process of execution according to the current Ecuadorian technical standard INEN 2111:2013, for the optimal operation of the power transformers, in addition, it is proposed to diagnose initial failures by means of a standardized document to compare the useful life of power transformers immersed in oil in electrical substations with the current standard. The results of this publication vary according to the tests, however, due to the working conditions in all the tests, several results were maintained on the transformer conditions. Power transformers, during normal operation, and in particular during an electrical fault, power transformers are subjected to electrical, mechanical and thermal stresses. Therefore, it is important that electricity concessionaires periodically carry out tests on their power transformers, in order to assess their condition, schedule maintenance work and plan their replacement.

I. INTRODUCCIÓN

La vida útil de los transformadores de potencia, según los fabricantes, es de 25 años aproximadamente, pero en la práctica éstos pueden durar incluso muchos años más en funcionamiento, dependiendo de los mantenimientos preventivos y predictivos realizados periódicamente

con base en la planificación anual de mantenimiento y las pruebas eléctricas, que permitan determinar el estado de vida útil de sus componentes internos (aceite dieléctrico y papel aislante) ante las distintas fallas eléctricas al que está sometido, así como a las altas temperaturas

Tabla 1.
Características del transformador de potencia

Marca	Zhe Jiang (Teksa)
Tipo	SF11-30000-69
Número de serie	T130101-1
Año de fabricación	04-2013
Tipo (montaje)	Exterior
Norma de fabricación	IEC60076
B.I.L AT/MT	LI350AC140/L1110AC38
Altitud de operación	2000 m. s. n. m.
Potencia ONAM/ONAF	24.000/30.000 kva
Relación de conexión y frecuencia	69+2x2,5%13,8 kV Dyn11 60Hz
Número de fases	3
Enfriamiento	ONAM/ONAF
Impedancia	8,07%
Peso de tanque y accesorios	14.000 kg
Peso aceite	9500 kg
Peso parte activa	21.500 kg
Peso transporte	28.500 kg
Peso total	45.000 kg

ocasionadas por la gran demanda del sistema eléctrico de potencia y las condiciones climáticas; todos estos factores afectan directamente al funcionamiento del transformador de potencia [1].

El transformador de potencia TEKSA 24-30 MVA, SN: T130201-1 cuenta con las siguientes características (ver Tabla 1):

Las pérdidas técnicas afectan el rendimiento del transformador de potencia ya que éstas pueden generar incrementos en su temperatura interna afectando su rendimiento nominal debido a su potencia y continuo funcionamiento.

El término «evaluación» ha tomado mucha fuerza en el último siglo debido a la creciente demanda de equipos, maquinaria, herramientas y procesos en el ámbito laboral e industrial. Las tareas de mantenimiento en un principio se limitaban a corregir las fallas y cambiar las piezas dañadas de los equipos importantes, [2] todas estas actividades las realizaban los mismos operarios o trabajadores a cargo de las máquinas, quienes no contaban con un conocimiento especializado de éstas y solo se basaban en su experiencia, a esto se le llamó «mantenimiento correctivo» [3].

Al realizar un diagnóstico y definición del mantenimiento de los transformadores de potencia sumergidos en aceite es necesario emplear datos estadísticos obtenidos en diversos tipos de análisis, tales como: análisis

dieléctrico y físico-químicos, análisis de furanos y cromatografía de gases [4]. Todos estos datos se ejecutan obedeciendo a un programa de mantenimiento predictivo periódico.

Con el fin de determinar las causas de los problemas operativos que sufren las subestaciones eléctricas, se realizan pruebas en los elementos que forman parte del sistema eléctrico, con el objetivo de establecer las condiciones de operación dentro del circuito.

Para el análisis de esta investigación se estudió el transformador de potencia sumergido en aceite de la subestación Villa Club, el cual es considerado un equipo fundamental en los sistemas eléctricos, mismo que, en condiciones normales, puede generar gases, combustibles y no combustibles; eventualmente estas condiciones pueden salirse de lo normal y aumentar bruscamente la generación de gases y ocasionar posibles riesgos, por lo cual es necesario que periódicamente el transformador pase por pruebas eléctricas para detectar posibles fallas y evitar un mal funcionamiento y/o daño del transformador de potencia [5] [6].

Con esta investigación se va a efectuar una amplia evaluación del estado de funcionamiento de los transformadores de potencia sumergidos en aceite en las subestaciones eléctricas, de acuerdo a la normativa vigente ecuatoriana de electricidad nec-sb-ie, por medio de la

Tabla 2.*Parámetros y métodos de análisis de forma referencial*

<i>PRUEBA</i>	<i>UNIDAD</i>
Contenido de agua Norma ASTM D-1533-12	Mg/kg (ppm)
Rigidez dieléctrica 2 mm Norma ASTM D-1816-12	kV
Densidad relativa (15 °C / 15 °C) Norma ASTM D-1298-12B (2017)	Adimensional «1»
Tensión interfacial Norma ASTM D-971-12	mN/m
Número ácido Norma ASTM D-974-14 E2	MgKOH/g
Color Norma ASTM D-1500-12 (2017)	Unidades de color ASTM
Factor de potencia al aceite a 25 °C Norma ASTM D-924-15	%
Factor de Potencia al aceite a 100 °C Norma ASTM D-924-15	%
Azufre corrosivo (3) Norma ASTM D-1275-15	Adimensional «1»
Examinación visual ASTM D-1524-15	Adimensional «1»

implementación de las diferentes pruebas análisis dieléctrico y físico-químicos, análisis de furanos y cromatografía de gases mediante un proceso secuencial de ejecución, para el óptimo funcionamiento del transformador de potencia en estudio.

A continuación, dentro de este estudio se encontrarán varias secciones: la sección de materiales y métodos, donde se desarrolló el proceso de evaluación de los transformadores de potencia sumergidos en aceite y los respectivos análisis de acuerdo a las pruebas a las que fueron sometidos estos transformadores. En otra sección se encontrarán los resultados y discusión, donde se realizó la comparativa del transformador ideal con el transformador de potencia de la subestación Villa Club y, como etapa final, se encuentran las conclusiones y las referencias que fueron cons para efectuar un análisis más profundo de autores reconocidos y tener reseñas que sustenten el trabajo de investigación.

FUNDAMENTACIÓN

A. TRANSFORMADOR DE POTENCIA (TP)

El transformador de potencia es utilizado en subestaciones de distribución eléctrica para concentrar la transfor-

mación de energía en media y alta tensión. También se distribuyen y usan en centrales de generación y usuarios de grandes potencias.

Los transformadores de potencia se caracterizan por ser fabricados para cumplir necesidades particulares de cada cliente, por lo que se adaptan a todo tipo de requerimiento.

B. SISTEMA DE AISLAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES

En un transformador de potencia el sistema de aislamiento esta constituido por aceite y papel.

El aceite dieléctrico cumple múltiples funciones en los transformadores eléctricos: mantiene el aislamiento entre componentes del transformador, permite la homogenización de la temperatura interna y refrigeración, etc.

El papel es la parte más importante del sistema de aislamiento del transformador ya que separa los devanados en la parte activa, si éste sufre degradación se reduce considerablemente la vida útil del transformador.

C. VIDA ÚTIL DE UN ACEITE AISLANTE

La vida útil de un aceite aislante no se puede medir en tiempo propiamente, pues su degradación depende de las condiciones de operación, del régimen de carga del transformador, de su diseño, de la composición del aceite aislante, de su contenido de inhibidos naturales y/o sintéticos.

Tabla 3.*Parámetros de análisis cuantitativo de PCB's disueltos en aceite aislante*

PARÁMETROS	CRITERIOS DE CALIFICACIÓN SEGÚN RESOLUCIÓN 0222 DE 2011
PCB's acloro 1221	Grupo 1 PCB's puro ≤ 10.000 ppm
PCB's acloro 1232	Grupo 2 PCB's aceite contaminado < 100.000 ppm y ≥ 500 ppm
PCB's acloro 1242	Grupo 3 PCB's aceite contaminado < 500 ppm y ≥ 50 ppm
PCB's acloro 1248	Grupo 4 PCB's aceite no contaminado < 50 ppm
PCB's acloro 1254	
PCB's acloro 1260	

Sin embargo, otros sugieren que la vida útil de un aceite aislante se define como el tiempo durante el cual el aceite alcanza un número de neutralización de 3,0 mg KOH/g, este valor se alcanza dependiendo de la cantidad de aire disuelto en el aceite, la hidrólisis del agua presente en el transformador, la descomposición de la celulosa y, de una manera significativa y directa, de la temperatura del transformador.

D. FUNCIONES DEL PAPEL AISLANTE DENTRO DEL TRANSFORMADOR

Cuatro son las funciones básicas que debe cumplir un buen papel aislante dentro del transformador:

Resistencia eléctrica: debe tener buena capacidad de soportar altos voltajes, incluidos esfuerzos de impulso y transientes de sobrecorrientes y/o sobretensiones.

Resistencia mecánica a la tracción: la unidad debe soportar adecuadamente los esfuerzos axiales originados en cortocircuitos.

- Resistencia térmica y buena transferencia de calor.
- Capacidad para mantener sus características deseables.

El papel aislante, en condiciones de expectativa de vida útil de 100%, puede estar estructurado por entre 1000 y 1500 moléculas de glucosa. Las moléculas de la mayoría de los aislamientos están compuestas de muchos átomos agrupados en complejos conjuntos. Su peso molecular puede llegar hasta 1500.

Se considera que el grado de polimerización (GP), es un indicativo del deterioro térmico del papel y, por tanto, de su cristalización y disminución de la resistencia a la tracción mecánica.

Se define como grado de polimerización al número de moléculas de glucosa, de que está compuesta la gran molécula de celulosa. El grado de polimerización varía ampliamente, dependiendo de la fuente del material y del método usado para su formulación.

E. PESO APROXIMADO DEL PAPEL AISLANTE EN UN TRANSFORMADOR

Se reconoce que cualquier transformador cuyo sistema de aislamiento sea papel-aceite, tiene suficiente papel para retener hasta el 10% del total del aceite. S. D. Myers recomienda utilizar este valor como tope máximo, y así poder calcular el peso del papel partiendo del total de galones de aceite indicados en la placa de características del transformador, así:

$$w = (\text{VOL} \times 10\% \times 231 \times 62,5 \times 1,4) 1728$$

Donde:

- w : Peso del papel en libras
- VOL : Galones de aceite según placa
- 10% : Porcentaje de aceite que puede retener el papel.
- 231 : Pulgadas cúbicas en un galón de aceite
- 1728 : Pulgadas cúbicas en un pie cúbico.
- 62,5 : Peso en libras de un pie cúbico de agua
- 1,4 : Gravedad específica del papel.

$$w = 1,17 \text{ vol. gals.}$$

Fuente: «Mantenimiento de transformadores» [7].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La utilización del análisis de gases disueltos se basa en el rompimiento de las moléculas de hidrocarburos tanto en el aceite como en la celulosa, debido a la presencia de alguna falla de tipo térmico o eléctrico [8]. Los gases producidos por este rompimiento pueden ser fácilmente percibidos en una muestra de aceite tomada apropiadamente y ser analizadas por métodos muy sensitivos.

Con la llegada del mantenimiento preventivo se revolucionó la eficiencia de los procesos en la industria, ya que no solo se contaba con guías, manuales de inspección, protocolos de seguridad, etc.; [6] sino también con personal altamente calificado en cualquiera de los diferentes procesos industriales a fin de garantizar una mejor utilización de los recursos, un mejor funcionamiento de las máquinas y una mayor seguridad para las personas,

Tabla 4.*Parámetros de análisis de laboratorio en furanos*

TIPOS DE FURANOS	CRITERIOS DE CALIFICACIÓN
2-ácido furoico	Grupo 1 PCB's puro ≤ 10.000 ppm
5-hidroximetil-2-furaldehído	Grupo 2 PCB's aceite contaminado < 100.000 ppm y ≥ 500 ppm
2-furfurol (alcohol fulfurílico)	Grupo 3 PCB's aceite contaminado < 500 ppm y ≥ 50 ppm
2-furaldehído	Grupo 4 PCB's aceite no contaminado $< a 50$ ppm
2-acetil furano	
5-metil-2-furaldehído	

al igual que una gran disminución de costos en mantenimientos correctivos y pérdidas económicas por paradas imprevistas [9]. De esta forma se lograría una reducción en el presupuesto destinado a repuestos, mayor confiabilidad en el servicio de energía eléctrica y mayor seguridad para las personas, entre otras [9], [10].

Con la implementación y automatización de las pruebas a los transformadores sumergidos en aceite se determinará si el diseño de las partes, componentes principales de un transformador, cumplen con las propiedades necesarias para disipar el calor generado por el funcionamiento propio del mismo cuando opera a potencia nominal, [11] para asegurar la vida útil del transformador, además se realizará un estudio de un método alternativo que ayude a disminuir los tiempos de ejecución de la prueba [12].

A. TRANSFORMADOR DE POTENCIA TEKSA

El transformador de potencia que está en análisis es el TEKSA 24-30 MVA, SN: T130201-1, el cual es un equipo eléctrico estático, estos transformadores de potencia modifican la electricidad en magnetismo para volver a convertirlo en electricidad [12].

El primer análisis que se realizó fue el dieléctrico y físico-químico (ADFQ), según la norma ASTM D-877/D-1816, el cual tiene como objetivo diagnosticar la condición del papel aislante en cuanto a su porcentaje de agua y grado de impregnación de productos de oxidación. Para realizar el primer diagnóstico fue necesario tener en cuenta los parámetros y métodos de análisis de forma referencial, para luego poder hacer la comparativa con el transformador de potencia en estudio. Se sugiere que se desarrollen análisis generales y físicos del aceite dos veces al año, análisis de gas disuelto una vez al año, y análisis de furanos cada dos años en transformadores que llevan al menos cinco años funcionando para garantizar su vida útil. En la figura 1 se muestra el ensayo y los métodos de laboratorio que se tomaron en cuenta para el análisis.

Para realizar el diagnóstico se utilizó la norma IEEE C-57.104-2008, tabla 2, parámetros de medición. También

se utilizó la Norma IEC 60599, en su primera versión de 1999 y su segunda versión corregida del 2007 (ver Tabla 2). Mediante estas pruebas se constata también el análisis cuantitativo de PCB's disueltos en aceite aislante. Este análisis permite identificar el contenido de PCB's (ASKAREL) en aceite de transformadores utilizando el método ASTM D-4059.

El procedimiento puede ser aplicado en la determinación de PCB's presentes en líquidos aislantes, como los utilizados en transformadores, contaminados con arocloros individuales o mezclas de arocloros. También aplica para la determinación de PCB's en mezclas conocidas como askareles, usados como líquidos aislantes.

El muestreo consiste en la acción de obtener una muestra representativa en las cantidades necesarias para el análisis que se requiere. En el caso del muestreo de aceites de transformador para el análisis de PCB's, la muestra puede ser de varias clases, que se distinguen por la altura del muestreo y si la muestra considera un punto o una región del equipo, los parámetros de análisis que se consideraron para esta prueba fueron los siguientes (ver Tabla 3):

Para el análisis de furanos, se empleó el método de laboratorio mediante la Norma ASTM D-5837-15, tabla 4, que permite determinar el grado de polimerización del papel aislante (su deterioro) por compromiso térmico del mismo y proporciona una idea de la vida útil remanente del transformador, además complementa muy bien la cromatografía de gases en cuanto a bióxido y monóxido de carbono (CO₂ y CO) [3].

El análisis de furanos, ha cobrado importancia recientemente toda vez que es un promisorio método útil para la detección del deterioro térmico, hidrolítico y oxidativo del aislamiento sólido (papel) del transformador y es un formidable complemento para cromatografía de gases cuando de la descomposición del papel aislante se trata (ver Tabla 4).

En la tabla 5 se muestra el análisis de cromatografía de gases disueltos en aceite; el análisis de gases disueltos en el líquido aislante se realiza utilizando un cromatógrafo de gases y tomando en consideración el método de prueba ASTM D-3612 [13].

Tabla 5.
Análisis de cromatografía de gases disueltos en aceite

GASES DISUELTOS EN ACEITE	LÍMITES DE CONCENTRACIÓN DE GASES DISUELTOS (UL/L (PPM))			
	C1	C2	C3	C4
Dióxido de carbono (CO ₂)	2500	2501– 4000	4001–10.000	< 10.000
Acetileno (C ₂ H ₂)	1	2–9	10–35	< 35
Etileno (C ₂ H ₄)	50	51–100	101–200	< 200
Etano (C ₂ H ₆)	65	66–100	101–150	< 150
Metano (CH ₄)	120	121–400	401–1000	< 1000
Monóxido de carbono (CO)	350	351– 570	571–1400	< 1400
Hidrógeno (H ₂)	100	101– 700	701–1800	< 1800

Durante la operación normal del equipo, los materiales aislantes que se encuentran dentro del transformador (aislamiento líquido y sólido), se empiezan a descomponer con el tiempo y esto hace que se vaya debilitando o perdiendo poco a poco sus propiedades dieléctricas (efecto de la degradación) para las que es utilizado dentro del transformador (como aislante) [14] (ver Tabla 5).

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos permitieron observar el análisis de las diferentes pruebas: análisis dieléctrico y físico-químicos, análisis de furanos y cromatografía de gases donde se mostraron varios resultados. Todos estos resultados se hicieron bajo la autorización del laboratorio Transequipos s. A, laboratorio de gran capacidad, que cuenta con servicios de diagnóstico y análisis, los cuales están basados en normas vigentes, que aseguran resultados confiables, ya que no brindan solo un resultado, sino que ayudan a interpretarlos. Cabe indicar que los resultados no fueron sometidos a un software, sino que se utilizó Excel como herramienta de tablas estadísticas y gráficos estadísticos.

Desde el punto de vista de seguridad del sistema eléctrico del transformador de potencia y considerando que los mismos están conformados por un gran número de elementos, es importante realizar el análisis de contingencia. En las figuras 5, 6, 7 y 8 el análisis dieléctrico y físico-químico tiene como objetivo controlar la calidad del aceite nuevo, determinar la capacidad del aceite en servicio, diagnosticar las condiciones internas del equipo y sistema, y proponer las medidas correctivas de acuerdo con el estado del aceite.

En este sentido se realizaron las pruebas con base en las siguientes normas:

Contenido de agua, Norma ASTM D-1533-12, rigidez dieléctrica 2 mm, Norma ASTM D-1816-12, densidad

relativa (15 °C / 15 °C), Norma ASTM D-1298-12B (2017), tensión interfacial, Norma ASTM-D-971-12, número ácido, Norma ASTM D-974-14 E2, color, Norma ASTM D-1500-12 (2017), factor de potencia al aceite a 25 °C, Norma ASTM D-924-15, factor de potencia al aceite a 100 °C, Norma ASTM D-924-15, azufre corrosivo (3), Norma ASTM D-1275-15, examinación visual (3), ASTM D-1524-15, de acuerdo a estos intervalos de aceptabilidad las condiciones dieléctricas y físico-químicas son estables en el transformador de potencia en estudio (ver Tabla 6).

En el gráfico 1 se muestran los aceites minerales aislantes en equipos eléctricos, los cuales están administrados por la normativa de supervisión y mantenimiento IEC 60442 (ver Gráfico 1).

En el gráfico 2 se muestran las curvas de equilibrio de humedad para el sistema de papel/aceite, reproducido por medio de la ecuación de Fressier (ver Gráfico 2).

Estos dos gráficos proyectados nos muestran como resultado que la saturación de agua en el aceite es de un 9%, concentración de agua en papel 2,59%, contenido de agua: 13 p. p. m., temperatura promedio del transformador 45°, temperatura del aceite 40° y la temperatura de la muestra 40°. Se recomienda utilizar el criterio de saturación relativa del aceite para evaluar la humedad de los transformadores.

En el gráfico 3 se muestra el código de acción con respecto al índice de calidad, el cual muestra que el índice de calidad es de 2,345, el número ácido 0,0138, tensión interfacial 33,6, volumen de aceite por galón 845 (ver Gráfico 3).

De acuerdo a estos resultados, se recomienda tomar una muestra para análisis de contenido de inhibidor y una muestra para análisis físico-químico en 12 meses.

En la tabla 7 en el Reporte de análisis cuantitativo de PCB's disueltos en aceite aislante, Norma ASTM D-4059-00 (2010) se pudo evidenciar, según criterios de calificación, Resolución 0222 de 2011, que el límite de cuantificación para arocloro 1221, 1232, 1242, 1248, 1260 y PCB's totales

Tabla 6.

Reporte del análisis dieléctrico físico químico - 219693

PRUEBA	UNIDAD	EQUIPO DE PRUEBA	VALOR MEDIDO	INTERVALO DE ACEPTABILIDAD
Contenido de agua Norma ASTM D 15-33-12	mg/kg (ppm)	CLM-02	7	Aceptable ≤ 35 ; Inaceptable $> 35(1)$
Rigidez dieléctrica 2 mm Norma ASTM D 1816-12	kV	CH-02	<u>53</u>	Aceptable ≥ 40 ; Inaceptable $< 40(1)$
Densidad relativa (15 °C/15 °C) Norma ASTM D 1298-12B (2017)	Adimensional «1»	DS-10	<u>0,8467</u>	Aceptable 0,84-0,91; Cuestionable $< 0,84$; Inaceptable $\geq 0,91 (2)$
Tensión interfacial Norma ASTM D-974-12	mN/m	TF-01	<u>40,6</u>	Aceptable ≥ 25 ; Inaceptable $< 25(1)$
Número ácido Norma ASTM D-974-14 E2	mgKOH/g	BR-01	<u>0,01</u>	Aceptable $\geq 0,2$; Inaceptable $> 0,2(1)$
Color Norma ASTM D-1500-12 (2017)	Unidades de color ASTM	CL-01	<u>$\leq 0,5$</u>	Aceptable $\geq 3,5$; Inaceptable $> 3,5(1)$
Factor de potencia al aceite a 25°C. Norma ASTM D-924-15	%	FP-01	<u>0,048</u>	Aceptable $\geq 0,500$; Inaceptable $> 0,500(1)$
Factor de potencia al aceite a 100 °C. Norma ASTM D-924-15	%	FP-01	<u>0,15</u>	Aceptable $\geq 5,00$; Inaceptable $> 5,00(1)$
Azufre corrosivo (3) Norma ASTM D-1275-15	Adimensional «1»	EST-01	<u>2E</u>	Lecturas iguales o mayores a 4A son corrosivas
Examinación visual (3) ma ASTM D-1524-15	Nor- Adimensional «1»		Claro y brillante	Claro o brillante = aceptable
Toma de muestras según ASTM D-923-15 1) Norma IEEE C-57-106 2015: límites sugeridos para aceites en operación. Intervalo de tensión ≤ 69 kV, para una ten- sión de 69.000 v 2) Criterios de la s. D. Myers de USA 3) Prueba no acreditada Condiciones de tensión interfacial			Valores de rigi- dez dieléctrica Norma ASTM D-877, lec- turas en kV Norma ASTM D-1816, lec- turas en kV	Tipo de líquido aislante Aceite mineral Condiciones de factores de potencia Tipo de la celda usada
Temperatura del agua (°C): 20,0	Densidad del agua (g/mL): 0,995	2 mm	57 57 51 49 51	Celda de tres terminales
Temperatura del aceite (°C): 20,0	Densidad del agua (g/mL): 0,839			Gradiente de voltaje 500 V/mm (12,5 V/mil) (ms) Frecuencia 60 Hz

en mezcla: 1,0 μg /límite de cuantificación para arocloro 1254: 2,0 μg /g. Basados en estos resultados el transformador de potencia en la subestación eléctrica de Villa Club se encuentra en la categoría grupo 4: aceite no contaminado (ver Tabla 7).

Cabe recalcar que ninguna prueba por sí sola debe considerarse como un indicativo aisladamente confiable para tomar cualquier decisión en materia de mantenimiento. Por este motivo es necesario considerar el conjunto de pruebas más importantes que miden la degradación y

Gráfico 1.

Temperatura del aceite durante el funcionamiento

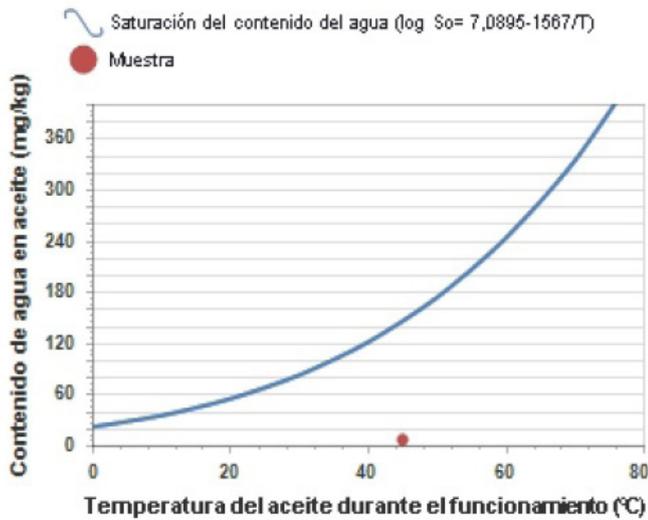


Gráfico 2.

Concentración de agua en aceite (ppm)

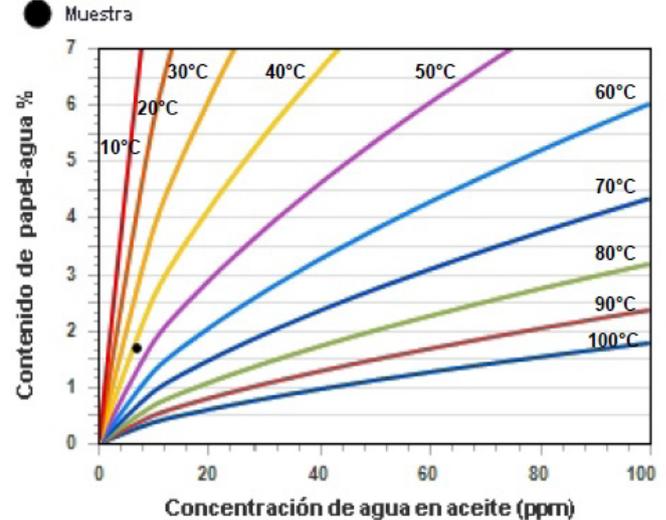
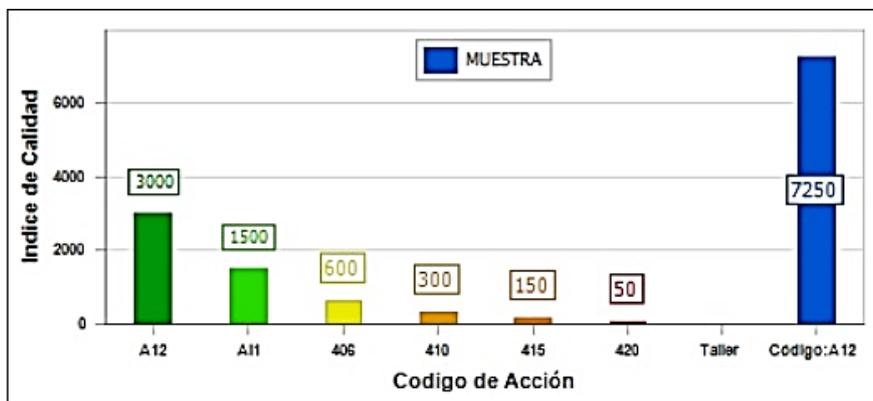


Gráfico 3.

Códigos de acción



Gráfica 3. Código de acción a aplicar con respecto al Índice de Calidad

Recomendaciones							
Índice de Calidad	7,250	Número Ácido	0.0056	Tensión Interfacial	40.6	Vol. Aceite (Gal)	2885
Código de Acción	A12. Tomar muestra en 12 meses						

Códigos de acción	
<ul style="list-style-type: none"> A12: Tomar muestra en 12 meses A11: Tomar muestra para análisis de contenido de inhibidor. Tomar Muestra para Análisis Físico-Químico en 12 meses 	<p>Códigos de acción en negrilla aplican cuando el contenido de agua es inaceptable y por el código de acción correspondiente a la gráfica 3.</p> <ul style="list-style-type: none"> 506: Regeneración de aislamientos y secado de la parte activa con 6 recirculaciones 510: Regeneración de aislamientos y secado de la parte activa con 10 recirculaciones 515: Regeneración de aislamientos y secado de la parte activa con 15 recirculaciones 520: Regeneración de aislamientos y secado de la parte activa con 20 recirculaciones 200: Secado de la parte Activa
<ul style="list-style-type: none"> 406: Regeneración de aislamientos con 6 recirculaciones 	
<ul style="list-style-type: none"> 410: Regeneración de aislamientos con 10 recirculaciones 	
<ul style="list-style-type: none"> 415: Regeneración de aislamientos con 15 recirculaciones 	
<ul style="list-style-type: none"> 420: Regeneración de aislamientos con 20 recirculaciones 	
<ul style="list-style-type: none"> Taller: Realizar mantenimiento en taller 	

contaminación de los aceites. Basados en estos resultados el transformador de potencia en la subestación eléctrica de Villa Club se encuentra en la categoría grupo 4: aceite no contaminado.

Se realizó el reporte de análisis de furanos Norma ASTM D-5837-2015, la cual estableció la concentración de furanos ppb que a continuación se detalla en la tabla 8 (ver Tabla 8).

Las pruebas de degradación del aceite resultan en niveles igualmente aceptables en la mayoría de los casos, mientras que algunos resultan cuestionables en el rango de la misma calificación para los furanos, esto nos dice que cuando se tiene el máximo de información sobre un transformador, las diferentes pruebas que se ejecutan son compatibles y complementarias entre sí.

Tabla 7.

Reporte de análisis cuantitativo de PCB's disueltos en aceite aislante

Parámetro	Concentración ug/g (ppm)	Criterios de calificación según Resolución 0222 de 2011
PCB's Acloro 1221	< 1,0	Grupo 1:
PCB's Acloro 1232	< 1,0	PCB's puro \geq 10.0000 ppm
PCB's Acloro 1242	< 1,0	Grupo 2:
PCB's Acloro 1248	< 1,0	aceite contaminado < 100.000 ppm y \geq 500 ppm
PCB's Acloro 1254	< 2,0	Grupo 3:
PCB's Acloro 1260	< 1,0	aceite contaminado < 500 y 50 ppm
		Grupo 4:
		aceite no contaminado < a 50 ppm
PCB's Acloro totales en mezcla (Acloros 1221, 1232, 1242, 1248, 1254 y 1260)	< 1,0	CALIFICACIÓN
		Grupo 4:
		ACEITE NO CONTAMINADO

Tabla 8.

Análisis de la concentración de furanos

Tipo de furano	Concentración de furanos (ppb)
HMF	< 10
FURFUROL	< 10
2-FURFURALDEHÍDO	30
AC. FURAN/FMK	< 10
METHYFAL	< 10
Grado de polimerización según Chendong 628	Tiempo de vida útil. Remanente (%) 82

En la tabla 9 se detalla el Reporte de análisis de cromatografía de gases disueltos en aceite ASTM D-3612-2002 (2017) método c. Los resultados fueron: gases disueltos en aceite dióxido de carbono (CO₂) 3187,5, acetileno (C₂H₂) < 0,3, etileno (C₂H₄) 3,2, etano (C₂H₆) 1,8, metano (CH₄) 15,2, monóxido de carbono (CO) 1014,7, hidrógeno (H₂) 10,9, con un resultado de gases combustibles de 1,046, oxígeno 6715,9, nitrógeno 28.937,2, dando un total de gases de 39.886 (ver Tabla 9).

Y, por último, se realizó el análisis de cromatografía de gases disueltos en aceite, utilizando Norma IEEE C-57-104-2008: guía IEEE para la interpretación de gases generados en transformadores sumergidos en aceite numeral 6,5, Evaluación de la condición del transformador usando concentraciones individuales y TDCG (total de gases combustibles). Figura 11.

ANEXO DIAGNÓSTICO

CONDICIÓN QUE APLICA: CONDICIÓN C2

En este análisis existe un posible deterioro del papel aislante; recomendamos medir consumo de corriente y ve-

rificar condiciones de ventilación y/o refrigeración del equipo, por lo que se recomienda realizar periódicamente otras pruebas en 12 meses.

Estos resultados se acogen a condición 2 (C2): TDCG dentro de este rango indica un nivel de gases combustibles mayor que el normal. Cualquier gas combustible individual que exceda los niveles especificados debería provocar una investigación adicional.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos a través las pruebas realizadas a lo largo de este documento se demostraron mediante el documento estandarizado en la figura 12, que el transformador 13 TEKSA 24-30 MVA, SN: T130201-1 en la subestación de Villa Club se encuentra dentro de los parámetros de aceptabilidad, por lo que es importante que los mantenimientos preventivos y predictivos se realicen al menos una vez cada 12 meses para revisar el estado funcional de los transformadores.

El análisis fisicoquímico de los aceites nos permitió obtener una información clara sobre la calidad del aceite, indicando sus condiciones químicas, mecánicas y eléctricas, además el análisis fisicoquímico se compone de un grupo de pruebas

Tabla 9.

Reporte de análisis de cromatografía de gases disueltos en aceite ASTM D-3612-2002 (2017), método c

Gases disueltos en aceite	Concentración (uL/L (ppm))	% TDGC	Límites de concentración de gases disueltos (uL/L (ppm))				Condición
			C1	C2	C3	C4	
Dióxido de carbono	1048,2	-	2500	2501-4000	4001-10.000	<10.000	C1
Acetileno (C ₂ H ₂)	<0,3	0,0	1	2-9	10-35	<35	C1
Etileno (C ₂ H ₄)	3,4	1,2	50	51-100	101-200	<200	C1
Etano (C ₂ H ₆)	15,2	5,2	65	66-100	101-150	<150	C1
Metano (CH ₄)	2,6	0,9	120	121-400	401-1000	<1000	C1
Monóxido de carbono (CO)	258,6	87,9	350	351-570	571-1400	<1400	C1
Hidrógeno (H ₂)	14,4	4,9	100	101-700	701-1800	<1800	C1
Subtotal gases combustibles	294	100	720	721-1920	1921-4630	<4630	C1
Oxígeno	9330,1		Nota: Tabla nº 1 Norma IEEE C57-104-2008				
Nitrógeno	26.052,8		Toma de muestras según Norma ASTM D-923-15				
			*TDGC: TOTAL DE GASES COMBUSTIBLES				
Total gases	36.725		Los gases en negrilla son combustibles				

que son necesarias para determinar la calidad del aceite y establecer en qué estado se encuentra el transformador y estimar las posibles fallas que se están presentando al interior de éste y poder determinar un diagnóstico preciso.

La cromatografía de gases, nos permitió detectar a corto plazo y de una forma mucha más sensible los cambios inmediatos en las condiciones operativas del transformador, siguiendo las normativas correspondientes, para ello es importante mencionar que en el mantenimiento de los

transformadores de potencia se permitió conocer el estado funcional del mismo para en un futuro prevenir fallas inesperadas en los transformadores.

Los análisis de las pruebas de diagnóstico del equipo se rigen mediante una serie de normas establecidas internacionalmente. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que no todos los transformadores son iguales, operan bajo las mismas condiciones ambientales y de carga o han tenido las mismas contingencias.

Condición 1 (C1): TDGC por debajo de este nivel indica que el transformador está funcionando satisfactoriamente. Cualquier gas combustible individual que exceda los niveles especificados debería provocar una investigación adicional.	Condición 2 (C2): TDGC dentro de este rango indica un nivel de gases combustibles mayor que el normal. Cualquier gas combustible individual que exceda los niveles especificados debería provocar una investigación adicional. Se deben tomar medidas para establecer una tendencia, puede haber presencia de fallas.
Condición 3 (C3): TDGC dentro de este rango indica un alto nivel de descomposición. Cualquier gas combustible individual que exceda los niveles especificados debería provocar una investigación adicional. Se deben tomar medidas inmediatas para establecer una tendencia. Probablemente haya presencia de fallas.	Condición 4 (C4): TDGC que excede este valor indica una descomposición excesiva. La operación continua podría ocasionar la falla del transformador. Proceda de inmediato y con precaución

Por esta razón, el mantenimiento debe asegurar la eficiencia del transformador de potencia sumergido en aceite, tomando en cuenta las acciones preventivas y predictivas, a fin de alcanzar el ideal de operación sin fallas a lo largo de la vida útil.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de analizar y realizar las pruebas dieléctricas y físico-químicas, como lo muestran las figuras 5, 6, 7 y 8 se concluye que, de acuerdo a los intervalos de aceptabilidad las condiciones dieléctricas y físico-químicas, son estables en el transformador de potencia en estudio.

Tabla 10.*Documento estandarizado / Comparativa de la normativa vigente y el diagnóstico en laboratorio*

<i>PRUEBAS</i>	<i>Normativa vigente ecuatoriana de electricidad NEC-SB-IE</i>	<i>DIAGNÓSTICO DE LABORATORIO (concentración) Datos realizados por los autores</i>	<i>INTERVALO DE ACEPTABILIDAD Aceptable/Inaceptable</i>
Análisis dieléctrico	Norma ASTM D-1533-12 Norma ASTM D-1816-12 Norma ASTM D-1298-128 (2017) Norma ASTM D-971-12 Norma ASTM D-974-14E2 Norma ASTM D-1500-12 (2017) Norma ASTM D-924-15 Norma ASTM D-1275-15 ASTM D-1524-15	53,0	Aceptable
Análisis físico químico	Normativa de supervisión y mantenimiento IEC 60442	Saturación de agua en el aceite 9% Concentración de agua en papel 2,59% Contenido de agua: 13 ppm Temperatura promedio del transformador 45° Temperatura del aceite 40° Temperatura de la muestra 40°	Aceptable
Análisis de furanos	Norma ASTM D-5837-2015	10,0	Aceptable
Análisis de cromatografía de gases	ASTM D-3612-2002 (2017) Método c	Condición 2	Aceptable

Esto indica que estas pruebas determinaron que el estado real del aceite está en condiciones estables, el aceite tiene una mayor rigidez dieléctrica, una minimización de la oxidación y un menor nivel de corrosión a las partes metálicas de los transformadores sumergidos en aceite.

Por otro lado, se realizó el análisis de furanos como se observa en la figura 9, esta prueba se hizo mediante la Norma ASTM D-5837-2015, con la cual se obtuvo una concentración de furanos óptima, al obtener un resultado estable de furanos es más fiable que la degradación del aislamiento de celulosa sea sensible a la degradación térmica y a la oxidación.

La última prueba que se realizó el análisis de cromatografía de gases disueltos en aceite, como se verifica en la figura 11, el cual arrojó como resultado la condición 2 de la Norma ASTM D-3612-2002 (2017), método c, la cual menciona:

TDCG (índice de salud) dentro de este rango indica un nivel de gases combustibles mayor que el normal. Cualquier gas combustible individual que exceda los niveles especificados debería provocar una investigación adicional. Se deben tomar medidas para establecer una tendencia, puede haber presencia de fallas.

En este sentido, si no se toman correctivos podría producir un gran volumen de gases de bajo peso molecular como metano e hidrógeno y gases de alto peso molecular,

pero en menores proporciones como etano y etileno. A temperaturas mayores a los 500 °C, el porcentaje de hidrógeno supera a la del metano y el volumen de los gases de alto peso molecular aumenta considerablemente, teniendo el etano una mayor proporción que el etileno. En el aislamiento sólido (celulosa del papel), la degradación ocurre a temperaturas menores que la del aislamiento líquido, por lo que es posible encontrar dióxido de carbono, monóxido de carbono y vapor de agua en el transformador operando a temperaturas normales, pero solo si el resultado de la relación CO₂ / CO es > 7, indica la presencia de sobrecalentamiento en el aislamiento sólido (celulosa del papel).

REFERENCIAS

- [1] A. Juárez, V. Larin y N. Vásquez, «Estudio de la vida útil de los transformadores de potencia en servicio: ensayos de laboratorio y evaluación térmica», 2018. Accessed: Mar. 21, 2022. [Online]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19333/1/Estudio%20de%20la%20vida%20%C3%BAtil%20de%20los%20transformadores%20de%20potencia%20en%20servicio%20Ensayos%20de%20laboratorio%20y%20evaluaci%C3%B3n%20t%C3%A9rmica.pdf>

- [2] D. Alvarado, *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de las principales subestaciones de la empresa de energía de Boyacá S. A. E. S. P., aplicado por la Empresa Asistencia Técnica Industrial Ltda.*, tesis, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2017. [Online]. Available: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2722/1/TGT_1317.pdf
- [3] G. Crespo *et al.*, «Diagnóstico de transformadores de potencia a partir de compuestos furanos», Scielo, 2016, [Online]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v36n2/rtq10216.pdf>
- [4] O. Cando y J. Pinto, *Diseño y planificación del soterramiento del sistema eléctrico en el área urbana, sector centro del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi*, tesis, ESPE, 2019. [Online]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22772/2/T-ESPEL-EMI-0378.pdfv>
- [5] J. Montané, S. Dorrbercker y A. Orestes, “El mantenimiento a los transformadores de potencia; su análisis en el caso de una central termoeléctrica cubana”, *Ingeniería Energética*, vol. xxxii, n.º 2, pp. 56-64, 2011.
- [6] T. Ibrahim, S. Dessouky and S. Ghoneim, «Transformer fault types and severity class prediction based on neural pattern-recognition techniques», *Electric Power Systems Research*, 2021.
- [7] E. Gallo, *Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en campo*, Bogotá, 2005.
- [8] E. García y Ch. Gaspar, *Diagnóstico y mantenimiento de transformadores de gran potencia en aceite (aplicado a un transformador de 160 MVA, 13,8 kv /138 kv de la central térmica Trinitaria)*, tesis, UPS, 2010.
- [9] M. Mago, L. Valles, J. Olaya y M. Zequera, «Análisis de fallas en transformadores de distribución, utilizando ensayos no destructivos y pruebas de tensión mecánicas», *Redalyc.org*, vol. 18, pp. 15-26, 2011.
- [10] M. Cabral y J. Fernández, «Técnicas de diagnóstico para mantenimiento preventivo de transformadores y equipamiento de subestaciones», *IEEE Xplore*, 2006.
- [11] R. Pérez, O. Ramírez y S. Fernández, «Métodos modernos de diagnóstico para grandes transformadores en tiempo real», *Energética*, 2001.
- [12] Cnsd, «Características del transformador Teksa». <http://m.cnsdpowers.com/power-transformer/oil-transformer/three-phase-power-transformer.html>
- [13] Multipruebas, «Pruebas iniciales y mantenimiento eléctrico con personal calificado y equipo calibrado», 2018. <https://www.multipruebas.mx/cromatografia-de-gases-disueltos-en-el-aceite.html>
- [14] G. Energy, «Laboratorio de aceites», 2019. <https://transformadoresgvr.com/laboratorio/>



Adoquines de hormigón ecoamigables fabricados con la incorporación de una mezcla de micro-nano sílice

Eco-friendly concrete pavers made with silica fume and nanosilica additions

Mohammad Farid Alvansaz | Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Byron Arévalo | Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Julio Arévalo | Universidad Central del Ecuador, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 21/02/2022

Aceptación: 18/04/2022

PALABRAS CLAVE

Adoquines de hormigón, ecoamigable, microsílíce, nanosílíce, propiedades físico-mecánicas, durabilidad.

KEY WORDS

Concrete pavers, eco-friendly, silica fume, nanosilica, physical-mechanical properties, durability.

RESUMEN

En el presente estudio, se investiga la influencia del uso de micro y nanopartículas de sílice como sustituto parcial del cemento sobre las propiedades físico-mecánicas de adoquines de hormigón. Se reemplazaron porcentajes de microsílíce (5%, 10% y 15%) y nanosílíce (1%, 1,5% y 3%) por cemento al peso, y una combinación de ambos materiales con porcentajes de resultados óptimos. El microsílíce al 15%, nanosílíce al 3% y la combinación de ambos materiales (mezcla mix), resultó en un aumento de la resistencia a la compresión en un 28%, 12% y 23%, respectivamente, en comparación con la mezcla de control. Los adoquines sometidos a los ensayos establecidos en la norma NTE INEN 3040, obtuvieron resultados muy satisfactorios. Finalmente, se concluyó que las adiciones con nano y microelementos de sílice permiten obtener adoquines con mejores desempeños y durabilidad, contribuyendo así con la reutilización de materiales alternativos y subproductos de procesos industriales, generando un beneficio medioambiental directo.

ABSTRACT

In the present study, the influence of the use of micro and nano particles of silica as a partial substitute for cement on the physical mechanical properties of concrete pavers is investigated. Percentages of microsilica (5%, 10%, and 15%) and nanosilica (1%, 1,5% and 3%) were replaced by cement by weight, and a combination of both materials with percentages of optimal results. The 15% microsilica, 3% nanosilica and the combination of both materials (mixture mix), resulted in an increase in compressive strength by 28%, 12% and 23%, respectively, compared to the mixture of control. The paving stones subjected to the tests established in the NTE INEN 3040 standard, obtained very satisfactory results. Finally, it was concluded that the additions with nano and microelements of silica allow to obtain pavers with better performance and durability, thus contributing to the reuse of alternative materials and by-products of industrial processes, generating a direct environmental benefit.

I. INTRODUCCIÓN

Aunque los adoquines hechos de concreto u hormigón pueden ser un producto relativamente nuevo, su uso como material de revestimiento no es reciente, ya que se los utiliza desde tiempos inmemoriales [1]. Los adoquines de hormigón prefabricados poseen diferentes formas y tamaños, tienen superficies excelentes, son

duraderos, resistentes, económicos y requieren menos mantenimiento cuando son colocados correctamente. [2]. Un pavimento articulado (adoquinado) constituye una excelente elección de entre otros tipos de pavimentos (rígidos y flexibles) por sus buenas prestaciones en la relación costo-rendimiento y por su alto potencial de

reutilización [3]. Los adoquines de hormigón son utilizados ampliamente en edificios industriales, municipales y gubernamentales [4].

El hormigón se considera uno de los materiales más utilizados en el mundo, con una producción anual estimada de 27,3 mil millones de toneladas en 2015, lo que da un promedio de $1,6 \text{ m}^3$ por persona en la tierra [5]. El cemento Portland, el aglutinante de hormigón esencial, representa casi el 80% de las emisiones totales de CO_2 del hormigón, compartiendo entre el 5% y el 7% de las emisiones totales de CO_2 del planeta [6]. Es probable que la demanda de cemento Portland aumente en casi un 200% con respecto a las tasas de 2010 para 2050, alcanzando los 6000 millones de toneladas al año [7].

Existe un gran problema asociado con los desechos producidos por las industrias responsables de la contaminación ambiental. El deber de la industria de la construcción es ayudar al mundo a controlar la contaminación mediante la utilización, reutilización o eliminación de desechos industriales para incorporarlos en la fabricación de hormigón u otros materiales relacionados con la construcción, como es el caso de los adoquines de hormigón. [8]. En la actualidad existen varios materiales a base de sílice (puzolanas) que se los puede utilizar como sustituto del cemento hasta cierto porcentaje en el hormigón, entre los cuales podemos mencionar a las cenizas volcánicas, microsílíce, nanosílíce, metacaolín, la ceniza de la cáscara de arroz u otros materiales de desecho complementarios que provocan menores emisiones de dióxido de carbono que los tradicionales, al tiempo que ofrecen la misma fiabilidad y una durabilidad mucho mayor [9].

La incorporación de micro y nanopartículas de sílice en el hormigón mejoran el efecto de relleno (empaquetamiento) y distribución del tamaño de partícula [10], disminuyendo así la porosidad en el concreto y aumentando la reacción puzolánica con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CH) para producir gel CSH (silicato de calcio hidratado), especialmente en la zona de transición interfacial (ITZ) entre la pasta de cemento y el agregado, con lo cual se consigue aumentar la resistencia mecánica del hormigón, (especialmente en los primeros días), su durabilidad e impermeabilidad [11]. Las partículas de nano y microsílíce llenan los vacíos de la estructura del gel CSH y actúan como núcleo para unirse fuertemente con otras partículas del mismo gel [12]. Esto significa que la aplicación de nanosílíce reduce la tasa de lixiviación de calcio de las pastas de cemento y, por lo tanto, aumenta su durabilidad. El mecanismo principal de este principio de funcionamiento está relacionado con la superficie específica alta del nanosílíce, porque funciona como sitio de nucleación para la precipitación del gel CSH [13].

II. MATERIALES Y EXPERIMENTACIÓN

En la presente investigación se realizó una mezcla de hormigón con una resistencia base a la compresión de 51,65 MPa para la fabricación de adoquines. Se utilizó micro y nanopartículas de sílice como sustituto parcial del cemento en diferentes porcentajes. Para adoquines con microsílíce se utilizaron tasas de reemplazo de 5%, 10% y 15%, mientras que para los adoquines con nanosílíce se usaron porcentajes de 1%, 1,5% y 3%. Mediante el ensayo de resistencia a la compresión simple se obtuvieron los mejores resultados (óptimos) de porcentaje de reemplazo, con lo cual se partió para realizar una combinación entre nano y micropartículas de sílice (mezcla mix) con el fin de evaluar las propiedades físicas y mecánicas mencionadas en la norma NTE INEN 3040: 2016 para adoquines de hormigón.

MATERIALES

1. Agregados

Los agregados utilizados en la presente investigación pertenecen a la cantera de Holcim Pifo, ubicada dentro de la provincia de Pichincha, cantón Quito. La mina está conformada por roca andesita con tonalidades rosadas y en transición con andesitas grises que subyacen, las cuales fueron alteradas tectónicamente en el sitio. Los agregados poseen características favorables para la fabricación de hormigón. Los ensayos normalizados para agregados pétreos se mencionan en la norma NTE INEN; en la tabla 1 se especifica cada uno de ellos (ver Tabla 1).

Se empleó la arena fina no lavada y el agregado grueso N.º 8 de la mina de Holcim Pifo. El agregado grueso posee un tamaño máximo nominal de 3/8 de pulgada (9,53 mm). En la tabla 2 se muestran las propiedades y características de los agregados (ver Tabla 2).

2. Cemento

El cemento utilizado fue el Holcim Utká tipo MS, cuyo valor de densidad es de $2,94 \text{ g/cm}^3$, el cual ha sido diseñado específicamente para la fabricación de elementos de hormigón prefabricados, como es el caso de adoquines.

3. Microsílíce

El microsílíce utilizado en la investigación es MasterLife SF 100, el cual es un aditivo mineral compuesto de microsílíce compactada con una superficie específica de $15.000 \text{ m}^2/\text{kg}$, empleada como aditivo en la elaboración de hormigones y morteros, fabricado por la empresa química alemana multinacional BASF y distribuido en el

Tabla 1.*Normativa que establece los requerimientos del agregado pétreo*

<i>Ensayo</i>	<i>Norma</i>
-Abrasión	INEN 860
-Colorimetría	INEN 855
-Densidad real específica Agregado fino	INEN 856
Agregado grueso	INEN 857
-Capacidad de absorción	INEN 856 INEN 857
-Contenido de humedad de los agregados	INEN 862
-Densidad aparente suelta y compactada	INEN 858
-Granulometría Agregado fino	INEN 696
Agregado grueso	INEN 696

Tabla 2.*Propiedades de los agregados pétreos*

<i>Materiales</i>	<i>Absorción</i> %	<i>Densidad real</i> g/cm ³	<i>Densidad aparente compactada (DAC)</i> g/cm ³	<i>Humedad</i> %	<i>Módulo de finura</i> s/u
Arena	3,20	2,51	1,67	1,79	3,10
Ripio	2,49	2,57	1,39	1,44	5,84

Tabla 3.*Propiedades del microsílíce MasterLife SF 100*

<i>Caracterización del microsílíce MasterLife SF 100</i>	
Finura:	menores a 1 mm
Porcentaje pasando 45 mm:	95-100 %
Forma:	amorfa
Partícula:	esférica
Gravedad específica:	2,2
Norma:	cumple la norma ASTM C-1240
Superficie específica:	18,0 - 22.000 m ² /kg

Ecuador por Imperquik en la ciudad de Quito. Cumple con los requisitos expresados por la norma ASTM C 1240. En la tabla 3 se muestran las propiedades del microsílíce MasterLife SF 100 (ver Tabla 3).

4. Nanosílíce

El nanosílíce empleado en la investigación es el Aerosil® 200, el cual está compuesto de una sílice pirogénica hidrofílica con una superficie específica de 200.000 m²/kg, que le da la cualidad de nanocompuesto. La empresa que lo fabrica es la compañía multinacional alemana Evonik, distribuido en el Ecuador por Comerquim Cía. Ltda., en la ciudad de Guayaquil. Es utilizado en la elaboración de

pinturas, selladores, adhesivos, en la industria cosmética, geles, gomas de silicona, aglutinantes, espesamiento y antiaglutinantes. En la tabla 4 se muestra las propiedades del nanosílíce Aerosil 200 (ver Tabla 4).

5. Aditivo

Se empleó en la investigación el aditivo plastificante Sika® Paver HC-1, para mezclas secas de concreto en elementos prefabricados, el cual es necesario debido a la demanda adicional de agua que requieren las mezclas realizadas con nano y microsílíce. Se trata de un aditivo plastificante usado como ayudante de compactación de mezclas de concreto de asentamiento cero.

Tabla 4.*Propiedades del nanosílice Aerosil® 200*

<i>Caracterización del nanosílice Aerosil® 200</i>	
Tamaño	3 nm a 40 nm
Forma	amorfa
Superficie específica	200 ± 25 m ² /g
Densidad aparente	aprox. 50 g/l
Densidad compactada	120 g/l
Humedad	≤ 1,5% (peso)
Pérdida ignición	≤ 1,0% (peso)
PH	3,7-4,5
Contenido SiO ₂	> 99,8% (peso)
Superficie específica	200/g

Tabla 5.*Dosificación de mezcla de adoquines patrón por m³ de hormigón*

<i>Dosificación de la mezcla patrón (kg)</i>				
Cemento	Arena	Ripio	Agua	w/c
482	973	598	186	0,39

Tabla 6.*Dosificación para mezclas de hormigón con porcentajes de nano y microsíllice*

<i>Dosificaciones de mezclas en porcentajes de reemplazo de cemento por micro y nanosílice (kg)</i>						
Porcentajes	Cemento	Arena	Ripio	Agua	Micro / Nano SiO ₂	Aditivo
5% micro-SiO ₂	12,65	26,86	16,50	5,67	0,67	0,067
10% micro-SiO ₂	1,33	26,86	16,50	5,67	11,98	0,13
15% micro-SiO ₂	2,00	26,86	16,50	5,67	11,31	0,16
1% nano-SiO ₂	13,18	26,86	16,50	5,67	0,13	0,16
1,5% nano-SiO ₂	13,11	26,86	16,50	5,67	0,20	0,21
3% nano-SiO ₂	12,91	26,86	16,50	5,67	0,40	0,27

6. Agua

En la investigación, el agua potable se utiliza para mezclar y curar.

DISEÑO DE MEZCLA

Para el diseño de los adoquines de hormigón se siguieron las recomendaciones de dosificación dadas por el comité ACI-211-1 y ACI 318-08, además se considera una resistencia especificada a la compresión para adoquines de 42 MPa (INEN 30-40) y una resistencia requerida de 51,65 MPa. En la tabla 5 se muestra la dosificación de la mezcla patrón para la fabricación de los adoquines calculado para la presente investigación (ver Tabla 5).

A partir de la dosificación de control, se calcularon las

dosificaciones para las sustituciones de microelementos de sílice en varios porcentajes de reemplazo (5%, 10% y 15%) y nanoelementos de sílice (1%, 1,5% y 3%) sobre el peso del cemento, para una cantidad de 23 adoquines tipo jaboncillo (dimensiones 20 x 10 x 6 cm). En la tabla 6 se muestran las dosificaciones tanto para microsíllice como para nanosílice (ver Tabla 6).

Una vez fabricados los adoquines se realizó el curado mediante la inmersión en agua a una temperatura de 23 °C ± 2° en tanques de almacenamiento. En función de los mejores resultados obtenidos en el ensayo de compresión simple a los 28 días de edad, se eligió los porcentajes óptimos para diseñar una mezcla mix (combinación 15% microsíllice + 3% nanosílice). Para obtener una mezcla mix de comparación se decidió elaborar una mezcla

Tabla 7.

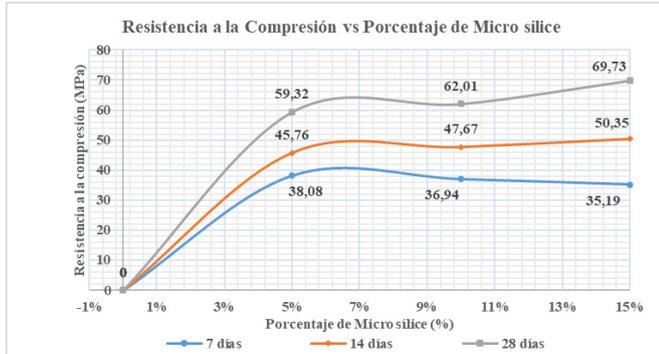
Dosificación para mezclas de hormigón mix

Dosificaciones de mezclas mix en porcentajes de reemplazo de cemento por MS y NS (kg)

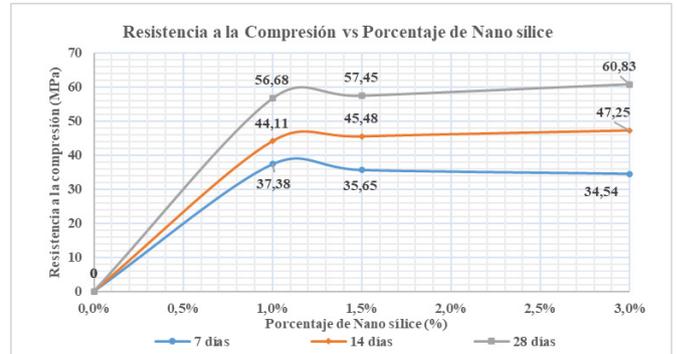
Mezclas mix	Cemento	Arena	Ripio	Agua	Microsílice	Nanosílice	Aditivo
7,5% MS-2% NS	12,05	26,86	16,50	6,05	1,00	0,27	0,21
15% MS-3% NS	10,92	26,86	16,50	6,05	2,00	0,40	0,27

Figura 1.

Curva de resistencia a la compresión vs. porcentaje de microsíllice

**Figura 2.**

Curva de resistencia a la compresión vs. porcentaje de nanosílice



adicional con porcentajes menores a los óptimos. Se eligió una mezcla mix de 7,5% de microsíllice y 2% de nanosílice, con el fin de obtener una mezcla mix óptima. En la tabla 7 podemos observar la dosificación para dichas mezclas (ver Tabla 7).

MÉTODO DE MEZCLADO

Las nanopartículas de sílice al poseer una granulometría muy fina son difíciles de manipular de forma normal, ya que poseen una superficie específica igual a 2.000.000 cm²/g, lo que representa un alto consumo de agua y se dificulta al aplicarlo en mezclas de hormigón secas como el diseño de la presente investigación. Se realizó el mezclado mediante un agitador mecánico (200 r/min) de los nanocompuestos directamente en una parte del agua de diseño (50%) por separado durante 30 a 45 minutos, previo a la unión con los demás componentes del hormigón. La incorporación del microsíllice a la mezcla se la realizó de forma similar al cemento (estado seco).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Con el fin de obtener un porcentaje óptimo de reemplazo de nano y micropartículas de sílice se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión simple en los adoquines de hormigón. Los resultados a los 7, 14 y 28 días de edad se muestran en las figuras 1 y 2 (ver Figuras 1 y 2).

El porcentaje de dosificación de microsíllice que mejores resultados arrojaron a la edad de 28 días fue la del 15%, con un promedio de resistencia de 69,73 MPa, lo cual representa un incremento de 28% respecto a la resistencia del adoquín patrón (54,46 MPa). El porcentaje de dosificación de nanosílice que mejores resultados arrojó a la edad de 28 días fue la del 3%, con un promedio de resistencia de 60,83 MPa, lo que representa un incremento 12% respecto a la resistencia del adoquín patrón (54,46 MPa). Con base en estos resultados, los porcentajes óptimos para realizar la mezcla mix son 15% de microsíllice y 3% de nanosílice.

Para obtener una mezcla de comparación se decidió elaborar una mezcla adicional con los porcentajes menores a los óptimos. Se eligió una mezcla mix de 7,5% de microsíllice y 2% de nanosílice, con el fin de obtener una mezcla mix óptima, cuyos resultados de resistencia a la compresión simple se muestran a continuación (ver Figura 3).

La dosificación de 15% de microsíllice y 3% de nanosílice a la edad de 28 días obtuvo una resistencia promedio de 67,15 MPa lo cual representa un incremento de 23% de la resistencia conseguida del adoquín patrón (54,46 MPa). La dosificación de 7,5% de microsíllice y 2% de nanosílice a la edad de 28 días obtuvo una resistencia promedio de 62,36 Mpa, lo cual representa un incremento de 15% de la resistencia del adoquín patrón (54,46 MPa). Con base en los resultados obtenidos, el porcentaje óptimo del mix corresponde al 15% de microsíllice y 3% de nanosílice. La última fase de la investigación consistió en someter a los adoquines óptimos a ensayos normativos especificados en la NTE INEN 3040, cuyos resultados se presentan a continuación.

Tabla 8.

Revisión de aspectos visuales de los adoquines de hormigón con porcentajes de reemplazo de cemento por nano-micro elementos de sílice

Tipo de mezcla	Microsílice	Nanosílice	Mezcla mix
			
Patrón	15%	3%	15% MS y 3% NS

Figura 3.

Curvas resistencia vs. tiempo de mezclas mix con micro-nano sílice

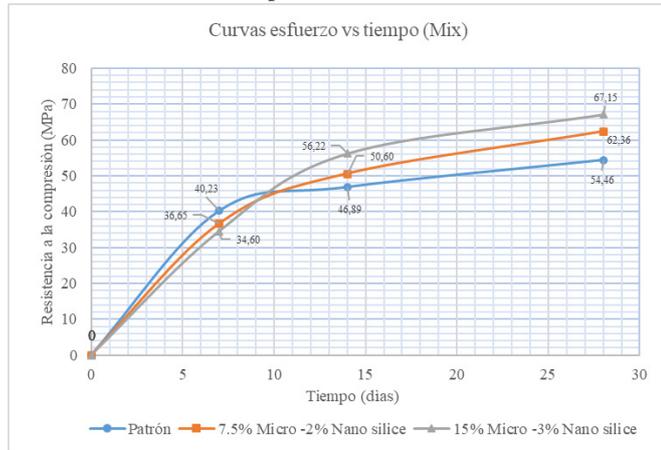
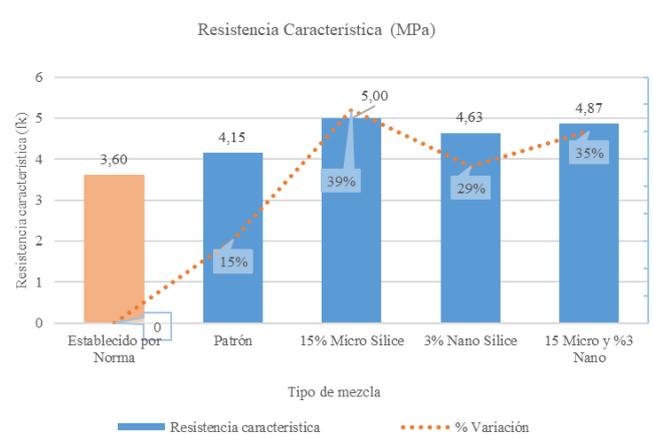


Figura 4.

Resistencia característica de tracción indirecta



ASPECTOS VISUALES

Los adoquines tanto con nano como con micropartículas de sílice y la combinación de éstos (mezcla mix) no presentan deformidades ni rebabas, ni tampoco se evidencia ningún exceso de fisuras ni descamaciones evidentes. En cuanto a su textura, ésta es uniforme, Los adoquines cumplen con las especificaciones de la norma INEN 3040 en lo que se refiere a aspectos visuales, tal como se muestra en la tabla 8 (ver Tabla 8).

RESISTENCIA A LA ROTURA POR TRACCIÓN INDIRECTA

Como se puede observar en la tabla 9 y en la figura 4, todos los adoquines tanto patrón como los fabricados con adición de 3% nanosílice, 15% micro y el mix (15 micro - 3% nanosílice) cumplen con lo establecido en la norma, es decir, el valor de resistencia característica debe ser mayor o igual a 3,6 MPa (ver Tabla 9 y Figura 4).

RESISTENCIA A DESLIZAMIENTO O RESBALAMIENTO

Los adoquines óptimos presentan una superficie de contacto rugosa, rasposa o áspera con rayaduras o arrugas,

tales características satisfacen los requerimientos establecidos en la normativa. Por lo tanto, no se ejecutó el ensayo de péndulo de fricción y se tomó como satisfactoria la resistencia a deslizamiento.

RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN

La norma INEN 3040, mediante el ensayo de la rueda ancha, establece que la longitud de cuerda de la huella permitida debe ser menor o igual a 23 mm, según los resultados obtenidos todas las mezclas óptimas cumplen con este requisito, ya que los valores promedios de la cuerda son menores a 23 mm. Se evidencia que la mezcla que arrojó los mejores resultados fue la de 15% de micro-sílice y la mezcla mix (15% microsíllice - 3% nanosíllice), con longitudes de cuerda promedios de 19,4 mm y 19,6 mm, con porcentajes de variación respecto a la norma del -16% y -15%. Según los resultados promedios de longitud de huella del adoquín con reemplazo de nano y microelementos de sílice, entran en la categoría de adoquines especiales (cuerda máxima 20 mm) (ver Tabla 10 y Figura 5).

Tabla 9.

Resistencia característica de tracción indirecta

Tipo de mezcla	Resistencia característica	% Respecto al patrón	% variación
Establecido por norma	3,60	100%	0,00%
Patrón	4,15	115%	15,17%
15% microsílíce	5,00	139%	39,00%
3% nanosílíce	4,63	129%	28,65%
15% micro y 3% nano	4,87	135%	35,20%

Tabla 10.

Resultados del ensayo resistencia al desgaste por abrasión en adoquines

Muestras	Longitud de cuerda medida (mm)				
	Norma	Patrón	15% microsílíce	3% nanosílíce	15% microsílíce 3% nanosílíce
1	23	22,1	18,75	19,1	19,6
2	23	23,2	19,8	20,2	19,5
3	23	22,1	19,5	20,0	19,7

Tabla 11.

Resultados del ensayo de resistencia climática por absorción de agua en adoquines

Tipo de adoquín	Wa promedio (%)	Condición
Microsílíce 15%	4,17	Sí cumple
Nanosílíce 3%	4,86	Sí cumple
Micro 15% y nano 3%	4,34	Sí cumple

Figura 5.

Resistencia al desgaste por abrasión en adoquines y porcentaje de variación respecto a la norma INEN 3040

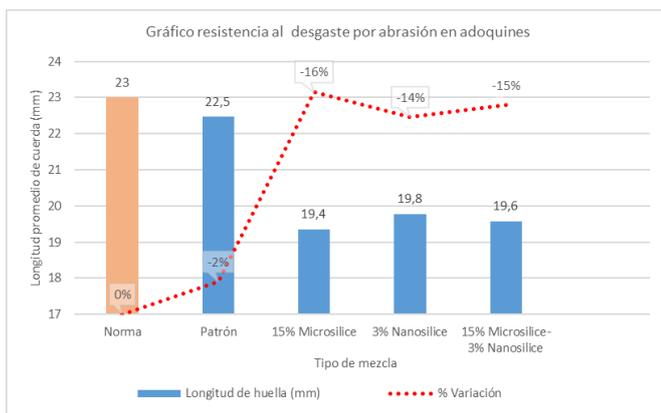
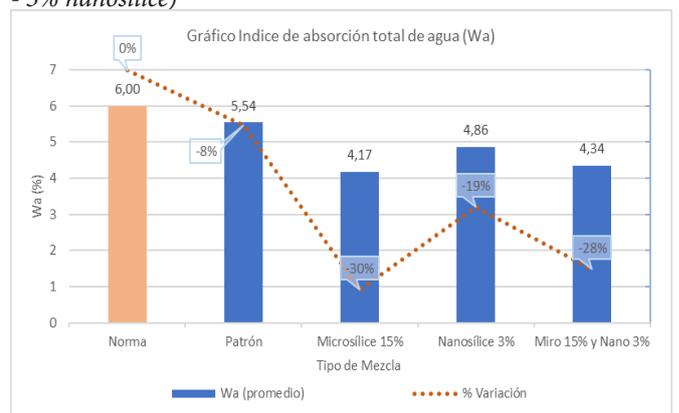


Figura 6.

Diagrama del índice de absorción total de agua en adoquines patrón, 15% de micro sílice, 3% nanosílíce y mix (15% microsílíce - 3% nanosílíce)



RESISTENCIA CLIMÁTICA POR ABSORCIÓN TOTAL DE AGUA.

Según los resultados obtenidos en la tabla 11, todos los especímenes patrón, micro sílice 15%, nanosílíce 3% y la mezcla mix (15% micro sílice - 3% nanosílíce) cumplen

satisfactoriamente con lo establecido en la norma INEN 3040 anexo D, la cual especifica que el índice de absorción debe ser inferior o igual a 6%. Por consiguiente, los adoquines son aptos para su uso (ver Tabla 11 y Figura 6).

IV. CONCLUSIONES

Los adoquines de hormigón con sustitución de cemento por 15% de microsílíce, obtuvieron los mejores resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, con un incremento del 28% respecto a la resistencia del adoquín patrón, lo cual demuestra que la sustitución de micropartículas de sílice aumenta la resistencia a la compresión de forma significativa.

Los adoquines de hormigón con sustitución de cemento por 3% de nanosílíce, obtuvieron los mejores resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, con un incremento del 12% respecto a la resistencia del adoquín patrón, lo cual demuestra que la sustitución de nanopartículas de sílice aumenta la resistencia a la compresión considerablemente.

Tomando en cuenta los mejores resultados de resistencia a la compresión obtenidos individualmente tanto de micro como de nanopartículas de sílice en sustitución de porcentajes de cemento, nos permiten concluir que los porcentajes óptimos para la fabricación de adoquines con una mezcla mix (combinación de nano y microsílíce) son los correspondientes a 15% de microsílíce y 3% de nanosílíce.

Los adoquines de hormigón óptimos elaborados con una mezcla mix con sustitución de cemento por una combinación de nano y micropartículas de sílice fueron los fabricados con 15% de microsílíce y 3% de nanosílíce, los cuales obtuvieron los mejores resultados de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, con un incremento del 23% respecto a la resistencia del adoquín patrón.

Se pudo observar durante la presente investigación, que los adoquines elaborados con micro y nanopartículas de sílice arrojaron valores de resistencia a la compresión menores que la mezcla patrón a edades tempranas (7 días) y va incrementándose conforme aumenta la edad (14 días), hasta sobrepasarla a los 28 días. Según otras investigaciones referentes a la adición de nano y micropartículas de sílice en mezclas de hormigón, la actividad puzolánica se eleva conforme aumenta la edad del hormigón, frenándose definitivamente alrededor de los 90 días de edad, es decir, que la resistencia mecánica sigue en ascenso durante dicho período.

Los adoquines óptimos encontrados en la presente investigación: 15% microsílíce, 3% nanosílíce y la combinación de éstos (15% microsílíce + 3% nanosílíce), cumplieron todos los parámetros expuestos en la normativa NTE INEN 3040 de forma satisfactoria y con muy buenos resultados, lo que nos permite concluir que cualquiera de éstos podría ser utilizado para la fabricación de adoquines de hormigón.

Se pudo evidenciar el aspecto positivo referente al cuidado del medioambiente en la utilización de nano y micropartículas de sílice en reemplazo de porcentajes de cemento para la elaboración de prefabricados de hormigón (adoquines), debido principalmente a la reducción de

cemento que repercute en la reducción de emisiones de CO₂. El problema de la contaminación ambiental es cada día más implacable, por lo que, materiales como el nano y microsílíce se convierten en un importante contribuyente de la contaminación, cuyo desecho en vertederos o botaderos puede ser muy peligroso; es aquí donde toma mucha importancia su uso y aprovechamiento en la industria de la construcción.

A partir de la presente investigación sobre las propiedades frescas del hormigón para la elaboración de adoquines, se demostró que la incorporación de nano y micropartículas de sílice disminuye la trabajabilidad del hormigón, por lo cual es indispensable la utilización de aditivos plastificantes o superplastificantes. Todas las combinaciones demuestran una menor trabajabilidad que la mezcla de control. El aumento del porcentaje de sustitución del cemento por nano o microsílíce contribuye a una disminución de la trabajabilidad en la misma proporción.

REFERENCIAS

- [1] T. Echaveguren Navarro, *Manual de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón*, vol. 4, n.º 1, pp. 64-75, 2016, [Online]. Available: https://issuu.com/ich_mkt/docs/manual_diseno_de_pavimentos_de_adoq
- [2] V. Herrera y V. Salguero, «Adoquines modificados con fibra de polipropileno para el uso en vías de la ciudad de Quito», tesis, UCE, Quito, 2013. Accessed: Jun. 15, 2020. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2212>
- [3] L. Viera, X. Escobar y J. Rivas, *Uso de espuma flex como agregado para la elaboración de adoquines de hormigón*, tesis, UCE, Quito, 2016.
- [4] C. Lasso y A. Pariguamán Quilumba, *Correlación entre las propiedades mecánicas de los adoquines ecológicos fabricados con agregados reciclados y adoquines convencionales*, tesis, UCE, Quito, 2017. doi: 10.1097/INF.0000000000002124.
- [5] R. Cisneros Gómez, *Análisis de la industria cementera en Ecuador, concentración versus abuso de poder de mercado en el periodo 2011-2015*, tesis, Universidad Católica, Quito, nov., 2017.
- [6] L. Rodgers, «La enorme fuente de emisiones de CO₂ que está por todas partes y que quizás no conocías», BBC News Mundo, Dec. 17, 2018. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783> (accessed May 31, 2021).
- [7] J. Cagiao *et al.*, *Huella ecológica del cemento*, Coruña, jun. 2010.
- [8] S. Dhabhai and R. Singh Shekhawat, «Optimized concrete paver blocks utilizing micro silica as a partial replacement of cement», *Int. J. Tech. Res. Sci.*, vol. 5, n.º 10, pp. 30-37, 2020, doi: 10.30780/ijtrs.v05.i10.005.
- [9] G. Q. Bianchi, *Application of nano-silica in concrete*, 2014. doi: 10.6100/IR780551.

- [10] D. Tavakoli and A. Heidari, «Properties of concrete incorporating silica fume and nano-SiO₂», *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 6, n.º 1, pp. 3946-3950, 2013, doi: 10.17485/ijst/2013/v6i1.12.
- [11] A. Hamdy El-Didamony, S. Berry Abd El-Ghani, and M. Saleh Abd El-Aleem, «Chemical and engineering properties of blended cement containing micro and nanosilica», *Am. J. Chem. Eng.*, vol. 5, n.º 5, p. 111, 2017, doi: 10.11648/j.ajche.20170505.13.
- [12] P. Mondal, S. P. Shah, L. D. Marks, and J. J. Gaitero, «Comparative study of the effects of microsilica and nanosilica in concrete», *Transp. Res. Rec.*, n.º 2141, pp. 6-9, 2010, doi: 10.3141/2141-02.
- [13] J. J. Howland Albear, «Estudio de las proporciones óptimas de microsilice y nanosilice en hormigones de alto desempeño por durabilidad, mediante un diseño de experimento de tipo hexagonal», *Revista Cubana de Ingeniería*, vol. VII, n.º 2, pp. 26-32, 2016.



Localización óptima de equipos de regulación de voltaje y compensación de reactivos para alimentadores de medio voltaje, mediante algoritmos evolutivos

Optimal location of voltage regulation equipment and reactive compensation for medium voltage feeders, through evolutionary algorithms

Carlos Carreño | Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Juan Avilés | Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 07/02/2022

Aceptación: 18/04/2022

PALABRAS CLAVE

Optimización, redes de distribución, genético diferencial, regulación de voltaje.

RESUMEN

En la actualidad, la regulación de voltaje en las redes de distribución tiene un rol importante para el crecimiento económico de un país y progreso humano, dado que una buena calidad de servicio eléctrico entregado a los usuarios finales provoca un efecto directo en la productividad de las industrias, la educación, salud, servicios de comunicación y abastecimiento de agua potable. En este artículo se plantea una solución a corto plazo al problema de bajo voltaje en redes de media tensión, con el ingreso óptimo de equipos de regulación de voltaje por medio de un algoritmo genético en Matlab que evaluará los parámetros eléctricos de la red, antes y después de instalar los equipos de compensación, cumpliendo con la regulación vigente Arconel 005/18 en el sector eléctrico ecuatoriano.

KEY WORDS

Optimization, distribution networks, differential genetics, voltage regulation.

ABSTRACT

Currently, voltage regulation in distribution networks plays an important role in the economic growth of a country and human progress, given that a good quality of electrical service delivered to end users has a direct effect on the productivity of the industries, education, health, communication services and drinking water supply. This article proposes a short-term solution to the problem of low voltage in medium voltage networks, with the optimal input of voltage regulation equipment through a genetic algorithm in Matlab that will evaluate the electrical parameters of the network before and after to install the compensation equipment, complying with the current regulation Arconel 005/18 in the Ecuadorian electricity sector.

I. INTRODUCCIÓN

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica hoy en día, tienen el gran desafío de controlar y corregir los parámetros eléctricos del sistema de distribución, dado al aumento anual de la demanda, provocado por el progreso humano y crecimiento económico del país [1]. Uno de los objetivos principales de las empresas distribuidoras de energía, es suministrar un servicio público de energía eléctrica que satisfaga las necesidades del consumidor final sin comprometer la calidad del servicio brindado, que sea confiable, seguro y adecuado, cumpliendo con los estándares de calidad vigentes en las regulaciones [1][2].

Sin embargo, los efectos indeseables que surgen durante la operación normal del sistema eléctrico, como la caída de tensión, se ven afectados por la longitud eléctrica de la línea y las fluctuaciones de las cargas, lo que provoca grandes pérdidas económicas a los usuarios finales [3]. Para mitigar los problemas de voltaje hay que reconfigurar la red realizando transferencias de carga a otra red o reforzando el sistema de distribución con la instalación de equipos como bancos de condensadores fijos o controlados, transformadores de potencia con cambiadores de taps (OLTC) y reguladores automáticos de voltaje,

considerando la ubicación de forma estratégica debido al alto costo de inversión [4][5].

Si bien se han realizado esfuerzos para mejorar la tensión mediante el balanceo de carga (reconfiguración de red), instalación de bancos de condensadores y repotenciación del alimentador de media tensión, todavía no es posible cumplir con la regulación Arconel 005/18 en algunas zonas del alimentador de media tensión «La Guayaquil» correspondiente a la Corporación Nacional de Electricidad regional Guayas-Los Ríos, el cual presenta problemas de estabilidad de voltaje en el cantón Balzar, por contener gran cantidad de estaciones de bombeo y piladoras [3] [6].

El presente trabajo científico presenta un algoritmo genético diferencial para mejorar la calidad de servicio eléctrico de un alimentador de media tensión mediante la instalación óptima de equipos de regulación de voltaje y de compensación de reactivos a lo largo de la línea [7]. El analista definirá la cantidad de equipos y la capacidad de los equipos a instalar en la red, el modelo de optimización planteado considerará en la evaluación de cada alternativa la función objetivo, la cual es reducir la desviación de voltaje del sistema.

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

En el artículo [8] para mitigar los problemas de bajo voltaje en la red de distribución y mantener los parámetros eléctricos en los límites establecidos por los estándares ANSI, colocan en operación varios bancos de capacitores a lo largo de un alimentador para reducir la pérdida de potencia. Sin embargo, si se dimensionan e instalan adecuadamente a lo largo del alimentador, los capacitores se pueden utilizar para mejorar el factor de potencia en la subestación de distribución y regular el voltaje en el alimentador, aumentando el margen de voltaje del sistema.

Normalmente, los capacitores se instalan en alimentadores de distribución cuando el nivel de voltaje se reduce en la barra principal de la subestación de distribución en el periodo de demanda máxima. Los capacitores brindan niveles de voltaje aceptables a los clientes en todo el alimentador evitando la necesidad del ingreso de generación a la red en el periodo de máxima carga. La relación costo/beneficio, dependerá de las características de la carga del alimentador.

En [9] se propone emplear un método de optimización basado en MGA (algoritmo microgenético) y FL (lógica difusa) para dimensionar, ubicar y operar los bancos de capacitores en las redes de distribución. Para mejorar la calidad de servicio eléctrico se toma en cuenta la precisión y tiempo de ejecución en la obtención de resultados óptimos por parte del algoritmo.

El algoritmo FL evalúa todos los nodos de la red inicial para determinar qué barra es la adecuada para instalar los bancos de capacitores con base en la función objetivo (reducción de pérdidas), reduciendo el número de soluciones viables. El algoritmo MGA encuentra la solución óptima evaluando y seleccionando cada cromosoma dando como resultado el número, capacidad y tipo de operación del capacitor.

En el artículo [7] se propone una metodología para mejorar la calidad del servicio eléctrico en las redes de distribución de tipo radial. Tomando en cuenta los equipos de compensación y regulación de voltaje instalados, se realiza un controlador neuronal para definir la operación de los bancos de capacitores y los taps de los reguladores de voltaje, para optimizar la red minimizando las pérdidas de energía de todo el circuito de distribución bajo la condición de que los voltajes de las barras se encuentren dentro de los límites estándares (+/- 5% del nominal).

Los datos de entrada del algoritmo controlador son las mediciones de P, Q y/o V en las barras, y la salida son los estados de conmutación óptimos del capacitor y posiciones de toma de reguladores de voltaje correspondientes a un patrón de carga del sistema eléctrico.

El método presentado en [10] consiste en determinar la ubicación óptima de los reguladores de voltaje en el sistema, resolviendo un problema de optimización multiobjetivo que considera la minimización de las pérdidas de potencia activa y la desviación de tensión en el periodo de máxima demanda.

Para la optimización multiobjetivo se utiliza un algoritmo microgenético, capaz de encontrar soluciones que representen las mejores combinaciones posibles entre los objetivos. Estas soluciones constituyen el llamado conjunto óptimo de Pareto. La solución óptima de Pareto no se puede mejorar en ningún objetivo sin empeorar otro.

Las soluciones no dominadas por ninguna otra forman el denominado frente de Pareto. El tomador de decisiones (un ingeniero en nuestro caso) puede elegir cualquiera de las soluciones del frente de Pareto según criterios económicos o técnicos. Normalmente el frente de Pareto se utiliza para ese propósito, ya que la representación gráfica de estas soluciones indica claramente el tipo de compensaciones logradas.

El suministro de energía de media tensión se basará en la optimización de enjambre del proyecto (PSO) para reducir la potencia y la pérdida de energía, así como para mejorar la distribución de voltaje en el sistema de distribución de energía.

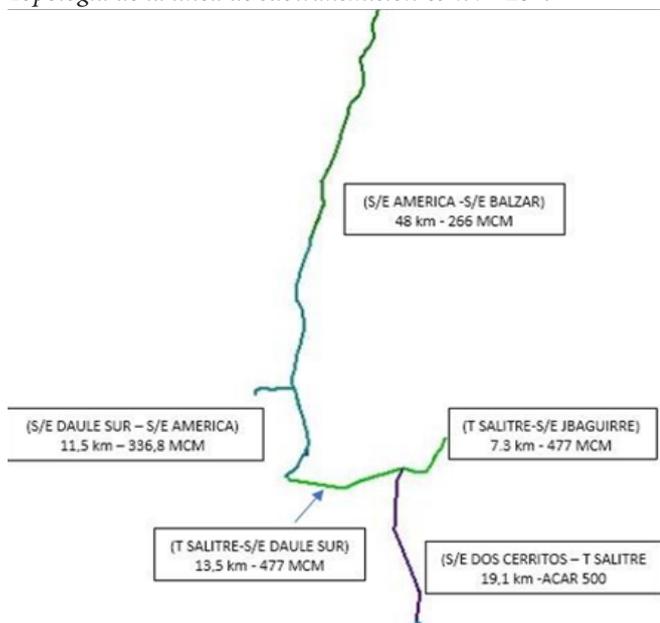
Tabla 1.

Voltaje L-L de servicio en alta tensión en las subestaciones en demanda máxima

Subestación	KM	KV A-B	KV B-C	KV C-A
Dos Cerritos	0	68,85	69,47	68,43
T Salitre	19,418	65,6	65,4	65
JBA	26,76	65,5	65,3	64,9
Daule Norte	36,98	63	62,8	62,4
América	49,431	61,9	61,8	61,3
Santa Lucía	51,141	60,9	60,8	60,3
Laurel	55,388	60,4	60,3	59,9
Palestina	62,698	59,8	59,6	59,2
Balzar	92,143	58,6	58,5	58,1

Figura 1.

Topología de la línea de subtransmisión 69 kV «L5».



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la línea de subtransmisión L5 está compuesta por cuatro diferentes calibres de conductor (477ACSR, 500ACAR, 366,8ACSR y 266ACSR) dando como resultado una longitud eléctrica total de 93 km desde la s/E Dos Cerritos hasta la s/E Balzar, como se observa en la figura 1 (ver Figura 1). La línea de subtransmisión L5 energiza a 8 subestaciones de distribución con una capacidad instalada total de 110 MVA, presentando una demanda máxima de 45 MVA en el periodo de 13h00 a 15h00.

Debido al calibre, longitud y aumento de consumo de reactivos en la LST L5, existe una caída de tensión significativa en la línea, provocando malestares a los usuarios finales por bajo voltaje e incumpliendo con la regulación de calidad 005/18. En la figura 2 se muestran los voltajes de servicio a nivel de 69 kv en demanda máxima a lo largo de la línea de subtransmisión L5 (ver Figura 2). En la

Figura 2.

Perfil de voltaje de la línea de subtransmisión de 69 kV «L5»

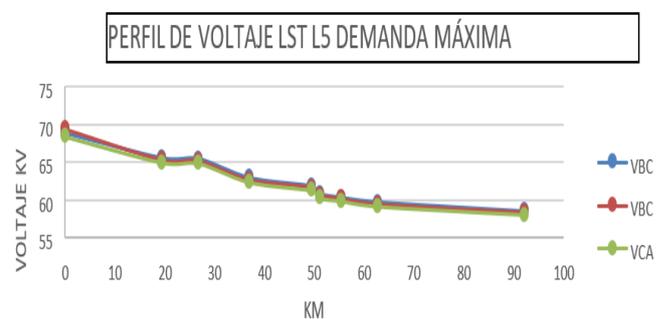


tabla 1 se muestran los voltajes de servicio de cada subestación de distribución en demanda máxima (ver Tabla 1).

En la tabla 2 se muestra el voltaje de servicio en barra principal a 13,8 kv de cada subestación de distribución, verificando que los voltajes se encuentran fuera de la banda de regulación permitida por la regulación Arconel 005/18 desde la s/E Daule norte hasta la s/E Balzar. Además, hay que recalcar que la posición de los taps de los transformadores de potencia que conforman la L5 se encuentran en posición 5 (máxima regulación) (ver Tabla 2).

Como consecuencia del bajo voltaje de servicio, surgen múltiples reclamos por desconexiones abruptas, debido a la actuación de las protecciones de bajo voltaje en las industrias, y por no poder hacer uso de cocinas de inducción en horas de máxima demanda.

Debido a los serios problemas presentados en este sistema, se propone mejorar la red de distribución a corto

Tabla 2.

Voltaje L-L de servicio en media tensión en las subestaciones en demanda máxima

Subestación	KM	KV A-B	KV B-C	KV C-A
JBA	26,76	13,3	13,3	13,3
Daule Norte	36,98	13,1	13,1	13,1
América	49,4	12,9	12,9	12,9
Santa Lucía	51,14	12,7	12,7	12,7
Laurel	55,38	12,6	12,6	12,6
Palestina	62,69	12,6	12,6	12,6
Balzar	92,1	13,1	13,1	13,1

Figura 3.

Topología eléctrica del alimentador La Guayaquil



plazo del alimentador de media tensión La Guayaquil de la subestación de distribución 69/13,8 kv Balzar, la cual tiene una longitud total de 30 km de troncal con configuración radial. La misma está conformada con varios calibres de conductor de aluminio desnudo con calibres ACSR 266, 8; 4/0; 1/0 y # 2. El alimentador tiene un total de 242,86 km de línea que entregan energía eléctrica a 3358 abonados del cantón Balzar.

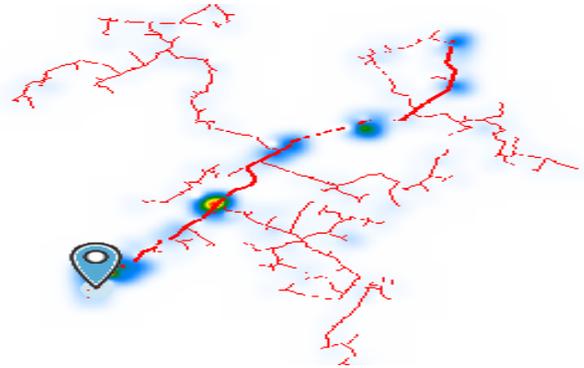
En la figura 3 se observa la topología de la red del alimentador La Guayaquil. El alimentador es un 20% urbano y un 80% rural, tomando la carga de la vía El Empalme (ver Figura 3).

La mayor concentración de carga en el alimentador La Guayaquil se encuentra en la parte urbana del cantón Balzar, y es de tipo residencial. La carga industrial se encuentra a las afuera de Balzar, conformada por las estaciones de bombeo y empresas emparadoras de alimentos, como se observa en la gráfica de densidad de carga de la figura 4 (ver Figura 4).

En la figura 5 se muestra el perfil de voltaje del alimentador La Guayaquil en el periodo de demanda máxima. Se observa que el voltaje de servicio se encuentra por debajo del límite inferior permitido por la regulación de voltaje (ver Figura 5).

Figura 4.

Densidad de carga del alimentador La Guayaquil



II. MÉTODO

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

En este apartado se evidencia la formulación del problema de optimización, el cual se puede dividir en dos subproblemas:

1. Ubicación óptima de los reguladores de voltaje (transformadores regulantes) y selección de posición de los taps.
2. Ubicación óptima de capacitores y dimensionamiento.

A. UBICACIÓN ÓPTIMA DE LOS REGULADORES DE VOLTAJE Y SELECCIÓN DE POSICIÓN DE LOS TAPS

El problema de ubicación óptima de un regulador de voltaje se define en función de la reducción de las pérdidas de potencia y la minimización de las desviaciones de voltaje. Ambos son esenciales para garantizar la calidad del servicio eléctrico. Es importante señalar que la minimización de uno de estos objetivos implica directamente la disminución del otro.

La determinación de la posición del tap de cada regulador de voltaje es esencial para resolver el problema de optimización. En este tipo de aplicación, el ajuste del

tap mediante un desplazamiento sucesivo puede presentar problemas de convergencia en el flujo de carga, por esta razón se utiliza el algoritmo de Gauss-Seidel para evaluar la red en cada paso del tap, el cual se encuentra como variable de estado dentro de los cálculos del flujo de potencia. Esto es más adecuado para el proceso de optimización y conduce a un mejor rendimiento del algoritmo.

B. UBICACIÓN DE CAPACITORES EN LA RED Y DIMENSIONAMIENTO

En general, todos los problemas de localización óptima de bancos de capacitores en una red de distribución buscan obtener la cantidad, tipo (fijo o intercambiable) de capacitores, localización y capacidad nominal, para mejorar una función objetivo que varía de autor a autor, con el fin de obtener el mayor beneficio. El dimensionamiento se realizará con base en el perfil de carga típico del alimentador ingresando a la red reactivos para tener un factor de potencia mayor o igual al 96%.

FUNCIÓN OBJETIVO Y RESTRICCIONES

A. FUNCIÓN OBJETIVO: DESVIACIÓN DE VOLTAJE EN LAS BARRAS

Este objetivo intenta aplanar el perfil de voltaje a lo largo del alimentador, su expresión matemática se define como:

$$\text{Min } dv = \sum_{j=i} \frac{\Delta V_j}{V_{\text{nominal}}}, \quad j = 1, \dots, N \quad (1)$$

donde ΔV_j es el voltaje de desviación de la barra j con respecto al voltaje nominal y N es el número total de barras del sistema de distribución [4].

B. RESTRICCIONES

En la ecuación (2) se muestra la restricción de voltaje para cada barra del sistema de distribución, donde ΔV_j y V_j son valores límites en el periodo de máxima y mínima carga. El valor máximo y mínimo que se puede presentar en la barra es de 1,06 y 0,94 p. u.

$$\Delta V_j = |V_{\text{nominal}} - V_j| \quad (2)$$

El factor de potencia del alimentador debe cumplir con lo establecido en la regulación Arconel 005/18, tanto en máxima como en mínima demanda.

$$fp \geq 0,96 \text{ (atraso o adelanto)} \quad (3)$$

Las restricciones del flujo de potencia están representadas por las ecuaciones (4) y (5), donde (P_{gi}, Q_{gi}) son las salidas de generación activa y reactiva y (P_{li}, Q_{li}) son las salidas de generación activa y reactiva. [4]

G_{ij} y B_{ij} son la conductancia y la susceptancia de la matriz de admitancia, respectivamente.

$$P_{gi} - P_{li} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_{gi} - Q_{li} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (5)$$

VI. FUNCIÓN OBJETIVO EN TÉRMINO DE LAS RESTRICCIONES

En el problema de optimización, las restricciones (4) y (5) se pueden satisfacer al realizar el cálculo del flujo de potencia [4] y las restricciones de desigualdad (2) y (3) se pueden satisfacer penalizando la función objetivo $f_1(c)$. Finalmente, el problema de optimización con restricciones puede ser reformulado como:

$$f_1(c) = f_1 + f_{p1} + f_{p2} \quad (6)$$

donde w_1 y w_2 son factores de penalización:

$$f_{p1} = w_1 \sum_{j=1}^n |\min(V_j - V^{\text{min}}, 0, V^{\text{max}} - V_j)| \quad (7)$$

$$f_{p2} = w_2 |\min(fp - fp_{\text{min}}, 0)| \quad (8)$$

La ecuación (7) es una función de penalización que se aplica cuando las magnitudes de voltaje están fuera de los límites permitidos. La ecuación (8) es una función de penalización que se aplica cuando el factor de potencia está fuera de los límites permitidos.

REGULACIÓN DE CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO EN ECUADOR

Una de las obligaciones de las empresas distribuidoras de energía eléctrica es cumplir que el voltaje de servicio se encuentre dentro de los límites estipulados en la Resolución N.º Arconel 053/18 del Reglamento 005/18 «Servicios de comercialización y distribución de energía de calidad»; cuando se realice una evaluación de la calidad de la prestación del servicio eléctrico, teniendo en cuenta los siguientes criterios (Conelec, 2018):

1. INDICADOR DE CALIDAD DEL SERVICIO COMERCIAL

En el presente estudio, nos enfocaremos en el nivel de voltaje, correspondiente al ítem A «Calidad del producto» [6]. El índice de la calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución, según la regulación del Arconel, se determina con la siguiente fórmula [6]:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 [\%] \quad (9)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \Delta V_k &= \text{Cambio del voltaje de suministro en comparación al voltaje nominal en el punto .} \\ V_k &= \text{Tensión de suministro en el punto , definido como el valor medio de las medidas registradas.} \\ V_N &= \text{Tensión nominal en el punto .} \end{aligned}$$

La normativa también establece los rangos de voltaje permitidos según el nivel de tensión como se muestra en la tabla 3 (ver Tabla 3).

FLUJO DE POTENCIA (GAUSS-SEIDEL)

El algoritmo de Gauss-Seidel es un procedimiento iterativo que pretende encontrar una solución al sistema de ecuaciones lineales estando dentro del límite de error. Éste es un método robusto y confiable que proporciona convergencia para sistemas eléctricos complejos. Debido a las numerosas iteraciones del método Gauss-Seidel, la convergencia es lenta y directamente proporcional al factor de aceleración.

El método de Gauss-Seidel toma valores calculados en la primera iteración para calcular el valor de una incógnita en la misma iteración. Los resultados son tomados en cuenta para la siguiente iteración, lo cual reduce significativamente el número de iteraciones para lograr la convergencia del flujo de carga [11].

Con la matriz admitancia de barra y aplicando la ley de Kirchoff se obtiene la ecuación (10).

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (10)$$

Reordenando la ecuación (10) se obtiene la ecuación (11).

$$V_k = \frac{I_k}{Y_{kk}} - \frac{1}{Y_{kk}} \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (11)$$

Con la potencia aparente en complejo, reemplazando en (11) se obtiene la ecuación (12).

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} - \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n^{(i)} \right) \quad (12)$$

Debido a que el método de Gauss-Seidel es iterativo, se obtiene la ecuación (13).

$$V_k^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{(V_k^i)^*} - \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n^{(i)} \right) \quad (13)$$

La matriz de admitancia () depende de las impedancias de las líneas conectadas en las barras de la red eléctrica. En un alimentador de media tensión tipo radial encontraremos dos tipos de barras las cuales son:

Barra oscilante: Es la barra fuente tomada como referencia, de la cual solo se especifica la magnitud y ángulo del voltaje. La planta de energía correspondiente a la distribución de voltaje en el sistema de control genera una carga que no es energizada por el resto de las barras más pérdidas en el sistema de energía.

Barra de carga: Es la barra donde se encuentra las cargas de la red, especificando la potencia activa y reactiva.

La programación del código en Matlab se resume en el diagrama de flujo de la figura 6. En nuestro caso de estudio se realizaron concentraciones de cargas para lograr conformar una red de 50 barras y ejecutar el algoritmo de Gauss-Seidel (ver Figura 6).

EQUIPOS DE REGULACIÓN DE VOLTAJE Y COMPENSACIÓN DE REACTIVOS

A. REGULADORES DE VOLTAJE

Los reguladores de voltaje funcionan para mantener los niveles de voltaje dentro de límites fijados por programación, para mejorar la calidad del suministro de energía y son compatibles con los sistemas de distribución automática. Los reguladores de voltaje son autotransformadores reguladores, capaces de regular el voltaje nominal en un +/- 10% en 32 etapas de aproximadamente (5/8%) por cada paso o cambio de 0,75 voltios en una base de 120 v.

En la figura 7 se muestra el circuito de fuerza del regulador de voltaje típico, el cambio está controlado por un circuito de control exterior [12](ver Figura 7).

La instalación óptima de un regulador de voltaje en la red de distribución aumenta significativamente el voltaje de salida, [13] regulando aguas abajo del regulador como se observa en la figura 8 (ver Figura 8).

Adicionalmente, el regulador ayuda a cumplir con las exigencias de calidad de servicio eléctrico ante eventos transitorios que pueden presentarse en la red de distribución, disminuyendo los picos de voltaje. En la figura 9, como caso demostrativo, se muestra la mejora de la onda

Figura 6.

Diagrama de flujo del método de Gauss-Seidel

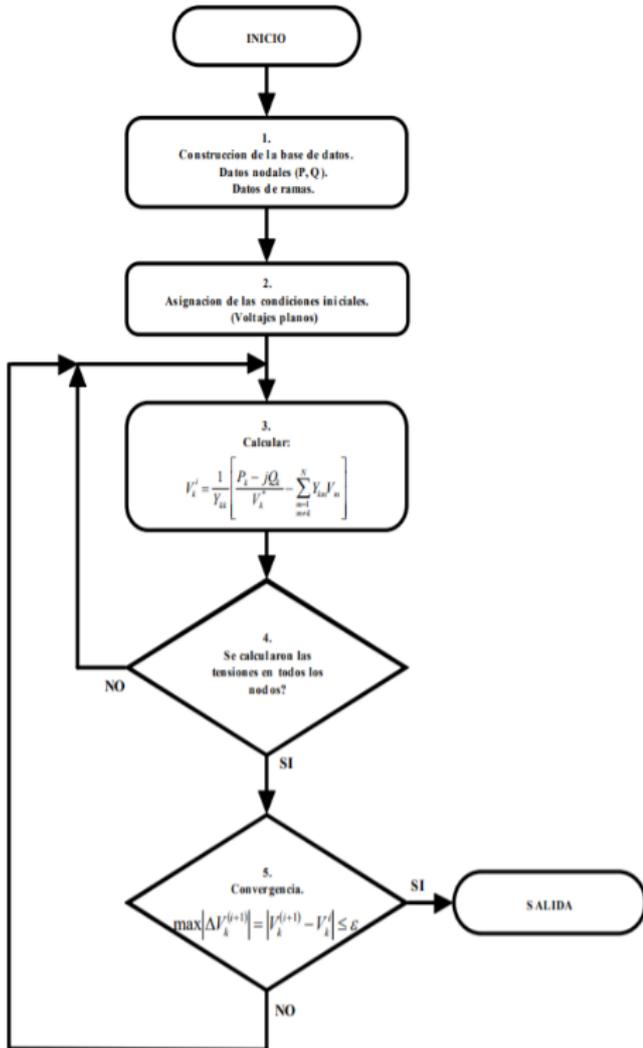


Figura 7. Diagrama de fuerza del regulador de voltaje

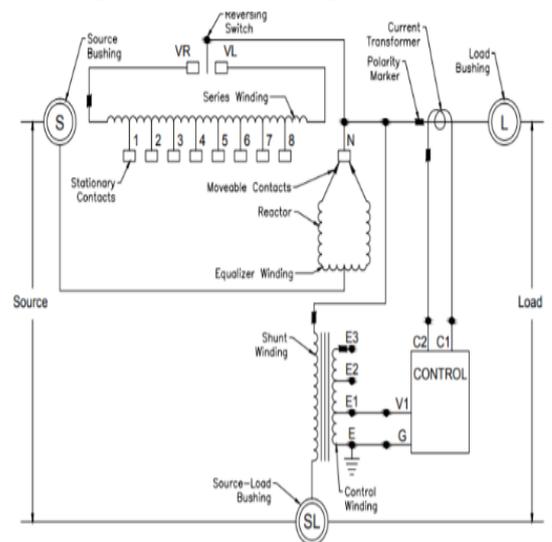
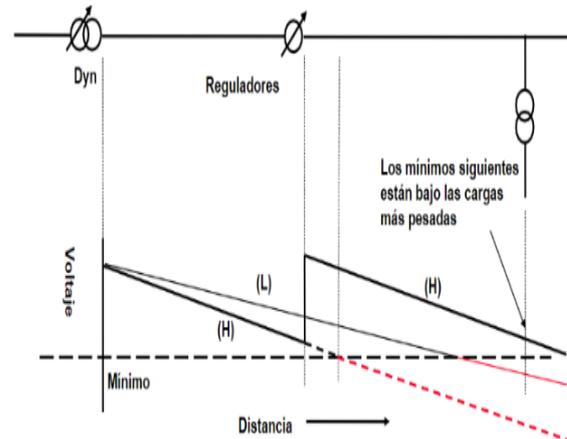


Figura 8.

Perfil de voltaje de circuito de media tensión después de la aplicación de reguladores



de voltaje (rojo) de una barra cuando entra en operación un regulador de voltaje ante una perturbación externa de la red que altera la onda de voltaje de entrada al equipo (verde) (ver Figura 9).

B. CAPACITORES

Las cargas conectadas a lo largo de una red de distribución consumen potencia reactiva, generando pérdidas en el sistema eléctrico y caídas de voltajes. Para mejorar el factor de potencia las empresas distribuidoras penalizan a los usuarios que incumplan con el mínimo factor de potencia (92%) obligándolos a disminuir reactivos e instalando bancos de capacitores en las redes de media tensión para suplir los reactivos de las líneas y transformadores de distribución.

Mediante a ubicación óptima de los bancos de capacitores en la red se logra la compensación de reactivos de

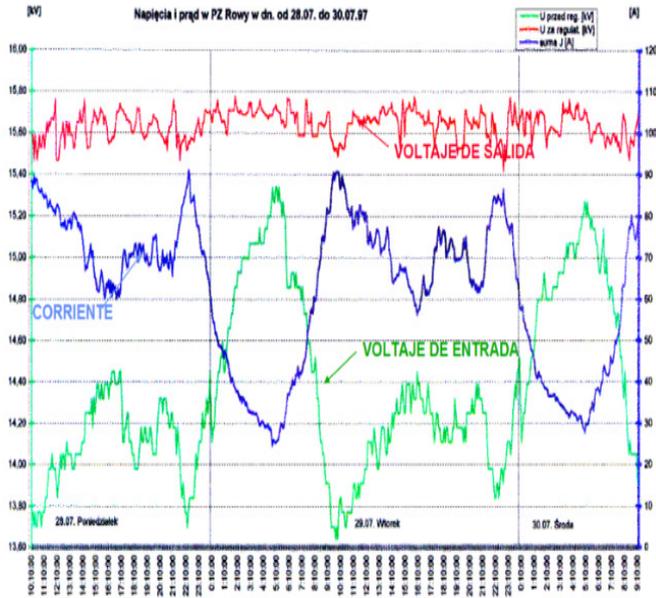
la manera más eficiente para aumentar el factor de potencia, manteniendo los mínimos establecidos por la Arconel. En la figura 10 se observa el resultado de corregir el factor de potencia en la red. La disminución de la potencia reactiva reduce el ángulo entre el voltaje y la corriente aumentando la eficiencia eléctrica de un sistema de distribución (ver Figura 10).

Capacitores fijos: Los capacitores fijos están conectados de manera permanente en la red, inyectando reactivos con base en su capacidad nominal. Se pueden agrupar y formar bancos trifásicos, lo cual significa bajos costos por KVAR instalado. Los capacitores de tipo *fijos* deben ser instalados con base en la demanda mínima del sistema, para no tener problemas de alto voltaje en la línea. En la figura 12 se muestra un perfil de voltaje con la implementación de un banco de capacitores en la red de distribución (ver Figuras 11 y 12).

Capacitores desconectables: Los capacitores desconectables pueden ser configurados para operar por factor de

Figura 9.

Comparación del perfil de voltaje del circuito de media tensión después de la aplicación de reguladores



potencia, voltaje, corriente y potencia reactiva. Estos equipos pueden inyectar reactivos a la red de distribución de acuerdo a la variación de carga presentada tomando en cuenta los parámetros de la red. En la figura 13 se muestra un perfil de carga e ingreso de los bancos de capacitores con base en la necesidad de la red eléctrica [14] (ver Figura 13).

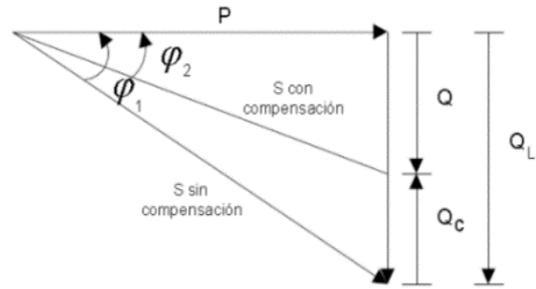
ALGORITMO GENÉTICO

Los algoritmos genéticos son estrategias estocásticas de investigación basadas en la selección natural y que en algunos casos incorporan aspectos de la genética natural, simulando la evolución biológica como estrategia de resolución de problemas. A las posibles soluciones del problema de optimización se las denomina individuos, y cada uno de ellos posee información característica que puede ser representada con cromosomas [15]. Estos cromosomas están formados por una serie de datos que en muchos casos se representan mediante números binarios.

Las estrategias evolutivas resuelven problemas evolucionando cada uno de los individuos a través de generaciones. En la población, cada individuo se distingue según el valor de su *fitness*, que se obtiene con la ayuda de diversas medidas, de acuerdo con el problema a resolver. Para obtener generaciones futuras, se producen nuevos individuos, llamados descendientes, utilizando dos estrategias

Figura 10.

Corrección de factor de potencia con capacitores

**Figura 11.**

Banco de capacitores de media tensión



evolutivas básicas, como factores de cruce y mutación (que a menudo se usan indistintamente). Los algoritmos genéticos tienen los siguientes componentes [16]:

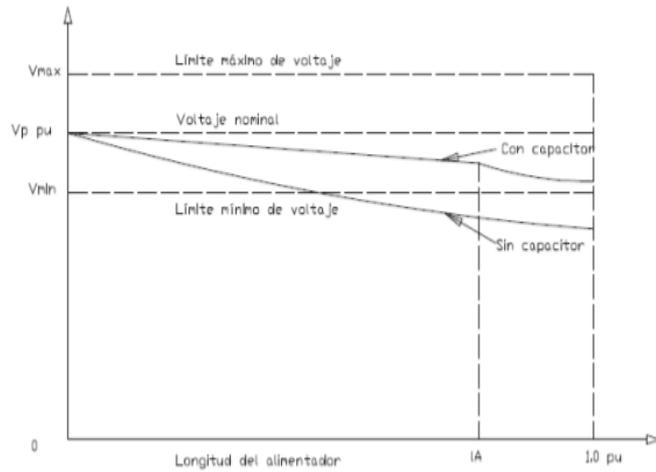
Selección: El proceso de selección escoge de entre la población actual las alternativas que muestran el mayor valor de eficiencia para formar nuevos individuos y así desarrollar sus características en el futuro y nuevos grupos de población.

Cruza: Es el proceso de formación de nuevos individuos que imitan el apareamiento (el intercambio de genes entre pares de individuos llamados padres con un valor de aptitud muy alto), entre dos cromosomas de un organismo. Implica tomar dos hebras de cromosomas o individuos e intercambiar genes. Es el operador más importante del algoritmo genético y actúa como operador de minería, lo que significa que hibridiza individuos para obtener mejores características.

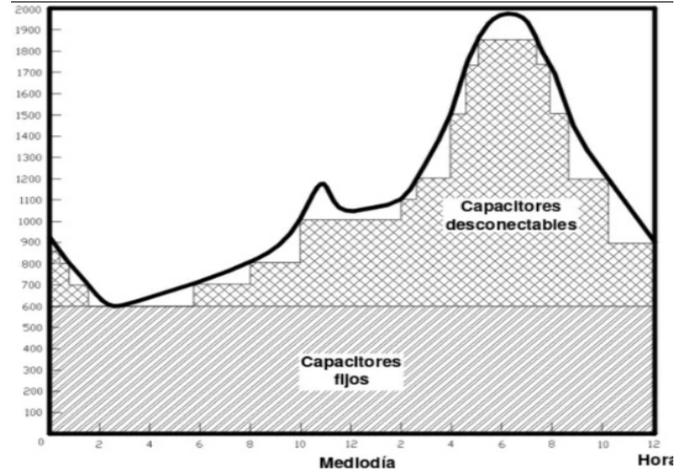
Mutación: En algoritmos genéticos, este operador se usa con menos frecuencia que el operador de cruce. Es un operador exploratorio porque permite que el algoritmo explore en otras regiones, ayudándolo a salir recursivamente de la región óptima. La mutación implica el cambio de ciertos valores de genes, seleccionados al azar, por individuos obtenidos después de la cruce, por lo que, si el valor de un gen específico es uno, se cambiará a cero y viceversa [17].
Reemplazo: Ayuda a mantener el tamaño de la población, los individuos tienen las mejores cualidades posibles en todas las generaciones.

Figura 12.

Perfil de voltaje con capacitores en la red eléctrica


Figura 13.

Operación combinada de capacitores fijos y desconectables según el perfil de carga



1. ALGORITMO GENÉTICO DIFERENCIAL

La evolución diferencial es una técnica metaheurística basada en conjuntos de vectores numéricos. Las principales ventajas de este algoritmo son la simplicidad, la eficiencia, las características de búsqueda local y la velocidad. El proceso mediante el cual se resuelve la evolución diferencial de un problema de optimización se caracteriza por la iteración a través de un conjunto de vectores para hacer que las soluciones candidatas crezcan de acuerdo con una función adecuada. [18] En la figura 14 se muestra las principales operaciones que realiza el algoritmo diferencial para llegar a la mejor solución (ver Figura 14).

1.1. Inicialización de la población

Las variables del problema a optimizar se codifican como vectores de números reales. La población consta de vectores NP, donde g es la generación correspondiente. Cada vector incluye las variables del problema, donde (m = 1... n).

$$x_p^g = \{x_{p,1}^g, x_{p,2}^g, \dots, x_{p,n}^g\} \quad (14)$$

$$p = 1 \dots NP \quad (15)$$

1.2. Mutación diferencial

Consiste en crear NP vectores mutados (llamados también de perturbación) los cuales son creados a partir de 3 individuos elegidos al azar, xa, xb, xc:

$$n_p^g = x_c + F * (x_a - x_b) \quad (16)$$

$$n_p^g = x_{best} + F * (x_a - x_b) \quad (17)$$

$$p = 1 \dots NP \quad (15)$$

1.3. Recombinación

Una vez que se obtienen los vectores de mutación, se realiza una hibridación extensiva con los vectores originales, dando como resultado los vectores de prueba, de la siguiente manera:

$$t_{p,m}^g = \{n_{p,m}^g / x_{p,m}^g \text{ si } \text{rand}[0,1] < GR\} \quad (18)$$

1.4. Selección

Se hace simplemente comparando la idoneidad del vector original con el vector de prueba. El portador de la próxima generación será el que tenga el mejor fitness o calidad:

$$t_{p,m}^g = \{t_p^g / x_p^g \text{ si } \text{fit}(t_p^g) < \text{fit}(x_p^g)\} \quad (19)$$

Figura 14. Diagrama de flujo de las principales operaciones del algoritmo diferencial

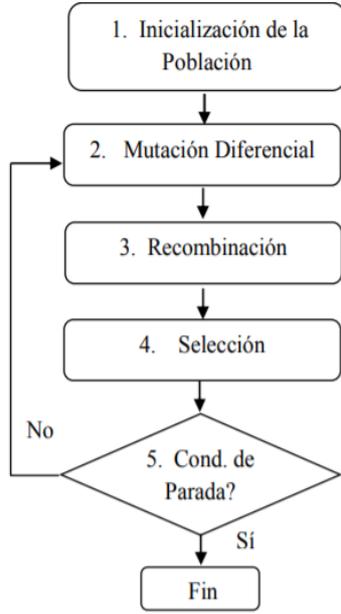


Figura 15. Vector de enteros para reguladores

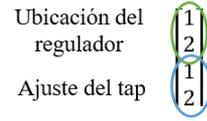


Figura 16. Sistema eléctrico de 4 barras

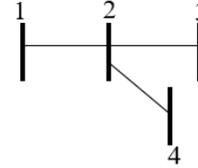
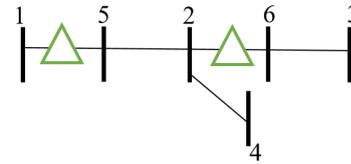


Figura 17. Sistema eléctrico incluyendo los reguladores



EXPLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO DESARROLLADO

1. UBICACIÓN ÓPTIMA DE REGULADORES DE VOLTAJE (TRANSFORMADORES REGULANTES)

1.1. Para representar la ubicación de los reguladores, se utilizará un vector de enteros, donde las primeras filas indican la posición de los transformadores regulantes y las últimas filas indican la posición de los taps (ver Figura 15).

Esta información se puede combinar con la información del sistema. Por ejemplo, si se tiene un sistema de 4 barras como se muestra en la figura 16, la información del vector proporcionado por el DE se puede combinar de forma matricial con la información del sistema de la siguiente manera (ver Figura 16):

$$\begin{bmatrix} B_i & B_j & R & X & carga & Regulante & Tap \\ 1 & 2 & R_1 & X_1 & L_1 & 1 & 3 \\ 2 & 3 & R_2 & X_2 & L_2 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & R_3 & X_3 & L_3 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

1.2. Donde se vaya a ubicar un nuevo transformador regulante el algoritmo tiene que incluir una nueva barra en la red de distribución. A la matriz de datos se le agregará una nueva barra por cada transformador regulante según la ubicación en el sistema de distribución. Por ejemplo, considerando la matriz (21) se ubicará un regulante en la línea 1-2 y 2-3, expresando la nueva matriz como:

$$\begin{bmatrix} B_i & B_j & R & X & carga & ubicación & Tap \\ 1 & 5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 5 & 2 & R_1 & X_1 & L_1 & 0 & 0 \\ 2 & 6 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 6 & 3 & R_2 & X_2 & L_2 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & R_t & X_t & L_t & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

La nueva red resultante se puede observar en la figura 17 (ver Figura 17).

1.3. Construir la Ybus con la matriz de datos extendida. La línea donde se ubican los regulantes se les asignará una impedancia y admitancia de cero. La Ybus se construirá de forma convencional encontrando primero los elementos de la diagonal principal, y luego los elementos fuera de la diagonal.

1.4. Calcular el bloque de construcción para cada transformador regulante:

$$Y_{reg} = \begin{bmatrix} |t|^2 Y & -t^* Y \\ -t Y & Y \end{bmatrix} \quad (22)$$

Donde:

- t: porcentaje de regulación del regulador.
- Y: admitancia del regulador.

1.5. Sumar el bloque de construcción de cada regulador a la Y_{bus} .

1.6. Con la nueva Y_{bus} se procede a realizar un flujo de potencia, para calcular los voltajes en las barras.

Figura 18.

Vector de enteros para capacitores

Ubicación del banco de capacitor	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots \\ 3 & 1 & \dots \end{bmatrix}$
Número de bancos de capacitores	$\begin{bmatrix} 3 & 1 & \dots \\ 2 & 1 & \dots \end{bmatrix}$

1.7. Con los voltajes de barra se procede a calcular la desviación de voltaje del sistema.

1.8. Repetir el procedimiento para un nuevo vector entregado por el algoritmo genético diferencial.

2. UBICACIÓN ÓPTIMA DE BANCOS DE CAPACITORES

2.1. Para representar la ubicación de los capacitores, se utilizará un vector de enteros, donde las primeras filas indican la posición de los bancos de capacitores y las últimas filas indican el número de bancos (ver Figura 18).

Por ejemplo, si se tiene un sistema de 4 barras como se muestra en la figura 16, la información del vector proporcionado por el DE se puede combinar de formar matricial con la información del sistema de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} B_i & B_j & R & X & \text{carga} & \text{ubic} & \#\text{bancos} \\ 1 & 2 & R_1 & X_1 & L_1 & 1 & 3 \\ 2 & 3 & R_2 & X_2 & L_2 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & R_3 & X_3 & L_3 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Donde los nuevos capacitores serán ubicados en las barras 2 y 4 como se muestra en la figura 19 (ver Figura 19).

2.2. Con la información presentada en (23) se procederá a construir la Y_{bus} de forma convencional, encontrando primero los elementos de la diagonal principal, y luego los elementos fuera de la diagonal.

2.3. El siguiente paso es calcular la susceptancia del banco, según la capacidad y voltaje nominal.

$$Y_{ci} = \frac{\#\text{bancos} * Q}{Vn^2} \quad (24)$$

2.4. Sumar la admitancia de cada capacitor a la Y_{bus} .

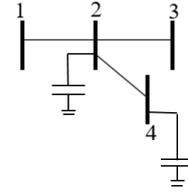
$$Y_{barra} = Y_{barra\ i,i} + Y_{ci} \quad (25)$$

2.5. Con la nueva Y_{bus} se procede a realizar un flujo de potencia, para calcular los voltajes en las barras.

2.6. Con los voltajes de barra se procede a calcular la

Figura 19.

Sistema eléctrico incluyendo los capacitores



desviación de voltaje del sistema y el factor de potencia del sistema.

$$fp = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (26)$$

2.7. Repetir el procedimiento para un nuevo vector entregado por el algoritmo genético diferencial.

En la figura 20, se muestra la operación del algoritmo diferencial con un diagrama de flujo tanto para la ubicación de los reguladores como de los capacitores (ver Figura 20). Inicialmente se define una población inicial al azar, donde el algoritmo evaluará cada individuo y calculará su *fitness* por medio de Gauss-Seidel. A partir de la segunda iteración el vector comienza a mutar con base en los mejores resultados obtenidos, luego de eso se realiza una recombinación y, por último, se seleccionan los candidatos que cumplan con las restricciones.

III. RESULTADOS

La figura 21 ilustra el sistema de distribución del alimentador de media tensión La Guayaquil representado en 50 barras, 49 líneas y 30 cargas concentradas para mejor apreciación del sistema. La longitud total de la troncal es de 30 km y su configuración es radial. Está conformada con varios calibres de conductor de aluminio desnudo a lo largo de la línea, los cuales son ACSR 266, 8; 4/0; 1/0 y # 2 (ver Figura 21).

En condiciones iniciales del alimentador La Guayaquil opera a un voltaje de 13.200 v en barra de la subestación Balzar, tiene una desviación de voltaje inicial de 6,2249 y presenta una demanda máxima de 3,3 MW y 1,5 MVAR. Debido a la longitud y calibre del conductor, el 98% de las barras se encuentran por debajo del voltaje permitido por la regulación -5% del voltaje nominal, provocando reclamos de mala calidad por los usuarios finales. Debido a la potencia reactiva consumida por la carga industrial, el alimentador tiene un factor de potencia de 89% en demanda máxima. El código propuesto para el algoritmo de optimización se realizó en Matlab, y los resultados fueron comprobados mediante el software Etap.

Figura 20.

Algoritmo propuesto para la ubicación óptima de reguladores o capacitores

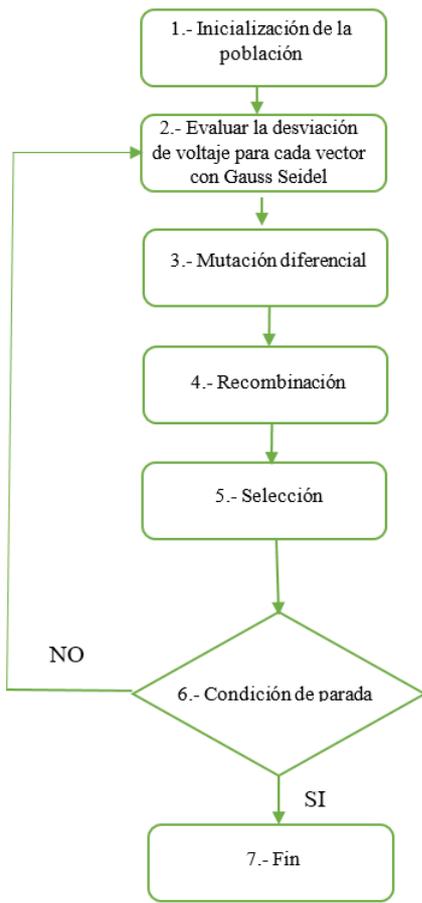
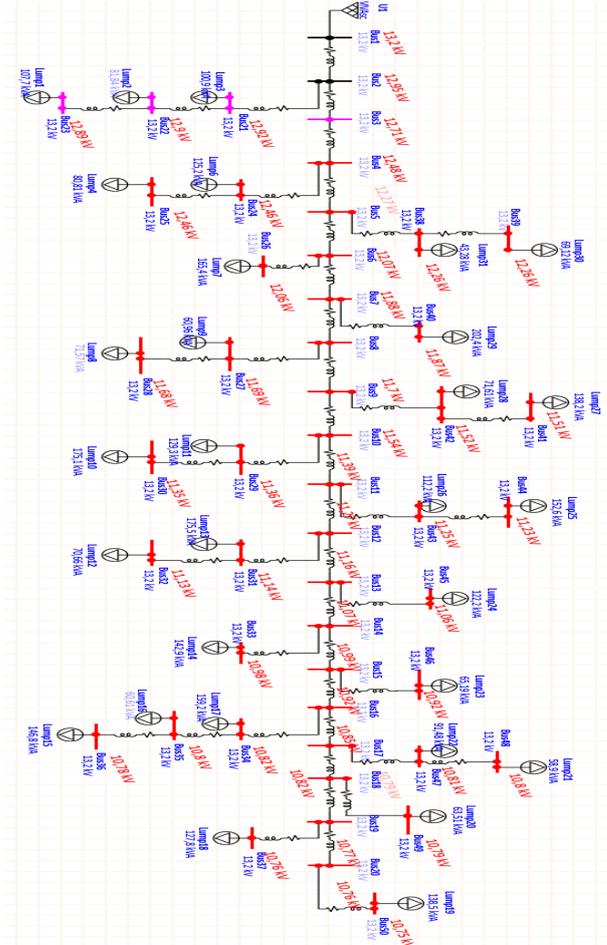


Figura 21.

Condiciones iniciales del alimentador La Guayaquil conformado por 50 barras



Para el ingreso de los reguladores de voltaje y de los capacitores a la red, se evaluarán 5 escenarios, considerando una población inicial de 30 individuos y restricciones de voltaje en barra de y factor de potencia mayor a 96%. A continuación, se detallarán los resultados para cada uno de los escenarios.

ESCENARIO 1: INGRESO DE DOS BANCOS DE REGULADORES DE TENSION.

En la tabla 4 se muestra el resultado óptimo del algoritmo diferencial para la instalación de dos bancos reguladores de tensión. Con la inserción de estos bancos, en las barras 6 y 20, solo el 24% de las barras no cumplen con el límite mínimo de voltaje y la desviación de voltaje del alimentador disminuye un 90,77% respecto al sistema original (ver Tabla 4).

En la figura 22 se muestra la mejora del voltaje en las barras del sistema de distribución con el ingreso de 2 bancos reguladores de voltaje. El mínimo voltaje presentado en la red es de 12,7 kv (ver Figura 22).

ESCENARIO 2: INGRESO DE TRES BANCOS REGULADORES DE TENSION.

En la tabla 5 se muestra el resultado óptimo del algoritmo diferencial para la instalación de tres bancos reguladores en la red. Con la ubicación de los tres bancos (barras 2, 6 y 12) solo el 12% de las barras no cumplen con el límite mínimo de voltaje y la desviación de voltaje del alimentador disminuye un 93,43% respecto al caso original (ver Tabla 5).

En la figura 23 se muestra la mejora del voltaje en las barras del sistema de distribución para este caso. El mínimo voltaje presentado en la red es de 12,7 kV (ver Figura 23).

ESCENARIO 3: INGRESO DE DOS BANCOS DE CAPACITORES.

En la tabla 6 se muestra el resultado óptimo del algoritmo diferencial para la instalación de dos bancos de capacitores en la red (ver Tabla 6). Con la operación de los dos bancos de capacitores el factor de potencia aumenta

Tabla 4.

Ubicación y selección óptima del tap de los dos reguladores de voltaje

Regulador	Barra	Selección del tap	Desviación de voltaje
1	6	2	0,5284
2	20	15	

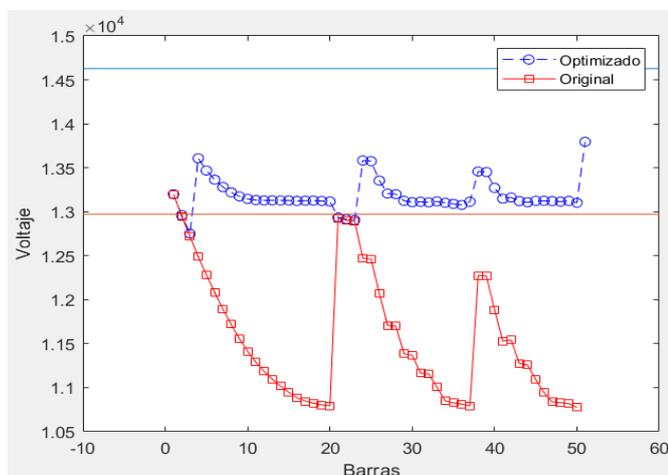
Tabla 5.

Ubicación y selección óptima del tap de los tres reguladores de voltaje

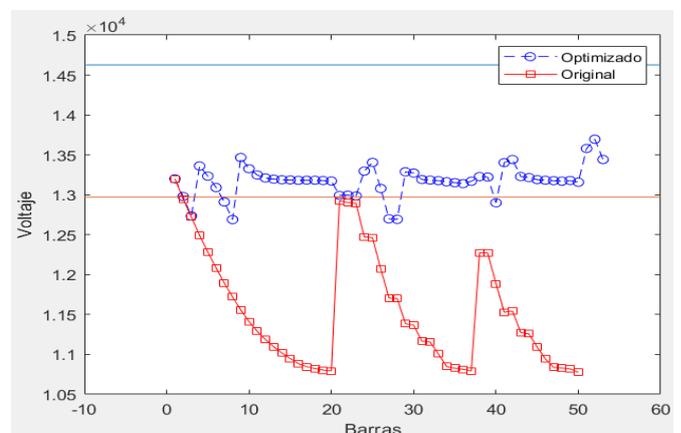
Regulador	Barra	Selección del tap	Desviación de voltaje
1	2	12	0,409
2	6	13	
3	12	2	

Figura 22.

Perfil de voltajes de barra con el ingreso de dos bancos de reguladores

**Figura 23.**

Perfil de voltajes de barra con el ingreso de 3 bancos de reguladores



en un 8,9% y el voltaje aumentó un promedio de 7,7 %. El 98% de las barras no cumplen con el límite mínimo de voltaje y la desviación de voltaje del alimentador disminuyó un 36,7%.

En la figura 24 se muestra la mejora del perfil de voltaje en las barras del sistema de distribución, con el ingreso de 2 bancos de capacitores (ver Figura 24). Se debe notar que aun así no se cumple con la regulación de voltaje. El mínimo voltaje presentado en la red es de 11,8 kv.

ESCENARIO 4: INGRESO DE TRES BANCOS DE CAPACITORES.

En la tabla 7 se muestra el resultado óptimo del algoritmo diferencial para la instalación de tres bancos de capacitores en la red. Con la operación de los tres bancos de capacitores el factor de potencia aumenta un 11% y el voltaje de las barras también aumentó un 5% en promedio. El 98% de las barras aun no cumplen con el límite mínimo de voltaje, pero la desviación de voltaje del alimentador disminuyó un 56,7% (ver Tabla 7).

En la figura 25 se muestra la mejora del voltaje en las barras del sistema de distribución con el ingreso de los 3 bancos de capacitores, pero aun así no se cumple con la regulación de voltaje. El mínimo voltaje presentado en la red es de 12,23 kV (ver Figura 25).

ESCENARIO 5: INGRESO DE DOS BANCOS DE CAPACITORES Y TRES BANCOS DE REGULADORES.

El escenario 5 combinará el ingreso de dos bancos de capacitores y tres bancos de reguladores. De la optimización del escenario 3 se obtendrán las susceptancias de los bancos de capacitores, para luego sumar en las barras correspondientes las susceptancias en la diagonal de la Ybarra del sistema original. La nueva matriz de admitancias se ingresará como dato en el algoritmo de optimización de los transformadores regulantes, para obtener un nuevo resultado combinado.

En la tabla 8 se muestra el resultado obtenido por el algoritmo diferencial, para la instalación de dos bancos de capacitores y tres bancos reguladores de voltaje en la red

Tabla 6.

Ubicación de los dos bancos de capacitores

Capacitor	Barra	Factor de potencia en la red	Desviación de voltaje
1	19	97%	3,966
2	20		

Tabla 7.

Ubicación de los tres bancos de capacitores

Capacitor	Barra	Factor de potencia en la red	Desviación de voltaje
1	19	99%	2,7131
2	20		
3	29		

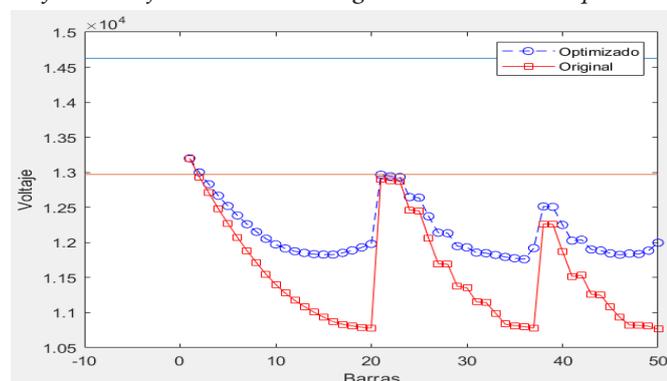
Tabla 8.

Ubicación de dos bancos de capacitores y tres bancos de reguladores

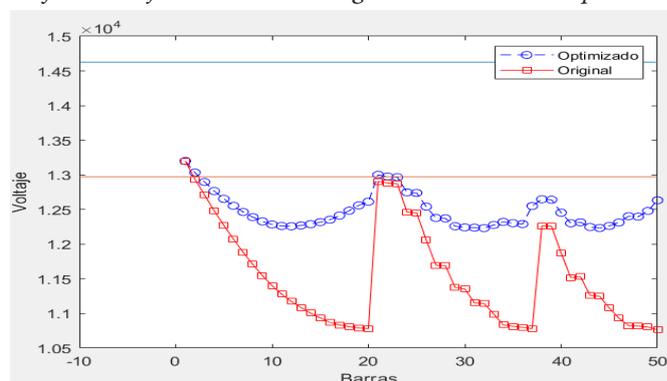
Capacitor	Barra	# Bancos	Factor de potencia en la red	Desviación de voltaje
1	19	1	97%	0,3879
2	20	1		
Regulador	Barra	Tap		
1	2	12		
2	5	10		
3	13	15		

Figura 24.

Perfil de voltajes de barra con el ingreso de 2 bancos de capacitores

**Figura 25.**

Perfil de voltajes de barra con el ingreso de 3 bancos de capacitores



(ver Tabla 8). El 10% de las barras no cumplen con el límite mínimo de voltaje y la desviación de voltaje en las barras del alimentador disminuye un 94%.

En la figura 26 se muestra la mejora del voltaje en las barras del sistema de distribución con el ingreso de 2 bancos de capacitores y 3 bancos de reguladores de voltaje. El mínimo voltaje presentado en la red es de 12,28 kv (ver Figura 26).

Finalmente, la figura 27 muestra la simulación del sistema considerando únicamente los tres transformadores regulantes. La figura 28 muestra la simulación del sistema considerando únicamente los dos capacitores, y la figura

29 muestra la solución más factible, que es la combinación de los tres bancos reguladores de voltaje y dos bancos de capacitores (ver Figuras 27, 28 y 29).

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la figura 30 se muestra un diagrama tipo barra para resumir los resultados en cada escenario con base en la función objetivo planteada desde el comienzo del estudio (ver Figura 30). En condiciones iniciales en el periodo que se presenta la demanda máxima del alimentador de distribución La

Figura 26.
Perfil de voltajes de barra con el ingreso de 2 bancos de capacitores y 3 bancos de reguladores de voltaje

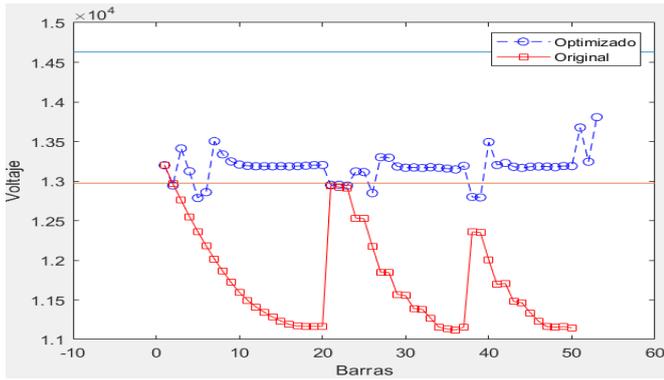


Figura 28.
Resultados del flujo de carga con la operación de dos bancos de capacitores

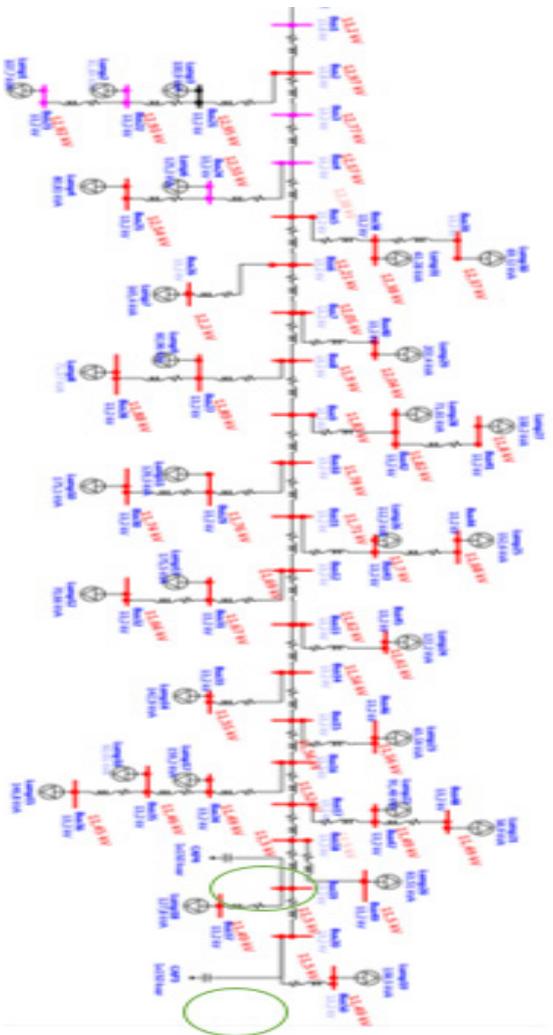
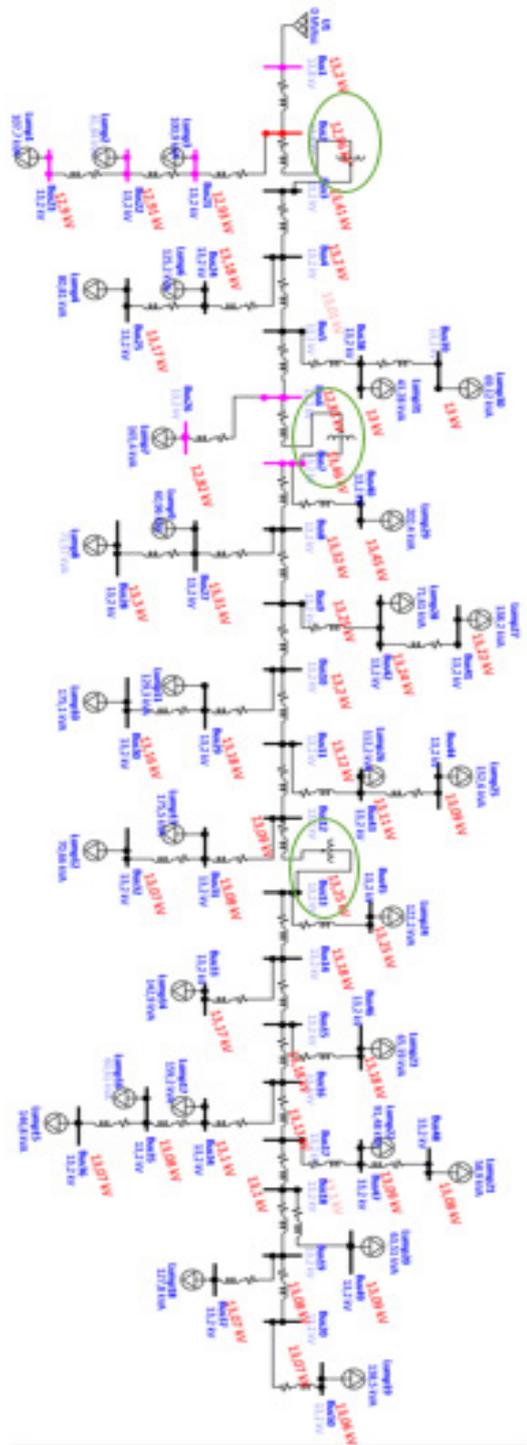


Figura 27.
Resultados del flujo de carga con la operación de tres reguladores de voltaje



Guayaquil, se tiene una caída de voltaje significativa, dando como resultado una afectación al 97% de los abonados, entre residenciales, comerciales e industriales. Como resultado de la simulación, 49 barras no cumplen con el voltaje mínimo requerido y presenta una desviación de voltaje de 6,2249.

Con el ingreso de los 2 bancos reguladores de voltaje a la red, se puede apreciar que, de las 50 barras del sistema eléctrico solo 12 incumplen con la regulación de voltaje Arconel 005/18, teniendo una mejora del 74% en base a la condición inicial. Además, la desviación de

Figura 29. Resultados del flujo de carga con la operación combinada de dos bancos de capacitores y tres bancos reguladores de voltaje

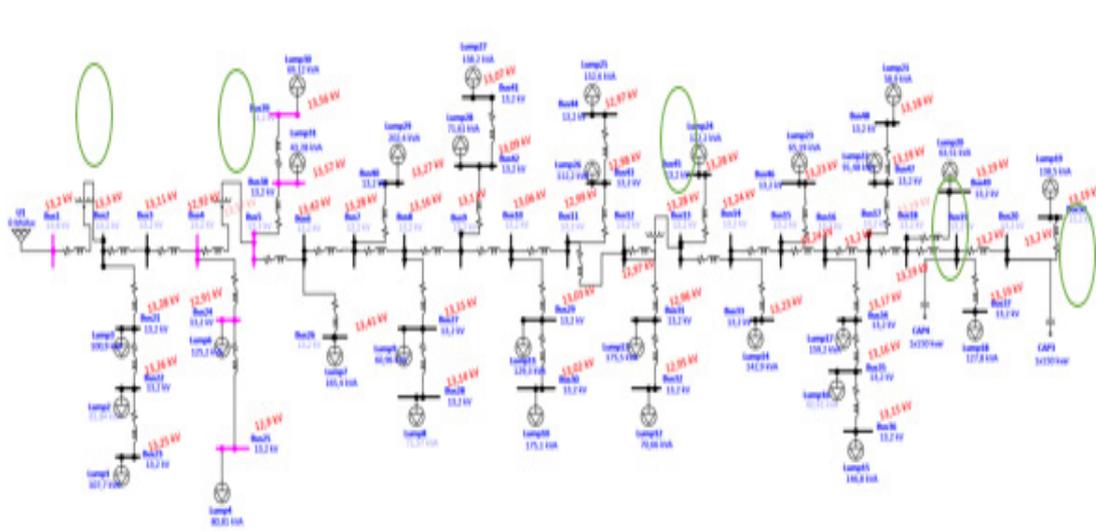
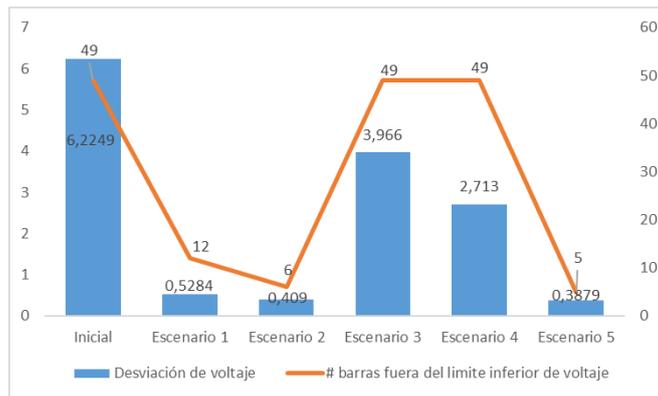


Figura 30. Análisis comparativo de los cinco escenarios



voltaje del alimentador disminuye un 90,77% respecto al sistema original.

Con el ingreso de los 3 bancos de reguladores de voltaje a la red, se puede apreciar que, de las 50 barras del sistema eléctrico solo 6 incumplen con la regulación de voltaje Arconel 005/18, teniendo una mejora del 86% con base en la condición inicial y la desviación de voltaje del alimentador disminuye un 93,43%.

Con el ingreso de los bancos de capacitores se puede apreciar que no son de mucha ayuda en la mejora del voltaje de las barras, tanto con el ingreso de 2 o 3 bancos de capacitores con capacidad de 150 kVAR por banco. La desviación de voltaje tanto con dos y tres bancos de capacitores disminuye un 36,7% y 56,7% respecto al sistema inicial.

Con el ingreso de los 3 bancos de reguladores de voltaje y 2 bancos de capacitores a la red, se puede apreciar que de las 50 barras del sistema eléctrico solo 5 incumplen

con la regulación de voltaje Arconel 005/18, teniendo una mejora del 88%, basado en la condición inicial. La desviación de voltaje del alimentador disminuye un 94% respecto al sistema original.

IV. CONCLUSIONES

En este artículo se realiza un algoritmo genético diferencial para determinar la ubicación óptima de los bancos de reguladores y bancos de capacitores para un sistema conformado por 50 barras con configuración radial y carga equilibrada.

La efectividad del algoritmo diferencial fue demostrado y probado mediante el software ETAP. Dentro de las soluciones obtenidas se comprueba el cumplimiento de la función objetivo, la cual era minimizar la desviación de voltaje del alimentador.

La mejor solución para optimizar el voltaje en el alimentador de media tensión La Guayaquil es instalar 3 bancos de reguladores de voltaje en la red e instalarlo en las líneas 2-3, 4-5, 12-13 con los taps en las posiciones 12, 10 y 15.

Para mejorar el factor de potencia se debe instalar dos bancos de capacitores en las barras 19 y 20 llegando a tener un factor de potencia de 97%; no se sugiere instalar los tres bancos de capacitores, dado que está próximo a sobrecompensar de reactivos el alimentador.

La desviación de voltaje disminuyó un 94% con respecto a la desviación de voltaje inicial, con la operación combinada de los 3 bancos de reguladores y 2 bancos de capacitores de 150 KVAR.

REFERENCIAS

- [1] D. Cárdenas, C. Chávez y L. Quinteros, *Estabilidad de voltaje en redes de distribución eléctrica monofásicas de medio voltaje, aplicando reguladores quick drive tap en estado estable*, *Revista Ingenio*, vol. 4, n.º 1, jun. 2021, doi: 10.29166/ingenio.v4i1.3067.
- [2] F. V. Lima, S. F. Pinto y J. F. Silva, «Power electronics voltage regulators for distribution transformers», en 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, may 2013, pp. 1362-1367. doi: 10.1109/PowerEng.2013.6635812.
- [3] N. Wight, S. Alahakoon, and P. Pledger, «Voltage drop and unbalance compensation in long distance medium voltage distribution lines a feasibility study», 2015 IEEE 10th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2015, doi: 10.1109/ICIINFS.2015.7398976.
- [4] J. P. Avilés, J. C. Mayo-Maldonado, y O. Micheloud, «A multi-objective evolutionary approach for planning and optimal condition restoration of secondary distribution networks», *Applied Soft Computing*, vol. 90, p. 106182, may 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106182.
- [5] P. Alcaria, S. F. Pinto y J. F. Silva, «Active voltage regulators for low voltage distribution grids: The matrix converter solution», en 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, may 2013, pp. 989-994. doi: 10.1109/PowerEng.2013.6635745.
- [6] «Regulacion-de-Calidad-Suscrita.pdf». Accedido: 20 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Regulacion-de-Calidad-Suscrita.pdf>
- [7] J. E. Mendoza, D. A. Morales, R. A. López, E. A. López, J.-C. Vannier, y C. A. Coello Coello, «Multiobjective location of automatic voltage regulators in a radial distribution network using a micro genetic algorithm», *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, n.º 1, pp. 404-412, feb. 2007, doi: 10.1109/TPWRS.2006.887963.
- [8] R. T. Bhimarasetti y A. Kumar, «Capacitor placement in unbalanced radial distribution system for loss reduction», en 2015 2nd International Conference on Recent Advances in Engineering Computational Sciences (RAECS), dic. 2015, pp. 1-5. doi: 10.1109/RAECS.2015.7453320.
- [9] H. E. Z. Farag y E. F. El-Saadany, «Optimum shunt capacitor placement in multimicrogrid systems with consideration of islanded mode of operation», *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, n.º 4, pp. 1435-1446, oct. 2015, doi: 10.1109/TSTE.2015.2442832.
- [10] C. W. Taylor, «Line drop compensation, high side voltage control, secondary voltage control-why not control a generator like a static VAR compensator?», en 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134), jul. 2000, vol. 1, pp. 307-310 doi: 10.1109/PESS.2000.867601.
- [11] G. M. Gilbert, D. E. Bouchard y A. Y. Chikhani, «A comparison of load flow analysis using DistFlow, Gauss-Seidel, and optimal load flow algorithms», en Conference Proceedings. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (Cat. No.98TH8341), may 1998, vol. 2, pp. 850-853 doi: 10.1109/CCECE.1998.685631.
- [12] A. Kumar, S. Grijalva, J. Deboever, J. Peppanen, y M. Rylander, «Mathematical representation of voltage regulation impact on distribution feeder voltages», en 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), jun. 2019, vol. 2, pp. 1-5. doi: 10.1109/PVSC40753.2019.9198970.
- [13] M. E. Elkhatab, R. El Shatshat, y M. M. A. Salama, «Optimal control of voltage regulators for multiple feeders», *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, n.º 4, pp. 2670-2675, oct. 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2033073.
- [14] R. E. Rinker y D. L. Rembert, «Using the reactive current profile of a feeder to determine optimal capacitor placement», *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, n.º 1, pp. 411-416, ene. 1988, doi: 10.1109/61.4272.
- [15] J. Velásquez y J. Villota, *Aplicación del algoritmo genético no dominado NSGA-II para la aceleración de proyectos de construcción a través de la solución del problema de compensación discreta tiempo-costo (DTCTP) en una obra civil del valle del Cauca*, tesis, Universidad del Valle, Colombia, p. 60, 2019.
- [16] J. T. Jiménez, J. L. Guardado, N. G. Cabrera, J. R. Rodríguez y F. Figueroa, «Transmission expansion planning systems using algorithm genetic with multi-objective criterion», *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, n.º 3, pp. 563-568, mar. 2017, doi: 10.1109/TLA.2017.7867609.
- [17] W. Annicchiarico, «Optimización multiobjetivo-multidisciplinario del diseño de estructuras usando colonias de enjambres dinámicos». *Rev. Fac. Ing. ucv* [online]. 2012, vol. 27, n.º 4, pp. 51-64. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000400007 (accedido 20 de enero de 2022).
- [18] A. M. Andaluz, *Algoritmos evolutivos y algoritmos genéticos*, Universidad Carlos III de Madrid, p. 14.



Influencias en el ambiente educativo de la carrera de Manufactura en Ecuador

Influences on the educational environment in the Manufacturing career in Ecuador

Verónica Sópalo | [iD](#) Instituto Tecnológico Kachary, Quito, Ecuador

Juan Rocha-Hoyos | [iD](#) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Julio Rodríguez | [iD](#) Unidad Educativa Eloy Alfaro, Quevedo, Ecuador

Yalila Chichande-Anzules | [iD](#) Unidad Educativa Eloy Alfaro, Quevedo, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 15/06/2021
Aceptación: 07/09/2021

PALABRAS CLAVE

Actualización, alianza academia-em-
presa-Estado, formación tecnológica,
manufactura.

KEY WORDS

Update, academy-company-State
alliance, technological training,
manufacturing.

RESUMEN

En el modelo academia, gobierno y empresa, se busca aprovechar las dinámicas universitarias como gestoras de conocimiento y que sus resultados sirvan para la creación de innovación empresarial como apalancamiento para el desarrollo socioeconómico de la sociedad. El estudio se realizó en el contexto donde la universidad requiere una permanente revisión de las necesidades de su entorno, la creación de redes académicas, sociales sólidas y de asociaciones intermedias en el área de la manufactura textil. Entonces, el camino más adecuado se basa en la interacción de los entes de la triada academia, empresariales y sociales para la innovación de la productividad regional en el área de manufactura y mejora de la vida de las personas.

ABSTRACT

In the Academy, Government and Company model, it seeks to take advantage of university dynamics as a knowledge manager and its results are for the creation of business innovation as a leverage for the socio-economic development of society. The study was carried out in the context where the university requires a permanent review of the needs of its environment, the creation of solid academic and social networks and the creation of intermediate associations in textile manufacturing. So, the most appropriate path is based on the interaction of the academic, business, and social triad entities for the innovation of regional productivity in the area of manufacturing and improvement of people's lives.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto internacional, los mecanismos para la medición de resultados de las relaciones universidad-em-
presa están orientados a indicadores cuantitativos que nos permiten establecer los motivos para que exista la articulación permanente en actividades de transferencia de conocimiento y tecnología a las sociedades. Esta arti-

culación es conocida como relaciones universidad-em-
presa, consideradas como «relaciones interactivas entre las universidades y empresas, que permiten la difusión de la creatividad, ideas, habilidades entre las personas con el objetivo de crear valor mutuo en el tiempo» [1]. El interés por profundizar en esta articulación está en co-

nocer el comportamiento de los agentes y factores que garantizan la transferencia de conocimiento y aprendizaje [2] [3].

De acuerdo con Villaveces [4], las primeras vinculaciones entre la academia y su entorno se dieron bajo un esquema llamado modelo lineal o modo 1, caracterizado por desarrollarse desde el ámbito académico hacia el ámbito industrial, bajo un carácter disciplinar, homogéneo y jerárquico, realizado solo en universidades y centros de investigación para satisfacer intereses académicos y disciplinarios. Moreno y Ruiz [5] han analizado la contribución de las universidades públicas en el desarrollo económico de América Latina, y dentro de sus conclusiones identificaron que las instituciones de educación superior e investigación deben tener el apoyo coordinado del Estado y el sector privado, pues sin él fracasarán en su intento de modernizarse y fortalecer sus capacidades de enseñanza e investigación. Este respaldo debe basarse en el compromiso de aprovechar y absorber las capacidades de las universidades mediante un intercambio de conocimiento por recursos que le permita a la academia seguir operando. Nuestro país no debe ser la excepción en la carrera de encontrar la forma de articular este trabajo conjunto hacia un futuro prometedor.

Según Etzkowitz y Leydesdorff, [6] el modelo universidad, gobierno y empresa, busca aprovechar las dinámicas universitarias como gestor de conocimiento, que contribuye a las relaciones entre el Estado y la empresa y los resultados de la interacción entre las tres partes para la creación de innovación empresarial como apalancamiento para el desarrollo social y económico de la sociedad. Es decir, la academia, el sector productivo, el gobierno nacional y los gobiernos regionales son los actores principales en la dinámica de la relación universidad-empresa-Estado, la cual se ha venido fortaleciendo cada vez más en las diferentes regiones del país [7]. En particular la universidad fortalece los espacios y desarrolla la capacidad de comunicar los resultados educativos ante una audiencia heterogénea donde los estudiantes sean los protagonistas y promuevan las oportunidades para el nexo Estado y empresa [8] [9].

La investigación inicia considerando los antecedentes manifestados, y la deficiencia respecto al apoyo de la empresa y el Estado en la realidad ecuatoriana a las carreras tecnológicas y profesionales [10]. En la actualidad, la formación universitaria posee desafíos relevantes en la búsqueda de una educación profesional que contribuya a la realización de una sociedad más pertinente, respondiendo a las necesidades del sistema laboral y empresarial. [11]. El objetivo principal de este trabajo es evidenciar las influencias del entorno educativo de la carrera de Manufactura, mediante los datos reales y actuales que afectan

al currículo, para mejorar la propuesta educativa e innovarse conforme a la realidad del mercado ecuatoriano y regional.

II. MÉTODO

A. TIPO DE ESTUDIO

En Ecuador, la formación tecnológica se ha incrementado bajo los principios de inclusión y calidad, para fortalecer y revalorizar la formación técnica y tecnológica, con el fin de responder a los desafíos de productividad y sustentabilidad. El artículo 4 de la LOES, menciona el derecho a la educación superior. El derecho a la educación superior consiste en el ejercicio efectivo de la igualdad de oportunidades, en función de los méritos respectivos, a fin de acceder a una formación académica y profesional con producción de conocimiento pertinente y de excelencia. los ciudadanos en forma individual y colectiva, las comunidades, pueblos y nacionalidades tienen el derecho y la responsabilidad de participar en el proceso educativo superior, a través de los mecanismos establecidos en la Constitución y esta ley [12] [13]. El Modelo triple hélice III que se propone, como medio de éxito, presenta varias alternativas en la búsqueda de la conexión en la educación superior [14]; en nuestro medio se debería considerar estas variables de éxito para una inmediatez en la inserción laboral de los estudiantes y consecuentes beneficios del Estado y empresa, como se aprecia en la figura 1 (ver Figura 1).

La investigación desarrollada es predominantemente cualitativa, ya que se basa en el análisis de las causas que provocan la necesidad de actualizar el currículo de los graduados universitarios de las carreras de Manufactura Textil y la relación de la academia con el sector empresarial del país, con vistas a presentar las bases para la incorporación de una formación de calidad y el desarrollo de competencias actuales marcadas por la realidad del mercado textil. El estudio se realiza en este contexto, la universidad requiere una permanente revisión de las necesidades de su entorno, la creación de redes académicas y sociales sólidas, y la creación de asociaciones intermedias; así como la adopción de un papel emprendedor que es el último paso en la evolución de una institución medieval, donde su propósito original ha sido la conservación de conocimiento [15] [16]. En el caso de la figura 2, tanto las influencias externas como internas son factores fuertemente valederos para que el currículo cambie, más el plan académico que se actualizará a partir de estos criterios son fundamentales en el proceso educativo y su retroalimentación, sin dejar de lado el contexto

Figura 1.*Modelo triple hélice III [14]*

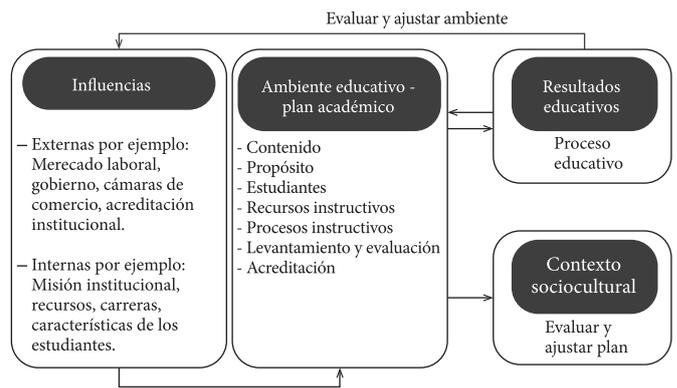
Fuente: [14].

sociocultural del graduado en confección textil, y las motivaciones para analizar estos factores en el presente estudio (ver Figura 2).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. INFLUENCIAS EXTERNAS-GOBIERNO

El estudio de las influencias externas se dará por el análisis de necesidades y políticas gubernamentales; se ha detectado claramente un requerimiento de formación de tecnólogos como se detalla a continuación. El gobierno nacional en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 menciona que la infraestructura productiva, la tecnología y el conocimiento son elementos fundamentales para fortalecer los circuitos comerciales solidarios, los encadenamientos productivos y las economías de escala capaces de dinamizar la competitividad sistémica del territorio nacional. Actualmente, los recursos naturales constituyen la base de la economía nacional, esto implica que la explotación de recursos no renovables debe realizarse con criterios de responsabilidad social y ambiental [17], lo que posiciona al ser humano como sujeto de derechos a lo largo de todo el ciclo de vida, y promueve la implementación del régimen del buen vivir establecido en la Constitución de Montecristi (2008). Esto conlleva el reconocimiento de la condición inalterable de cada persona como titular de derechos, sin discriminación alguna. Además, las personas son valoradas en sus condiciones propias, celebrando la diversidad. Así, nos guiamos por el imperativo de eliminar el machismo, el racismo, la xenofobia y toda forma de discriminación y violencia, para lo cual se necesita de políticas públicas y servicios que aseguren disponibilidad, accesibilidad, calidad y adaptabilidad. El garantizar una vida digna en igualdad de oportunidades para las personas es una forma particu-

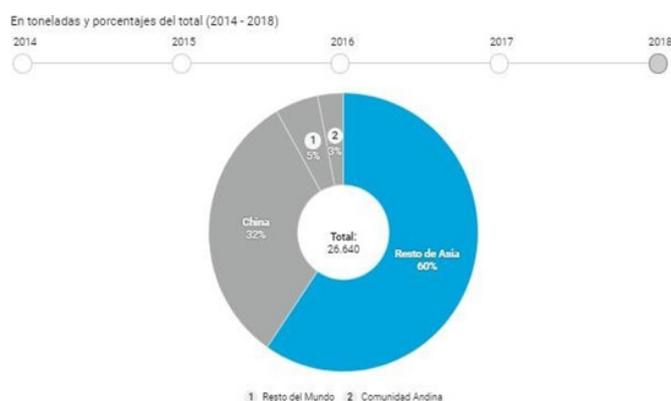
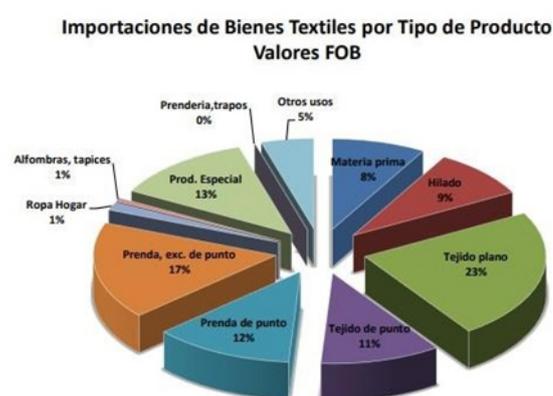
Figura 2.*Entorno educativo profesional*

lar de asumir el papel del Estado para lograr el desarrollo; éste es el principal responsable de proporcionar a todas las personas —individuales y colectivas—, las mismas condiciones y oportunidades para alcanzar sus objetivos a lo largo del ciclo de vida, prestando servicios de tal modo que las personas y organizaciones dejen de ser simples beneficiarias para ser sujetos que se apropian, exigen y ejercen sus derechos. La generación de trabajo y empleo es una preocupación permanente en los diálogos. En ellos se propone la dinamización del mercado laboral a través de tipologías de contratos para sectores que tienen una demanda y dinámica específica. Asimismo, se ha destacado la importancia de fortalecer la asociatividad y los circuitos alternativos de cooperatividad, el comercio ético y justo, y la priorización de la economía popular y solidaria.

El gobierno nacional, en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, señala que uno de sus principales objetivos está enfocado en «impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria» (objetivo 5), del eje 2 «Economía al Servicio Social», en especial los sectores de la industria y manufactura ecuatoriana, es así que la carrera de Manufactura, en su compromiso ineludible con el país de formar profesionales capaces y altamente preparados para dar soluciones a los problemas y necesidades de la industria ecuatoriana, se alinea a las siguientes políticas del objetivo 5: la demanda ciudadana insiste en que hay que mantener un Estado garante de derechos, con capacidad de regulación, seguimiento y control en aspectos fundamentales como la comunicación, los precios, la transparencia, las compras públicas, el contrabando, las construcciones, las contrataciones, etc. [17] [18]. De allí que es necesario mejorar la calidad de las regulaciones y la simplificación de sus trámites; impulsar el desarrollo del talento humano de los servidores públicos; y fomentar una mirada estratégica, técnica y pertinente sobre la nueva infraestructura. Un servicio público meritocrático, profesional, ético y transparente constituye

Tabla 1.*Tipos de empresas*

		2013					
		No existente	Microempresa	Pequeña empresa	Mediana empresa "A"	Mediana empresa "B"	Grande empresa
2009	No existente		1030	2080	159	79	55
	Microempresa	509	322	296	9	6	2
	Pequeña empresa	615	157	1713	269	62	13
	Mediana empresa "A"	60	7	53	164	154	17
	Mediana empresa "B"	35	2	13	30	187	109
	Grande empresa	31	2	4	2	12	452

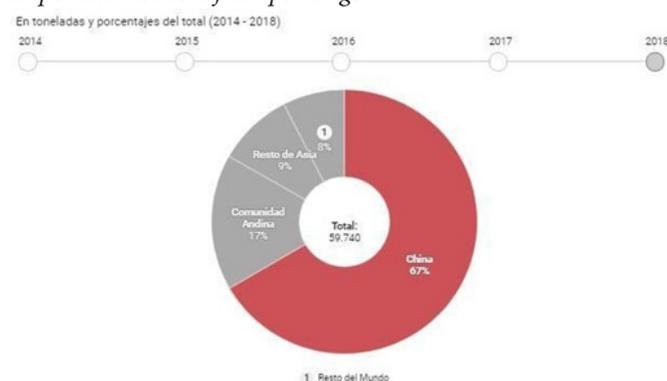
Fuente: [19]**Figura 3.***Importaciones de hilados por origen de la Asociación de Industrias Textiles del Ecuador.***Figura 4.***Importaciones de hilados por origen***Fuente:** [21]

uno de los componentes claves para la administración pública democrática orientada hacia la ciudadanía, no como simples usuarios o clientes del Estado, sino como sujetos de derechos y deberes, y agentes corresponsables de su realización. De igual forma, la sociedad no es un todo homogéneo. En la proyección se espera cumplir las siguientes metas hasta el año 2021: incrementar de 1,29 a 1,40 la relación del valor agregado bruto manufacturero sobre valor agregado bruto primario; incrementar el porcentaje de la inversión en I+D como porcentaje del producto interno bruto del 0,44% al 0,48%; incrementar la tasa de empleo adecuado del 41,2% al 47,9%; disminuir el índice de concentración de exportaciones no petroleras por producto de 0,1252 a 0,0799; aumentar el número de publicaciones científicas; mejorar el índice de productividad nacional.

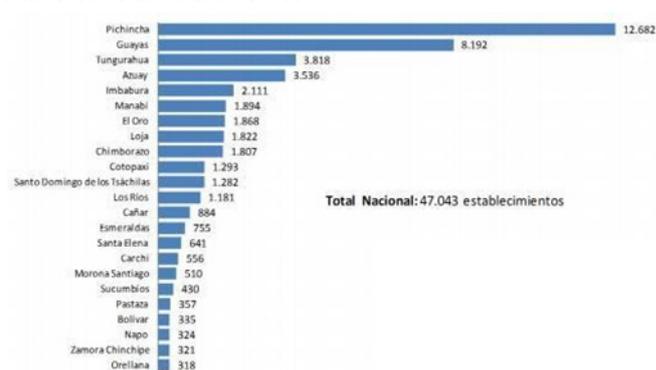
Acorde a la política de impulso a la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, el Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021), menciona que la ciudadanía está consciente que, para lograr los objetivos de incrementar la productividad, agregar valor, innovar y ser más competitivo, se requiere investigación e innovación para

la producción, transferencia tecnológica; vinculación del sector educativo y académico con los procesos de desarrollo; pertinencia productiva y laboral de la oferta académica, junto con la profesionalización de la población; mecanismos de protección de propiedad intelectual y de la inversión en mecanización, industrialización e infraestructura productiva [17].

Entonces se debe ejecutar acciones que vayan de la mano con la reactivación de la industria nacional y de un potencial marco de alianzas público-privadas, como: enfatizar el aporte tecnológico en las industrias estratégicas clave y en sus encadenamientos productivos; formar profesionales capaces de diseñar, ejecutar, evaluar, modificar o adaptar funciones y procesos relacionados con la producción de bienes y servicios, incluyendo proyectos de aplicación, adaptación e innovación tecnológica; generar alto nivel de análisis lógico-secuencial, de manera que los graduados de la carrera consigan entender las relaciones con la producción de bienes y servicios con enfoque artesanal e industrial; incentivar la innovación y emprendimiento, apuntando no solo a la obtención de empleo, sino a ser un ente que genere plazas de trabajo a nivel local y regional.

Figura 5.**Importaciones de tejidos por origen**

Fuente: [21]

Figura 6.**Números de establecimientos**

Fuente: [19]

Tabla 2.**Importaciones de bienes textiles por tipo de producto****IMPORTACIONES 2018 POR TIPO DE PRODUCTO**

TIPO DE PRODUCTO	TON	FOB M\$	CUF M\$
Materia prima	31314604	60452231	62930571
Hilado	26640035	63695977	66276244
Tejido plano	41085900	169852365	175101086
Tejido de punto	18653907	77721237	80274950
Prenda de punto	3161712	90317021	93462507
Prenda, exc. de punto	5338272	126754850	131922224
Ropa hogar	1104310	10040275	10409176
Alfombras, tapices	1266313	4727004	5069327
Prod. Especial	22623991	90676136	94741672
Prendería, trapos	9044	20641	22813
Otros usos	6541848	34020157	35228223
TOTAL GENERAL	157739935	728277894	755438792

Fuente: [23]

B. MERCADO LABORAL Y EMPRESARIAL

El informe del *Panorama laboral y empresarial del Ecuador*, realizado por el INEC en el 2017, muestra la composición de empresas en el país donde 86.823 empresas registradas están distribuidas de la siguiente manera: 28,3% microempresas, 55,1% pequeñas, 7,5% medianas (A), 5,3% medianas (B) y 3,8% grandes empresas. Es importante resaltar en dicho estudio la creación de empresas en el sector industrial, donde hubo un crecimiento en el número de empresas de todos los tamaños como se aprecia en la tabla 1; y un crecimiento neto en el número de empleos de 25.112, para el año 2015, a 32.859 empleos nuevos para el 2018, y un menor número, aunque se destaca que siempre fue positivo, en el 2013 [19] (ver Tabla1).

De este análisis se desprende una necesidad creciente de trabajadores, especialmente para pequeñas y grandes industrias. Entre 2013 y 2018 la facturación por ventas de la industria textil ecuatoriana cayó 18,8 %, al pasar de

USD 1060 millones a USD 860 millones, según el presidente ejecutivo de la Asociación de Industrias Textiles de Ecuador (AIT), Javier Díaz. Y para 2019, los industriales textiles esperan ventas similares a las del año anterior [20]. «Estamos preocupados. Uno de los principales problemas que tenemos es el comercio ilegal contra el que competimos en el mercado interno». El contrabando técnico y abierto, la falsificación de productos, la venta de textiles y ropa sin factura y la producción informal son factores que atentan contra la industria, de acuerdo con el gremio textilero. El contrabando técnico es la subdeclaración de mercaderías, que solo en telas representa entre un 60 % y 70% y en prendas confeccionadas entre 40% y 45% de lo que entra al país. De acuerdo con la AITE, el año pasado ingresaron a Ecuador 60.000 toneladas de tela y 14.000 toneladas de ropa (ver Figura 3).

El sector textil ecuatoriano es un gran generador de mano de obra, con 191.000 fuentes de trabajo directo. A

la industria textil se encadenan al menos 33 sectores, entre proveedores de materia prima, insumos y maquinaria, se asegura que toda la cadena puede generar unos 2,3 empleos indirectos por cada empleo directo. La importación de hilos y tejidos según las imágenes anteriores se han mantenido en tendencia en número de toneladas, esto quiere decir que la producción y confección de prendas de vestir no se ha detenido en este último tiempo y acompaña con los datos de empleo de la Asociación de Industrias Textiles de Ecuador (AIT). Es así como para el año 2018 se aprecia 26.640 toneladas de hilo importado, donde el 60% viene del resto de Asia. Mientras que la importación de tejido llegó a 59.740 toneladas en este mismo año y el 67% de esto llega de China, principalmente por su variedad de productos, como se aprecia en las figuras 4 y 5 [21]. (ver Figuras 4 y 5).

Esto refleja que Ecuador vuelca la mirada hacia el sector productivo y manufacturero con la finalidad de darle un impulso con políticas gubernamentales que ayuden a su crecimiento, bajo la concepción de que el 75% de los bienes que se comercializan a nivel mundial son productos manufacturados con precios estables y no dependen de la fluctuación del mercado como ocurre con el petróleo e industria alimenticia. Como se aprecia en la figura 6 en total se movieron alrededor de 755.438.792 dólares en la industria en el año 2018, mostrando prometedor el mercado textil ecuatoriano en los próximos años [22] (ver Tabla 2).

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), alrededor de 158 mil personas laboran directamente en empresas textiles y de confección. A esto se suma los miles de empleos indirectos que genera, ya que la industria textil y de confección ecuatoriana se encadena con un total de 33 ramas productivas del país. Según el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), en el 2016 hubo un crecimiento neto de plazas de trabajo de un 15,36%, solo en el área de manufactura, industria y construcción entre el sector público y privado; concentración de empleos en alta tecnología en la zona 9: 25%; [24] concentración poblacional en el área urbana, zona 9: 49,1%; [17] concentración de establecimientos productivos, zona 9: 20% [25].

Por esta razón, la tecnología en Manufactura formará profesionales en tecnología que puedan desempeñarse en cualquier área textil, dando mayor énfasis a la preparación para proporcionar al mercado laboral profesionales con profundos conocimientos en cuatro procesos de manufactura existentes: confección, patronaje, innovación y creatividad en el área textil, más la nueva técnica de manufactura 4.0 que está revolucionando el mundo industrial internacionalmente, debido a su gran versatilidad para producir componentes y dispositivos indistintamente de su complejidad, disminuyendo los tiempos de manufactura y costos en la mayoría de casos. Esto se vuelve más factible con la aparición de las máquinas de control numérico que permiten aumentar el volumen de producción a menor costo y tiempo, además de generar cualquier tipo de elemento sin importar su complejidad.

Así, el sector manufacturero textil podrá proveer más componentes nacionales que puedan abastecer al resto de industrias, y éstas, a su vez, podrán producir bienes y servicios que demanda el país y la región, disminuyendo el número de importaciones y aumentando las exportaciones con nuevos y mejores productos manufacturados con valor agregado, lleno de creatividad local [26].

1. Mercado laboral-análisis local (zona 9)

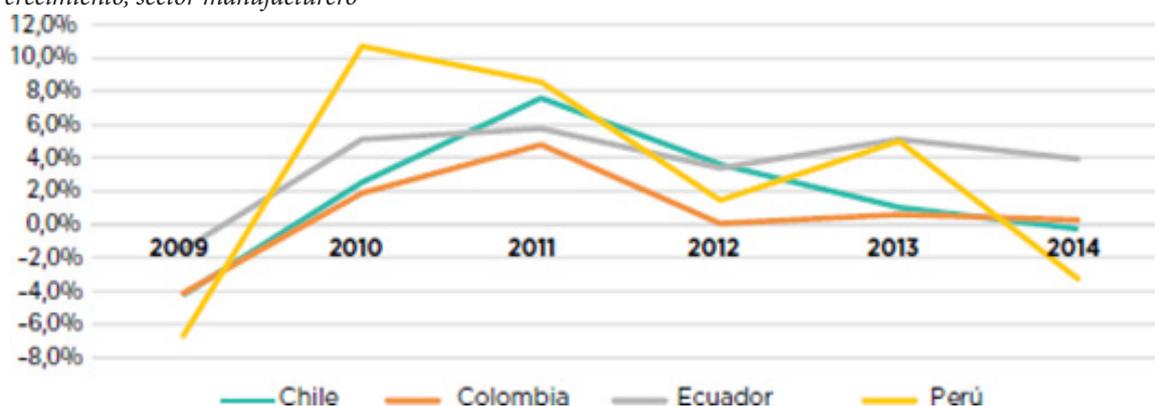
El país presenta grandes inconvenientes en el campo de las importaciones de productos terminados textiles, con productos manufacturados. La diversificación en el sector ha permitido que se fabrique un sinnúmero de productos textiles en el Ecuador, siendo los hilados y los tejidos los principales en volumen de producción. No obstante, cada vez es mayor la producción de confecciones textiles, tanto de prendas de vestir como de textiles de hogar. Acorde al PND 2017-2021 la zona 9 concentra el 16% de la población nacional y aproximadamente el 49,1% de la población de la zona está en el área urbana. La población es predominantemente joven, alrededor del 51,37% de la población de la zona son mujeres y el 48,63% son hombres. En el año 2022, con base en una tasa interanual del 2,2%, se espera que en esta zona se asienten 2.787.040 habitantes [27].

Adicionalmente, según datos del INEC la zona 9 concentra el 20% de los establecimientos productivos y una cuarta parte del total de trabajadores nacionales. Según el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito las ramas de actividad que más empleo generan son el comercio y las manufacturas; y se destaca que el 25% del empleo nacional en alta tecnología se concentra en esta zona. En la ciudad de Quito en el sector manufacturero se localizan empresas dedicadas a actividades de producción de mercancías obtenidas por procesos de confección, venta de textiles e insumos, entre las cuales están: Francelana, San Pedro, Enkador, Textiles Texsa, Vicunha Ecuador, Confecciones Fibran, Pinto, Ennotex, Carlos Álvarez Saá. Y muchas más [20].

Según el INEN las actividades de manufactura cuentan con 12.682 establecimientos, de los cuales el 74,2% corresponde a la fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel; el 8,2% a fabricación de artículos confeccionados de materiales textiles, excepto prendas de vestir; el 8,2% a fabricación de calzado, y el 9,5% restante a otras actividades de manufactura. Mientras que en las actividades de servicios se registran 4054 establecimientos, de los que el 56% se dedican a la reparación de calzado y artículos de cuero, y el 44% restante se dedica al lavado y limpieza de productos textiles y de piel, cifras que contemplan a las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas. La industria manufacturera textil tiene una participación promedio de alrededor del 15% con respecto al PIB [28] (ver Figura 6).

Figura 7.

Tasa de crecimiento, sector manufacturero



Fuente: [23]

El vertiginoso desarrollo de la ciudad impulsa la economía de la zona 9, la que se concentra en el sector terciario o prestador de servicios, ya que en 2016 tuvo un VAB de USD 15.756,9 millones, equivalente a un 66,8% del VAB de la zona; le sigue el sector secundario o manufacturero, con un 31,3%; y, finalmente, el primario con un 2%, en el cual el 1,5% le pertenece al sector agropecuario y el 0,5% a la explotación de minas y canteras. En el documento «Resumen agenda zonal-zona 9» se destaca como principal línea de acción para el DMQ dentro del área de formación técnica y tecnológica las siguientes: consolidar al territorio del DMQ como un asentamiento logístico, fomentando la productividad sistémica que privilegie las articulaciones y complementariedades para el mejoramiento de la calidad de vida; promocionar la inversión en investigación + desarrollo + innovación orientada a mejorar la capacidad productiva; fortalecer las economías populares, sociales y solidarias, así como las pymes, potencializando las capacidades de sus actores.

Acorde con la información de la Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones (2013), el Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad [29] y el INEC (2013), los futuros tecnólogos en Manufactura podrán laborar en: tareas de producción, con base en segmentación del mercado; ejecutar acabados de prendas de vestir innovadores; aplicar materiales y equipos para el corte en la confección textil; desarrollar patrones de prendas de vestir para diversos tejidos y modelados; verificar la calidad y conformidad en todos los procesos de confección; proceso creativo y cultural para la confección de la prenda; seleccionar los textiles, insumos y procesos de terminado para sus acabados excepcionales. Por tanto, los graduados de tecnología podrán desarrollar su actividad profesional en el campo privado o público, en roles como: confección en tejido plano; confección de tejido de punto; servicio de corte; servicios de acabados y control de calidad de prendas de vestir; o también en su propia empresa o taller, legalmente ubicado; planificador de sistemas productivos.

2. Mercado global y regional

La carrera de Manufactura Textil pertenece, en el campo amplio, a ingeniería, industria y construcción (Reglamento de Armonización de Nomenclatura del CBS); en el campo específico a industria y producción; en el campo detallado a productos textiles; en la carrera a Tecnología Superior en Confección Textil (Clasificación Internacional Normalizada de la Educación). En el mundo sustenta los procesos de cambio, pues esta rama de la ciencia permite consolidar el desarrollo industrial, como la manufactura de prendas de vestir, acabados de vestir, procesos de producción, bienes de consumo y servicios del área de la confección, estos representan la producción el 75% de la economía mundial.

En tal virtud, la profesión que basa su gestión en los procesos de manufactura, bienes y servicios, se relaciona directamente con el contexto social, con las políticas gubernamentales de reactivación de la matriz productiva nacional. [2] En perspectiva del futuro económico y productivo del país, el gobierno en los últimos años implementó medidas para fortalecer la industria y producción en el Ecuador, arrojando sus resultados en el cambio de la matriz productiva. Así, en el 2004, el sector de petróleo y minas generaba los más altos ingresos económicos al país con el 13,2% del producto interno bruto; en el 2014 el sector manufacturero pasa a ser la principal fuente de empleo y económico, representando el 11,8% del PIB (ver Tabla 3). En la figura 8, se puede ver el crecimiento del sector manufacturero ecuatoriano en comparación con otros países de la región. Con estas medidas implantadas se espera un crecimiento futuro del sector manufacturero del 8% [20] (ver Figura 7).

C. CONTEXTO SOCIOCULTURAL

La ONU y sus socios están llevando a cabo acciones para construir un mundo mejor. El Ecuador también se propone aportar en este sentido. En el 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible; una oportu-

Tabla 3.*Realidad del sector textil*

	<i>Manufactura</i>	<i>Comercio</i>	<i>Servicios</i>	<i>Total</i>
Número de establecimientos	11006	31983	4054	47043
Personal ocupado	46562	62352	7023	115937
Hombres	22750	21004	3968	47422
Mujeres	23812	41348	3055	68215
Ingreso total (miles USD)	1279597	2027023	49589	335621
Ingreso promedio (miles USD)	116	63	12	192
Inversión en activos fijos (miles USD)	407722	316708	25405	749835
Gasto en inversión y desarrollo (USD)	613732	398775	1625	1014132

Fuente: [27]

tunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el cual mejorar la vida de todos, sin dejar atrás a nadie. La Agenda cuenta con 17 objetivos de desarrollo sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades. El objetivo 4 menciona que se debe garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. La educación es la base para mejorar nuestra vida y el desarrollo sostenible. Además de mejorar la calidad de vida de las personas, el acceso a la educación inclusiva y equitativa puede ayudar a abastecer a la población local con las herramientas necesarias para desarrollar soluciones innovadoras a los problemas más grandes del mundo. En este sentido, su aporte pretende mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y proponer soluciones a problemas de la industria textil, ya que las herramientas que se proponen en el programa de estudio están direccionadas a las innovaciones de la industria en beneficio del desarrollo sostenible del país y la región [30].

También el objetivo 8 establece promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. Para conseguir el desarrollo económico sostenible, las sociedades deberán crear las condiciones necesarias para que las personas accedan a empleos de calidad, estimulando la economía sin dañar el medio ambiente. También tendrá que haber oportunidades laborales para toda la población en edad de trabajar, con condiciones de trabajo decentes. Asimismo, el aumento de la productividad laboral, la reducción de la tasa de desempleo, especialmente entre los jóvenes, y la mejora del acceso a los servicios financieros para gestionar los ingresos, acumular activos y realizar inversiones productivas, son componentes esenciales de un crecimiento económico sostenido e inclusivo. El aumento de los compromisos con el comercio, la banca y la infraestructura agrícola también ayudará a aumentar la productividad y a reducir los

niveles de desempleo en las regiones más empobrecidas del mundo [30].

La articulación con los saberes ancestrales e interculturales, como se ha mencionado, permitirá la fluidez de las ideas, liberar el conocimiento y solidificar la confianza en las personas a todo nivel cultural y de nacionalidad, además contribuirá al conocimiento, protección, preservación y beneficio de los saberes ancestrales, de la cultura interna, de la diversidad biológica y de los recursos naturales. También es necesario contribuir en la formación de profesionales con responsabilidad social, valores éticos y solidaridad hacia el prójimo, con competencias válidas que puedan aportar al desarrollo de la producción y mejora de los entes e instituciones que trabajan día a día por un mejor vivir en el Ecuador. La carrera busca aprovechar los conocimientos ancestrales en materiales propios de cada región para desarrollar nuevas tecnologías de manufactura, además mejorar la vida de las comunidades a través de la inclusión social y generación de fuentes de trabajo. Crespo, [31] menciona que «el acto de habitar del ser se relaciona con el conocimiento y el buen vivir necesariamente requiere de un buen saber». Desde esa perspectiva, la trasmisión del conocimiento, su reproducción y puesta en práctica ha venido compartiéndose desde hace muchos años. Así, la sabiduría ancestral, ha sabido mantener preservado el entorno y conservar buenas relaciones sociales de los pueblos y su hábitat. De ahí que la importancia de innovar y seguir manteniendo los saberes ancestrales debe volverse parte de las políticas propias de las instituciones educativas.

La diversificación en el sector ha permitido que se fabrique un sinnúmero de productos textiles en el Ecuador, siendo los hilados y los tejidos los principales en volumen de producción. No obstante, cada vez es mayor la producción de textil, tanto de prendas de vestir como de textiles de hogar. En la actualidad, la industria textil y confección es la tercera más grande en el sector de la manufactura, aportando más del 7% del PIB manufacturero nacional. El sector textil genera muchas plazas de empleo directo en el

país, llegando a ser el segundo sector manufacturero que más mano de obra emplea, después del sector de alimentos, bebidas y tabacos.

D. INFLUENCIAS INTERNAS

En 1738, Samuel Crompton patentó la primera Mule-Jenny, una máquina de hilar sin los dedos, según definía su propio autor [32]. La intensificación de la mecanización adquirió un ritmo cada vez más rápido en la industria textil inglesa. El desarrollo técnico textil ejerció también su influencia en ramas anexas como las del blanqueo, el tinte la impresión. La sustitución de la energía humana por la maquinaria favoreció la extensión del sistema fabril en las hilaturas. Desde que se inventaron las primeras máquinas de hilar hubo industriales que las instalaron agrupados en grandes edificios próximos a fuentes de energía hidráulica. Con la invención de la máquina de agua este sistema se extendió todavía más.

El propósito global será formar profesionales que se puedan desempeñar en cualquier área, dando un mayor énfasis en proporcionar al mercado laboral profesionales con profundos conocimientos en cuatro procesos de manufactura existentes: confección, patronaje, innovación y creatividad en el textil, más la nueva técnica de manufactura 4.0 que está revolucionando el mundo industrial internacionalmente, debido a su gran versatilidad para producir componentes y dispositivos indistintamente de su complejidad, disminuyendo los tiempos de manufactura y costos en la mayoría de casos, [33] también se debe considerar a la investigación como una estrategia fundamental para la generación del conocimiento durante su etapa formativa y como herramienta en el campo laboral que le permitirá superar los obstáculos que se presenten en el camino [11]. Bajo esta concepción la metodología de investigación que se va a emplear durante el proceso de formación del futuro tecnólogo involucra componentes cognitivos de: análisis y síntesis, mediante los cuales el estudiante irá disgregando todos los eventos que se presentan en una problemática que le permitan comprenderla y generar un diagnóstico acertado de la situación, información que será empleada para generar soluciones creativas e innovadoras basadas en una fundamentación teórica luego de un proceso de razonamiento [34] [35]. De esta forma, se espera impactar en el desarrollo productivo y social a través de la articulación de los proyectos de investigación aplicada y la vinculación con la sociedad [36].

Además, se empleará el método de inducción y deducción, que inicia con la observación de fenómenos físicos, químicos y propios del proceso de transformación de materias primas, que pueden ser predichos teóricamente y reproducidos en laboratorios y talleres para un proceso de validación o generación de un nuevo conocimiento, como también el comercio y servicio de los productos producidos derivados de sus innovaciones para

el mercado local [34]. Mediante esta metodología de investigación se pretende alcanzar los siguientes logros en el aprendizaje:

Básicas: Define los procesos de resolución de problemas del arte y confección a través del patronaje y la simulación de la confección y los servicios; establece las estrategias para aplicarse en las diferentes áreas de la tecnología en confección textil, sobre todo enfocado en los procesos de manufactura y servicios, como el comercio de los productos afines.

Profesionales: Analiza las propiedades de la materia prima y de los costos existentes en el mercado para aplicarse en los procesos de transformación; evalúa las propiedades físicas de las prendas finales luego de un proceso de confección; simula la proyección de las prendas de vestir a través de sus herramientas informáticas para desarrollarse de forma efectiva y eficaz.

Debido a su razón de ser de la carrera, se generarán proyectos de investigación alineados a los contenidos curriculares propuestos en el presente proyecto, estas líneas serán: aplicación de nuevas técnicas de manufactura. La línea estará enfocada en buscar aplicaciones prácticas de las nuevas técnicas de manufactura, que le permita a la industria ecuatoriana incrementar la producción nacional, generando productos en corto tiempo y de alta calidad que puedan ser competitivos con los importados, y a su vez puedan ser exportados; transformación de la materia prima. Esta línea de investigación tendrá la finalidad de desarrollarse en los mecanismos, procedimientos y métodos más eficientes para la transformación de materia prima, acabados e insumos para el producto con valor agregado, contribuyendo de esta forma a la reactivación y fortalecimiento del sector productivo del Ecuador.

Con la ejecución de las líneas de investigación se plantea fortalecer la transformación de la matriz productiva, dando respuesta a las necesidades de la industria manufacturera, de comercio y servicios de este sector. Así, la industria ecuatoriana tendría acceso a insumos y productos más económicos, de calidad, con un diseño y producto robusto garantizado; eliminando así la necesidad de importar partes a un alto costo arancelario. Llegando a ser productor y exportador en América Latina y en el mundo [37]. Es necesario mencionar que se propone incentivar la apertura a empresas y otros sectores que requieran del aporte de esta línea de investigación.

IV. CONCLUSIONES

El Estado, para lograr alcanzar los objetivos de incrementar la productividad, agregar valor, innovar y ser más competitivo, debe fortalecer la investigación e innovación para la producción, transferencia tecnológica;

vinculación del sector educativo y académico con los procesos de desarrollo. Así mismo, se deben ejecutar acciones que vayan de la mano con la reactivación de la industria nacional y de un potencial marco de alianzas público-privadas, así como enfatizar el aporte tecnológico en las industrias estratégicas clave y en sus encadenamientos productivos, para esto se deben generar mecanismos a fin de incentivar a los tres actores que permita repotenciar estas actividades para el mejoramiento de cada uno de forma sistemática.

La academia, que forma parte de la alianza, deberá preocuparse de tener su plan académico actualizado para formar profesionales capaces de diseñar, ejecutar, evaluar, modificar o adaptar funciones y procesos relacionados con la producción de bienes y servicios, incluyendo proyectos de aplicación, adaptación e innovación tecnológica. Así también, la innovación en el aprendizaje estará enfocada en la confección, patronaje, innovación y creatividad en el campo textil, más la nueva técnica de manufactura 4.0 que está revolucionando el mundo industrial. De esta forma, se espera impactar en el desarrollo productivo y social a través de la articulación de los proyectos de investigación aplicada y la vinculación con la sociedad ecuatoriana permanentemente actualizada de acuerdo con las necesidades actuales.

El modelo de desarrollo sostenible menciona que se establecerán las oportunidades laborales para toda la población en edad de trabajar, con condiciones de trabajo adecuadas. Asimismo, el aumento de la productividad laboral, la reducción de la tasa de desempleo, especialmente entre los jóvenes, y la mejora del acceso a los servicios financieros para gestionar los ingresos, acumular activos y realizar inversiones productivas son componentes esenciales de un crecimiento económico sostenido e inclusivo. Entonces, el camino más adecuado se basa en la interacción de los entes de la triada academia, empresariales y sociales para la innovación de la productividad regional en el área de manufactura y mejora de la vida de las personas.

Los empresarios deben tener apertura hacia la academia, a partir de incentivos estatales para facilitar la gestión. Por tanto, los académicos deben divulgar sus conocimientos para que los empresarios propongan sus problemas de productividad a la academia y ésta haga propuestas sobre la demanda objetiva de los empresarios a fin de articular las soluciones de manera efectiva y eficaz.

REFERENCIAS

- [1] K. Tyler, M. Patton, M. Mongiello, D. Meyer, C. Plewa, and P. Quester, «Key drivers of university-industry relationships: the role of organisational compatibility and personal experience». *Journal of Services Marketing*, 2007.
- [2] D. M. D. Quintero y E. J. D. Oliva, «Calidad de las relaciones universidad-empresa: un análisis desde el enfoque de marketing relacional en Boyacá». *Pensamiento & gestión*, n.º 38, 147-175, 2015.
- [3] E. A. Llanes-Cedeño, L. Caiza, J. Andrade, A. Cárdenas, E. Chamba y J. Rocha-Hoyos, «La formación basada en competencias en una dimensión gnoseológica de la carrera de automotriz», *Revista Espacios*, vol. 40, n.º 9, 2019.
- [4] J. Villaveces, «Nuevas políticas de ciencia y tecnología», en H. Vessuri, *Universidad e investigación científica*, Buenos Aires: Clacso, 2006, pp. 193-205.
- [5] J. Moreno y P. Ruiz, *La educación superior y el desarrollo económico en América Latina*, Cepal, Naciones Unidas, Serie Estudios y perspectivas, México, 2009.
- [6] H. Etzkowitz y L. Leydesdorff, «The triple helix a model for innovation studies», *Science & Public Policy*, vol. 25, n.º 3, pp. 195-203, 1998.
- [7] M. D. P. R. Salazar y M. G. Valderrama (2010). «La alianza universidad-empresa-Estado: una estrategia para promover innovación». *Revista Escuela de Administración de Negocios*, n.º 68, pp. 112-133.
- [8] E. A. Llanes, J. C. Rocha, D. B. Peralta, J. Martínez and S. Celi, «Project-based learning case of study education in automotive mechanical engineering». *Revista Espacios*, vol. 39, n.º 25, 2018.
- [9] E. Blanco-Bravo, C. Carrillo-Cuello, A. Racini-Morales, R. L. Ramírez-Restrepo Vargas-Henríquez y J. Roldán-McKinley. «Ejercicio de actualización de plan de estudios de un programa de Ingeniería Mecánica». *Revista Espacios*, vol. 41, n.º 30, p.1, 2020. Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n30/20413001.html>
- [10] J. C. Rocha-Hoyos, E. A. Llanes-Cedeño, S. F. Celi-Ortega y D. C. Peralta-Zurita, «Efecto de la adición de biodiésel en el rendimiento y la opacidad de un motor diésel». *Información tecnológica*, vol. 30, n.º 3, 137-146, 2019.
- [11] M. Merino, «Perfil profesional de la carrera de Administración en una universidad peruana», *Revista Espacios*, vol. 41, n.º 30, p. 18, 2020. Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n30/20413018.html>
- [12] Loes, *Ley Orgánica de Educación Superior*, 2018. Recuperado de: <http://www.ces.gob.ec/descargas/ley-orgánica-de-educación-superior>.
- [13] CEAACES, *Resultados de la acreditación y categorización vigentes*, 2016. Recuperado de: <http://www.ceaaces.gob.ec/sitio/resultados-de-la-acreditacion-de-institutos-superiores/>
- [14] M. Ramírez y M. García, *Presencia de universidad-empresa-Estado en Colombia*. EAN, 2010, pp. 114-121.
- [15] M. Odza, *What does the AUTM licensing survey mean? Technology access report 20*, 1999, 13-14.
- [16] E. R. Guamán, E. A. Llanes-Cedeño, S. F. Celi-Ortega y J. C. Rocha-Hoyos. «Parámetros del múltiple de escape para su diseño computacional: una revisión». *Información tecnológica*, vol. 30, n.º 6, pp. 255-268, 2019.

- [17] Senplades, *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Toda una Vida*, 2017.
- [18] Secap, *Levantamiento Nacional de Necesidades de Capacitación y Formación Profesional*. Quito. Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (2015), *Construyendo igualdad en la educación superior: fundamento y lineamientos para transversalizar los ejes de igualdad y ambiente del Ecuador*, C. (2008). Constitución del Ecuador. Registro Oficial, 20 del Ecuador, Ó. D. G. Ley Orgánica de Educación Superior. Loes RO. 298.
- [19] Inec *Panorama laboral y empresarial del Ecuador*, 2017. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Panorama%20Laboral%202017.pdf>
- [20] AITE, *Historia y actualidad*, 2020, Recuperado de: <https://www.aite.com.ec/industria.html>
- [21] AITE, *Industria textil y confección ecuatoriana 2017*, 2018, Recuperado de: <https://www.aite.com.ec/boletines/2017/Revista%20AITE%20S.pdf>
- [22] Primicias, «La facturación de la industria textil cae 18,8% en cinco años», dice la AITE, 2019. Recuperado de: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/facturacion-industria-textil-cae/>
- [23] Banco Central del Ecuador, *Cifras económicas del Ecuador*. 2020. Recuperado de: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/CifrasEconomicas/Indicecie.htm>
- [24] Alcaldía Metropolitana de Quito, *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*, Agenda zonal-zona 9, Quito, 2015.
- [25] INEC, *Infoeconomía 6*, 2012. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info6.pdf>
- [26] C. Plewa, V. Galán-Muros and T. Davey, «Engaging business in curriculum design and delivery: a higher education institution perspective». *Higher Education*, vol. 70, n.º 1, pp. 35-53, 2015.
- [27] Instituto Nacional de Estadística y Censos (Inec). *Censo de Población y Vivienda*, Quito, 2010.
- [28] M. C. G. Jarrín, «Sectores de la economía ecuatoriana desde una perspectiva empresarial: aplicación de la matriz Boston Consulting Group (BCG)», *Revista Publicando*, vol. 3, n.º 8, 266-294, 2016.
- [29] Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, *Informe de Rendición de Cuentas 2013*, 2014. Recuperado de: <https://www.comercioexterior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/INFORME-RENDICI%C3%93N-DE-CUENTAS-2013.pdf>
- [30] ONU, *Objetivos de desarrollo sostenible*, 2020. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [31] J. Crespo, D. Vila, J. F. Navarrete y R. Rodríguez, «Saberes y conocimientos ancestrales, tradicionales y populares. Buen Conocer-FLOK Society», *Documento de política pública*, n.º 5. 2014.
- [32] D. Vidart, *Revolución científico-técnica y sociedad post-industrial*, 1982.
- [33] H. R. Gordón and D. Schultz, «The history and growth of career and technical education in America», *Waveland press*, 2020.
- [34] Kachary, *Modelo Educativo*, 2019.
- [35] M. A. Rodríguez, J. M. Torres, C. D. Peraza y J. E. Maldonado, «Formación y desarrollo de la competencia del docente como un proceso continuo de profesionalización: modelo FoDeCD». *Ceiba*, 78-91, 2019.
- [36] M. S. Lima Do Nascimento, A. Ortiz y A. Hernández Fernández, «La formación tecnológica del docente y las prácticas inclusivas en contexto brasileño», *Revista Espacios*, vol. 41, n.º 35. 2020. Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n35/a20v41n35p02.pdf>
- [37] M. Martínez, *Jóvenes y mercado de trabajo en el Ecuador*, Flacso-Ecuador, 2016.
- [38] C. Aranzadi, «UE 2030: objetivo clima y energía». *Política Exterior*, vol. 29, n.º 163, pp. 46-53, 2015. Recuperado de: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es
- [39] C. B. Ekos, *La industria en Ecuador*, 2015. Obtenido de Core Business Ekos: <http://passthrough.fwnotify.notify>.
- [40] D. B. Knight, L. R. Lattuca, E. W. Kimball and R. D. Reason, «Understanding interdisciplinarity: curricular and organizational features of undergraduate interdisciplinary programs». *Innovative Higher Education*, vol. 38, n.º 2, 143-158, 2013.
- [41] L. R. Lattuca, and J. S. Stark, *Learners. Shaping the College Curriculum*, 145-181, 2009.



Análisis de la integración del diseño en el seno de las Mipymes de la zona 9 del D. M. de Quito-Ecuador que generan productos con valor agregado para su exportación

Analysis of the integration of design within the MSMEs of zone 9 of the D. M. of Quito-Ecuador that generate products with added value for export

Dely Bravo | Universidad Politécnica de Valencia, España

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 25/04/2022
Aceptación: 19/05/2022

PALABRAS CLAVE

Diseño, gestión del diseño, Mipymes, valor agregado.

RESUMEN

El diseño bien gestionado favorece el crecimiento de la empresa ya que acerca el producto al consumidor final y aporta beneficios económicos y sociales para la empresa; sin embargo, a pesar de ser una actividad reconocida por muchas Pyme a nivel mundial, en el Ecuador existe desconocimiento de lo que es, significa y aporta realmente el diseño. Este artículo analiza la perspectiva de las Mipymes manufactureras de la zona 9 del Distrito Metropolitano de Quito frente al diseño y su nivel de integración, para determinar el aporte de la aplicación del diseño en el desarrollo de productos con valor agregado para su exportación.

KEY WORDS

Design, design management, MSMEs, added value.

ABSTRACT

Well-managed design favors the growth of the company since it brings the product closer to the final consumer and provides economic and social benefits for the company; however, in spite of being an activity recognized by many SMEs worldwide, in Ecuador there is a lack of knowledge about what design really is, means and contributes. This article analyzes the perspective of manufacturing MSMEs in zone 9 of the Metropolitan District of Quito on design and their level of integration, in order to determine the contribution of the application of design in the development of value-added products for export.

I. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo el diseño ha ganado protagonismo en la sociedad, a pesar de que tradicionalmente su aplicación se limitaba al embellecimiento o al tratamiento de lo estético-formal de los objetos (muchas veces desvinculado o contrapuesto a su utilidad práctica), en la actualidad la concepción de la disciplina es mucho más

amplia, ya que es considerada como una herramienta que mueve masas y vital para toda empresa que busca diferenciarse y competir en el mercado. El diseño se caracteriza por la búsqueda constante de cambiar o mejorar situaciones existentes por otras más deseables. Para ello, concibe objetos que posibiliten tales cambios; dicho

de otro modo, el diseño se encuentra en un permanente análisis y reflexión de la realidad contextual, que viabiliza la generación de valor por medio del desarrollo de productos que irrumpen los parámetros establecidos [1].

A pesar de que el diseño constituye un recurso fundamental dentro de la empresa, que favorece la competitividad, no todas son conscientes de los beneficios que trae la implementación de esta potente herramienta estratégica en su núcleo organizacional [2]. Si bien en las últimas décadas las empresas han reconocido el aporte del diseño para la mejora de la competitividad, diferenciación, generación de valor y aceleración del ciclo de la innovación en el desarrollo de sus productos, procesos y servicios, lo que favorece a su mejor funcionamiento, las micro y pequeñas empresas carecen de conciencia respecto al impacto que la inversión de diseño puede tener en su desempeño; [3] esto se debe principalmente a la falta de conocimiento en torno al diseño y sus contribuciones, el desconocimiento sobre las funciones y tareas a realizarse por parte de la empresa y el diseñador, y el poco análisis con respecto a la aplicación del diseño industrial y sus beneficios, lo que se debe a la dificultad que tienen a la hora de cuantificar dichos beneficios [2].

A lo largo del tiempo se han desarrollado modelos de medición que permiten evidenciar el nivel de adopción que tiene el diseño dentro de la empresa; dichos modelos constituyen herramientas que buscan valorar la interacción que tiene el diseño y el estado en el que se encuentran éstas. La *design ladder* escalera desarrollada por el *Danish Design Centre* el año 2001, goza de cierto reconocimiento en la comunidad del diseño y ha sido empleada en múltiples estudios a partir de los cuales se han desarrollado nuevas clasificaciones y escalas de medición [4]. La *design ladder*, constituye un modelo que permite graficar los niveles de inmersión que tiene el diseño en la empresa y las agrupa en cuatro niveles en función de su «madurez» y «actitud» frente al diseño. Este modelo sitúa en el nivel más bajo de la escalera a las empresas que no lo utilizan, y en el más alto a aquellas que lo utilizan como herramienta de innovación; en los peldaños intermedios se encuentran aquellas que lo emplean como *styling* (estilismo) y las que lo entienden como un proceso. A medida que las empresas van subiendo por la escalera perfeccionan su conocimiento del diseño y mejoran su uso para sus finalidades corporativas. Los modelos de medición existentes buscan incorporar el diseño a la estructura organizacional y otorgarle un rol preponderante como estrategia de acción, que permite tener un desarrollo sostenido de las empresas.

Lastimosamente, un gran número de empresas no emplean el diseño dentro de sus estructuras, lo que se debe principalmente a que lo ven como un coste y no

como una inversión que conlleve beneficios a futuro, [2] y otras lo aplican simplemente como *styling*, es decir, que la aplicación del diseño se da al final del proceso y se limita a la forma del producto, con el objetivo de intervenir en la estética y volver al producto deseable para el consumidor, lo que no favorece a la interacción del diseño.

En el Ecuador, la situación no es diferente, ya que a pesar de existir un leve pensamiento de diseño en el país, no es considerado como parte fundamental en el tejido industrial y su aplicación es endémica, especialmente en el sector de las Pymes, por ejemplo, el 72,72% de empresas industriales guayaquileñas no contemplan la importancia del diseño dentro de su estructura y lo asocian directamente al marketing, por lo que la disciplina pasa desapercibida o, en el mejor de los casos, es considerada como mero *styling* [5].

Si bien las Mipymes son unidades económicas que constituyen el motor del desarrollo de la economía ecuatoriana, y su aporte en el tejido empresarial es notable, este tipo de empresas atraviesan algunos desafíos que limitan su éxito y provocan una alta mortalidad, [6] lo que se debe, entre otros factores, a la falta de preparación de sus propietarios, la poca incorporación de tecnologías, el incipiente desarrollo de innovación, así como una deficiente estructura y planificación que vuelve vulnerables a las empresas. Lo que da como resultado que tres de cada cuatro Mipymes cierran antes de los dos años de creación, y muy pocas logren escalar al siguiente nivel [7].

Asimismo, el escepticismo de las empresas frente a los beneficios que aporta el diseño ha generado que no contemplen el contratar un profesional de diseño y que acaparen dichas actividades y las resuelvan de manera empírica por medio de la réplica de soluciones tomadas de la competencia, algo que limita la innovación y desfavorece el desarrollo de la disciplina lo que da como resultado que sea subvalorada y mal remunerada en el país [8].

El artículo muestra la percepción que se tiene del diseño en el seno empresarial y su nivel de integración en el tejido industrial ecuatoriano, para ello, se realiza una encuesta dirigida a los directivos de las Mipymes del rubro manufacturero de la zona 9 del D. M. de Quito-Ecuador, que generan productos con valor agregado para su exportación, cuyos resultados permiten conocer la opinión y percepción que tienen sobre los beneficios provenientes de la integración del diseño en la estrategia empresarial.

II. MATERIALES Y MÉTODO

A fin de cumplir el propósito central del presente trabajo, que busca entender la integración del diseño en las Mipymes, la investigación se ha desarrollado bajo el carácter exploratorio, descriptivo e interpretativo de los datos

recolectados. Surgió a partir de una revisión bibliográfica en bases multidisciplinarias y repositorios de accesos libres como: Dianelt, Science Direct, Redalyc, Scielo, entre otros; así como páginas web de entidades y organismos nacionales (INEN, INEC). Los criterios de búsqueda permitieron esclarecer conceptos útiles para la investigación, tales como diseño, gestión de diseño e innovación, que guiaron el presente estudio y fueron contrastadas con la realidad que viven las Mipymes ecuatorianas (tomadas como caso de estudio), lo que permitió llegar a las conclusiones del documento.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Se utilizaron diversas técnicas a fin de recolectar datos útiles para la presente investigación, tales como la observación, que permitió tener un panorama más claro de lo que ocurre en el Ecuador; encuestas a profundidad (fuentes primarias), que permitieron tener una visión clara de lo que ocurre en el interior de la empresa y la relación existente con el diseño; y, revisión de documentos (fuentes secundarias), que permitió entender los conceptos básicos-útiles para el desarrollo del presente trabajo.

La información obtenida se centra en los estudios arrojados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), correspondientes al Censo Económico Nacional 2010, y a la evolución del sector manufacturero ecuatoriano, durante el período 2010-2013. De igual manera, se trabajó con la base de datos de DIREX, que comprende el Directorio de Exportadores recopilado por PROECUADOR (base de datos de actualización continua), en donde se clasifican las Mipymes según el rubro al que se dedican y su ubicación zonal.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. DISEÑO

El diseño comprende una potente herramienta de diferenciación que emplean las empresas a fin de competir en el mercado. En este sentido, el diseño ha tomado protagonismo en los últimos años, los estudios realizados por Philip Kotler en los años ochenta, mostraron la incidencia positiva que tiene la aplicación del diseño en las exportaciones, rentabilidad y valor agregado de una empresa.

El diseño es un proceso creativo que cumple con la resolución de problemas a partir del análisis de las necesidades, por medio del desarrollo de productos; [9] y tradicionalmente se considera que su aplicación se limita a la configuración de la función estético-formal, que tiene por objetivo embellecer o mejorar la apariencia de los objetos [10].

Visto desde la perspectiva del diseño industrial se define como «una actividad creadora que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos que se desea producir industrialmente» [11, p. 138]. Atrás ha quedado el enfoque meramente estético o estilístico con el que se asociaba al diseño, pues con el paso de los años, el diseño ha conquistado otros territorios y se ha visto su aplicabilidad en el ámbito de la estrategia, gracias a la versatilidad que tiene para adaptarse a las particularidades de cada proyecto, ya que al tener como eje central al usuario, puede manejar escenarios complejos, anticipar tendencias, visualizar conceptos y comunicarlos de manera eficiente, lo que favorece a la innovación y deviene en el desarrollo de la empresa [12]. El diseño es una disciplina que regula la relación entre el negocio y el proyecto, y entre el diseño y el marketing a fin de entender e integrar las dos culturas para poder homogenizarlas y emplearlas a lo largo del proceso creativo [11]. Es así como en la actualidad la definición del diseño se aborda desde su perspectiva estratégica y busca la resolución de problemas, impulsa la innovación y se vincula con el ámbito empresarial a fin de mejorar la calidad de vida por medio de los productos, sistemas y servicios como lo menciona el Comité de práctica profesional wdo, en el año 2017.

Es por ello que la práctica del diseño y la responsabilidad de los diseñadores se ha vuelto más compleja, ya que su trabajo involucra determinar factores técnicos, sociales, culturales, económicos, medioambientales, y vincularlos con aspectos formales, materiales, funcionales, ergonómicos y psicológicos, a fin de lograr eficiencia e innovación en los productos [1].

B. GESTIÓN DE DISEÑO

La gestión del diseño es una disciplina empresarial que emplea la gestión de proyectos, el diseño, la estrategia y las técnicas de la cadena de suministro para intervenir en el proceso creativo, apoyar la cultura de creatividad y construir una estructura y una organización para el diseño [13].

La importancia de la incorporación del diseño en la empresa se hizo evidente a partir de los años cincuenta, cuando se vio la necesidad de estimular la venta a través de la manipulación del mercado por medio de la diferenciación del producto y la publicidad, aspectos que influyen en la decisión de compra, sin importar el tamaño de la empresa [14]. A partir de ello, catedráticos, profesionales y empresarios en Europa y Estados Unidos, han indagado en el término y han buscado darle una adecuada integración a los procesos de diseño dentro de las organizaciones. Sin embargo, esta disciplina toma protagonismo en los años noventa, cuando las empresas incorporan al diseño como factor estratégico, que permite involucrar las capacidades proyectuales y creativas, como recurso de innovación y competitividad [15].

Figura 1.

Composición de la Industria Manufacturera



Fuente: [22]

Tradicionalmente el diseño se ha limitado a la función expresiva, con el objetivo de desarrollar productos y aprovechar los medios de producción, por lo que se ha relegado su papel hacia lo operativo, sin involucrarse en la gestión de la empresa [16]. Es por ello que, la gestión del diseño, busca que el diseño, caracterizado por la creatividad y considerado como informal y menos estructurado, se piense como una actividad programada que permita simultáneamente la interacción con otras áreas de la empresa [17].

Sin embargo, es necesario hablar de la gestión del diseño al igual que la gestión de cualquier otra actividad dentro de la empresa ya que el producto es el centro de funcionamiento de la empresa y es su razón de ser. La gestión del diseño dentro de la empresa se debe considerar desde la concepción del diseño a fin de asignar los recursos suficientes a las actividades que se tienen programadas a lo largo del proceso creativo y productivo.

INNOVACIÓN

Es de vital importancia hablar de innovación, pues es un factor primordial en el desarrollo económico de las naciones y en la competencia y crecimiento de las empresas. El término innovación contempla novedad, ventaja competitiva, ideas y éxito productivo. La innovación va ligada a los objetivos de producción y de productividad, pues dinamiza el mercado y aporta al desarrollo económico de las empresas, asimismo, les permite encarar nuevos desafíos de una manera sostenible en el tiempo y estar dinámicas frente a los posibles cambios en los mer-

Figura 2.

Composición del subsector alimentos y bebidas



Fuente: [23]

cados, de este modo, se puede innovar en los productos, en los procesos, en la organización o en la mercadotecnia, a fin de mejorar los resultados en su productividad y/o su rendimiento comercial [18].

El papel de la innovación en la empresa puede implicar cambios en ciertas actividades, es decir, no incorpora I+D (investigación + desarrollo), sino que conlleva cambios internos en la empresa que no son perceptibles para el mercado [18]. En este sentido el diseño es una actividad que forma parte parcialmente de I+D, ya que por una parte comprende actividades de planeación y desarrollo de procedimientos, y, por otra, se encarga de la utilidad y funcionalidad de los productos, así como de su adecuada comunicación y distribución, sin olvidar el factor estético. Es decir, el diseño tiene especial protagonismo en el proceso de innovación, pues, gracias a él, se introducen novedades en los bienes y/o servicios, en su comunicación, en la prestación de servicios o en la creación de valor, lo que deviene en innovación [19].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Ecuador, la categorización de las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) se acoge a lo dispuesto por el programa estadístico de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), en función del artículo 3 de la decisión 702 de la CAN, que establece parámetros de clasificación según su naturaleza, por su orden jurídico (sociedades) o no jurídico (personas naturales); su volumen de ven-

Tabla 1.

Datos obtenidos de DIREX-PROEcuador en el año 2020 de las Empresas manufactureras del sector alimentos y bebidas; cacao y elaborados, y, café y elaborados de la zona 9 D. M. Quito, que exportan en la actualidad

SECTOR	N.º TOTAL EMPRESAS
ALIMENTOS Y BEBIDAS	58
CACAO Y ELABORADOS	33
CAFÉ Y ELABORADOS	18
TOTAL	109

Tabla 2.

Matriz filtrada de empresas validadas por DIREX-PROEcuador del año 2020

Sector	mypimes válidas	cerradas	repetidas	productos no elaborados	fundaciones	grandes	TOTAL
alimentos y bebidas	37	0	0	0	1	20	58
cacao y elaborados	16	3	3	4	1	6	33
café y elaborados	11	2	2	2		1	18
total	64	5	5	6	2	27	109

tas, capital social, número de trabajadores y su nivel de activos. Las Mipymes se involucran en todas las actividades productivas, como el comercio al por mayor y al por menor; agricultura, silvicultura y pesca; industrias manufactureras; construcción; transporte, almacenamiento y comunicaciones; bienes inmuebles, entre otros, y aportan al crecimiento de la producción y generación de empleo [20]. Partiendo de esta clasificación, se tiene que las Mipymes ecuatorianas representan el 99,51% del sector, el mayor porcentaje de participación les corresponde a las microempresas con un 90,89%, seguido por las pequeñas empresas 7,00% y las medianas empresas 1,62%; y generan el 60,46% de empleo evidenciado en el personal afiliado a nivel nacional [21].

El sector manufacturero ecuatoriano, está conformado por los siguientes rubros: alimentos y bebidas, industria química, productos minerales no metálicos, textiles y cueros, metales comunes y productos derivados del metal, productos de madera, papel, otras actividades, [22] de las cuales y según las cifras del Banco Central del Ecuador (2016), la más relevante es alimentos y bebidas con el 38% (ver Figura 1), y aporta con el 4,7% del PIB [23],

Bajo este contexto, el rubro de alimentos y bebidas se compone de la siguiente manera (ver Figura 2).

En función de las cifras mostradas, el marco espacial de la presente investigación, se concentra específicamente en las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) del sector Manufacturero de la zona 9 correspondiente al Distrito Metropolitano de Quito, que exportan en la actualidad, y su actividad económica corresponda al rubro Alimentos y Bebidas, Cacao y Elaborados, y, café y Elaborados, ya que constituyen los rubros que mayor aportan a la industria y comprenden sujetos importantes para el presente estudio.

Con la información recopilada, se realizó un primer análisis donde se filtró la base de datos obtenida del directorio DIREX, rubros Alimentos y Bebidas; Cacao y Elaborados, y, Café y Elaborados de la zona 9 D. M. de Quito y se tuvo (ver Tabla 1).

Del análisis se discriminaron empresas que en la actualidad se encuentren cerradas, que se repiten en los tres rubros, que no elaboren productos (exportan materia prima), fundaciones (fungen como centro de acopio de productos de diferentes productores) y grandes empresas que no entran en el presente estudio, y se obtuvo lo siguiente (ver Tabla 2).

A partir de los datos obtenidos de los tres rubros, se observa que existen 64 empresas que exportan al menos una línea de productos y que comprenden la población con la que se trabajó para el desarrollo de la presente investigación.

Por otra parte, se construyó el cuestionario, que comprende el instrumento más utilizado para recolectar datos en las investigaciones sociales, y consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables que se van a medir [24]. La encuesta en profundidad es una técnica que busca adentrarse en el interior de la empresa por medio de diferentes preguntas que permiten descifrar lo que ocurre dentro de la organización. El presente estudio tuvo como objetivo recopilar información respecto a la perspectiva de la empresa frente al diseño, la función del diseño en el desarrollo de productos para la exportación, y la integración del diseño a nivel estratégico en la empresa. Para la construcción del formulario, se tomaron como referencia diferentes modelos de cuestionarios desarrollados por el doctor Manuel Lecuona, y se estructuró como se muestra a continuación (ver Tabla 3).

Tabla 3.

Estructura de la encuesta para recolección de datos

	enfoque	contenido
i	Datos corporativos de la empresa	Datos generales Descripción de la empresa
ii	Datos estratégicos de la empresa	Datos generales Información referente a la exportación
iii	Incorporación del diseño en la empresa	Integración del diseño en la empresa Campo de actuación del diseño El diseño y la organización de la empresa Vinculación del diseño en la empresa
iv	Función del diseño en el desarrollo de productos para exportación	Lugar que tiene el diseño en el proceso de desarrollo de productos para exportación El diseño en el desarrollo de productos para exportación El proceso de diseño en la empresa Herramientas/Métodos usados por las actividades de diseño en la empresa
v	Integración del diseño a nivel estratégico	Perspectiva de la empresa frente al diseño Beneficios de la incorporación del diseño en la empresa Factores que dificultan que el diseño se desarrolle más eficazmente dentro de su empresa

Total: 44 preguntas. Tiempo estimado de resolución del cuestionario: 30 minutos

Una vez socializado el cuestionario con los directivos de las empresas previamente seleccionadas, se tuvo, por una parte, un análisis general de la situación de las empresas, y por otra, un análisis enfocado en la relación empresa-diseño y su aporte en la actividad exportadora:

- Debido a la covid-19, pandemia que azota el mundo desde el año 2020, millones de empresas a nivel mundial han reducido su producción y han limitado su comercialización en algunos mercados; mientras que otras están en proceso de liquidación. Este panorama lastimosamente se repite en el tejido industrial ecuatoriano cuyas cifras evidencian que entre enero y junio del año 2020, 676 compañías entraron en un estado de cancelación, disolución o liquidación, lo que representa el 0,7% del total de empresas registradas en la Superintendencia de Compañías; mientras que solo en la provincia de Pichincha, 302 empresas han desaparecido, según datos para el mismo período, [25] esto representa la reducción del 2,1% de las exportaciones respecto al año 2019 [26].
- En función de la presentación del producto que se exporta, se tiene que de las empresas que mantienen

actividad exportadora, el 21,43% desarrollan productos que se comercializan con su marca, mientras que el 78,57% de las empresas restantes exportan productos que conservan su marca, pero también desarrollan productos sin marca, mejor conocidos como productos «marca blanca», que se adaptan en función de las necesidades del mercado de destino en cuyo caso cada marca se encarga del diseño de la marca, el envase y su etiqueta.

- El 4,69% de las empresas analizadas, además de manufacturar sus productos, ofrecen el servicio de maquila para otras marcas, en estos casos particulares no existe la aplicación de diseño, ya que cada empresa se encarga de la implementación de la parte gráfica y del desarrollo de los empaques, acordes a su identidad.

En tanto que al hablar de la relación empresa-diseño, se tiene:

- A pesar de que las empresas consideran importante el diseño, el 85% de las analizadas no lo incorporan en su estructura organizacional, e indican que resuelven necesidades particulares por medio del contrato de diseñadores externos o eventuales, también conocido como *freelance*.

- El diseño no es considerado como primordial en el desarrollo de productos para exportación, sin embargo, el 42,86% de las empresas analizadas manifiestan que han incorporado algún tipo de actividad relacionada con el diseño para exportar sus productos, enfocado principalmente en el desarrollo de la marca, el empaque y la etiqueta, mientras que, otras, resuelven las necesidades de identidad gráfica y de diseño del empaque, por medio de plataformas digitales de acceso libre, que permiten «diseñar» a partir de plantillas precargadas.
- En tanto que al hablar del diseño de la página web, gran parte cubre esta necesidad, por medio de la tercerización, y contrata empresas que ofrecen el servicio de diseño multimedia, mantenimiento y actualización correspondiente.
- Por otra parte, el 57,14% de las empresas analizadas sostienen que los servicios de diseño ofrecidos tienen costos elevados, lo que dificulta mantener el diseño como una actividad permanente dentro de la empresa, ya el 46,88% de ellas corresponden a microempresas que tienen una planta de personal conformada por cuatro personas (generalmente miembros de la familia).

Se pudo demostrar que no existe una clara integración del diseño en las empresas analizadas, ya que no es considerado como una función permanente dentro de su estructura, simplemente es percibido como una actividad que permite satisfacer necesidades puntuales asociadas principalmente al desarrollo de *packaging* y etiquetado; es decir, el diseño gana protagonismo en la etapa final del proceso para trabajar la forma o «estilo» del producto que va a ser comercializado.

A pesar de que el 92,86% de las empresas analizadas perciben el diseño como un factor estratégico y acelerador de la innovación, no es incorporado dentro de la organización para favorecer de manera positiva su crecimiento, esto se debe a que muchas empresas son escépticas o no están seguras del resultado que implica la inversión en diseño [3]. De igual manera, el diseño no se vincula en el desarrollo de productos con mejores atributos que buscan llegar a mercados internacionales, lo que deviene en la devaluación de la disciplina, por lo tanto, existe la necesidad de mejorar la percepción del diseño entre las Mipymes.

IV. CONCLUSIONES

El crecimiento empresarial que se logra gracias a la adecuada aplicación del diseño genera mayores ingresos al conseguir márgenes más altos y aumentar el valor de los productos. Es así como el diseño constituye un importante activo que permite la adecuada planificación estratégica de la empresa, gracias a la mejora de su capacidad creativa y de innovación [27]. El diseño trae consigo valor, valor en los productos y servicios que se ofertan,

asimismo aumenta la satisfacción de los consumidores, de los empleados y permite un mejor rendimiento del proceso de producción. Sin embargo, las empresas desconocen cómo medir el impacto del diseño dentro de sus estructuras, [28] lo que se debe al poco interés y resistencia que muestran los profesionales del diseño para cuantificar el coste (inversión) y recuperación de éste (rentabilidad) en las empresas que lo incorporan con diferentes intensidades [27].

Es por ello, que resulta importante que empresas y diseñadores establezcan un espacio de diálogo que permita esclarecer el concepto del valor del diseño y el alcance que tiene el diseño como competencia empresarial estratégica, [29] lo que favorece a entender que los diseñadores son contratados no solo para embellecer las cosas, sino para crear valor, según lo señalado por Jon Davies.

Si bien la gestión del diseño es una actividad compleja, [11] que se encarga de ofrecer soluciones efectivas de diseño, de un modo eficiente y a costos adecuados, por medio del empleo de una amplia gama de capacidades, [27] que busca favorecer el crecimiento empresarial, en el Ecuador no es incorporada en el seno de las empresas analizadas, ya que en la mayoría de los casos las empresas no incluyen diseño en sus actividades y resuelven sus necesidades de manera empírica, sin tener un conocimiento previo de lo que implica el acto de diseñar, esto se debe a que muchas empresas limitan la aplicación del diseño únicamente en el tratamiento de lo estético-formal, que se emplea en la parte final del proceso productivo para mejorar la presentación del producto y hacerlo más apetecible para el consumidor.

El desconocimiento del verdadero valor del diseño en el núcleo empresarial hace que los honorarios de los profesionales de la rama sean percibidos como elevados, y obliga a las empresas a desarrollar productos que se acogen a lo que se encuentra en tendencia en el mercado, carentes de innovación y diferenciación frente a la competencia; esto desfavorece el desarrollo de la disciplina y ocasiona que no sea valorada y sea poco empleada especialmente por las Mipymes que en su mayoría son de composición familiar y nacen por necesidad, lo que las obliga a priorizar otro tipo de actividades, y deviene un bajo nivel de gestión que muchas veces desencadena en errores e inclusive la quiebra [30].

Por ello, uno de los retos que se plantean es el de concienciar a los diferentes actores —entidades gubernamentales y empresa pública y privada— respecto a los beneficios que implica la aplicación del diseño dentro de la estrategia de la empresa, por otra parte, desde la academia se debe formar diseñadores gestores capaces de vincularse en la empresa para liderar proyectos, de modo que se logre difundir la importancia que tiene la disciplina y promover la inserción de estos profesionales para lograr la revalorización de la actividad.

REFERENCIAS

- [1] C. Marengo, I. Moisset, L. Peries, M. Ruiz y S. DAVIS, *Gestionar el diseño*, I+P Editorial, 2014.
- [2] I. Buil, E. Martínez y T. Montaner, «Importancia del diseño industrial en la gestión estratégica de la empresa», *Universia Business Review*, pp. 52-67, 2005.
- [3] M. Bruce, R. Cooper y D. Vazquez, «Effective design management for small businesses», *Design Studies*, pp. 297-315, 1999.
- [4] R. Córdova, «La utilización del diseño en las empresas (design ladder)», *Paredro*, 2 de junio, 2016. [En línea]. Available: <https://www.paredro.com/la-utilizacion-del-diseno-en-las-empresas-design-ladder/>
- [5] R. Matovelle, *Estudio de la relación diseño e innovación: una propuesta de incorporación en las pymes industriales de Guayaquil, Ecuador*, tesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2019.
- [6] J. Guadalupe, A. Palacio, X. Morales y D. Morales, *Ecuador: ciclo de vida de las Mipymes en la última década. Sectores: vestimenta y alimentos*, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, 2018.
- [7] El Telégrafo, «Digitalización o mortalidad empresarial, el camino para las mipymes,» 1 septiembre 2020.
- [8] É. Pérez, *Aproximación a una propuesta para una política nacional de diseño para el Ecuador*, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2013.
- [9] K. Best, *Management del diseño: estrategia, proceso y práctica de la gestión del diseño*, Barcelona: Parramon, 2007.
- [10] W. Wong, *Fundamentos de diseño*, Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- [11] G. Finizio, *Diseño y gestión: gestionar la idea*, Italia: Skira, 2002.
- [12] M. Lecuona, *Diseño estratégico: guía metodológica*, Fundación Prodintec, 2010.
- [13] W. Anthony, *Study guide for human resources management*, Cram101, 2013.
- [14] M. Lecuona, *Manual sobre gestión del diseño para empresas que abren nuevos mercados*, BCD, 2006.
- [15] A. Manrique López, «Gestión y diseño: convergencia disciplinar», *Pensamiento y Gestión*, n.º 40, 2016, pp. 129-158.
- [16] Y. Gómez, CABA, *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación, Buenos Aires*, n.º 34, 2010.
- [17] J. Montaña y I. Moll, «La gestión del diseño», 2006. [En línea]. Available: <http://disseny.ivace.es/es/diseno-y-empresa/gestion-de-diseno/gestion-de-diseno.html>. [Último acceso: 31 10 2017].
- [18] Manual de Oslo, *Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*, traducción española, Grupo Tragsa, 2006.
- [19] J. Montaña y I. Moll, *Diseño e innovación. La gestión del diseño en la empresa*, Madrid: Gráficas Arias Montano, 2008.
- [20] Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), «Mipymes y organizaciones de economía popular y solidaria son una pieza clave para la economía del país». [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/mipymes-y-organizaciones-de-economia-popular-y-solidaria-son-una-pieza-clave-para-la-economia-del-pais/#:~:text=Las%20micro%2C%20peque%C3%B1as%20y%20medianas,es%20de%203%20a%C3%B1os%20y.>
- [21] INEC, *Directorio de Empresas y Establecimientos 2019*, Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, 2020.
- [22] F. Maldonado y G. Proaño, «La industria en Ecuador», *Ekos*, pp. 47-64, 2015.
- [23] Corporación Financiera Nacional, «Sector manufacturero: alimentos preparados alimentos y bebidas», CFN, 2017.
- [24] R. Hernández, C. Fernández y M. d. P. Baptista, *Metodología de la investigación*, 6.ª ed., México D. F., 2014.
- [25] Primicias, «676 compañías se cancelaron, disolvieron o liquidaron hasta junio», 6 agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/companias-cierre-disolucion-liquidacion-junio-2020/>. [Último acceso: 4 julio 2021].
- [26] BCE, «La pandemia incidió en el crecimiento 2020: la economía ecuatoriana decreció 7,8%», 31 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.bce.fn.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/1421-la-pandemia-incidentio-en-el-crecimiento-2020-la-economia-ecuatoriala-decrecio-7-8>. [Último acceso: 4 julio 2021].
- [27] M. Lecuona, «La gestión del diseño: valor y retorno de las inversiones en diseño», *Contratardiseño.es*, n.º 22, 23 junio 2021.
- [28] B. Borja de Mozota, «The four powers of design: a value model in design management», *Design Management Review*, vol. 17, n.º 2, pp. 44-53, 2006.
- [29] P. Zec y J. Burkhard, *Design value: a strategy for business success*, Seúl, Corea del Sur: Red Dot Editions, 2010.
- [30] J. Lema, «Características de las Mipymes en el Ecuador», 9 enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.dsg.ec/gestion-empresas/mipymes-en-ecuador>

Normas para publicar en la revista Ingenio

TÍTULOS EN DOS IDIOMAS

1. Título del artículo en tipografía *Times New Roman* tamaño 14 (cada palabra con mayúscula).

2. Título del artículo en inglés en tipografía *Times New Roman* tamaño 11.

Ejemplos:

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque.

Lorem ipsum fusce viverra massa et sem facilisis, id aliquet ex venenatis. Integer at luctus nunc. Nunc dignissim a eros sit amet sagittis.

INFORMACIÓN DE AUTORES, USO SUPERÍNDICE PARA IDENTIFICACIÓN

1. Uso del superíndice para identificación
2. Institución ante la cual se acredita el autor.
3. Dirección electrónica
4. *Open Research and Contributor ID* (ORCID)

Ejemplo:

Lorem I.;¹ Ipsum L.²

¹Universidad Lorem Ipsum (Ecuador)

loremipsum@loremipsum.org

¹Universidad Lorem Ipsum (Ecuador)

loremipsum@loremipsum.org

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

1. En fuente tamaño 9
2. (Información colocada por el editor)

Información del artículo Recibido: Lorem ipsum 2021 Aceptado: Lorem ipsum 2021
--

EXTENSIÓN DEL DOCUMENTO

1. 10.000 palabras incluidas las referencias

RESUMEN

1. 100-150 palabras

PALABRAS CLAVE

1. Justo después del resumen, mínimo cuatro.

Ejemplo:

Palabras clave: lorem, ipsum, consectetur adipiscing.

ABSTRACT

1. 50-100 words

KEYWORDS

1. Just after the abstract, minimum four.

Example:

Keywords: lorem, ipsum, consectetur adipiscing.

TEXTO PRINCIPAL

1. Texto en *Microsoft Word*

2. Columna simple

3. *Times New Roman* tamaño 11

4. Espaciado de 1,5

FIGURAS Y ECUACIONES EN EL TEXTO

- Tabla 1, Tablas 1 y 2, Tablas 1 a 3

- Fig. 1, Figs. 1 y 2, las Figs. 1 a 3

- Eq. 1, Eqs. 1 y 2, Eqs. 1 a 3

ECUACIONES

1. Úse el editor de ecuaciones de Microsoft.

2. Número de identificación de la ecuación alineación siempre a la derecha.

Ejemplo:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad (1)$$

ESTILO Y ESTRUCTURA DE LOS ENCABEZADOS

1. Solo hasta 4 niveles y 3 subniveles.

Ejemplo:

1. Lorem ipsum sit amet

2. Lorem ipsum maecenas euismod

2.1 Lorem ipsum rutrum libero

2.2 Lorem ipsum accumsan sagittis

2.2.1 Lorem ipsum egestas tristique

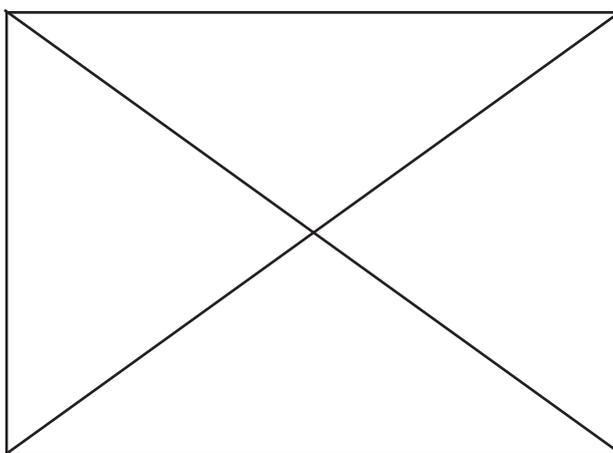
3. Lorem ipsum vestibulum auctor
- 3.1 Lorem ipsum vulputate consectetur
- 3.2 Lorem ipsum scelerisque turpis
4. Lorem ipsum bibendum tincidunt

FIGURAS Y TABLAS

1. Las figuras y tablas se agregarán al final del archivo del manuscrito; no se agregarán al texto principal. La ubicación de las figuras y tablas se exhibirá insertando sus subtítulos en el texto principal. Una vez aceptado, los archivos de figuras de alta resolución (más de 300 *dpi*, un archivo por figura) se enviarán al editor.

Figura 1.

Lorem ipsum dolor sit amet.



2. Los datos dentro de la tabla siempre alineación derecha
 3. Alineado a la izquierda, usar normas APA 7ma. para la elaboración de la tabla.
- Ejemplo:

Tabla 1.

Lorem ipsum dolor sit amet

LOREM IPSUM			
	LOREM IPSUM SIT	% LOREM	% IPSUM
Lorem ipsum	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
Lorem ipsum	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123

Nota: Lorem ipsum consectetur. Fuente. Lorem ipsum suspendisse quis dictum velit [1].

4. Si las imágenes o tablas tienen fuente se coloca el número de su referencia entre corchetes.

Ejemplo:

Fuente. Lorem ipsum suspendisse quis dictum velit [1].

REFERENCIAS

1. Las referencias se enumerarán por orden de citación en el texto (IEEE).

Ejemplo:

[1] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

[2] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

[3] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

CITAS Y REFERENCIACIÓN

1. En el texto, cite cada referencia por número.

Ejemplo:

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. Etiam mattis, ante ac pretium molestie, dolor mauris sagittis dolor, et pretium arcu dui at ipsum. Morbi egestas tristique quam. Vestibulum sit amet nisl sit amet enim vestibulum auctor por Suzana *et al.* [1].

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque [1].

2. El estilo dependerá del tipo de referencia, pero no es necesario clasificarlo en los tipos, simplemente enúmerese por orden de citación en el texto.

Ejemplos:

ARTÍCULOS

[1] Couhert C, Salvador S, Commandré J-M. Impacto de la torrefacción en la producción de syngas a partir de madera. *Fuel* 2009; 88: 2286-2290.

CONFERENCIAS

[1] Suzana Y, Mohamad T A, Uemura Y, Anita R, Lukman I, Shuit S H, Tan K T, Lee K T. Revisión sobre la utilización de la biomasa agrícola como fuente de energía en Malasia. En: *Actas del 16º Simposio regional de la ASEAN sobre ingeniería química*, 1 y 2 de diciembre de 2009, Manila, Filipinas, págs. 86-89.

SITIO WEB

[1] MPOB (Junta de Aceite de Palma de Malasia), 2008, «6.8 Productores principales mundiales de aceite de palma: 1999 - 2008». Recuperado el 28 de enero de 2010 de http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2008/ei_world08.htm.

LIBRO

[1] Corley R H V, Tinker P B. *La palma aceitera*. 4.ª ed. Oxford: Blackwell Science; 2003, p. 328.

3. Citar correctamente, pues la información de la fuente se verificará en los buscadores especializados de contenido.

ARBITRAJE

1. REVISIONES INICIALES. Todos los manuscritos enviados y recibidos por la Revista Ingenio serán revisados por el editor interno para determinar si están preparados adecuadamente y si siguen las políticas éticas de la revista. Los manuscritos que no se ajusten a la política de ética de la revista o que no cumplan con los estándares de la revista serán rechazados antes de la revisión por pares. Los manuscritos que no estén preparados adecuadamente serán devueltos a los autores para su revisión y reenvío. Después de estas verificaciones, el editor determinará si el manuscrito se ajusta al alcance de la revista y si es científicamente sólido. En esta etapa, no se emitirá ningún juicio sobre el impacto potencial del trabajo. Las decisiones de rechazo en esta etapa serán verificadas por el editor. El número de autores o firmantes no deber ser superior a cinco, considerando al primero como autor principal del artículo. Dicho manuscrito será un documento formal, público, controlado y debe cumplir con los criterios claves de redacción.

2. REVISIÓN POR PARES. Una vez que un manuscrito pase las comprobaciones iniciales, se asignará al menos a dos expertos independientes para su revisión por pares. Se aplica una revisión a doble ciego, donde los revisores no conocen las identidades de los autores y viceversa. Los comentarios de la revisión por pares son confidenciales y solo se divulgarán con el acuerdo expreso del revisor.

En el caso de presentaciones regulares, los editores asistentes internos invitarán a expertos, acorde a las recomendaciones del editor. Estos expertos también pueden incluir miembros del consejo editorial y editores invitados de la revista. También se pueden considerar los posibles revisores sugeridos por los autores siempre y cuando no hayan trabajado ni colaborado con los autores o coautores los últimos cinco años.

3. DECISIÓN EDITORIAL Y REVISIÓN. Todos los artículos, revisiones y comunicaciones publicados en la revista ingenio pasan por el proceso de revisión por pares y reciben al menos dos rúbricas. El editor comunicará la decisión de los pares, que será una de las siguientes:

[a] *Aceptar luego de realizar correcciones menores* (en principio, el documento se acepta después de la revisión basada en los comentarios del revisor. Los autores tienen quince días para revisiones menores).

[b] *Reconsiderar después de realizar correcciones importantes* (la aceptación del manuscrito dependería de las revisiones. El autor debe proporcionar una respuesta punto por punto o proporcionar una refutación si algunos de los comentarios del revisor no se pueden revisar. Por lo general, solo se permite una ronda de revisiones importantes. Se pedirá a los autores que vuelvan a enviar el artículo revisado dentro de un período de tiempo adecuado, y la versión revisada se devolverá al revisor para obtener más comentarios).

[c] *Rechazar y promover el reenvío* (si se necesita reforzar el método o elementos experimentales adicionales para respaldar las conclusiones, el manuscrito será rechazado y se alentará a los autores a volver a enviar el artículo una vez que se hayan realizado más experimentos).

[d] *Rechazar* (el artículo tiene serios defectos o no hace una contribución significativa original. No se ofrece ninguna oferta de reenvío a la revista).

Todos los comentarios de los revisores deben ser respondidos punto por punto. Cuando los autores no estén de acuerdo con un revisor, deben proporcionar una respuesta clara.

4. APELACIONES DEL AUTOR. Los autores pueden apelar un rechazo enviando un correo electrónico a la Revista Ingenio. La apelación debe proporcionar una justificación detallada, incluidas las respuestas punto por punto a los comentarios de los revisores o del editor. Se le pedirá al consejo editor consultado que dé una recomendación de asesoramiento sobre el manuscrito y puede recomendar la aceptación, una revisión por pares adicional o mantener la decisión de rechazo original. Una decisión de rechazo en esta etapa es definitiva y no se puede revertir.

5. PRODUCCIÓN Y PUBLICACIÓN. Una vez aceptado, el manuscrito se someterá a corrección de estilo profesional, edición, revisión por parte de los autores, correcciones finales, paginación y publicación en el sitio web de la revista acorde a la periodicidad.

ANTIPLAGIO

1. Todos los artículos recibidos por la revista Ingenio serán sometidos a un control antiplagio utilizando diversas herramientas como el sistema Urkund, que analiza los textos en busca de coincidencias gramaticales y orto tipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos.



Esta revista, que usó tipografía *Minion Pro* tamaño 11, se terminó de diagramar para su versión digital en Editorial Universitaria en el mes de junio de 2022 siendo rector de la Universidad Central del Ecuador el Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda y director de Editorial Universitaria el Prof. Gustavo Pazmiño.

Pone a disposición de la comunidad los siguientes servicios:

LABORATORIO DE SANITARIA

+593 2 2542026 ext. 224



ÁREA DE CAPACITACIÓN INFORMÁTICA

+593 2 2542026 ext. 246



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

+593 2 2542026 ext. 218



LABORATORIO DE PROTOTIPOS

+593 2 2542026 ext. 218



LABORATORIO DE HIDRÁULICA

+593 2 2542026 ext. 223



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

+593 2 2550910



DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA

+593 2 2238970



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

+593 2 2522655



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

+593 2 2238744 ext. 211



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA POPULAR - DIP

+593 2 2542026

