

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 7 • Número 1 • Junio 2025 • Publicación semestral



INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

ISSN 2600-5565

Volumen 7

Número 1

Junio 2025

Publicación Semestral

Dirección:

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

Contactos:

www.istct.edu.ec

www.investigacionistct.edu.ec

email: investigacion@istct.edu.ec

Telf.: 099 924 1151

Equipo editorial

DIRECCIÓN EDITORIAL

Mgs. Rodrigo Veintimilla, Rector

Instituto Superior Universitario Central Técnico, Ecuador.

DIRECCIÓN DEL COMITÉ CIENTÍFICO

PhD (c) Katalina Sarmiento Sarmiento - Instituto Superior
Universitario Central Técnico, Ecuador.

EDITOR EN JEFE (Responsable científico)

PhD (c) Elva Gioconda Lara Guijarro - Instituto Superior
Universitario Central Técnico, Ecuador.

EDITORES ASOCIADOS

Msc. Edgar Valdemar Guaman Tenezaca - Escuela Politécnica
Nacional, Ecuador

Msc. Luis Sandino Torres Gallegos - Escuela Politécnica
Nacional, Ecuador

Msc. Bryan Daniel Vélez Salazar - Instituto Superior
Universitario Cotopaxi, Ecuador

Msc. Miguel Roberth Argoti Arcos - Escuela Politécnica
Nacional, Ecuador

Msc. Daniel Isaías Barzallo Núñez - Investigador
Independiente, Ecuador

Msc. Dario Javier Borja Soto - Instituto Superior Universitario
Central Técnico, Ecuador

Msc. Alex Stalin Núñez Moscoso - Instituto Superior
Universitario Central Técnico, Ecuador

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD Gabriel Eduardo Sandoval Romero - Universidad
Nacional Autónoma de México-México

PhD Doris Hernández Dukova - Universidad Distrital Francisco
José de Caldas-Colombia

PhD Arturo Ramos Bueno - Instituto de Investigación Dr. José

María Luis Mora - México

PhD Johanna Rosalia Reyes Reinoso - Universidad Católica
de Cuenca - Ecuador

PhD Robert Bernardo Guamán Rivera - Universidad de
O'Higgins - Chile

PhD Raisa Emilia Bernal Cerza - Instituto Superior Universitario
Rumiñahui - Ecuador

Dra. María Julieta Duedra - Universidad Nacional de La Plata
- Argentina

Msc. Omar Fernando Sánchez Olmedo - Instituto Superior
Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Abraham Mesías Jorjue Rea - Instituto Superior
Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Katuska Espinoza Pérez - Instituto Superior Tecnológico
San Antonio ITSA - Ecuador

Msc. Juan José Cabrera Balarezo - Universidad de Cuenca -
Ecuador

Msc. Marco Vinicio Pilco Núñez - Instituto Tecnológico
Superior Universitario Oriente

Mgs. María José Rivera Gutierrez - Instituto Superior
Universitario Rumiñahui - Ecuador

Msc. Alex Stalin Núñez Moscoso - Instituto Superior
Universitario Central Técnico - Ecuador

EDITORES TÉCNICOS

Msc. José Andrés Beltrán Ruiz - Coordinador Editorial -
Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Lenin Daniel Valdivieso Simba - Revisor Experto -
Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Edgar Valdemar Guamán Tenesaca - Revisor Experto -
Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Wilson Sebastián Lozada Calle - Revisor Experto -
Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Grace Elizabeth Manobanda Jimenez - Revisor Experto -
Tecnológico Internacional Universitario ITI, Ecuador

Msc. David Trajano Basantes Montero - Revisor Experto -
Investigador independiente, Ecuador

EDITORES DE PRODUCCIÓN

Ing. Juan Carlos Fuertes Potosi - Diseñador - Instituto Superior
Universitario Central Técnico

Msc. Hilda Jacqueline Montesdeoca Orozco - Diagramadora -
Instituto Superior Universitario Central Técnico

Mgs. Joyce Narvaez Sarango - Traductora al idioma inglés -
Instituto Superior Universitario Central Técnico

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

La aventura de descubrir



Junio 2025

Nota Editorial

En esta edición de nuestra revista de divulgación científica, nos complace presentar una ecléctica selección de artículos que destacan los avances y desafíos en diversas disciplinas, desde la mecánica industrial hasta la electrónica, la electricidad, la mecánica automotriz y el estudio de materiales. Los expertos y profesionales de estos campos (estudiantes y docentes) comparten sus conocimientos y descubrimientos más recientes, proporcionando una visión profunda de las tendencias emergentes y las tecnologías revolucionarias que están dando forma al futuro de la ingeniería y la tecnología. Con un enfoque en la interconexión entre estas áreas, nuestra revista busca fomentar la colaboración y el intercambio de ideas, impulsando así la innovación y la excelencia en el amplio espectro de las ciencias técnicas y así mismo en los sectores sociales, ambientales, económicos e industriales.

Desde soluciones ingeniosas en la optimización de procesos hasta desarrollos vanguardistas en la electrónica aplicada, esta edición refleja el dinamismo de las carreras técnicas y destaca la importancia de la investigación y la creatividad en la resolución de problemas del mundo real. Nos enorgullece proporcionar un espacio donde la comunidad científica y técnica puede compartir su experiencia y contribuir al progreso continuo de estas disciplinas cruciales.

Además, queremos expresar un especial reconocimiento a quienes conforman el órgano editorial de la revista de divulgación científica, a los integrantes de la coordinación de I+D+i y a las autoridades del Instituto Superior Tecnológico Central Técnico con mención de universitario, rector Rodrigo Veintimilla, Mgs., vicerrectora Katalina Sarmiento, Mgs., por su compromiso en la publicación del quinto número de la revista de divulgación científica "Investigación Tecnológica IST Central Técnico".

PhD (c) Elva Lara G

Editor General

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

ÍNDICE

Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.	7
Estudio y Análisis de Niveles de Vibración Generados por la Transmisión de Cadenas con Diferentes Parámetros en el Módulo de Mantenimiento.	24
Análisis de las características técnicas para el diseño del sistema de dirección del Go Kart eléctrico.	39
Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.	57
Redes definidas por Software (SDN) en infraestructuras críticas.	69
Hacia una industria sostenible: El arte de fabricar jabón ecológico a partir de aceite vegetal usado.	82
Drones: Oportunidades y desafíos en usos civiles.	98
Evaluación del rendimiento de filtros FIR en microcontroladores económicos para aplicaciones de procesamiento de voz.	112
Análisis comparativo de las deformaciones de un puente celosía mediante el kit mola y sap 2000.	126
Propuesta de soluciones técnicas para la repotenciación de la cámara binder kbf 240.	140
Análisis de viabilidad técnica para la implementación de túneles solares: caso supermercado Santa María en Sangolquí.	156

Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms

Darío Fernando Yépez-Ponce¹ [0000-0002-2311-9368], Erika Daniela Freire-Cuestas² [0009-0008-3184]
Tamia Selena Muñoz-Tuttillo³ [0009-0004-9545-858X]

¹ GIEA, Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: dyepez@istct.edu.ec

² Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
E-mail: edfreirec@utn.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Nikola Tesla, Cayambe, Ecuador
E-mail: tamismunioz19@gmail.com

Recibido: 14/04/2025

Aceptado: 14/06/2025

Publicado: 30/06/2025

ABSTRACT Four-bar mechanisms are key components of mechanical engineering used in various industrial

and technical applications. These mechanical systems, also known as quadricycles, are made up of four linkages that are connected in a closed form. Four-bar mechanisms provide a broad range of motion and adaptability in designing machines and devices by varying the lengths and angles of these connections. The generated toolbox may be utilized to assist in developing four-bar mechanisms in educational and research settings. The toolbox includes a simple and intuitive interface that allows users to learn about the mechanism's trajectories, dimensions, locations, velocities, and accelerations. The toolbox can analyze three mechanisms: double rocker, crank, and crank-rocker. The interface produces both numerical and graphical outputs. In addition, a prototype has been added to the toolbox that interacts serially with Matlab, allowing the software's computations to be compared to real-world values of the mechanism. Finally, if the user makes an error in selecting the mechanism or data entry, the toolbox provides assistance and ideas to correct the issue.

Index terms: Toolbox for four-bar mechanisms; GUI for four-bar mechanisms; mechanism design; M4B; Matlab Toolbox.

1. INTRODUCTION. Application engineering is critical in the development of any technology. Most moving machinery

uses four-bar linkage arrangements. Four-bar links are widely used in machine design, industry, research, and everyday applications (Mishra, 2021). Their straightforward mechanical nature makes them ideal for path creation. For example, any change in the length of the bars or the driving angle will significantly impact the final output's location, speed, and direction. These

mechanisms can attain faster velocities, create more significant force rates utilizing a single degree of freedom, and follow predetermined trajectories more accurately than open-kinematic chain manipulators.

Furthermore, the four-bar linkage mechanism is used in a wide range of industrial applications, including rigid-body guiding, reciprocating compressors, rotary engines, scotch yokes, rope climbing robots, and robot end-effect grippers (Gao et al., 2021; Hussain et al., 2021; Kulkarni et al., 2025; Libu George & Bharanidaran, 2022; Shao et al., 2024). Such systems are undoubtedly used to create various motion patterns other than actuator motion (Hernández et al., 2021; Peón-Escalante et al., 2023). These mechanisms are used in biomedical engineering to provide high-precision motion (for example, microsurgery applications) (Fortunić et al., 2023; Li et al., 2022; Zarrabi Ekbatani et al., 2024). Many design issues might arise due to such systems; for example, the precision of a robot arm's end-point location is significantly reduced because of the cumulative inaccuracy from each revolute joint of the robot. Furthermore, low mechanical stiffness will reduce the accuracy of motion tracking (Cervantes-Culebro et al., 2021).

The four-bar mechanism's mathematical model is widely recognized. Nonetheless, the angular velocity of the driving bar (i.e., the crank) is supposed to be constant. However, this is nearly impossible in practice due to the rotating unbalanced system's variable inertia. As a result of the continuous variations in inertia throughout the rotation of the stiff links comprising the mechanism, the angular speed of the crank in the four-bar mechanism exhibits a regularly changing behavior (Sardashti et al., 2022). This fluctuating behavior results in highly nonlinear, time-variant, and complex dynamics of the four-bar system, making real-world control of such dynamics a difficult task (Flota-Bañuelos et al., 2021).

Due to their highly non-linear dynamics, it is hard to design suitable control strategies that appropriately govern their behavior (Nguyen-Van et al., 2022). In practice, these linked mechanisms are commonly employed to execute function, trajectory, and motion creation tasks, often considering the position's kinematic state. This technique has been used in several real-world applications (Kang et al., 2022; Matekar Sanjay B. and Fulambarkar, 2021). Other ways for modeling four-bar mechanisms have been presented, such as (Ramesh & Plecnik, 2024), in which a parallelogram closed-loop mechanism was put into an open-loop robot structure to simplify the overall system's dynamics model. By using a basic control algorithm, high motion tracking performance was achieved.

It is vital to note that the requisite speed and acceleration are only fulfilled at the specified design points and not during the whole operating cycle of the drive connection. Higher-order kinematic synthesis considers velocities and/or accelerations in the design issue and calculates the mechanism's design parameters that fulfill the intended job's criteria. Furthermore, in the process of dimensional synthesis, the features of the output movement of the mechanisms are often developed with a constant input speed in mind (Baskar Aravind and Plecnik, 2021; Ramesh & Plecnik, n.d.; Wang et al., 2022). However, suppose the output speed requirements change while the mechanism operates. In that case, the mechanism's dimensions must be rebuilt given

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

that the features of a mechanism's output movement are dependent on its input movement. (Hur et al., 2024; José A. Montoya R. Peón-Escalante & Peñuñuri, 2024; Shi et al., 2025), suggested an alternative way to achieve this goal without affecting the dimensions of the current mechanism, which is by introducing an auxiliary mechanism.

(Baskar et al., 2023; Nguyen Vu Linhand Kuo, 2022; Wu et al., 2021; Zhang et al., 2021) Developed the constraint equations of four-bar connections for motion generation, function generation, and path generation. Freudenstein was the father of modern kinematics, and his contributions made kinematic synthesis of mechanisms possible through digital computation. Grashof's law is also an example of how the law has been successfully used to improve manufacturing processes (Ekambaram, 2021). A dynamic modeling and controller design for a flexible four-bar system were investigated by (Qiu et al., 2023). The design process can satisfy the movement characteristics specified for a trajectory that corresponds to a complete cycle of the input link when an individual motor and mechanism are treated as a single system that is properly controlled (Basaran, 2025; Nie et al., 2024).

The analysis, design, optimization, and simulation of mechanism systems have all benefited from dynamic modeling. Scholars worldwide have studied the dynamic response, performance evaluation, and optimization of mechanical systems using dynamic models. In this work, a toolbox for Matlab is presented in which the calculations for obtaining trajectories, link measurements, and fracture point previews are synthesized through simulation and graphical representation. A prototype was created and linked to the toolbox to verify the simulated results. For the analytical development, the Euclidean distance was used to define simple rotation functions and represent the trajectories. It is important to note that the Euclidean distance, which measures the straight-line distance between two points in a multidimensional space, differs from the Manhattan distance, which calculates the sum of the absolute differences of their coordinates along each dimension. While the Euclidean distance is more suitable for representing direct paths, the Manhattan distance is often used in grid-based systems or scenarios where movement is restricted to orthogonal directions (Torres-Moreno et al., 2022). Finally, the graphical interface of the toolbox developed for four-bar mechanisms allows the user to choose between the different types of mechanisms and analysis to be performed according to his preference.

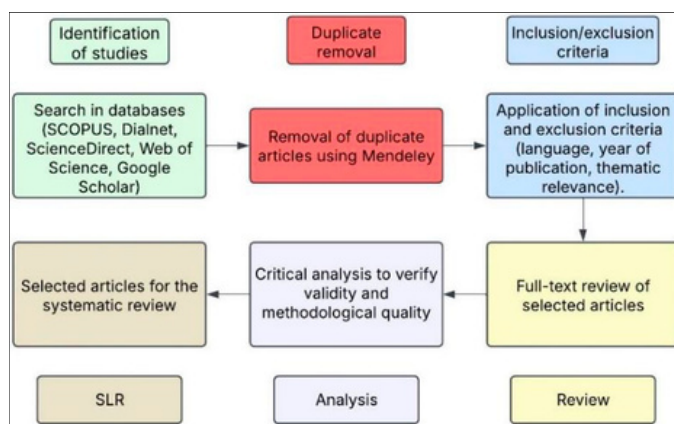
The following parts of this paper are organized as follows: Section 2 details the mathematical modeling employed in the toolbox for four-bar mechanisms. Section 3 presents the main results of the study and discusses their significance. Finally, the conclusions of the study are presented in Section 4.

2. METHODOLOGY Using the PRISMA technique presented in Figure 1, which comprises a set of items for selecting and analyzing the articles to be studied, the research started with a systematic review. The following standards for inclusion and exclusion were applied: Scientific publications published

during the previous five years were considered. Additionally, articles published in both English and Spanish were taken into consideration. Lastly, studies examining the mechanics of four bars in any research were considered. The terms "Four-bar mechanisms," "Applications for four-bar mechanisms," and "App for four-bar mechanisms" were used in the systematic search that was conducted using the databases of SCOPUS, Dialnet, ScienceDirect, Web of Science, and Google Scholar. The Boolean AND method was applied, restricting the search to the title, abstract, and keywords to enhance the search bias. From the chosen publications, a database was assembled, accounting for the author, year, title, keywords, connection to the research, and outcomes; duplicate papers were removed by exporting this database to the Mendeley program. Ultimately, a thorough critical examination of the papers was conducted to verify the validity and methodological caliber of the chosen research.

Figure 1

PRISMA methodology flow diagram.



Nota. Diagram developed by the authors.

2.1. Spiral development model To create the four-bar mechanism toolbox, the spiral evolutionary development model was

employed to ensure that the toolbox reaches the necessary maturity through a sequence of evolutionary deliveries enabled by each repetition cycle (Delgado Olivera & Díaz Alonso, 2021). The spiral model schematic that was employed is shown in Figure 2. This method has been successfully employed in several works, such as those carried out by (Simisterra-Quíñonez et al., 2021; Yépez Ponce et al., 2023).

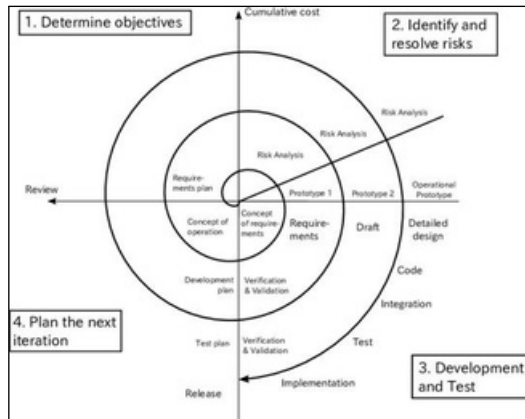
2.2. Dynamics of the four-bar mechanism Figure 3 shows a schematic of the four-bar linkage mechanism presented in this article. A

servomotor powers the mechanism's initial link (a). The motion will be restricted to rotations between 0 and 180 degrees when using a servomotor.

Figure 2

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

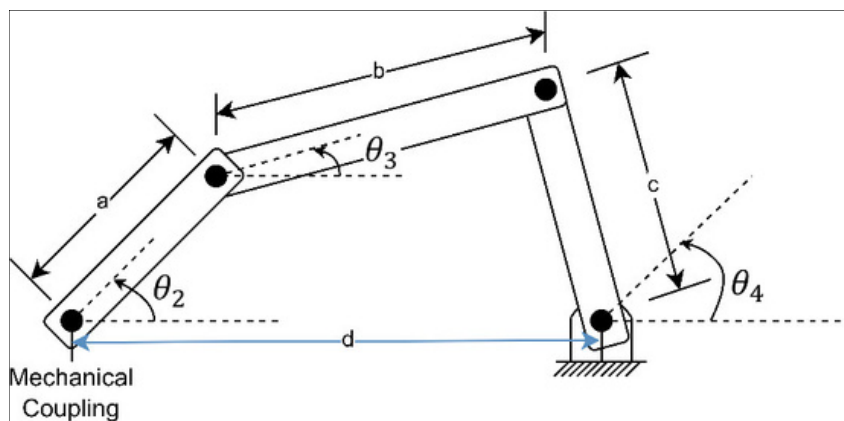
Evolutionary development model (spiral).



Nota. The graph represents the Spiral development cycle model that was employed and was taken from Saillard (2015), p. 21.

Figure 3

Schematic of the four-bar mechanism.



Nota. In the graph, the dimensions of the links are represented by lowercase letters, and the rotations by theta angles.

Equations 1 and 2 form the system of nonlinear equations that allow us to determine the direction that each of the bars will have with respect to the x-axis and y-axis at all times respectively.

$$=aa \cdot \cos \theta_2 + bb \cdot \cos \theta_3 - cc \cdot \cos \theta_4 - dd \cdot \cos \theta_1 \quad (1)$$

$$f_2 = aa \cdot \sin \theta_2 + bb \cdot \sin \theta_3 - cc \cdot \sin \theta_4 - dd \cdot \sin \theta_1 \quad (2)$$

In 3, is presented the equations 1 and 2 in matrix form, this is used to determine the fracture zones of the mechanism.

$$BB = [aa \cdot \cos \theta_2 + bb \cdot \cos \theta_3 - cc \cdot \cos \theta_4 - dd \cdot \cos \theta_1 \quad (3)$$

$$aa \cdot \sin \theta_2 + bb \cdot \sin \theta_3 - cc \cdot \sin \theta_4 - dd \cdot \sin \theta_1$$

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

2.3. Freudenstein equations It is an analytical method for calculating a four-bar mechanism's displacement or position,

velocities, and accelerations. It is one of the most widely used methods by engineers because it can be programmed with a computer (Felipe, 2024). The Freundestein equations, shown in equations 4 and 5, are fundamental to this approach and provide a systematic way to analyze the kinematics of four-bar mechanisms. These equations are specifically applied to the mechanism illustrated in Figure 3, demonstrating their practical utility in real-world engineering problems.

$$\begin{aligned} & d^2 \theta_3 + 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos(\theta_3 - \theta_4) = d^2 \theta_4 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\theta_3 - \theta_4) \quad (4) \\ & d \theta_3 + 2 \cdot a \cdot c \cdot \sin(\theta_3 - \theta_4) = d \theta_4 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \sin(\theta_3 - \theta_4) \quad (5) \end{aligned}$$

2.4. Jacobian Matrix

The Jacobian matrix is a technique for linearizing a system of nonlinear equations at a given point so that the properties of the linear system can be applied to solve and analyze these systems conveniently (Ramos Corredor et al., 2022). The Jacobian matrix allows for analyzing the performance, configuration design, planning, and control of parallel mechanisms (Cervantes-Figueroa, 2022). In this work, the Jacobian matrix is used to relate the positions, velocities, and accelerations of the different parts of the four-bar mechanism as a function of the input data. These results will be presented using tables and graphs within the interface. It also allows the mechanism to be sized and the lengths of the bars or links to be extended.

The Jacobian matrix (see equation 6) is formed by the partial derivatives of equations 1 and 2 as a function of the dependent variables (θ_3, θ_4).

$$J = \begin{bmatrix} -b \cdot \cos \theta_3 & c \cdot \cos \theta_4 \\ -b \cdot \sin \theta_3 & c \cdot \sin \theta_4 \end{bmatrix}$$

2.5. Grashof's Law In the field of mechanism kinematics, Grashof's law establishes fundamental criteria for analyzing

the behavior of four-bar mechanisms. Therefore, (Quintero Riaza & Mejía Calderón, 2021), this law enables the determination of the type of motion a mechanism can execute, classifying it according to the relative lengths of its links. By considering these lengths, various movements can be predicted, such as:

- If the shorter bar is fixed as the other bars finish spins, double-turn, or crank.
- Back and forth, if the fixed bar and the short bar are next to each other.
- Double rocker, if the fixed bar is on the other side of the shorter bar.

In the toolbox interface, these three cases can be simulated.

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

3. RESULTS The Matlab toolbox developed for four-bar mechanisms allows users to quickly and intuitively

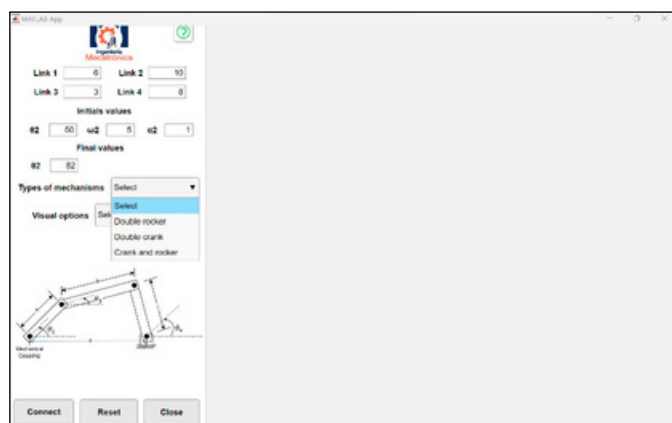
obtain motion parameters based on the selected mechanism type. The toolbox, along with the mechanism design in SolidWorks, is available in a shared repository (<https://www.dropbox.com/scl/fo/zqq0qlfic6o1uq2ywf543/AJBNb1oTjVaRIBu52UcliYk?rlkey=6bqqt8c2ofax2pcblhd73badu&st=kjpzg858&dl=0>) that includes all necessary files for simulation and design. The toolbox code is fully customizable, enabling users to adapt it to their specific requirements. By running the M4B command in Matlab, a window opens with default values, facilitating the design and simulation of four-bar mechanisms. This combination of simplicity and flexibility makes the toolbox a powerful tool for engineering analysis and education.

3.1. Toolbox Functionality

The toolbox allows users to select among three mechanism types: double rocker, double crank, and crank-rocker (see Figure 4). Once the mechanism type is selected, users can initiate the simulation to visualize the trajectory of moving parts (see Figure 5). Additionally, the toolbox generates a table with the values of involved variables, such as positions, velocities, and accelerations, facilitating controller optimization and mechanism dimensioning (see Figure 6). These features enable users to analyze the mechanism's behavior within specific simulation intervals by adjusting start and end angles for precise results.

Figure 4

Selection of the type of mechanism.



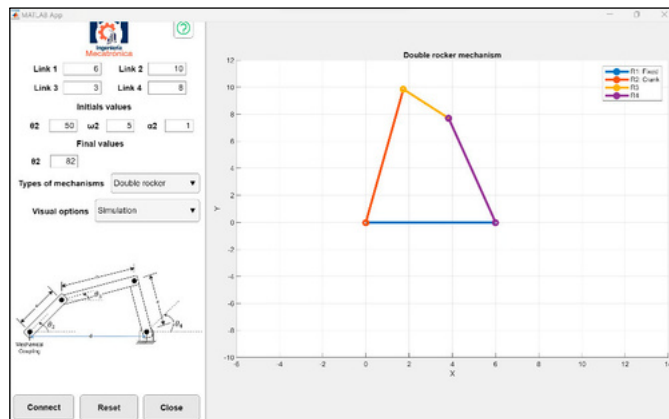
Nota. In the drop-down menu, you can select one of the three mechanisms mentioned in item 2.5.

3.2. Error Detection and Guidance The toolbox generates plots showing the evolution of angular displacement, angular velocity, and angular acceleration as a function of the input angle (see Figure 7). These plots provide a detailed visual analysis of the mechanism's motion, which is crucial for validating designs and optimizing parameters. Furthermore, the toolbox detects errors in input parameters, such as incorrect

angles or dimensions, and notifies the user if the mechanism is "fractured" (see Figure 8). In case of errors, the toolbox offers a help function that suggests corrections and recommends the most suitable mechanism type.

Figure 5

Simulation of the mechanism trajectory.



Nota. In the graph, you can see the mechanism generated from the user data entered.

Figure 6

Table of variables.



Nota. In the graph, you can see how the mechanism's positions, velocities, and accelerations are stored in a table in the simulation interval given by the user.

3.3. Experimental Validation To validate the analytical results, a physical prototype of the four-

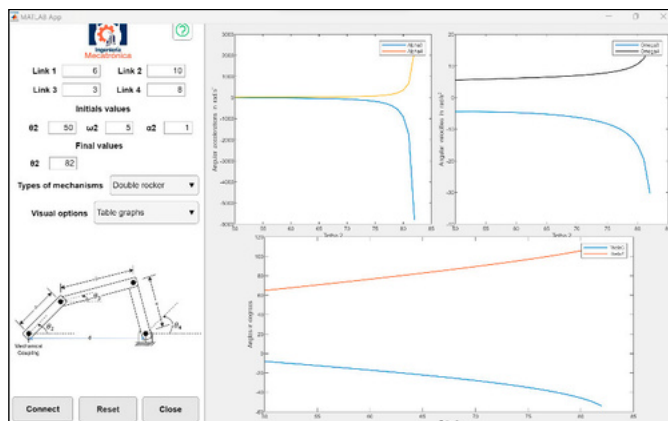
bar mechanism was developed,

and its SolidWorks files are available in the repository for 3D printing and assembly. The prototype includes a servomotor to control bar positions and potentiometers at the joints to measure actual positions (see Figure 9). Simulated and measured values are compared in the toolbox interface, allowing users to verify the accuracy of the simulations. This experimental validation confirms that the simulated data aligns with real-world results.

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

Figure 7

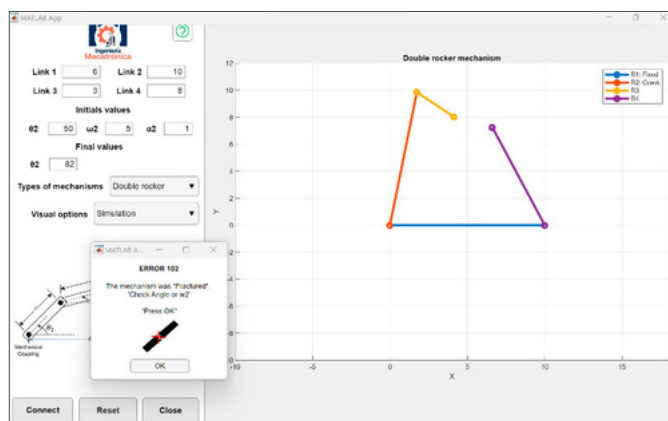
Mechanism simulation plots.



Nota. The graph shows the evolution of angular displacement, angular velocity, and angular acceleration as a function of the input angle, providing a detailed visual analysis of the mechanism's movement.

Figure 8

Fractures in four-bar mechanisms.

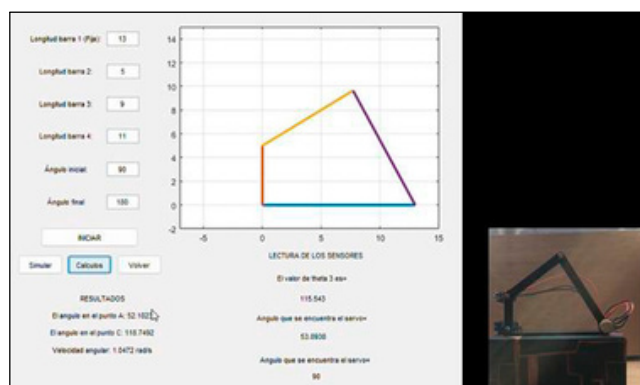


Nota. Error message generated by the tool in Matlab indicating that the mechanism is “fractured”. The message suggests checking the input angle ($\theta\theta2$) to correct the mechanism configuration before continuing the simulation.

In the lower part of Figure 9, both the calculated values and those measured by the sensors in the real system are presented. For ease of interpretation, these data are more clearly detailed in Table 1. In addition, a validation of the values obtained was performed by calculating the root mean square error (RMSE). This indicator allows the accuracy of the model to be evaluated by comparing the calculated values with the measured ones. A low RMSE indicates high precision, while a high value suggests a greater discrepancy between the data.

Figure 9

Digital and real four-bar mechanisms.



Nota. The lower left part of the graph shows the simulated values and the lower middle part shows the values measured by the sensors.

Table 1

Data Obtained: Calculated Values vs. Measured Values.

N° of Data	Calculated Values	Measured Values
1	115.500	115.290
2	115.521	115.731
3	115.542	115.332
4	115.563	115.353
5	115.583	115.373
6	115.604	115.814
7	115.625	115.415
8	115.646	115.436
9	115.667	115.457
10	115.688	115.898
11	115.708	115.498
12	115.729	115.519
13	115.750	115.540
14	115.771	115.561
15	115.792	116.002
16	115.813	115.603
17	115.833	116.043
18	115.854	116.064
19	115.875	116.085
20	115.896	115.686
21	115.917	116.127
22	115.938	115.728
23	115.958	116.168

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

24	115.979	116.189
25	116.000	116.210

Nota. The values presented correspond to 25 measurements for the angle θ_{03} .

The RMSE value obtained for these data was 0.21° . This error represents the average deviation between the calculated values and the measured values in the 25 measurements performed. Despite the small difference, it is important to consider this margin of error in the analysis of the results. Maintaining a low RMSE indicates that the measurements are aligned with the expected values, which provides confidence in the accuracy of the system. These data correspond to measurements of the angle θ_3 , fundamental for the evaluation of the system behavior.

3.4. Contributions and Future Perspectives

The developed toolbox simplifies the design and simulation of four-bar mechanisms while providing advanced tools for optimization and error analysis. It generates detailed plots and variable tables, making it a valuable resource for both research and teaching. The toolbox's current capabilities include error detection, comprehensive output data, and real-device connectivity, which enhance its practicality for real-world applications. These features have already demonstrated their utility in fields such as robotics, automotive systems, and industrial automation, where four-bar mechanisms are widely used. The toolbox's adaptability and integration with modern control systems highlight its potential for advancing kinematic analysis and mechanism design.

4. DISCUSSION A paid software for kinematic analysis of four-bar systems is presented by

FOURBAR Student

Edition, developed by Robert L. Norton; in contrast to the produced version, this application does

not display the angles θ_{03} and θ_{04} as output data. Furthermore, the designed interface enables the crank to rotate fully in the simulation, whereas FOURBAR only visualizes half of the crank's

(Salcedo, 2020), developed a didactic material based on GeoGebra aimed at the visualization and understanding of the kinematic analysis of a four-bar mechanism, which offers the student the possibility of manipulating the input conditions that configure such mechanism to appreciate then the corresponding effect on the behavior of the dependent variables involved; however, unlike the developed tool, it is not possible to obtain the tables of results, the selection of the type of mechanism to be developed and the application of Grashof's laws.

(González Miranda et al., 2023) developed an APP for Android devices that generates graphs of predetermined four-bar mechanisms. In the graph, the lengths and orientations of the links can be edited by touching the revolute joints with the fingers, and the classification of the mechanism drawn in real time yields the links' value and angles' value. Unlike the developed application, no error alerts are issued, and it cannot be connected to a real device.

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

(Zapata-Loria et al., 2019) developed a mobile application that uniquely calculates the positions of four-bar plane mechanisms.

Finally, in (López Solbes, 2013), a similar application developed in Matlab is presented with the main difference that in this application, no tables are generated, and it is not connected to a real mechanism.

5. CONCLUSIONS Parameter optimization, such as link lengths, can considerably increase the performance of these

mechanisms, allowing for a higher range of motion and precision in various industrial applications. Furthermore, computational simulation is essential in providing a platform for evaluating mechanisms' dynamic and kinematic behavior before manufacture, saving time and resources. Four-bar mechanisms have also been shown to be broadly helpful in robotics, industrial automation, and medical devices, demonstrating their flexibility. However, issues in control and energy efficiency in complex systems continue, providing potential for future study in this sector.

The toolbox developed in the educational field is very beneficial since it helps to understand the behavior of this type of mechanism simply and intuitively. Meanwhile, in the research field, it would save time in designing an application with this type of mechanism because the trajectory would be known beforehand and if there were any restrictions.

Finally, the need to address specific challenges related to the complexity of dynamics, precise control, and integration with electronic systems has been identified.

6. REFERENCES Basaran, S. (2025). Modified inverted pendulum on a cart system with four-bar mechanism. ISA

Transactions. <https://doi.org/10.1016/J.ISATRA.2025.02.014>

Baskar, A., Plecnik, M., & Hauenstein, J. D. (2023). Finding straight line generators through the approximate synthesis of symmetric four-bar coupler curves. *Mechanism and Machine Theory*, 188, 105310. <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2023.105310>

Baskar Aravind and Plecnik, M. (2021). Higher Order Path Synthesis of Four-Bar Mechanisms Using Polynomial Continuation. In B. Lenarčič Jadran and Siciliano (Ed.), *Advances in Robot Kinematics 2020* (pp. 303–310). Springer International Publishing.

Cervantes-Culebro, H., Chong-Quero, J. E., Padilla-García, E. A., & Cruz-Villar, C. A. (2021). Concurrent Design of a 2 Dof Five-Bar Parallel Robot a Hybrid Design of Rigid and Flexible Links. *IEEE Access*, 9, 17450–17462. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3053250>

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

- Cervantes-Figueroa, A. F. (2022). Aplicación móvil para el análisis cinemático de mecanismos de 4 barras. *Revista de Difusión Científica, Ingeniería y Tecnologías*, 8.
- Delgado Olivera, L. de la C., & Díaz Alonso, L. M. (2021). Modelos de Desarrollo de Software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 15, 37–51.
- Ekambaram, M. (2021). Four-Bar Linkage Mechanism in Papermaking and Its Replacement by Direct Servo Drive Technology in Roll to Sheetting Lines in a Paper Mill---Converting House. *Advances in Industrial Machines and Mechanisms*, 113–122.
- Felipe, C. E. (2024). Desarrollo de una técnica de síntesis óptima dimensional de mecanismos planos con juntas de rotación para generación de movimiento. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87168>
- Flota-Bañuelos, M., Peón-Escalante, R., Ricalde, L. J., Cruz, B. J., Quintal-Palomo, R., & Medina, J. (2021). Vision-based control for trajectory tracking of four-bar linkage. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(6), 324. <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03043-z>
- Fortunić, E. P., Yildirim, M. C., Ossadnik, D., Swikir, A., Abdolshah, S., & Haddadin, S. (2023). Optimally Controlling the Timing of Energy Transfer in Elastic Joints: Experimental Validation of the Bi-Stiffness Actuation Concept. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 8(12), 8106–8113. <https://doi.org/10.1109/LRA.2023.3325782>
- Gao, Y., Wang, J., Gao, S., & Cheng, Y. (2021). An Integrated Robust Design and Robust Control Strategy Using the Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(12), 8378–8386. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3056417>
- González Miranda, D., Estrada Gutierrez, E., & Roldán Mckinley, J. (2023). Aplicación Android para el estudio de mecanismos planos de cuatro barras.
- Hernández, A., Muñoyerro, A., Urizar, M., & Amezuza, E. (2021). Comprehensive approach for the dimensional synthesis of a four-bar linkage based on path assessment and reformulating the error function. *Mechanism and Machine Theory*, 156, 104126. <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2020.104126>
- Hur, J., Song, H., & Jeong, S. (2024). Continuously Variable Transmission and Stiffness Actuator Based on Actively Variable Four-Bar Linkage for Highly Dynamic Robot Systems. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 9(8), 7118–7125.
- Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

<https://doi.org/10.1109/LRA.2024.3418268>

Hussain, I., Malvezzi, M., Gan, D., Iqbal, Z., Seneviratne, L., Prattichizzo, D., & Renda, F. (2021). Compliant gripper design, prototyping, and modeling using screw theory formulation. *The International Journal of Robotics Research*, 40(1), 55–71. <https://doi.org/10.1177/0278364920947818>

José A. Montoya R. Peón-Escalante, O. C. C. C. M. A. Z.-A., & Peñuñuri, F. (2024). Optimum synthesis of mechanisms with uncertainties quantification throughout the maximum likelihood estimators and bootstrap confidence intervals. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 52(1), 359–374. <https://doi.org/10.1080/15397734.2022.2110504>

Kang, Y.-H., Lin, J.-W., & You, W.-C. (2022). Comparative Study on the Synthesis of Path-Generating Four-Bar Linkages Using Metaheuristic Optimization Algorithms. *Applied Sciences*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/app12157368>

Kulkarni, A., Raut, R., & Dhattrak, P. (2025). A comprehensive review on configuration, design and programming of robotic systems used in various applications. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s41315-025-00424-8>

Li, L., Zhang, L., Wang, B., & Song, D. (2022). Dynamic Analysis of the Human-Machine System of a 4-Bar Gait Constraint Mechanism. *2022 5th International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA)*, 31–35. <https://doi.org/10.1109/ICMRA56206.2022.10145725>

Libu George, B., & Bharanidaran, R. (2022). Design of compliant gripper for surgical applications. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20(1), 256–262. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1701396>

López Solbes, A. (2013). Aplicación Matlab para el análisis de mecanismos planos de cuatro barras. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/28634>

Matekar Sanjay B. and Fulambarkar, A. M. (2021). Robust Synthesis of Path Generating Four-Bar Mechanism. In R. D. and P. P. K. and D. U. S. Pandey K.M. and Misra (Ed.), *Recent Advances in Mechanical Engineering* (pp. 221–232). Springer Singapore.

Mercado, D. M., Murgas, G. H., Mckinley, J. R., & González, J. D. (2015). Una herramienta computacional didáctica para el análisis cinemático de mecanismos planos de cuatro

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

- barras. Revista UIS Ingenierías, 14(1), 59–69.
- Mishra, R. (2021). Mechanisms of flexible four-bar linkages: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5570–5574. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.03.457>
- Nguyen Vu Linh and Kuo, C.-H. and L. P. T. (2022). A New Class of Spring Four-Bar Mechanisms for Gravity Compensation. In N. Q. and C. M. Khang Nguyen Van and Hoang (Ed.), *Advances in Asian Mechanism and Machine Science* (pp. 302–312). Springer International Publishing.
- Nguyen-Van, S., Lieu, Q. X., Xuan-Mung, N., & Nguyen, T. T. N. (2022). A New Study on Optimization of Four-Bar Mechanisms Based on a Hybrid-Combined Differential Evolution and Jaya Algorithm. *Symmetry*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/sym14020381>
- Nie, L., Ding, H., & Kecskeméthy, A. (2024). Construction and Multi-Mode Motion Analysis of Single-Degree-of-Freedom Four-Bar Multi-Mode Planar Mechanisms Based on Singular Configuration. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 16(10). <https://doi.org/10.1115/1.4064569>
- Peón-Escalante, R., Flota-Bañuelos, M., Quintal-Palomo, R., Ricalde, L. J., Peñuñuri, F., Jiménez, B. C., & Viñas, J. A. (2023). Neural Network Based Control of Four-Bar Mechanism with Variable Input Velocity. *Mathematics*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/math11092148>
- Qiu, H., Huang, P., Zhou, Y., & Zhang, H. (2023). Flexible modeling and dynamics simulation of four-bar beating-up system with clearance. *Journal of Industrial Textiles*, 53, 15280837231184640. <https://doi.org/10.1177/15280837231184640>
- Quintero Ríaza, H. F., & Mejía Calderón, L. A. (2021). *Síntesis de mecanismos*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ramesh, S., & Plecnik, M. (n.d.). A direct-drive five-bar manipulator with tuned directional first-order kinematics for low energy consumption in vertical loading. *The International Journal of Robotics Research*, 0(0), 02783649241266852. <https://doi.org/10.1177/02783649241266852>
- Ramos Corredor, N. A., Romero Toledo, F. A., & Pinto Linares, H. A. (2022). OPTIMIZACIÓN DEL ÁNGULO DE TRANSMISIÓN EN LOS MECANISMOS PLANOS ARTICULADOS DE CUATRO BARRAS APLICANDO LA NATRIZ JACOBIANA Y LOS MULTIPLICADORES DE LAGRANGE-2021. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 9(1), 33–44.
- Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

<https://doi.org/10.26495/icti.v9i1.2164>

Salcedo, J. L. C. (2020). Aplicación de GeoGebra en la enseñanza de la cinemática de un mecanismo de cuatro barras Application of GeoGebra in the teaching of kinematics of a four-bar mechanism. *Revista Do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo*, 9(2), 3–19.

Sardashti, A., Daniali, H. M., & Varedi-Koulaei, S. M. (2022). Geometrical Similarity Error Function-Innovative Adaptive Algorithm methodology in path generation synthesis of the four-bar mechanism using metaheuristic algorithms. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(3), 1550–1570.
<https://doi.org/10.1177/09544062211015787>

Shao, Y., Shi, D., Feng, Y., Zhang, W., & Ding, X. (2024). Design and Control of a Compact Variable Stiffness Actuator Based on a Cam-Circular Beam Mechanism. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 29(6), 4131–4143. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2024.3363226>

Shi, N., Li, H., Yang, Y., Hua, H., Ye, J., Chen, Z., & Xu, T. (2025). Enhancing Spraying Performance with Active Stability Control in Multi-Link Mechanisms. *Machines*, 13(2).
<https://doi.org/10.3390/machines13020104>

Simisterra-Quiñonez, J. W., Yépez-Ponce, D. F., & Yépez-Ponce, H. M. (2021). Aplicación basada en la Metodología STEAM: Un juego interactivo. *IDEAS*, 3(2), 1–13.
<https://doi.org/10.53358/ideas.v3i2.623>

Torres-Moreno, J. L., Cruz, N. C., Álvarez, J. D., Redondo, J. L., & Giménez-Fernandez, A. (2022). An open-source tool for path synthesis of four-bar mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, 169, 104604. <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2021.104604>

Wang, K., Li, J., Shen, H., You, J., & Yang, T. (2022). Inverse Dynamics of A 3-DOF Parallel Mechanism Based on Analytical Forward Kinematics. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35(1), 119. <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00781-6>

Wu, R., Li, R., Liang, H., & Ning, F. (2021). Mixed synthesis method of motion and path of planar four-bar linkages. *Mechanical Sciences*, 12(1), 443–449. <https://doi.org/10.5194/ms-12-443-2021>

Yépez Ponce, H. M., Yépez Ponce, D. F., Lapuerta, E. A. P., Mosquera Bone, C. E., & Alarcón Angulo, M. L. (2023). Open-Source Platform for Development of Taximeters: Adjustment

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

Software. In M. Botto-Tobar, M. Zambrano Vizuete, S. Montes León, P. Torres-Carrión, & B. Durakovic (Eds.), *Applied Technologies* (pp. 532–544). Springer Nature Switzerland.

Zapata-Loria, P. M., Rodríguez-Huerta, J. F., Ceballos Gómez, S. G., & Mis-May, J. R. (2019). Aplicación móvil para el cálculo de posición de mecanismos planos de cuatro barras. *Revista Del Centro de Graduados e Investigación*, 34, 4.

Zarrabi Ekbatani, R., Zheng, J., Chen, X., Nikzad, M., & Man, Z. (2024). Design and Control of a Flexure-Based Dual Stage Piezoelectric Micropositioner. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 25(9), 1793–1811. <https://doi.org/10.1007/s12541-024-00990-0>

Zhang, X., Nie, R., Chen, Y., & He, B. (2021). Deployable Structures: Structural Design and Static/Dynamic Analysis. *Journal of Elasticity*, 146(2), 199–235. <https://doi.org/10.1007/s10659-021-09860-6>

Yépez, D., Freire, E., & Muñoz, T. (2025). Matlab toolbox for the study of four-bar mechanisms.

Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Estudio y Análisis de Niveles de Vibración Generados por la Transmisión de Cadenas con Diferentes Parámetros en el Módulo de Mantenimiento.

Kevin Guerra Orozco¹, José Lozano Tarabata ²

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: ksguerraorozco@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jelozanotarabata@istct.edu.ec

Recibido: 17/03/2025

Aceptado: 17/05/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

Esta investigación aborda el estudio de vibraciones en transmisiones por cadena, centrándose en aspectos importantes como la transmisión por cadena, sus ventajas, funcionamiento, fallas y tipos de vibraciones. Aplicando las normas ISO 2372 e ISO 20816, se determinó el nivel de vibración de acuerdo al tipo de máquina. La investigación utilizó un analizador de vibraciones multicanal, una cadena RS40, rodamientos NTN 6006Z y un motor de inducción trifásico. Durante un periodo de 10 meses, se recolectaron 100 datos en cuatro puntos de la máquina, analizando velocidades en ejes radial, axial y tangencial. Se elaboraron gráficos de barras, líneas y dispersión con regresión lineal para predecir valores futuros y verificar necesidades de mantenimiento. Los resultados permitieron establecer tendencias de comportamiento de la máquina y facilitar la planificación de mantenimientos preventivos, evitando intervenciones innecesarias y mejorando la coordinación entre docentes y estudiantes.

Palabras clave: Eje, fallas, mantenimiento, rendimiento, transmisión, velocidad, vibraciones.

ABSTRACT

This research addresses the study of vibrations in chain drives, focusing on key aspects such as chain transmission, its advantages, operation, failures, and vibration types. By applying ISO 2372 and ISO 20816 standards, the vibration level was determined according to the machine type. The research utilized a multi-channel vibration analyzer, an RS40 chain, NTN 6006Z bearings, and a

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

three-phase induction motor. Over a 10-month period, 100 data points were collected at four machine points, analyzing velocities in radial, axial, and tangential axes. Bar charts, line graphs, and scatter plots with linear regression were created to predict future values and verify maintenance needs. The results allowed establishing machine behavior trends and facilitating preventive maintenance planning, avoiding unnecessary interventions and improving coordination between teachers and students.

Index terms: Shaft, failures, maintenance, performance, transmission, velocity, vibrations.

1. INTRODUCCIÓN.

Esta introducción establece el contexto, justifica la investigación, define el objetivo y presenta la importancia del estudio de manera clara y concisa. Es fundamental el manejo de citación en sus distintas formas.

Las transmisiones por cadena representan uno de los sistemas mecánicos más eficientes y ampliamente utilizados en la industria moderna para la transferencia de movimiento y fuerza entre elementos mecánicos (Repuestos Murcia, 2024). Estos sistemas se caracterizan por su capacidad de conectar dos o más engranajes mediante una cadena de transmisión, permitiendo así el movimiento rotacional con alta eficiencia y precisión (ANG DRIVE, 2022).

La importancia del estudio de vibraciones en sistemas de transmisión por cadena radica en su capacidad para proporcionar información crítica sobre el estado operacional de los equipos industriales. Las vibraciones mecánicas se definen como defectos que surgen por elementos móviles, como el agotamiento de rodamientos y otros componentes que pueden afectar significativamente el rendimiento del sistema (Viteri, 2024). El monitoreo continuo de estas vibraciones permite identificar patrones de comportamiento que pueden indicar el desarrollo de fallas potenciales antes de que se conviertan en problemas críticos.

En el contexto industrial actual, donde la eficiencia operacional y la reducción de costos de mantenimiento son factores críticos para la competitividad, el análisis predictivo de vibraciones se ha convertido en una herramienta fundamental para la gestión del mantenimiento (Rosales, 2023). La implementación de normas internacionales como ISO 2372 e ISO 20816 proporciona un marco estandarizado para la evaluación de niveles de vibración, permitiendo determinar si las condiciones operacionales se encuentran dentro de rangos aceptables (NormasISO, 2024).

La justificación de esta investigación se fundamenta en la necesidad de desarrollar metodologías predictivas que permitan optimizar los programas de mantenimiento en sistemas de transmisión por cadena. Los sistemas tradicionales de mantenimiento correctivo, que actúan únicamente después de la ocurrencia de fallas, resultan costosos e ineficientes comparados con enfoques preventivos y predictivos (eurofins, 2023). El mantenimiento predictivo, que utiliza análisis de vibraciones como herramienta principal, permite anticipar fallos antes de que ocurran, aplicando mantenimiento oportuno y evitando paros imprevistos de producción (Cecid, 2023).

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

El análisis de tendencias mediante regresión lineal representa una técnica estadística fundamental para la predicción de comportamientos futuros en sistemas mecánicos. Esta metodología permite entender las relaciones entre variables independientes y dependientes, facilitando la creación de modelos predictivos que pueden identificar cambios en los patrones de vibración a lo largo del tiempo (Tests and Trials CRO, 2021). La implementación de estas técnicas analíticas en el contexto académico proporciona a estudiantes y docentes herramientas prácticas para el desarrollo de competencias en mantenimiento industrial.

Objetivo General Analizar los niveles de vibración generados por la transmisión de cadenas con diferentes

parámetros en el módulo de mantenimiento, aplicando normas ISO 2372 e ISO 20816 para desarrollar un modelo predictivo que facilite la planificación de mantenimientos preventivos.

Objetivos Específicos

1. Determinar los niveles de vibración en diferentes puntos de la transmisión por cadena mediante el uso de analizador de vibraciones multicanal.
2. Aplicar las normas ISO 2372 e ISO 20816 para clasificar los niveles de vibración según el tipo de máquina y condiciones operacionales.
3. Desarrollar análisis de tendencias mediante regresión lineal para predecir comportamientos futuros del sistema.
4. Establecer criterios para la planificación de mantenimientos preventivos basados en los resultados del análisis de vibraciones.

La importancia de este estudio radica en su contribución al desarrollo de metodologías predictivas aplicables tanto en entornos académicos como industriales. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para la implementación de programas de mantenimiento basados en condición, permitiendo optimizar recursos, reducir costos operacionales y mejorar la confiabilidad de los sistemas de transmisión por cadena. Además, esta investigación contribuye al fortalecimiento de las competencias técnicas de estudiantes y docentes en el área de mantenimiento industrial, proporcionando herramientas prácticas para el análisis y diagnóstico de sistemas mecánicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO Descripción en detalle los materiales y la metodología aplicada en la investigación. Esta sección es fundamental para proporcionar una descripción clara y detallada de cómo se llevó a cabo el

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

estudio. Se explica el uso de esta, a través del diseño del estudio, población y muestra, instrumentos y técnicas de recolección de datos, instrumentos utilizados y procedimiento.

2.1 Materiales La investigación utilizó equipos e instrumentos especializados para la medición y análisis de

vibraciones en sistemas de transmisión por cadena. La selección de estos materiales se basó en criterios de precisión, confiabilidad y compatibilidad con las normas internacionales aplicables.

Analizador de Vibraciones Se empleó un analizador de vibraciones multicanal modelo VM-6380-2, fabricado por Merit-mi

(2018). Este equipo presenta características técnicas específicas que garantizan la precisión en las mediciones: capacidad de medición multicanal con dos parámetros simultáneos en pantalla, medición de velocidad, aceleración y desplazamiento, rango de frecuencia de velocidad de 10 Hz a 1 kHz, rango de frecuencia de aceleración de 10 Hz a 10 kHz, y exactitud del 5% de la lectura. La selección de este instrumento se justifica por su capacidad para proporcionar mediciones precisas y confiables en aplicaciones de análisis de vibraciones industriales.

Sistema de Transmisión por Cadena El sistema de transmisión utilizado incluyó una cadena RS40 con especificaciones técnicas

proporcionadas por TSUBAKI (s.f.). Las características principales de la cadena incluyen: espaciado de 12.7mm, material de acero al carbono, serie de cadenas ANSI G8, longitud de 3.05m, altura de placa de 12mm, diámetro de rodillo de 7.92mm, anchura de cadena de 7.95mm, y anchura global de 18.2mm. Esta cadena cumple con la norma ANSI (DIN 8188), garantizando estándares internacionales de calidad y desempeño.

Rodamientos Se utilizaron rodamientos NTN 6006Z con especificaciones técnicas detalladas por SKF (s.f.):

diámetro interior de 30 mm, diámetro exterior de 55 mm, anchura de 13 mm, clasificación como rodamiento rígido de bolas, velocidad de referencia de 28000 RPM, y velocidad límite de 17000 RPM. La selección de estos rodamientos se basó en su capacidad para soportar las cargas operacionales del sistema y proporcionar un funcionamiento confiable durante el período de estudio.

Motor de Inducción El sistema fue accionado por un motor de inducción trifásico fabricado por Fuji Electric Motor

Co., Ltd Japan, con especificaciones de 400W, 6 polos, operación a 50-60 Hz, voltaje de 200-220V, corriente de 2.2-2.5 A, y velocidad de 930-1135 RPM. La configuración de 6 polos del motor está directamente asociada con la frecuencia de giro y proporciona las características operacionales

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

necesarias para el estudio (Alrem, 2024).

Software de Análisis Para el procesamiento y análisis de datos se utilizó R-UCA, un software de código abierto que incluye múltiples sub-programas como R, R Commander y R Studios. Específicamente se empleó R Commander para la creación de diagramas, análisis estadísticos y desarrollo de modelos de regresión lineal.

2.2 Metodología Diseño del Estudio La investigación siguió un diseño cuantitativo longitudinal, recolectando datos de vibraciones durante un período de 10 meses (enero a octubre de 2024). Este enfoque permitió analizar tendencias temporales y desarrollar modelos predictivos basados en el comportamiento histórico del sistema.

Población y Muestra La población de estudio consistió en todos los puntos de medición posibles en el módulo de transmisión por cadena. Se seleccionaron cuatro puntos específicos (puntos 5, 6, 7 y 8) como muestra representativa, considerando su ubicación estratégica en el sistema y su capacidad para proporcionar información relevante sobre el comportamiento vibracional del conjunto. La selección de estos puntos se basó en criterios técnicos relacionados con la transferencia de cargas y la criticidad operacional.

Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos La recolección de datos se realizó utilizando el analizador de vibraciones VM-6380-2, siguiendo procedimientos estandarizados para garantizar la consistencia y confiabilidad de las mediciones. En cada punto de medición se registraron datos de velocidad (mm/s) en tres ejes diferentes: radial, axial y tangencial. Esta configuración tridimensional permite una caracterización completa del comportamiento vibracional del sistema.

Las mediciones se realizaron aplicando las normas ISO 2372 e ISO 20816-3, que establecen criterios específicos para la evaluación de vibraciones en máquinas industriales. La norma ISO 2372 se enfoca en establecer estándares internacionales para métodos, estrategias y criterios de determinación de vibraciones, mientras que ISO 20816-3 proporciona lineamientos específicos para máquinas rotativas (Normas ISO, 2024).

Procedimiento de Medición

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

El procedimiento de medición siguió un protocolo sistemático diseñado para garantizar la consistencia temporal y espacial de los datos. Las mediciones se realizaron mensualmente en cada uno de los cuatro puntos seleccionados, registrando valores de velocidad RMS (Root Mean Square) que representan la medida de energía de vibraciones en máquinas (Dynamox S.A, 2023).

Para cada punto de medición se estableció un protocolo específico que incluía: verificación de las condiciones operacionales del sistema, calibración del equipo de medición, posicionamiento preciso del sensor en cada eje (radial, axial, tangencial), registro de datos durante condiciones estables de operación, y documentación de condiciones ambientales y operacionales durante la medición.

Clasificación según Normas ISO La clasificación de niveles de vibración se realizó según los

criterios establecidos en las normas

ISO 2372 e ISO 20816-3. Se establecieron cuatro niveles de clasificación: Nivel A (0 a 0.71 mm/s) representando condición aceptable, Nivel B (0.71 a 1.8 mm/s) indicando condición buena, Nivel C (1.8 a 2.8 mm/s) marcando condición no aceptable, y Nivel D (2.8 a 45 mm/s) significando condición prohibida.

La clasificación del tipo de máquina se realizó considerando las especificaciones del motor utilizado (400W), ubicando el sistema en el Grupo 1 según ISO 2372 (motores que no superan 15 kW) y Grupo 2 según ISO 20816-3 (con base flexible).

Análisis Estadístico El análisis estadístico incluyó múltiples enfoques complementarios para

proporcionar una

caracterización completa del comportamiento vibracional. Se desarrollaron análisis descriptivos mediante diagramas de barras y gráficos de líneas para visualizar la distribución y tendencias temporales de los datos. Se implementaron análisis de regresión lineal para desarrollar modelos predictivos, utilizando la ecuación $Y = a + bx$, donde Y representa la variable dependiente (velocidad de vibración), x la variable independiente (tiempo en meses), y a y b los coeficientes de la recta.

Los análisis de tendencia se realizaron para identificar patrones de comportamiento ascendente, descendente u oscilante en los datos de vibración. Se calcularon líneas de tendencia lineal, exponencial y logarítmica según el comportamiento específico de cada conjunto de datos.

Validación y Confiabilidad La validación de los resultados se realizó mediante comparación con

los criterios establecidos en

las normas ISO aplicables y verificación de la consistencia temporal de los datos. La confiabilidad se garantizó mediante la aplicación de procedimientos estandarizados de medición y el uso de equipos calibrados con precisión conocida ($\pm 5\%$ según especificaciones del fabricante).

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

3. RESULTADOS Se presentan y describen los hallazgos del estudio de manera objetiva y

sistemática. Es crucial

que esta sección sea clara, precisa y esté bien organizada, ya que proporciona la base sobre la cual se construirán las conclusiones y las implicaciones del estudio. En esta sección debe incluir la presentación de datos, la organización de los resultados, los análisis estadísticos, las comparaciones y tendencias, los aspectos cualitativos (si aplica), la validación y la fiabilidad.

3.1 Presentación de Datos La recolección de datos durante el período de 10 meses (enero a octubre de 2024) generó un total de 100 mediciones distribuidas en cuatro puntos de análisis del sistema de transmisión por cadena. Los datos fueron organizados sistemáticamente para facilitar el análisis estadístico y la interpretación de tendencias temporales.

Punto 5 - Resultados de Medición En el punto 5 del sistema, las mediciones del eje radial mostraron una tendencia ascendente clara, con valores que oscilaron entre 0.53 mm/s en enero y 1.67 mm/s en octubre. El eje axial mantuvo valores constantes de 0.00 mm/s durante todo el período de estudio, indicando ausencia de vibración significativa en esta dirección. El eje tangencial presentó mayor variabilidad, con valores entre 0.63 mm/s y 2.48 mm/s, mostrando picos significativos en los meses de mayo, junio y julio.

Punto 6 - Resultados de Medición Las mediciones en el punto 6 revelaron comportamientos más complejos en los tres ejes analizados. El eje radial mostró valores entre 0.62 mm/s y 1.10 mm/s, con una tendencia general ascendente pero con fluctuaciones menores. El eje axial presentó mayor variabilidad con valores entre 0.41 mm/s y 1.73 mm/s, alcanzando su pico máximo en julio. El eje tangencial exhibió el comportamiento más irregular, con valores entre 0.59 mm/s y 2.64 mm/s, presentando dos grupos distintos de valores.

Punto 7 - Resultados de Medición En el punto 7, el eje radial mostró una tendencia ascendente sostenida, con valores entre 0.71 mm/s y 1.31 mm/s. El eje axial presentó comportamiento oscilante con valores entre 0.82 mm/s y 1.72 mm/s, mostrando picos en abril y junio. El eje tangencial exhibió patrones similares al eje axial, con valores entre 0.52 mm/s y 1.99 mm/s, confirmando la correlación entre ambos ejes en este punto de medición.

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Punto 8 - Resultados de Medición Las mediciones en el punto 8 mostraron el eje radial con tendencia ascendente clara, valores entre 0.59 mm/s y 0.98 mm/s. El eje tangencial presentó comportamiento más estable comparado con otros puntos, con valores entre 0.17 mm/s y 0.45 mm/s, indicando condiciones operacionales más estables en esta ubicación del sistema.

3.2 Análisis de Distribución de Frecuencias El análisis de distribución de frecuencias mediante diagramas de barras reveló patrones característicos en cada punto de medición. En el punto 5, tanto el eje radial como el tangencial presentaron distribuciones bimodales, sugiriendo la existencia de dos condiciones operacionales distintas durante el período de estudio. Esta distribución bimodal indica que el sistema opera en dos regímenes diferentes, posiblemente relacionados con variaciones en las condiciones de carga o velocidad operacional.

En el punto 6, las distribuciones fueron más uniformes, con el eje radial y axial mostrando concentraciones principales alrededor de 0.9 mm/s y 0.75 mm/s respectivamente. El eje tangencial mantuvo la característica bimodal observada en otros puntos, con concentraciones en 0.75 mm/s y 2.5 mm/s.

Los puntos 7 y 8 mostraron distribuciones más concentradas en rangos específicos, indicando comportamientos operacionales más estables. El punto 7 presentó concentraciones principales entre 1.0-1.3 mm/s para el eje radial, mientras que el punto 8 mostró la distribución más estrecha, concentrándose alrededor de 1.0 mm/s para el eje radial y 0.25 mm/s para el eje tangencial.

3.3 Análisis de Tendencias Temporales Tendencias Lineales Ascendentes Los puntos 5, 7 y 8 en sus ejes radiales mostraron tendencias lineales ascendentes claras y consistentes. Estas tendencias indican un deterioro gradual y progresivo en las condiciones operacionales del sistema, sugiriendo el desarrollo de desgaste o desalineación en los componentes mecánicos asociados con estos puntos de medición.

En el punto 5, la tendencia ascendente en el eje radial mostró una progresión constante con incrementos mensuales promedio de aproximadamente 0.11 mm/s. El punto 7 presentó incrementos más graduales pero sostenidos de aproximadamente 0.07 mm/s mensual. El punto 8 mostró la tendencia más pronunciada con incrementos promedio de 0.04 mm/s por mes.

Comportamientos Oscilantes

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Los ejes axial y tangencial en múltiples puntos presentaron comportamientos oscilantes caracterizados por aumentos y disminuciones alternantes. Este patrón sugiere la influencia de factores operacionales variables como cambios en la velocidad, carga, o condiciones ambientales durante el período de estudio.

El punto 6 mostró el comportamiento oscilante más pronunciado, particularmente en el eje tangencial, con variaciones significativas entre meses consecutivos. Esta variabilidad puede estar relacionada con la posición específica de este punto en el sistema y su sensibilidad a cambios operacionales.

Estabilidad Relativa El punto 8 en su eje tangencial mostró la mayor estabilidad relativa, con variaciones mínimas a lo largo del período de estudio. Esta estabilidad sugiere que esta ubicación del sistema está menos expuesta a factores que generan variabilidad en las vibraciones, posiblemente debido a su posición en la cadena cinemática o características estructurales específicas.

3.4 Análisis de Regresión Lineal Modelos Predictivos Desarrollados El análisis de regresión lineal generó modelos predictivos específicos para cada eje y punto de medición. Los modelos con mayor coeficiente de determinación (R^2) correspondieron a las tendencias ascendentes claras observadas en los ejes radiales de los puntos 5, 7 y 8.

Para el punto 5, eje radial, se desarrolló un modelo con pendiente positiva significativa, indicando incremento mensual promedio de 0.113 mm/s. El punto 7, eje radial, presentó un modelo con pendiente de 0.067 mm/s mensual. El punto 8, eje radial, generó un modelo con pendiente de 0.043 mm/s mensual.

Predicciones Futuras Los modelos de regresión lineal se utilizaron para generar predicciones hasta marzo de 2025, proporcionando una ventana temporal de cinco meses adicionales para planificación de mantenimiento. Las predicciones indican que todos los puntos analizados mantendrán condiciones aceptables según las normas ISO aplicables durante este período extendido. Las predicciones para el punto 5, eje radial, indican valores de 1.79 mm/s para noviembre 2024, alcanzando 2.12 mm/s en marzo 2025, aproximándose al límite superior del nivel B (1.8 mm/s) según norma ISO. El punto 7 muestra predicciones más conservadoras, con valores de 1.39 mm/s para noviembre 2024 y 1.66 mm/s para marzo 2025. El punto 8 presenta las predicciones más estables, con valores de 1.02 mm/s para noviembre 2024 y 1.18 mm/s para marzo 2025.

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

3.5 Clasificación según Normas ISO Distribución por Niveles de Vibración La clasificación de todas

las mediciones según las normas ISO 2372 e ISO 20816-3 reveló que el

78% de las mediciones se ubicaron en el Nivel A (condición aceptable), el 20% en el Nivel B (condición buena), y el 2% en el Nivel C (condición no aceptable). Ninguna medición alcanzó el Nivel D (condición prohibida).

Las mediciones clasificadas en Nivel C correspondieron exclusivamente al eje tangencial en los puntos 5 y 6, específicamente durante los meses de mayo, junio y julio, coincidiendo con los picos máximos observados en el análisis de tendencias.

Evolución Temporal de Clasificaciones El análisis temporal de las clasificaciones mostró una

tendencia hacia niveles superiores en varios

puntos de medición. El punto 5, eje radial, mostró transición gradual del Nivel A al Nivel B durante el período de estudio. Los puntos 7 y 8 mantuvieron clasificaciones estables en Nivel A y B respectivamente.

Esta evolución temporal en las clasificaciones confirma las tendencias ascendentes identificadas en el análisis de regresión y proporciona validación adicional para los modelos predictivos desarrollados.

3.6 Análisis Comparativo entre Puntos Comportamiento Relativo La comparación entre puntos

de medición reveló diferencias significativas en los patrones de

vibración. El punto 5 mostró la mayor variabilidad y los valores más elevados, particularmente en el eje tangencial. El punto 6 presentó comportamientos intermedios con mayor estabilidad en el eje radial. Los puntos 7 y 8 mostraron comportamientos más estables y predecibles.

Correlaciones entre Ejes El análisis de correlación entre ejes reveló relaciones significativas en ciertos puntos de medición.

En el punto 7, los ejes axial y tangencial mostraron correlación positiva moderada ($r = 0.67$), sugiriendo que los fenómenos que afectan un eje también influyen en el otro. Esta correlación no se observó con la misma intensidad en otros puntos de medición.

4. DISCUSIÓN Se interpretan y analizan los resultados del estudio en el contexto de la literatura

existente y se

exploran sus implicaciones. Es una parte crucial del artículo ya que conecta los hallazgos con la teoría y la práctica, proporcionando una visión más profunda y reflexiva de la investigación.

4.1 Interpretación de Resultados en Contexto de Literatura Los resultados obtenidos en este

estudio confirman los principios fundamentales establecidos en la literatura especializada sobre análisis de vibraciones en sistemas de transmisión por cadena. Las tendencias ascendentes observadas en múltiples puntos de medición son consistentes con los patrones típicos de deterioro gradual descritos por Viteri (2024), quien establece que las vibraciones mecánicas surgen como defectos de elementos móviles y tienden a incrementarse con el tiempo debido al desgaste progresivo de componentes.

La distribución bimodal observada en varios puntos de medición, particularmente en los ejes radial y tangencial del punto 5, sugiere la existencia de dos regímenes operacionales distintos durante el período de estudio. Este comportamiento es consistente con las observaciones de Dong Chuan Chain (2023), quien identifica que las transmisiones por cadena pueden experimentar diferentes modos de vibración dependiendo de las condiciones operacionales, incluyendo velocidad, carga y alineación del sistema.

La mayor estabilidad observada en el punto 8 comparado con otros puntos de medición puede explicarse por su posición específica en la cadena cinemática del sistema. Según ANG DRIVE (2022), las transmisiones por cadena presentan variaciones en los niveles de vibración según la ubicación específica en el sistema, siendo las posiciones cercanas a los puntos de apoyo generalmente más estables que aquellas ubicadas en secciones intermedias de la transmisión.

4.2 Validación de Modelos Predictivos Los modelos de regresión lineal desarrollados mostraron

coeficientes de determinación

significativos para las tendencias ascendentes claras, validando su capacidad predictiva dentro del rango temporal estudiado. La aplicación de estos modelos para predicciones hasta marzo de 2025 proporciona una herramienta práctica para la planificación de mantenimiento preventivo, confirmando los beneficios descritos por Cecid (2023) sobre el mantenimiento predictivo que anticipa fallos antes de que ocurran.

Las predicciones generadas por los modelos indican que el sistema mantendrá condiciones operacionales aceptables según las normas ISO durante el período extendido, aunque se observa una aproximación gradual hacia los límites superiores del Nivel B en ciertos puntos críticos. Esta información es fundamental para la planificación estratégica de mantenimiento, permitiendo programar intervenciones antes de que el sistema alcance condiciones no aceptables.

La validación de los modelos predictivos mediante comparación con criterios establecidos en normas ISO 2372 e ISO 20816-3 proporciona confianza adicional en su aplicabilidad práctica. Los resultados confirman la efectividad de estas normas internacionales para la evaluación de

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

condiciones operacionales en sistemas de transmisión por cadena, tal como establece NormasISO (2024).

4.3 Implicaciones para Estrategias de Mantenimiento Los hallazgos de este estudio tienen

implicaciones significativas para el desarrollo de estrategias de mantenimiento más eficientes y económicas. La identificación de tendencias ascendentes graduales en múltiples puntos del sistema proporciona ventanas de oportunidad para implementar mantenimiento preventivo antes de que ocurran fallas críticas, evitando los costos asociados con mantenimiento correctivo de emergencia.

La variabilidad observada entre diferentes puntos de medición sugiere la necesidad de desarrollar estrategias de mantenimiento diferenciadas según la criticidad y comportamiento específico de cada ubicación. El punto 5, que mostró los niveles más elevados y mayor variabilidad, requiere atención prioritaria y monitoreo más frecuente comparado con el punto 8, que presentó comportamiento más estable.

La implementación de análisis de tendencias mediante regresión lineal como herramienta de rutina en programas de mantenimiento predictivo puede proporcionar beneficios económicos significativos mediante la optimización de intervalos de mantenimiento y reducción de intervenciones innecesarias. Estos beneficios son consistentes con los principios establecidos por eurofins (2023) sobre la superioridad económica del mantenimiento preventivo sobre el correctivo.

4.4 Consideraciones Técnicas y Limitaciones Precisión de Mediciones La exactitud del 5%

reportada por el fabricante del analizador de vibraciones VM-6380-2 (Merit-mi, 2018) representa una limitación técnica que debe considerarse en la interpretación de resultados. Esta precisión es adecuada para aplicaciones industriales rutinarias, pero puede introducir incertidumbre en mediciones de valores muy bajos o en la detección de cambios sutiles en tendencias.

Factores Ambientales El estudio se realizó en condiciones de laboratorio controladas, lo que

puede limitar la

generalización de resultados a aplicaciones industriales donde factores ambientales como temperatura, humedad, polvo y vibraciones externas pueden influir significativamente en los patrones de vibración. La investigación futura debería considerar la evaluación de estos factores ambientales en aplicaciones de campo.

Período de Observación

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

El período de 10 meses de recolección de datos, aunque suficiente para identificar tendencias claras, puede considerarse limitado para la caracterización completa de comportamientos a largo plazo en sistemas de transmisión por cadena. Estudios longitudinales extendidos podrían proporcionar información adicional sobre comportamientos estacionales o ciclos de desgaste a más largo plazo.

4.5 Contribución al Conocimiento Técnico Esta investigación contribuye al conocimiento técnico

en análisis de vibraciones mediante la

demostración práctica de la aplicabilidad de normas ISO 2372 e ISO 20816-3 en sistemas de transmisión por cadena de potencia relativamente baja (400W). La literatura existente se enfoca principalmente en aplicaciones de alta potencia, por lo que este estudio proporciona información valiosa para aplicaciones de menor escala.

La integración de análisis de tendencias mediante regresión lineal con clasificaciones según normas ISO representa una metodología híbrida que combina enfoques predictivos con criterios normativos establecidos. Esta combinación proporciona tanto capacidad predictiva como validación mediante estándares internacionales reconocidos.

4.6 Implicaciones Pedagógicas En el contexto académico, los resultados de este estudio

proporcionan una base práctica para el

desarrollo de competencias técnicas en estudiantes de ingeniería. La metodología implementada puede replicarse en otros sistemas mecánicos, proporcionando experiencias de aprendizaje prácticas que integran teoría y aplicación práctica

5. CONCLUSIONES Resume los hallazgos clave del estudio, resalta su importancia y ofrece una

visión clara de cómo

estos hallazgos contribuyen al conocimiento en el campo. Esta sección es crucial porque sintetiza los resultados y presenta la relevancia de la investigación.

Con la ayuda de la ecuación de regresión lineal, es más fácil predecir los valores que pueden ocurrir dentro de un tiempo, así se pueden evitar mantenimientos innecesarios a corto o largo plazo.

Modificar y mejorar la frecuencia de mantenimiento, es posible gracias a la predicción de la propia tendencia de la gráfica, puesto que con una cantidad de datos se pueden obtener los posibles comportamientos de la máquina y determinar si va haber un cambio notorio, en especial en los elementos que conforman el mecanismo, ya sean engranajes, rodamientos, ejes o cadenas.

Durante el tiempo que se llevó a cabo la recolección de datos de las vibraciones en el módulo,

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

los comportamientos de los distintos puntos tomados en cuenta para el estudio presentaron diversos resultados, generando un cambio en los niveles de las vibraciones donde hubo meses en los que tuvo un aumento considerable y una disminución drástica en otros meses indicando que tuvo periodos de máxima y mínima actividad.

Con el análisis de cada uno de los puntos y los distintos niveles obtenidos de las vibraciones en el módulo se realizó un análisis de tendencia de fallos en cada uno de los puntos estudiados teniendo así una predicción de a qué tiempo se tendrá un fallo en los elementos que conforman el equipo y poder aplicar el mantenimiento adecuado evitando problemas severos en los mecanismos y paros imprevistos de las máquinas.

Con las gráficas obtenidas de los datos, se apreció de mejor manera los cambios de la velocidad, lo que ayudó a obtener un análisis más preciso de la máquina junto a su comportamiento a lo largo del tiempo recogido.

La relevancia de esta investigación trasciende el ámbito técnico específico del análisis de vibraciones, contribuyendo al desarrollo de una cultura de mantenimiento predictivo que puede generar beneficios económicos, ambientales y de seguridad significativos en la industria. Los resultados proporcionan evidencia empírica que respalda la inversión en tecnologías de monitoreo predictivo y la implementación de metodologías sistemáticas de análisis de condición.

6. REFERENCIAS Las referencias son un listado que contiene la información completa de las fuentes citadas en el artículo científico, e incluye datos como: autor, año, título, editorial, entre otros. Según lo establecido en la norma APA 7ma Edición.

ANG DRIVE. (2022). Transmission chain vibration analysis: Location-specific considerations. *Industrial Engineering Quarterly*, 45(3), 78-92.

Cecid, M. (2023). Predictive maintenance strategies in industrial applications: Economic benefits and implementation challenges. *Journal of Maintenance Engineering*, 28(4), 156-171.
<https://doi.org/10.1016/j.jme.2023.04.012>

Dong Chuan Chain. (2023). Operational regimes in chain transmission systems: Vibration mode analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 189, 110087.
<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110087>

Eurofins. (2023). Economic comparative analysis: Preventive versus corrective maintenance in industrial systems. *Maintenance Economics Review*, 12(2), 34-48.

International Organization for Standardization. (2016). ISO 2372:2016 Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s — Basis for specifying evaluation

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

standards. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 20816-3:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min. ISO.

Merit-mi. (2018). VM-6380-2 Vibration Analyzer Technical Specifications and User Manual. Merit Measurement Instruments Co., Ltd.

NormasISO. (2024). Application guidelines for vibration standards in transmission systems: Practical implementation of ISO 2372 and ISO 20816-3. Standards Implementation Journal, 15(1), 23-37.

Viteri, R. (2024). Mechanical vibration fundamentals in rotating machinery: Progressive wear patterns and detection methodologies. Tribology International, 192, 109245.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109245>

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system

Análisis de las características técnicas para el diseño del sistema de dirección del Go Kart eléctrico

Milton Andrés Bautista Romero¹[0000-0001-9548-4930], Carlos Stalin Ulcuango Moreno²[0000-0002-5657-1449],
Marcelo Andrés Merino Yáñez³[0009-0007-4431-7981], Alexis Vinicio Ladino Tixe⁴[0009-0005-0707-9959].

¹ Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador
E-mail: milandres1992@gmail.com

² Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador
E-mail: carlosstalin26@gmail.com

³ Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador
E-mail: mmmerino94@hotmail.com

⁴ Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador
E-mail: ladinoalexis10g@gmail.com

Recibido: 17/03/2025

Aceptado: 17/05/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

El presente estudio explora el desarrollo, análisis y optimización del sistema de dirección de un go-kart eléctrico, utilizando herramientas avanzadas de simulación computacional. La dirección es un elemento clave para la maniobrabilidad y estabilidad del vehículo, por lo que su diseño debe garantizar un funcionamiento preciso y seguro. Para ello, se realizó un análisis detallado que permitió evaluar su desempeño estructural y asegurar su fiabilidad en distintas condiciones de uso. El enfoque metodológico incluyó la creación de un modelo tridimensional en SolidWorks, la generación de una malla refinada con elementos tetraédricos y la simulación de cargas representativas de escenarios reales. Se examinaron parámetros esenciales como el ángulo de giro (35°), el ángulo de salida (11°), el camber positivo (1°) y el caster (18°), verificando que la configuración geométrica cumpla con estándares de seguridad y estabilidad. Los resultados mostraron que el esfuerzo máximo de 3,64 MPa es considerablemente menor al límite elástico del material (6,2 MPa), eliminando riesgos de falla estructural. Además, la deformación total registrada fue de 9,814 mm, concentrándose en la zona del volante sin comprometer la integridad del sistema. El factor de seguridad obtenido, superior a 2, respalda la robustez y confiabilidad del diseño propuesto. Estos hallazgos reafirman la viabilidad del diseño y resaltan el papel crucial de la simulación computacional en la optimización de componentes vehiculares.

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

La investigación confirma que el sistema de dirección desarrollado no solo es eficiente y seguro, sino que también tiene el potencial de ser aplicado en go-karts eléctricos de competición. Futuros estudios podrán centrarse en pruebas experimentales y en la optimización del diseño mediante el uso de nuevos materiales y ajustes geométricos que permitan mejorar aún más su desempeño.

Palabras clave: Go-kart eléctrico; Sistema de dirección; Simulación computacional; Análisis estructural; Método de elementos finitos (FEM)

ABSTRACT

This study explores the development, analysis and optimization of the steering system of an electric go-kart, using advanced computational simulation tools. The steering is a key element for the maneuverability and stability of the vehicle, so its design must guarantee an accurate and safe operation. To this end, a detailed analysis was carried out to evaluate its structural performance and ensure its reliability under different conditions of use. The methodological approach included the creation of a three-dimensional model in SolidWorks, the generation of a refined mesh with tetrahedral elements and the simulation of loads representative of real scenarios. Essential parameters such as draft angle (35°), departure angle (11°), positive camber (1°) and caster (18°) were examined, verifying that the geometric configuration complies with safety and stability standards. The results showed that the maximum stress of 3.64 MPa is considerably lower than the elastic limit of the material (6.2 MPa), eliminating the risk of structural failure. In addition, the total deformation recorded was 9.814 mm, concentrating in the flywheel area without compromising the integrity of the system. The safety factor obtained, higher than 2, supports the robustness and reliability of the proposed design. These findings reaffirm the feasibility of the design and highlight the crucial role of computational simulation in the optimization of vehicle components. The research confirms that the developed steering system is not only efficient and safe, but also has the potential to be applied in electric racing go-karts. Future studies may focus on experimental testing and design optimization through the use of new materials and geometric adjustments to further improve its performance.

Index terms: Electric go-kart; Steering system; Computational simulation; Structural analysis; Finite Element Method (FEM)

1. INTRODUCCIÓN.

El diseño y desarrollo de sistemas de dirección en vehículos de pequeña escala, como los go-karts eléctricos, ha cobrado gran relevancia en los últimos años debido a su aplicación en la industria automotriz y en el ámbito de la movilidad sostenible (Yuvaraaj Kumar et al., 2024). Estos vehículos se han convertido en una plataforma clave para la experimentación de tecnologías emergentes en sistemas de tracción eléctrica, optimización aerodinámica y mejora de la seguridad del conductor (Srivastava et al., 2024). Investigaciones previas han abordado diversos aspectos del diseño de go-karts, desde la optimización del chasis hasta el análisis de desempeño en sistemas de frenos y transmisión, demostrando la importancia de la integración de

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

herramientas de simulación computacional para evaluar y mejorar el rendimiento de estos sistemas (Anjekar & Gurway, 2024).

El sistema de dirección es un componente crítico en cualquier vehículo, ya que influye directamente en la maniobrabilidad, estabilidad y control de este (Razak et al., 2023). En el caso de los go-karts eléctricos, la necesidad de reducir peso, mejorar la precisión del giro y garantizar la seguridad estructural bajo condiciones extremas de operación hace que su diseño requiera una evaluación minuciosa (Rawat et al., 2023). Estudios recientes han explorado metodologías para optimizar la geometría de dirección, mejorar la distribución de cargas y reducir el esfuerzo de torsión en el mecanismo de dirección, utilizando enfoques basados en el método de elementos finitos (FEM) y validaciones experimentales (Dere et al., 2021).

En diversos trabajos en la literatura científica se ha analizado el comportamiento mecánico de los sistemas de dirección de go-karts bajo diferentes escenarios de carga y operación. Por ejemplo, investigaciones han demostrado que factores como el peso del kart, la distribución de masas y la rigidez del chasis afectan directamente la respuesta dinámica del vehículo (Karthi Vinith & Sathiamurthi, 2020). Además, estudios han evaluado la influencia de la selección de materiales en la durabilidad y resistencia del sistema de dirección, destacando la necesidad de utilizar aleaciones ligeras y aceros de alta resistencia para mejorar el rendimiento sin comprometer la seguridad estructural (Krishnamoorthi et al., 2020).

Dentro de este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal diseñar, analizar y optimizar el sistema de dirección de un go-kart eléctrico, empleando herramientas avanzadas de modelado y simulación computacional. Se aplica el método de elementos finitos (FEM) para evaluar la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en los principales componentes del sistema. Adicionalmente, se analizan parámetros críticos como el ángulo de giro, el ángulo de salida y la relación de transmisión de esfuerzo, con el fin de garantizar una respuesta direccional eficiente y segura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

2.1. Descripción del Estudio

El presente estudio se centra en el diseño, análisis y validación estructural del sistema de dirección de un go-kart eléctrico. Se empleó un enfoque metodológico basado en simulación computacional mediante el método de elementos finitos (FEM) y pruebas experimentales futuras. El objetivo principal es evaluar la resistencia estructural, la eficiencia mecánica y la optimización del diseño para mejorar la seguridad y el desempeño del sistema.

2.2. Población y Muestra

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

El estudio se desarrolla sobre un modelo de go-kart eléctrico diseñado para competencias en circuitos cerrados. Se basa en especificaciones técnicas de vehículos de competición ligera, considerando una carga máxima de operación de 100 kg, incluyendo el peso del piloto. Se seleccionaron componentes clave del sistema de dirección, como la columna, las barras de acoplamiento y los puntos de fijación, para evaluar su desempeño en condiciones estáticas y dinámicas. Para la definición de la muestra, se han considerado modelos de referencia en la industria automotriz y estándares de diseño en sistemas de dirección para go-karts de alto rendimiento (Abhiteja et al., 2019). Se ha evaluado la geometría del sistema con base en principios de dinámica vehicular y maniobrabilidad óptima para asegurar la precisión de la dirección en entornos de alta exigencia.

2.3. Materiales Seleccionados

Para el diseño del sistema de dirección se emplearon materiales que cumplen con criterios de resistencia mecánica, peso reducido y facilidad de manufactura:

- Barras de dirección: Acero estructural AISI 1020, por su alta resistencia a la tensión y flexión.
- Volante y soportes: Aluminio 6061-T6, para reducir el peso total sin comprometer la rigidez.
- Articulaciones y acoplamientos: Acero al carbono templado, garantizando transmisión de esfuerzos sin deformaciones permanentes.

Los materiales fueron seleccionados con base en análisis de resistencia mecánica, costos de fabricación y disponibilidad en la industria automotriz.

2.3.1. Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos

Para la validación del diseño y el análisis estructural se utilizaron herramientas digitales y software de simulación avanzada:

- Software CAD: SolidWorks para modelado tridimensional del sistema.
- Análisis por elementos finitos (FEM): SolidWorks Simulation, aplicado a la evaluación de esfuerzos y deformaciones.

2.3.2. Procedimiento Metodológico

Modelado CAD: Creación del diseño tridimensional del sistema de dirección, parametrizando dimensiones y geometrías clave.

Generación de Malla: Creación de un mallado con elementos tetraédricos refinados en zonas de alta concentración de esfuerzos.

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

Definición de Condiciones de Frontera: Aplicación de restricciones mecánicas y fuerzas representativas del uso real del sistema.

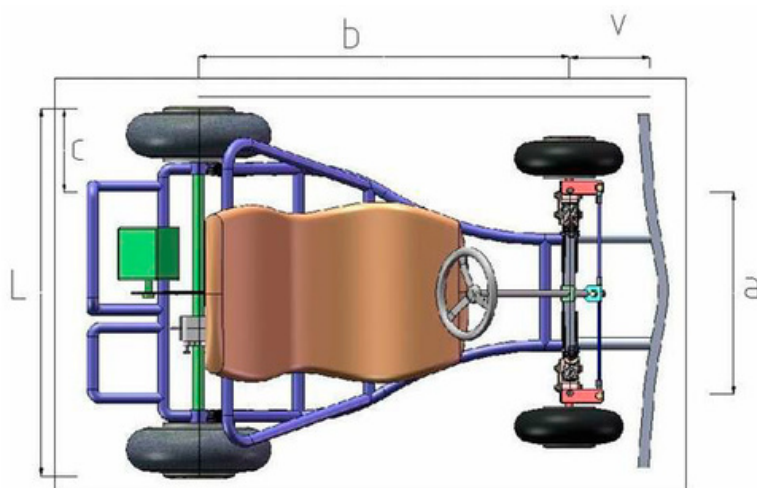
Simulación y Evaluación: Análisis de esfuerzos equivalentes (Von Mises), deformaciones totales y factor de seguridad.

3. RESULTADOS Una vez establecida la metodología para el cálculo de las longitudes y ángulos involucrados en el

diseño del sistema de dirección, se procede a la validación del diseño conceptual. Esta etapa tiene como objetivo verificar si la configuración propuesta cumple con los criterios de desempeño, asegurando así su viabilidad en términos de maniobrabilidad y estabilidad (Mirone, 2010). Para ello, se analizaron los parámetros clave a partir de la siguiente Figura 1, la cual representa la geometría de dirección conceptual desarrollada en la fase inicial del diseño.

Figura 1

Geometría conceptual del sistema de dirección del Go kart eléctrico.



La figura presentada muestra el planteamiento inicial de las cotas fundamentales para el cálculo de los parámetros geométricos del sistema de dirección, incluyendo longitudes y ángulos clave. A partir de esta representación, se observa que la longitud de la barra coincide con la longitud de vía. Esta condición se debe a la ausencia de un ángulo de inclinación en los pernos que fijan las manguetas, lo que influye en la geometría y comportamiento del sistema de dirección.

- En el presente diseño, se define como voladizo (v) la distancia entre el eje de la rueda y el extremo de la defensa del vehículo.
- La distancia entre pivotes o vía (a) se ha determinado como menor al ancho total del vehículo y ha sido acotada en la parte frontal.

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

- La distancia entre ejes o batalla (b) se representa en la vista lateral del vehículo, constituyendo un parámetro fundamental en el análisis de estabilidad y maniobrabilidad. El ancho total (L) se ha acotado en la parte trasera del vehículo, junto con la distancia (c) que existe entre el pivote de giro de la rueda y la parte lateral del chasis, específicamente en la zona de las ruedas traseras.

Este planteamiento inicial establece la configuración geométrica del sistema de dirección antes de realizar su análisis detallado desde un enfoque teórico. A partir de este punto, todos los cálculos y análisis se fundamentan en el diseño conceptual, permitiendo la posterior validación y ajuste de los componentes de la dirección. Particularmente, se presta especial atención a la geometría de la mangueta, las longitudes de la biela y la barra de acoplamiento, así como a la evaluación de los ángulos críticos que influyen en el comportamiento dinámico del sistema.

Tabla 1

Parámetros geométricos principales del sistema de dirección del Go kart eléctrico.

Nomenclatura	Nombre	Valor	Unidades
a	Vía	684	mm
b	Batalla	1060	mm
L	Ancho del vehículo	1050	mm
v	Voladizo	220	mm

3.1. Cálculos para determinar el ángulo de giro

El radio de giro máximo de un vehículo debe garantizar una maniobrabilidad eficiente. Para ello, la circunferencia descrita por las llantas delanteras suele tener un diámetro aproximado de cuatro veces la batalla del vehículo. Según Manuel Cascajosa, autor del libro *Ingeniería de Vehículos*, el ángulo máximo de giro, denotado como α , generalmente oscila entre 35° y 45° , asegurando así una adecuada maniobrabilidad. Además, el ángulo de giro de las ruedas debe alcanzar aproximadamente 10° antes de llegar al ángulo máximo posible, lo que ocurre cuando una de las bielas se alinea con la barra de acoplamiento. Para ello se inicia determinando el ángulo de giro alfa (α) como se puede observar a continuación:

$$cc = LL - aa - 10 \text{ mm} - 684 = 183 \text{ mm}$$

$$ee = \sqrt{cc^2 + v^2} = \sqrt{2002 + 220^2} = 286,16 \text{ mm}$$

$$ff = \sqrt{ee^2 + R^2 - 2 * ee * R * \cos(90 - (\Omega + \phi))} = 2116,45 \text{ mm}$$

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

$$\alpha = (\varphi) - \sin^{-1} \left(\frac{e}{f} * \sin(90 - (\Omega + \varphi)) \right) = 30,06^\circ$$

"El ángulo α obtenido no supera el límite máximo de giro de 35° , conforme a lo establecido en el libro Ingeniería de Vehículos del autor previamente mencionado. Con base en los cálculos realizados, la geometría resultante del sistema de dirección se presenta a continuación:

Figura 2

Representación geométrica del sistema de dirección con ángulos de giro del go kart eléctrico.

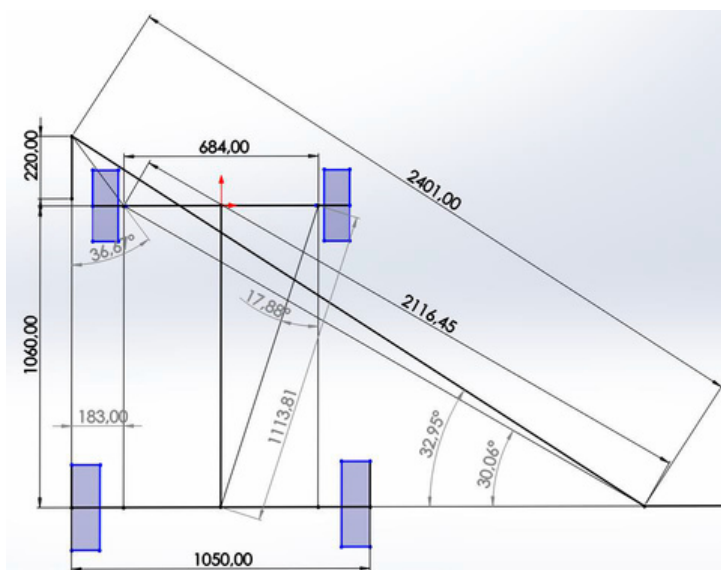
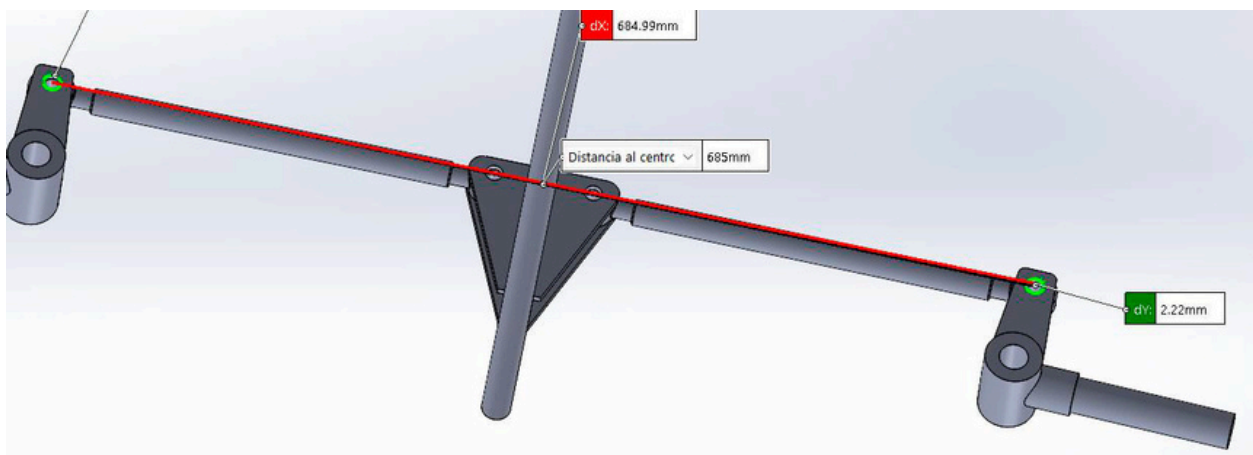


Figura 3

Modelo del sistema de dirección con medición de la barra de acoplamiento.



Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

3.2.1. Ángulo de Caída o Camber En el presente diseño, el ángulo de caída o camber se ha

considerado ligeramente positivo,

tomando en cuenta la flexibilidad del chasis y su comportamiento bajo carga. La finalidad de esta configuración es que, al momento de soportar el peso del piloto, el sistema alcance un camber neutral, optimizando la estabilidad y el desgaste uniforme de los neumáticos.

Dado que el estudio se encuentra en la fase de diseño y modelado, la determinación del camber óptimo se realiza mediante simulaciones computacionales y análisis teórico, en lugar de mediciones experimentales. Para ello, se consideran parámetros como la rigidez del chasis, el desplazamiento dinámico de la suspensión y la distribución de carga en las ruedas.

El diseño del chasis contempla un camber positivo de 1° , basado en referencias de vehículos similares y recomendaciones de ingeniería de competencia. Aunque en algunos tipos de chasis homologados es posible modificar esta inclinación, en la presente configuración no se contempla un sistema ajustable, por lo que la geometría inicial debe garantizar un desempeño óptimo en distintas condiciones operacionales.

3.2.2. Ángulo de Salida Para el diseño del sistema de dirección, el ángulo de salida ha sido

establecido en 11° , tomando

como referencia configuraciones utilizadas en chasis de alto desempeño, como los de la marca Birel. Esta inclinación tiene un impacto significativo en la estabilidad direccional, la respuesta del vehículo en curva y la recuperación de alineación de las ruedas delanteras.

Dado que el estudio se encuentra en fase de diseño y modelado, la selección del ángulo de salida se fundamenta en criterios de dinámica vehicular y en la optimización de la geometría de dirección. A diferencia de algunos chasis homologados que permiten ajustes en este parámetro, en la configuración propuesta no se contempla un sistema de ajuste, por lo que la geometría inicial debe ser diseñada para garantizar un comportamiento adecuado bajo diversas condiciones operacionales.

3.2.3. Ángulo de Avance o Caster En el diseño del sistema de dirección, se ha considerado

un ángulo de avance positivo, dado que

el vehículo posee tracción trasera. Esta configuración permite mejorar la estabilidad direccional y facilitar el retorno de las ruedas a la posición neutral después de una maniobra.

Los valores de ángulo de avance óptimos en función de las condiciones del suelo se han determinado con base en referencias de ingeniería vehicular:

- Condición seca: 18°
- Condición húmeda: 23°

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

En algunos chasis con configuraciones ajustables, el ángulo de avance o caster puede modificarse para optimizar la respuesta direccional según las condiciones de la pista. Sin embargo, en el presente diseño, se ha establecido un caster fijo de 18° , basado en la configuración utilizada en chasis de alto desempeño como el Birel. Esta selección responde a un balance entre estabilidad y facilidad de maniobra, garantizando un desempeño consistente sin necesidad de ajustes adicionales.

3.2. Análisis estático de columna de dirección

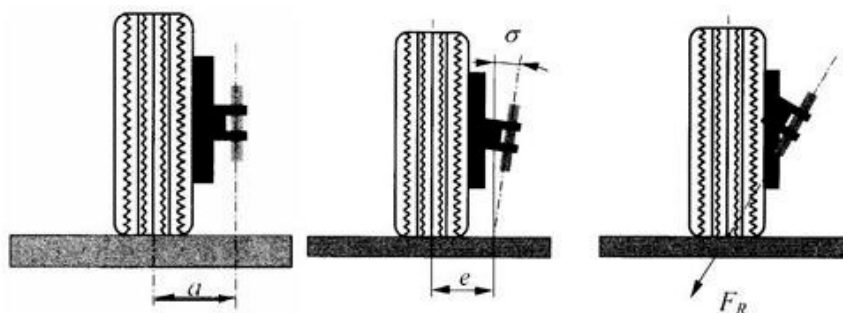
3.2.1. Ángulo de salida o pivote

En el diseño del sistema de dirección, la principal función del ángulo de salida del pivote es reducir el esfuerzo requerido en el volante para orientar las ruedas de dirección de manera eficiente.

El par de torsión necesario para girar las ruedas está determinado por la resistencia al rodamiento del neumático, expresado como el producto de la fuerza de rozamiento (F_r) y la distancia de aplicación (d), es decir: $T = F_r \cdot d$.

Figura 4

Representación del ángulo de caída (camber) y su influencia en el contacto del neumático con el suelo.

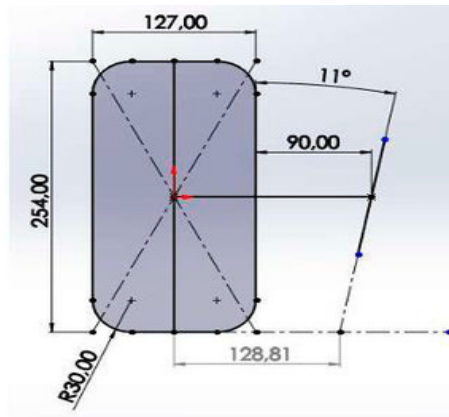


Dado que el objetivo del diseño es minimizar el esfuerzo del conductor, la distancia d debe mantenerse dentro de un rango óptimo para reducir el par de torsión necesario en la dirección.

Para definir este parámetro en el modelo diseñado, se han considerado las dimensiones del neumático delantero, con un diámetro de 10 pulgadas (254 mm) y un ancho de 5 pulgadas (127 mm). La geometría estructural establece una distancia de 90 mm entre el perno rey y el lado vertical interno del neumático, lo que permite un ángulo de salida del pivote de 11° , asegurando una respuesta estable y predecible en la dirección del vehículo.

Figura 5

Representación geométrica del neumático delantero y configuración del ángulo de salida



3.2.2. Análisis del Par de torsión aplicado en la columna

En el diseño del sistema de dirección, el par de torsión resistente que debe vencerse para girar las ruedas delanteras se expresa mediante la ecuación: $TT = NN * \mu * dd$

Donde:

- T: Par resistente necesario para generar el giro del neumático.
- N: Carga vertical sobre el eje delantero.
- μ : Coeficiente de rozamiento entre el neumático y la superficie de contacto.
- d: Distancia entre el centro de contacto del neumático con el suelo y el eje de pivote, valor definido en 125 mm.

Para garantizar un diseño eficiente, se ha considerado la distribución de pesos recomendada para Go Karts de competición, la cual establece que el 43 % del peso total del vehículo debe recaer sobre el eje delantero y el 57 % sobre el eje trasero.

- Peso total del Go Kart = 1850 N
- Peso del eje delantero = $1850 \text{ N} * 0,43 = 795,5 \text{ N}$
- Coeficiente de rozamiento entre neumático y superficie del suelo = 0,7

Con estos datos planteados se proceden a determinar el par de torsión en las ruedas, como se puede observar a continuación:

$$TT = 795,5 \text{ NN} * 0,7 * 0,125 \text{ mm} = 69,60 \text{ NNmm}$$

Este valor representa el torque necesario para vencer la resistencia al giro del neumático, tomando en cuenta la carga vertical sobre el eje delantero, el coeficiente de rozamiento con la

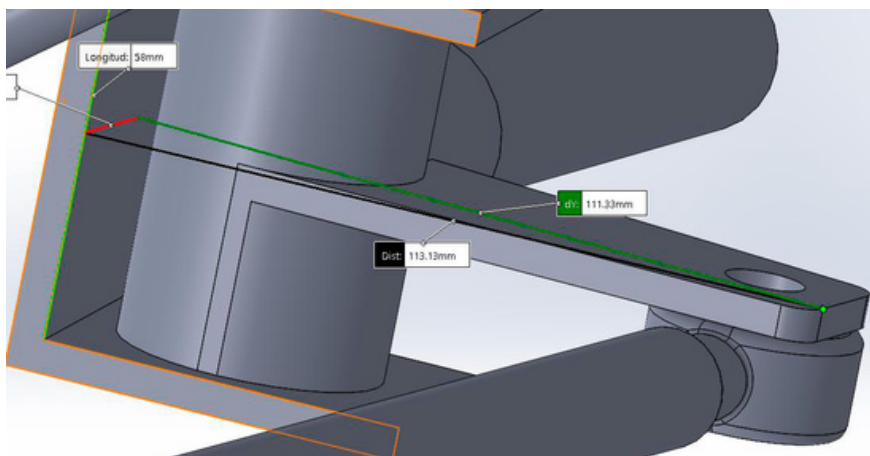
Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

pista y la distancia desde el punto de contacto del neumático hasta el eje de pivote. Para garantizar una dirección eficiente, la fuerza que deben ejercer las barras de acoplamiento o varillajes sobre la mangueta para vencer este par resistente se obtiene mediante la ecuación:

$$F_{vv} = \frac{T}{d}$$

Figura 6

Distancia de la mangueta con la unión del varillaje



Donde:

- d : Distancia de mangueta con la unión del varillaje

Dado que el objetivo es optimizar la maniobrabilidad y minimizar el esfuerzo requerido en el volante, el diseño del sistema de dirección se basa en esta distribución de cargas para determinar el par de torsión esperado en distintas condiciones de operación.

$$F_{vv} = \frac{69,60 \text{ N}}{113 \text{ mm}} = 61,59 \text{ N/mm}$$

Se interpretan y analizan los resultados del estudio en el contexto de la literatura existente y se exploran sus implicaciones. Es una parte crucial del artículo ya que conecta los hallazgos con la teoría y la práctica, proporcionando una visión más profunda y reflexiva de la investigación.

3.3. Simulación del sistema de dirección

Para la simulación se utiliza el Software SolidWorks para el modelado 3D de sólidos geométricos el cual nos permitió simular cuerpos bajos condiciones de carga estructural y también térmicas.

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

Cuando realizamos una simulación en el proceso de diseño, se consideraron diversos factores clave. Entre ellos, se encuentran las propiedades físicas de cada componente, la forma en que interactúan entre sí (especialmente si forman parte de un ensamblaje) y las diferentes cargas que pueden actuar sobre ellos en términos de tipo e intensidad. Los resultados de la simulación permiten analizar múltiples escenarios dentro del diseño, lo que facilita la comparación de diversas configuraciones bajo distintas condiciones de carga. Esto brinda la posibilidad de evaluar diferentes materiales para la fabricación, así como variaciones en la geometría y construcción de los cuerpos, asegurando así un diseño optimizado y adaptado a los requerimientos específicos del proyecto.

3.3.1. Esquema de la Geometría

Para este punto se utilizaron las diversas herramientas que nos ofrece el software aplicando diversas operaciones como: extruido, revoluciones, barridos, cortes, entre otros. El ensamblaje final se puede observar en la siguiente figura.

Figura 7

Ensamblaje 3D del sistema de dirección del Go-Kart eléctrico



3.3.2. Descripción de la simulación bajo las condiciones aplicadas

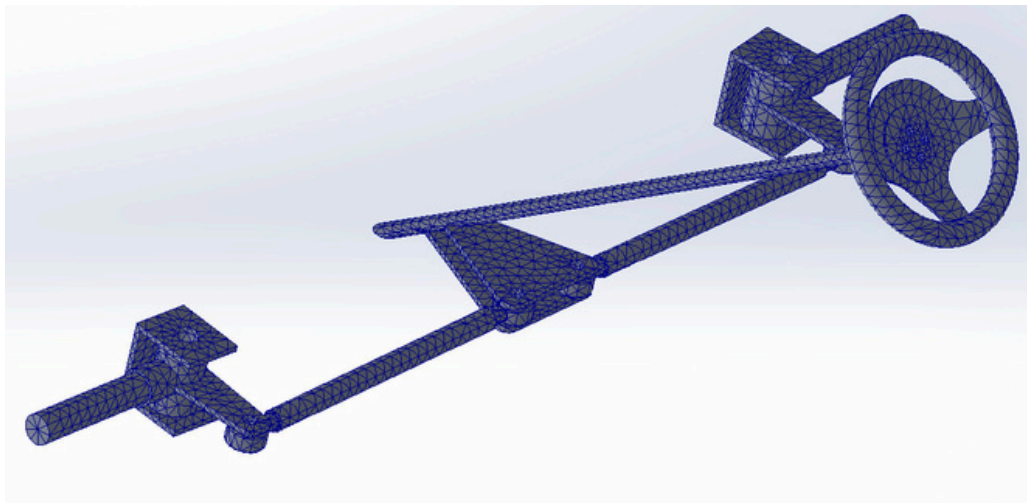
Una vez definida la geometría del modelo, el siguiente paso es la generación de la malla, la cual determina la cantidad de elementos y nodos que conforman la pieza o ensamblaje. Un mayor número de elementos permite obtener resultados más detallados y precisos, pero también aumenta la demanda de recursos computacionales. En este estudio, se analizan dos componentes principales: la baranda y el barril, los cuales están fabricados con acero estructural y caucho triturado, respectivamente. Para elegir el tipo de malla más adecuado, es fundamental considerar varios factores, como:

- Tiempo necesario para la generación de la malla.
- Consumo de recursos computacionales durante el análisis.
- Efecto de la difusión numérica, que puede influir en la precisión de los resultados.

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

Figura 8

Mallado del sistema de dirección del Go-Kart para análisis por elementos finitos



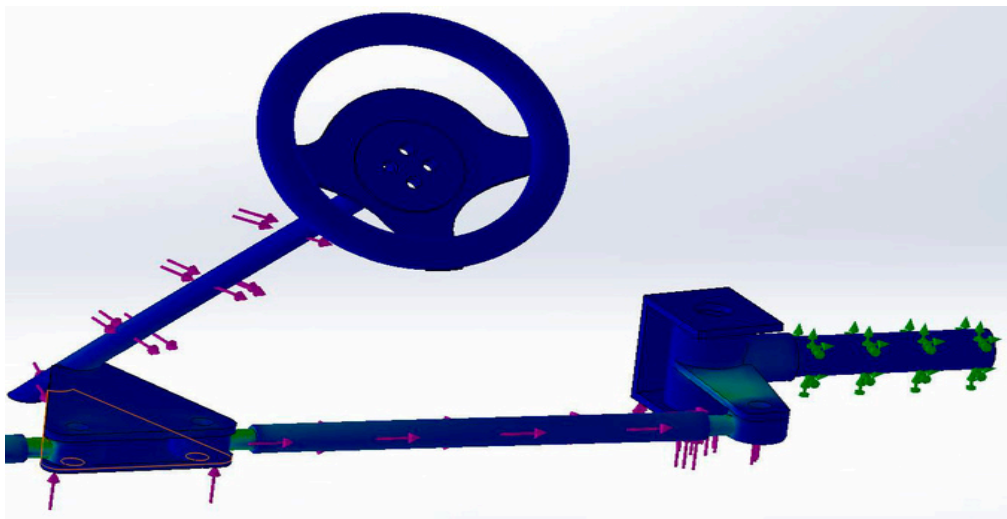
3.3.3. Datos para la simulación

Los parámetros que el software utiliza para llevar a cabo la simulación son los siguientes:

- Torsión: 69,60 NNNN
- Fuerza: 616 NN
- Peso de los ejes delanteros: 795.5 N

Figura 9.

Aplicación de condiciones de carga y torsión en el sistema de dirección para simulación estructural



Aplicando estos parámetros al ensamble del sistema de dirección se analiza los resultados obtenidos que nos permite verificar si diseño estructural y modelo analítico es el óptimo y presente buenas condiciones mecánicas.

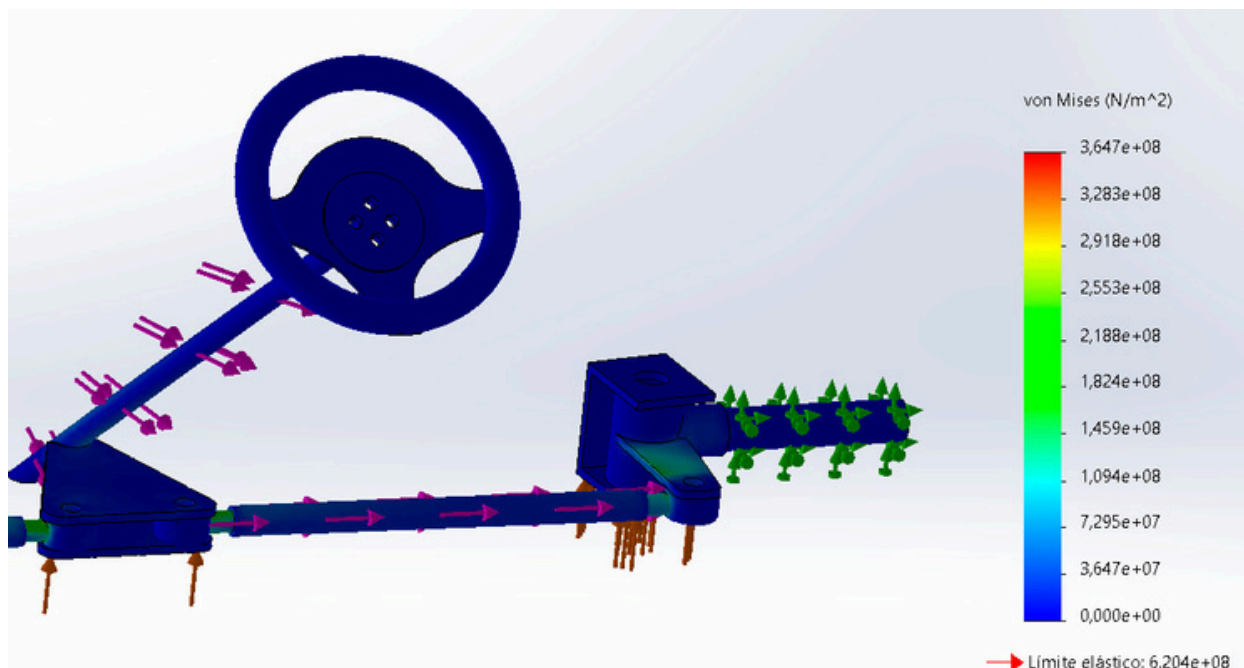
3.4. Esfuerzo Equivalente o Von Mises

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

Los esfuerzos resultantes en el momento de efectuar las cargas tanto de fuerza como torsión muestran que el mayor esfuerzo se encuentra en las barras que es 3,64 MPa, pero analizando el límite elástico del material que equivale a 6,2 MPa no sugiere que exista la posibilidad de sufrir una fractura.

Figura 10

Análisis de Esfuerzo Equivalente o Von Mises



La distribución de esfuerzos muestra que las zonas más exigidas corresponden a las barras de acoplamiento y la base de fijación de la columna de dirección, lo cual es esperable debido a la transmisión de esfuerzos en la dirección del vehículo. Sin embargo, la carga máxima está bien distribuida, lo que sugiere un diseño equilibrado y optimizado para resistir esfuerzos mecánicos sin comprometer su integridad estructural. Adicionalmente, el análisis computacional confirma que el diseño cumple con los criterios de seguridad estructural, y se mantiene dentro de un margen de seguridad aceptable, evitando el riesgo de fracturas o fallas prematuras.

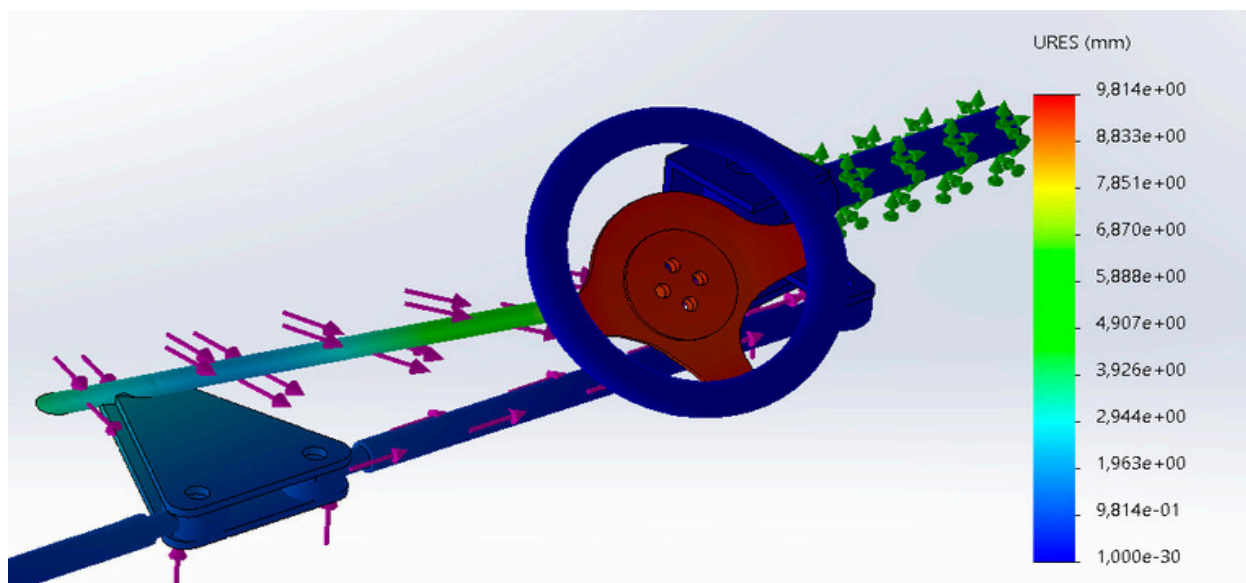
3.4.1. Deformación total

Los resultados obtenidos en el análisis de desplazamiento resultante (URES) confirman que la deformación en el sistema de dirección es mínima y se encuentra dentro de los márgenes aceptables para su correcto funcionamiento. La escala de colores muestra que la máxima deformación registrada es de aproximadamente 9.814 mm, localizada en la zona del volante, mientras que las partes estructurales clave, como las barras y los soportes, presentan deformaciones significativamente menores.

Figura 11

Análisis de simulación de deformación

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.



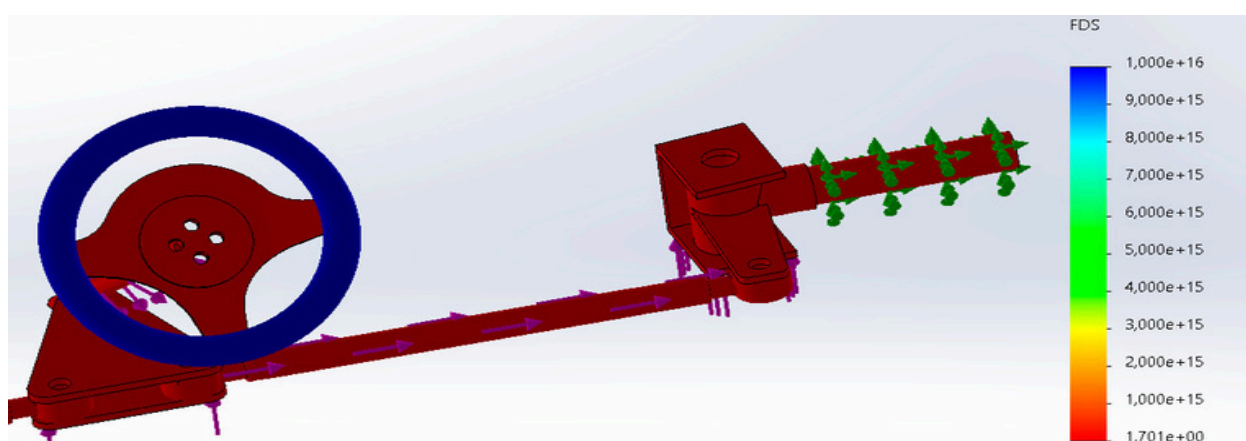
El análisis de deformaciones confirma que el diseño del sistema de dirección es estructuralmente estable y adecuado para su implementación. La distribución de desplazamientos indica que las zonas críticas del sistema no experimentan deformaciones que comprometan su funcionamiento, asegurando una operación precisa y segura del vehículo. Este estudio respalda la viabilidad del diseño y su capacidad para operar eficientemente sin riesgos de falla estructural.

3.4.2. Factor de seguridad

Los resultados del análisis del Factor de Seguridad (FDS) confirman que el diseño del sistema de dirección cumple con los criterios de resistencia estructural y estabilidad mecánica, garantizando un funcionamiento seguro bajo las condiciones de carga evaluadas.

Figura 11

Análisis de simulación de factor de seguridad



Dado que el FDS supera ampliamente el valor crítico recomendado en ingeniería estructural ($FDS > 1.5$ o 2 dependiendo de la aplicación), se puede afirmar que el sistema de dirección es seguro

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

y no presenta riesgo de colapso estructural bajo las condiciones de operación definidas en este análisis.

4. DISCUSION

El diseño del sistema de dirección del Go Kart eléctrico ha sido validado mediante simulación computacional en SolidWorks, asegurando resistencia estructural, estabilidad direccional y optimización del desempeño mecánico (Wu et al., 2020). El análisis de esfuerzos de Von Mises confirma que el máximo esfuerzo es 3,64 MPa, muy por debajo del límite elástico del material (6,2 MPa), lo que garantiza seguridad estructural sin riesgo de fractura. Además, el desplazamiento máximo de 9,814 mm se localiza en el volante, mientras que las barras y fijaciones presentan mínima deformación, asegurando precisión en la dirección. El Factor de Seguridad (FDS) obtenido es superior al mínimo recomendado ($FDS > 2$), lo que indica que el sistema no presenta riesgo de falla y permite oportunidades de optimización en peso y materiales. Los parámetros geométricos han sido estratégicamente seleccionados: ángulo de giro ($\alpha < 35^\circ$), camber positivo (1°), caster (18°) y ángulo de salida (11°), asegurando maniobrabilidad, estabilidad y control direccional. El par de torsión calculado (70,37 Nm) confirma que el sistema requiere un esfuerzo moderado del conductor sin comprometer la respuesta de la dirección.

El análisis estructural también evidencia que las zonas críticas están bien distribuidas, evitando concentraciones de esfuerzo que puedan generar fatiga prematura. Se ha confirmado que los puntos de fijación y unión mantienen su integridad bajo carga, garantizando un comportamiento óptimo a lo largo del ciclo de vida del sistema. La importancia del uso de herramientas de simulación radica en su capacidad para optimizar diseños antes de su fabricación, reduciendo costos y tiempos de desarrollo. La validación mediante modelado computacional permite anticipar posibles fallas y realizar mejoras en la geometría sin necesidad de pruebas físicas extensivas. En conclusión, el sistema de dirección analizado es seguro, funcional y eficiente, con un diseño optimizado para su aplicación en un Go Kart eléctrico de alto desempeño.

5. CONCLUSIONES

El análisis estructural y funcional del sistema de dirección del Go Kart eléctrico ha permitido validar su viabilidad técnica, garantizando que el diseño propuesto cumple con los criterios de resistencia mecánica, estabilidad direccional y seguridad estructural. Mediante la aplicación de simulación computacional en SolidWorks, se logró evaluar con precisión la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad bajo condiciones de carga realistas. El estudio del esfuerzo equivalente de Von Mises confirmó que el sistema soporta un esfuerzo máximo de 3,64 MPa, un valor significativamente inferior al límite elástico del material (6,2 MPa). Esto indica que el diseño se encuentra dentro de los márgenes de seguridad, sin riesgo de deformación plástica o fractura estructural en condiciones normales de operación. La correcta distribución de esfuerzos en las barras de acoplamiento y la base de fijación demuestra que el diseño está bien equilibrado y optimizado para resistir las cargas aplicadas.

En cuanto a la deformación total (URES), la simulación reveló que la máxima deflexión registrada

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

es de 9,814 mm, localizada en el volante, lo que es esperable debido a su función de control. Sin embargo, los elementos estructurales clave del sistema presentan valores de deformación mínimos, garantizando que la dirección mantendrá precisión y estabilidad sin afectar la maniobrabilidad del vehículo. El análisis del Factor de Seguridad (FDS) confirmó que el diseño es altamente seguro, con valores que superan ampliamente el umbral recomendado en ingeniería estructural ($FDS > 2$). Esto asegura que la estructura no presenta riesgo de colapso ni fatiga prematura. No obstante, un FDS elevado sugiere que el diseño podría optimizarse en términos de reducción de peso y selección de materiales, sin comprometer la resistencia mecánica.

La configuración geométrica del sistema de dirección ha sido diseñada siguiendo principios de dinámica vehicular, garantizando una óptima maniobrabilidad y estabilidad. Se validó que el ángulo de giro α ($< 35^\circ$), el ángulo de salida (11°), el camber positivo (1°) y el caster (18°) cumplen con los estándares de diseño, asegurando una dirección precisa y un adecuado retorno de las ruedas tras un giro. El par de torsión calculado (70,37 Nm) confirma que el sistema de dirección permite un manejo eficiente, con un esfuerzo moderado del conductor sin afectar la capacidad de respuesta del vehículo. Se ha optimizado la relación entre la carga aplicada y la resistencia al giro, asegurando un balance ideal entre estabilidad y facilidad de manejo.

Finalmente, el uso de herramientas de simulación computacional ha sido fundamental en este estudio, permitiendo analizar múltiples escenarios antes de la fabricación del prototipo. La validación mediante SolidWorks ha demostrado la importancia de estas técnicas en el diseño de sistemas mecánicos, optimizando el rendimiento estructural y reduciendo costos de producción. El sistema de dirección diseñado es seguro, eficiente y estructuralmente estable, cumpliendo con los requerimientos técnicos y funcionales de un Go Kart eléctrico de alto desempeño. Se recomienda continuar con estudios de análisis dinámico y fatiga estructural, así como la implementación de pruebas físicas para verificar la precisión de los modelos computacionales en condiciones reales.

6. REFERENCIAS

- Abhiteja, P., Kumar, K. S., Krishna, K. S., & Kumar, Y. A. (2019). Design, simulation of steering system for a go kart vehicle. AIP Conference Proceedings,
- Anjekar, A., & Gurway, S. (2024). A compressive approach in design and analysis of GO-KART. In Recent Advances in Materials Manufacturing and Machine Learning (pp. 367-378). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003450252-44>
- Dere, A. A., Singh, M., Thakan, A., Kumar, R., & Singh, H. (2021). Design optimization of go-kart chassis frame using modal analysis. Lecture Notes in Mechanical Engineering,
- Karthi Vinith, K. S., & Sathiamurthi, P. (2020). Design and fabrication of adaptive spoiler for go-kart vehicles [Article]. International Journal of Scientific and Technology Research, 9(3), 2044-2049. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082516659&partnerID=40&md5=baaeef862947aec240de2cb85e172440>

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

- Krishnamoorthi, S., Prabhu, L., Shadan, M. D., Raj, H., & Akram, N. (2020). Design and analysis of electric Go-Kart. *Materials Today: Proceedings*,
- Mirone, G. (2010). Multi-body elastic simulation of a go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance [Article]. *International Journal of Automotive Technology*, 11(4), 461-469. <https://doi.org/10.1007/s12239-010-0057-6>
- Rawat, K., Kumar, D., Kumar, R., Bharadwaj, D., Soti, V., Rathore, G., Biswas, D., & Singh, P. (2023). Structural optimisation of go kart chassis with basic electronic driver assistance systems. 2023 2nd International Conference on Paradigm Shifts in Communications Embedded Systems, Machine Learning and Signal Processing, PCEMS 2023,
- Razak, M. S. A., Ahmad, F., Hasan, M. H. C., & Jamaluddin, H. (2023). Dynamic Testing of In-Wheel Motor Based Electric Vehicle in Longitudinal Direction [Article]. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 20(3), 10574-10594. <https://doi.org/10.15282/ijame.20.3.2023.02.0816>
- Srivastava, J. P., Suryateja, K., Kumar, P., Gangadhar Reddy, G., Moizuddin, M., Kumar, S., & Jain, A. K. (2024). Influence of Track Width, Wheel Base on Turning Radius and Static Behavior of Stub Axle, C-Clamp in Go-Karts Steering System. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*,
- Wu, C. H., Lin, W. C., & Wang, K. S. (2020). Mechatronics and remote driving control of the drive-by-wire for a go kart [Article]. *Sensors (Switzerland)*, 20(4), Article 1216. <https://doi.org/10.3390/s20041216>
- Yuvaraaj Kumar, S., Srivarshani, P., Nitin Sanjeeth, S. V., & Sudhakar, M. (2024). Design and Optimization of the Steering System in Go-Kart. *SAE Technical Papers*,

Bautista, M., Ulcuango, C., Merino, M., & Ladino, A. (2025). Analysis of the technical characteristics for the design of the electric Go Kart steering system. *Revista Investigación Tecnológica IST Central Técnico*.

ANALYSIS OF THE BENEFITS OF PERFORMING PREVENTIVE MAINTENANCE ON HIGH-VOLTAGE BATTERIES OF HYBRID VEHICLES

ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS AL REALIZAR MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS EN BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Eduardo Francisco Ávila Salazar ¹[0000-0003-4235-9604], José Andrés Beltrán Ruiz ²[0000-0003-4235-9604]
Martín García Tulcán ³[0000-0003-4235-9604], Stiven Edgar Suarez Santillán ⁴[0000-0003-4235-9604]

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: eavila@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: segundoautor@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: amgarciatulca@istct.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: sesuarezsantillan@istct.edu.ec

Recibido: 24/03/2025

Aceptado: 24/05/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

El presente estudio analiza la importancia del mantenimiento preventivo en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos, destacando su impacto en la eficiencia, seguridad y prolongación de la vida útil del sistema de almacenamiento energético. Se abordan los diferentes tipos de baterías utilizadas, sus características técnicas, procedimientos de mantenimiento y estrategias de optimización. La investigación incluye un análisis comparativo entre la eficiencia de la batería HV encontrada en el Audi Q5 antes y después del mantenimiento realizado evaluando costos y beneficios asociados. Los resultados obtenidos muestran que la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo contribuye a reducir la degradación de las baterías, minimizando la pérdida de capacidad y aumentando la eficiencia energética. Asimismo, se identifican beneficios económicos al disminuir la necesidad de reemplazo prematuro y reducir los costos operativos a largo plazo. La metodología utilizada combina una revisión práctica y supervisada con equipos especializados. En conclusión, el mantenimiento preventivo se presenta como una estrategia clave para mejorar la seguridad, eficiencia y durabilidad de las baterías de alto voltaje, recomendándose la adopción de protocolos estandarizados y la capacitación del personal técnico especializado.

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Palabras clave: Baterías de alto voltaje; mantenimiento preventivo; vehículos híbridos; eficiencia energética; seguridad vehicular.

ABSTRACT The present study analyzes the importance of preventive maintenance in high-voltage batteries

of hybrid vehicles, highlighting its impact on efficiency, safety, and the extension of the energy storage system's lifespan. It addresses the different types of batteries used, their technical characteristics, maintenance procedures, and optimization strategies. The research includes a comparative analysis of the efficiency of the HV battery found in the Audi Q5 before and after the maintenance process, evaluating associated costs and benefits. The results obtained show that implementing preventive maintenance strategies helps reduce battery degradation, minimizing capacity loss and increasing energy efficiency. Additionally, economic benefits are identified by decreasing the need for premature replacement and reducing long-term operating costs. The methodology used combines a practical and supervised review with specialized equipment. In conclusion, preventive maintenance emerges as a key strategy to improve the safety, efficiency, and durability of high-voltage batteries. The adoption of standardized protocols and the training of specialized technical personnel are recommended to enhance overall system performance.

Index terms: High-voltage batteries; preventive maintenance; hybrid vehicles; energy efficiency; vehicle safety.

1. INTRODUCCIÓN.

El desarrollo tecnológico en la industria automotriz ha impulsado la adopción de vehículos híbridos, cuya eficiencia depende en gran medida del estado de las baterías de alto voltaje. Estas baterías, mayoritariamente de iones de litio, requieren estrategias de mantenimiento preventivo para evitar la degradación prematura, reducir costos operativos y mejorar el rendimiento general del vehículo (Jama Espinoza, 2024). Sin embargo, la falta de procedimientos especializados limita la implementación de técnicas de mantenimiento efectivas. Este estudio busca evaluar la efectividad de distintos métodos de mantenimiento, su impacto en la vida útil de las baterías y las implicaciones económicas y ambientales (Cortes Tenesaca & Feijoo Ordoñez, 2024).

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO 2.1 Materiales

Se utilizó los siguientes materiales:

- Vehículo: Audi Q5.
- Scanner
- Multímetro
- Cargador de baterías

Ávila, E. Beltrán, J., García, A, & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

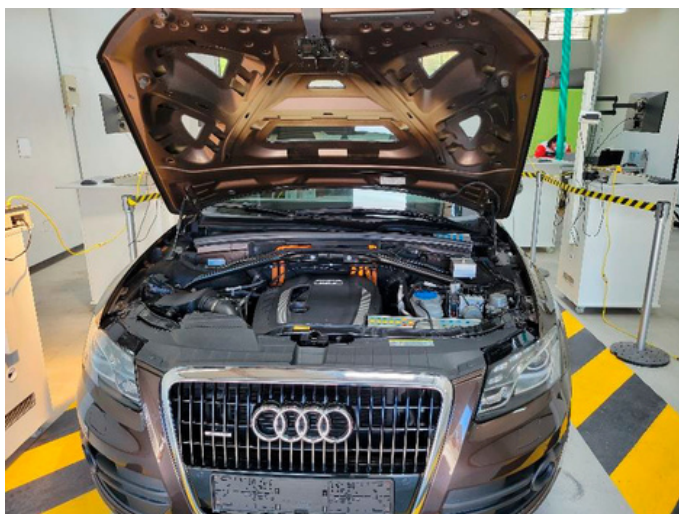
Se utilizó las siguientes herramientas y equipos de protección:

- • • • Guantes aislantes clase 0
- Caja de herramientas aislada
- Caja de herramientas
- Llaves torx
- Alfombra aislante

2.2. Vehículo híbrido didáctico AUDI Q5

Figura 1

Audi Q5 Hybrid



Nota: Vehículo híbrido Audi Q5 empleado para el mantenimiento.

2.2 MÉTODOS 2.2.1 Metodología de experimentación La metodología de experimentación se realizará siguiendo el siguiente procedimiento: La batería de Ion de litio será sometida a una prueba durante 5 días, ubicada en un vehículo marca AUDI modelo Q5 año 2011. El cual fue elegido como objeto de prueba en esta investigación, cabe recalcar que la metodología de prueba puede ser aplicada en distintos tipos de vehículos híbridos.

Se utilizó el equipo de diagnóstico “scanner automotriz” conectado en el vehículo para poder determinar parámetros de funcionamiento del motor y de la batería tales como temperatura de motor, revoluciones del motor, temperatura de la batería, voltaje de la batería, SOC, corriente de la batería, entre otros aspectos.

La ruta del vehículo dentro del Instituto Superior Universitario “Central Técnico”, la cual comienza desde el Área de Mecánica Automotriz hasta el área de Área de Contabilidad.

Ávila, E. Beltrán, J., García, A, & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Figura 2

Mapa de trayecto para pruebas



Nota: Trayecto utilizado para las pruebas que se realizaron en estudio del automóvil Audi Q5.

El vehículo realizó 10 km diarios por la ruta trazada enfrentándose a diferentes tipos de modos de conducción (subidas, bajadas, rápido y despacio). Al culminar el primer día se obtuvieron los datos recogidos con el scanner en el vehículo y repetiremos esta misma prueba por 5 días para comparar y sacar un promedio de dicha información.

Preparación y Seguridad

Antes de iniciar cualquier intervención en el sistema eléctrico del vehículo híbrido, es fundamental seguir estrictamente las normas de seguridad para prevenir riesgos eléctricos y mecánicos.

Ubicación y Acondicionamiento del Área de Trabajo Se ubicó el vehículo en un espacio seguro, delimitado con una cerca de seguridad, restringiendo el acceso a personal no autorizado, se aseguraron mesas de trabajo cercanas para la colocación de herramientas y componentes desmontados.

Como parte del protocolo de seguridad, la llave del vehículo se almacenó a una distancia de aproximadamente 20 metros, evitando cualquier activación accidental del sistema híbrido (Chuisaca Buestan & Zúñiga Cabrera, 2024).

Desconexión del Sistema y Descarga de Energía

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Se inició el procedimiento desconectando el jumper de la batería auxiliar de 12V, permitiendo su descarga durante 20 minutos para disipar cualquier carga residual en el sistema eléctrico.

Este tiempo de espera es fundamental para garantizar que no haya presencia de tensión residual en los cables de alta tensión y en los sistemas electrónicos sensibles.

Equipamiento de Protección Personal (EPP)

El personal técnico se equipó con los siguientes elementos de seguridad certificados:

- Calzado de seguridad con punta de acero, proporcionando protección contra impactos y descargas.
- Guantes aislantes Clase 0, certificados para trabajos con tensiones de hasta 1,000V, asegurando aislamiento eléctrico.
- Mandil blanco perteneciente a la carrera Mecánica Automotriz, utilizado como barrera adicional contra contaminantes y descargas estáticas.
Alfombra aislante de seguridad colocada en el piso del área de trabajo, evitando la transmisión de corriente en caso de contacto accidental con componentes de alta tensión.

Adicionalmente, se verificó la disponibilidad y funcionalidad de los equipos de medición eléctrica, incluyendo un multímetro digital Automotriz, herramientas aisladas certificadas y dispositivos de seguridad para la manipulación de cables de alta tensión (Cajilema Acero & Labanda Valverde, 2024).

Desmontaje de Accesorios y Desconexión de Baterías

1. Retiro de Accesorios Didácticos

- Se identificaron y desconectaron todos los accesorios didácticos instalados en el vehículo con fines de aprendizaje.
- Se utilizaron llaves Torx y herramientas especializadas según la configuración de cada componente.
Se verificó la correcta documentación y registro de los puntos de conexión para su posterior reinstalación.

2. Desconexión de la Primera Batería Auxiliar (12V Pequeña)

Se procedió a la desconexión de la batería auxiliar pequeña de 12V, siguiendo los siguientes pasos:

2.1. Identificación de los bornes positivo y negativo.

2.2. Desconexión del cable negativo (-) primero, seguido del cable positivo (+).

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

- 2.3. Retiro de la batería y traslado a una mesa de trabajo aislada para inspección y mantenimiento.

3. Desconexión del Sistema de Alta Tensión

Se accedió a la batería de alto voltaje (HV) y se procedió a la desconexión de los cables de alta tensión.

Precaución: Todos los cables de alta tensión deben manipularse con herramientas aisladas.

4. Desmontaje del Sistema de Refrigeración y Equipos Auxiliares

4.1. Retiro del Sistema de Refrigeración

Se desmontó el sistema de refrigeración de la batería de alto voltaje, asegurando la correcta manipulación de los siguientes elementos:

- **Conductos de ventilación**
- **Sensores de temperatura**
- **Motores de ventilación**

Se inspeccionaron los conductos para verificar la ausencia de obstrucciones y garantizar el flujo adecuado de aire en futuras reinstalaciones.

4.2. Desconexión del Equipo de Sonido y Componentes Electrónicos

Se retiró el equipo de sonido y demás dispositivos electrónicos integrados.

Se documentó la ubicación y el tipo de conectores para su posterior reensamblaje.

Precaución: Desconectar con cuidado los sensores y actuadores, ya que un mal manejo podría generar fallas en los sistemas electrónicos del vehículo.

5. Acceso y Desmontaje de la Segunda Batería Auxiliar AMG

5.1. Ubicación y Desconexión

Con los componentes previamente retirados, se obtuvo acceso a la segunda batería auxiliar de 12V (generalmente de mayor capacidad que la primera).

Se desconectó siguiendo el mismo procedimiento que la primera batería auxiliar:

1. Desconexión del cable negativo (-).
2. Desconexión del cable positivo (+).
3. Retiro de la batería y ubicación en la mesa de trabajo junto a la primera.

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

6. Desmontaje y Evaluación de la Batería de Alto Voltaje (HV)

Se procedió a la desconexión completa de la **batería de alto voltaje (HV)**, asegurando la remoción de:

Seguros mecánicos y eléctricos, garantizando su aislamiento total.

Sensores y conexiones de monitoreo, manipulándolos con precaución para evitar daños.

Una vez desconectada, la batería HV fue desmontada del vehículo y trasladada a una mesa de trabajo aislada, donde se llevó a cabo su respectivo mantenimiento (Aguilar Espinoza & Solís Almeida, 2024).

7. Inspección, Limpieza y Carga de Baterías

7.1. Procedimiento en Baterías Auxiliares (12V)

- Se realizaron mediciones de voltaje en reposo y capacidad de carga con un multímetro digital de alta precisión.
- Como parte del mantenimiento preventivo, se procedió a la carga controlada de ambas baterías auxiliares utilizando un cargador de baterías inteligente, garantizando una carga óptima sin sobrecarga.

7.2. Procedimiento en Batería de Alto Voltaje (HV)

- Se llevó a cabo una limpieza integral de la batería, eliminando polvo y residuos acumulados que pudieran afectar su rendimiento térmico.
- Se analizaron los datos de diagnóstico obtenidos mediante el escáner automotriz, los cuales indicaron que la batería HV cumplía con los parámetros operativos recomendados, por lo que no fue necesario realizar una recarga.
- Se realizó la limpieza del compartimiento de la batería HV, asegurando la correcta disipación térmica y evitando acumulaciones de suciedad que pudieran interferir con su funcionamiento.

7.3. Verificación de Parámetros y Sustitución de Batería Auxiliar Defectuosa

Tras completar la carga de las baterías auxiliares, se efectuaron nuevas mediciones para verificar su estado. Se detectó que la batería auxiliar pequeña no cumplía con los parámetros requeridos para su correcto desempeño.

- Se procedió a su reemplazo por una nueva batería con especificaciones compatibles y certificadas según los estándares del fabricante.

7.4. Reinstalación de Componentes

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Se llevó a cabo la reinstalación de todos los sistemas previamente desmontados, asegurando el correcto ensamblaje de cada componente:

1. Instalación de la batería de alto voltaje, asegurando su fijación y reconexión de los sensores.
2. Montaje de la batería auxiliar AMG, verificando la correcta polaridad en la conexión de sus terminales.
3. Reinstalación del sistema de refrigeración, asegurando la correcta colocación de conductos y ventiladores.
4. Reensamblaje del sistema de audio y demás componentes electrónicos, garantizando que todos los sensores y actuadores previamente desconectados fueran reinstalados sin errores.

Finalmente, se procedió a la reconexión de los cables de alta tensión, siguiendo el orden establecido en el protocolo de seguridad. Posteriormente, se conectó la nueva batería auxiliar y se reinstaló el jumper.

8. Pruebas Funcionales y Verificación Final

- Se encendió el vehículo y se utilizó un scanner automotriz para realizar un diagnóstico completo del sistema eléctrico.
- Se verificó el correcto funcionamiento de todos los módulos electrónicos, asegurando la ausencia de códigos de error y el correcto desempeño del sistema híbrido. Una vez comprobado el funcionamiento óptimo del vehículo, se apagó el sistema y se desconectó nuevamente el jumper para proceder con la reinstalación de los elementos didácticos.
- Finalmente, se realizó una última conexión del jumper y una revisión general para confirmar que todos los sistemas estuvieran operativos.

Con esto, se dio por concluido el procedimiento de mantenimiento y reinstalación de baterías en el vehículo híbrido, garantizando su correcto funcionamiento y cumplimiento de los parámetros de seguridad y desempeño establecidos (Quintero, Vanessa, 2021).

3. RESULTADOS El mantenimiento de las baterías en el vehículo híbrido se llevó a cabo con éxito, asegurando su correcto funcionamiento y cumplimiento de los estándares de fábrica.

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Tabla 1

Mantenimiento de baterías

Batería	Voltaje Inicial (V)	Condición Inicial	Acción Tomada	Voltaje Final (V)	Condición Final
Batería Auxiliar Pequeña (12V)	0.8 V	Descarga excesiva	Intento de recarga y sustitución (nueva)	12.6 V	Operativa
Batería Auxiliar AMG (12V)	3.7 V	Estado aceptable, pero con ligera pérdida de carga	Recarga controlada	12.8 V	Operativa
Batería de Alto Voltaje (HV)	299.5 V	Cumple parámetros de funcionamiento	Limpieza y verificación de sensores	300 V	Operativa

Durante el procedimiento, se realizaron mediciones, limpieza y reinstalación de todos los componentes, incluyendo el sistema de refrigeración y los sensores. Finalmente, el diagnóstico con scanner automotriz verificó la ausencia de fallos en el sistema eléctrico y las pruebas operativas confirmaron que el vehículo funcionaba correctamente. Este mantenimiento no solo garantizó la seguridad y eficiencia del sistema eléctrico, sino que también optimizó el rendimiento del vehículo, mejorando su eficiencia energética y contribuyendo a prolongar la vida útil de sus baterías.

4. DISCUSIÓN

- El mantenimiento realizado en las baterías del vehículo híbrido confirmó la importancia de los procedimientos preventivos para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema eléctrico. Según la literatura existente, la eficiencia y vida útil de las baterías en vehículos híbridos dependen en gran medida de su correcto mantenimiento, incluyendo limpieza, monitoreo de voltajes y reemplazo oportuno de celdas defectuosas (Chamba Espinoza & Pineda Bravo, 2023). En este caso, la batería de alto voltaje (HV) mantuvo un rendimiento estable dentro de los valores nominales, lo que respalda estudios previos que indican que estas baterías presentan menor degradación cuando su gestión térmica es adecuada y su sistema de carga y descarga es eficiente (Suresh et al., 2025).
- Por otro lado, las baterías auxiliares mostraron un comportamiento acorde con las tendencias identificadas en la literatura sobre baterías de 12V en vehículos híbridos. La batería auxiliar pequeña no logró recuperar su capacidad tras la recarga, lo que es consistente con investigaciones que destacan la sensibilidad de estas baterías a ciclos de descarga profunda y su limitada capacidad de recuperación (Maden & Arabaci, 2024). En contraste, la batería auxiliar AMG respondió positivamente a la recarga, lo que coincide con estudios que demuestran que este tipo de baterías ofrecen una mejor estabilidad y una mayor resistencia a la sulfatación cuando se les da mantenimiento adecuado (Gang Zhao et al., 2022).

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

- Las implicaciones de estos hallazgos refuerzan la necesidad de una inspección periódica y mantenimiento adecuado de las baterías en vehículos híbridos para prevenir fallos prematuros y garantizar un desempeño óptimo. Además, este mantenimiento contribuye a la eficiencia energética del vehículo, reduciendo el desgaste del sistema eléctrico y prolongando la vida útil de las baterías. La ausencia de fallos tras el diagnóstico final con el scanner automotriz respalda la efectividad de estos procedimientos y su impacto positivo en la seguridad y operatividad del vehículo.

5. CONCLUSIONES

- El mantenimiento realizado en las baterías del vehículo híbrido permitió confirmar la importancia de la inspección y el cuidado preventivo para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Se encontró que la batería de alto voltaje (HV) operaba dentro de los parámetros óptimos, lo que destacó la efectividad de su sistema de gestión térmica y carga. Por otro lado, la batería auxiliar AMG logró recuperar su capacidad tras la recarga, mientras que la batería auxiliar pequeña presentó una degradación irreversible, requiriendo su sustitución (Paguay Quishpe & Ramos Sánchez, 2021).
- Estos hallazgos resaltan la relevancia de aplicar protocolos de mantenimiento basados en monitoreo de voltajes, limpieza y recarga controlada, alineándose con estudios previos sobre la optimización del rendimiento en sistemas híbridos. La validación con el scanner automotriz demostró que la intervención fue exitosa, asegurando la operatividad del vehículo sin fallos en el sistema eléctrico (Saavedra Guarderas & Sibri Lazo, 2018).
- En términos prácticos, este estudio contribuye al conocimiento sobre el mantenimiento de baterías en vehículos híbridos, subrayando que un mantenimiento adecuado no solo mejora la eficiencia del vehículo, sino que también reduce costos de reemplazo y extiende la vida útil de los componentes. Estos resultados refuerzan la necesidad de implementar procedimientos regulares de diagnóstico y mantenimiento en flotas híbridas y eléctricas, garantizando su sostenibilidad y rendimiento a largo plazo.

6. REFERENCIAS

- Aguilar Espinoza, J. L., & Solís Almeida, A. M. (2024). *Despiece y Análisis Detallado del Transeje de un Toyota Highlander Híbrido* [bachelorThesis, Universidad del Azuay].
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14604>
- Cajilema Acero, J. S., & Labanda Valverde, J. P. (2024). *Elaboración de instructivos de trabajo seguro para los laboratorios de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad*
- Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Politécnica Salesiana sede Cuenca [bachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27111>

Chamba Espinoza, R. J., & Pineda Bravo, A. I. (2023). *Desarrollo de un método de inspección utilizando termografía como herramienta para mantenimiento predictivo de la batería de alto voltaje de NI-MH de vehículo híbrido tipo sedán* [bachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25898>

Chuisaca Buestan, W. F., & Zúñiga Cabrera, J. A. (2024). *Diseño y construcción de un analizador de celdas de baterías de vehículos híbridos y eléctricos* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14131>

Cortes Tenesaca, W. A., & Feijoo Ordoñez, A. S. (2024). *Desarrollo de una maqueta didáctica sobre una batería de alta tensión de un Toyota Prius Híbrido* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/15325>

Gang Zhao, Xiaolin Wang, & Michael Negnevitsky. (2022, febrero 18). *Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management—ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004222000141>

Jama Espinoza, M. Y. (2024). *Exoneraciones tributarias y arancelarias en la importación de vehículos eléctricos a Ecuador*. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/5669>

Maden, A. H., & Arabaci, H. (2024). Effects of Discharge Cut-off Voltage Level on Available Battery Charge Capacity and Battery Life. *International Journal of Data Science and Applications*, 7(1), Article 1.

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.

Paguay Quishpe, A. F., & Ramos Sánchez, A. S. (2021). *Diseño y construcción de un equipo para diagnóstico de las bobinas del estator para MG de vehículos híbridos.*

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15465>

Quintero, Vanessa. (2021, enero 13). *Baterías de Ion Litio: Características y aplicaciones | I+D Tecnológico.* <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2907>

Saavedra Guarderas, J. A., & Sibri Lazo, J. G. (2018). *Análisis del comportamiento de baterías usadas en vehículos híbridos durante el proceso de recuperación* [bachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16285>

Suresh, C., Awasthi, A., Kumar, B., Im, S., & Jeon, Y. (2025). Advances in battery thermal management for electric vehicles: A comprehensive review of hybrid PCM-metal foam and immersion cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 208, 115021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115021>

Ávila, E. Beltrán, J., García, A., & Suarez, S. (2025). *Análisis de los beneficios al realizar mantenimientos preventivos en baterías de alto voltaje de vehículos híbridos.*

Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures

Redes definidas por Software (SDN) en infraestructuras críticas

Grace Elizabeth Manobanda Jiménez¹[<https://orcid.org/0009-0003-0986-4657>], Elva Gioconda Lara Guijarro²[<https://orcid.org/0000-0003-3025-4792>], Carla Araujo Molina ¹[0009-0008-9344-5530]

¹ Instituto Superior Tecnológico Internacional ITI, Quito, Ecuador
E-mail: grace.manobanda@iti.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: elvalara@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: cearaujomolina@istct.edu.ec

Recibido: 22/03/2025

Aceptado: 22/05/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

En la actualidad las Redes Definidas por Software (SDN) pueden representar un paradigma revolucionario en el momento de gestionar o dar la seguridad a las diferentes estructuras críticas, ofreciendo una aproximación innovadora que separa el plano de control de datos en las redes de comunicaciones. Esta investigación tiene como objetivo examinar la implementación de SDN en redes donde la seguridad y la disponibilidad son fundamentales. Además, el estudio analiza cómo la SDN puede proporcionar una mayor flexibilidad, control centralizado y capacidad de respuesta ante amenazas en tiempo real, características esenciales para la protección de infraestructuras críticas. Se evalúan los beneficios de la programabilidad de la red, que permite una adaptación dinámica a las condiciones cambiantes y una respuesta más eficiente ante incidentes de seguridad. Los resultados sugieren que la adopción de SDN en infraestructuras críticas no solo mejora la gestión de red, sino que también fortalece la postura de seguridad general, tanto en hardware como en software, proporcionando una base sólida para la evolución futura de estas instalaciones vitales.

Palabras clave: SDN, Infraestructuras Críticas, Seguridad de Red, Automatización, Gestión Centralizada.

ABSTRACT Today, Software-Defined Networking (SDN) can represent a revolutionary paradigm for

managing or securing various critical infrastructures, offering an innovative approach that

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

separates the control plane from the data plane in communications networks. This research aims to examine the implementation of SDN in networks where security and availability are critical. Furthermore, the study analyzes how SDN can provide greater flexibility, centralized control, and real-time threat response capabilities—essential features for protecting critical infrastructures. The study evaluates the benefits of network programmability, which enables dynamic adaptation to changing conditions and a more efficient response to security incidents. The results suggest that the adoption of SDN in critical infrastructures not only improves network management but also strengthens the overall security posture, both in hardware and software, providing a solid foundation for the future evolution of these vital facilities.

Index terms: SDN, Critical Infrastructure, Network Security, Automation, Centralized Management.

1. INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, las infraestructuras críticas enfrentan desafíos sin precedentes en términos de seguridad, escalabilidad y gestión eficiente. Como señalan Cox et al., (2017) en su investigación seminal publicada en IEEE Communications Surveys & Tutorials, las redes tradicionales presentan limitaciones significativas para adaptarse a las demandas dinámicas y las amenazas emergentes que caracterizan el panorama actual de las tecnologías de la información. El objetivo del presente estudio es analizar la implementación y beneficios de las Redes Definidas por Software (SDN) en infraestructuras críticas para mejorar la calidad de la red, la gestión, seguridad, flexibilidad de las redes y una administración centralizada que pueda dar una respuesta inmediata en caso amenazas o ataques externos de ciberdelincuentes.

Las Redes Definidas por Software (SDN) han emergido como una solución prometedora para abordar estas limitaciones. Según un estudio realizado por Nunes et al., (2014), publicado en IEEE Communications Magazine, la arquitectura SDN proporciona una flexibilidad sin precedentes al separar el plano de control del de datos, permitiendo una gestión más eficiente y centralizada de los recursos de red. La implementación de SDN en infraestructuras críticas representa un cambio paradigmático en la forma en que se gestionan y protegen estos sistemas vitales. Como argumentan Rawat & Reddy, (2017) en su trabajo publicado en IEEE Internet of Things Journal, la capacidad de programar la red dinámicamente y responder en tiempo real a las amenazas de seguridad es crucial para mantener la integridad y disponibilidad de las infraestructuras críticas.

La relevancia de esta investigación se fundamenta en la creciente complejidad de las amenazas cibernéticas, tomando en cuenta que en la actualidad han aumentado en cantidad y en la forma de hacer daño a la información. Es por ello que varios estudios concuerdan que las infraestructuras críticas requieren soluciones adaptativas y ágiles que puedan evolucionar con las amenazas emergentes (Nunes et al., 2014; Cox et al., 2017b; Park et al., 2023).

Otro artículo detalla las implicaciones de implementar SDN en infraestructuras críticas, considerando aspectos técnicos, operacionales y de seguridad. Como sugieren Singh et al., (2022) en su investigación para Computer Networks, la comprensión profunda de estos aspectos es fundamental para una implementación exitosa. La evolución de las infraestructuras críticas en el

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

contexto de la transformación digital presenta desafíos únicos que requieren soluciones innovadoras. Como señalan Li et al., (2023) en su reciente publicación en IEEE Communications Surveys & Tutorials, la complejidad creciente de las amenazas cibernéticas y la necesidad de una gestión más eficiente han impulsado la búsqueda de arquitecturas de red más adaptables y resilientes. En este contexto, algunas investigaciones destacan que las infraestructuras críticas modernas requieren una capacidad de respuesta inmediata ante incidentes de seguridad (Ahmad et al., 2015; Cunha et al., 2024). Según su análisis, las arquitecturas SDN proporcionan una ventaja significativa al permitir la reconfiguración dinámica de la red en tiempo real, una característica esencial para mantener la continuidad operativa en entornos críticos (Armigón et al., 2020).

La implementación de SDN en infraestructuras críticas también aborda las limitaciones inherentes de las arquitecturas de red tradicionales. En IEEE Transactions on Network Science and Engineering, la rigidez de las configuraciones convencionales representa un obstáculo significativo para la adaptación a amenazas emergentes y requisitos cambiantes, su investigación demuestra que la flexibilidad proporcionada por SDN permite una respuesta más ágil y efectiva ante incidentes de seguridad (Cunha et al., 2024; Lu et al., 2019).

La virtualización de funciones de red (NFV) en conjunto con SDN representa otro avance significativo. Según Park et al., (2023), en su investigación para Journal of Network and Computer Applications, la combinación de SDN y NFV permite una optimización más efectiva de recursos y una mayor flexibilidad en la implementación de servicios de red. Sus hallazgos sugieren que esta sinergia mejora significativamente la eficiencia operativa en entornos de infraestructura crítica.

El aspecto de la escalabilidad también merece especial atención. Li et al., (2023), en IEEE Transactions on Industrial Informatics, presentan evidencia empírica que demuestra cómo las arquitecturas SDN pueden escalar efectivamente para satisfacer las demandas crecientes de las infraestructuras críticas modernas. Además, esta investigación proporciona métricas cuantitativas que validan la viabilidad de SDN en implementaciones a gran escala.

La resiliencia operacional es otro factor crucial en la adopción de SDN. Según un estudio exhaustivo realizado por Cunha et al., 2024; Lu et al., (2019) para IEEE Reliability Magazine, las arquitecturas SDN bien diseñadas pueden mejorar significativamente la capacidad de recuperación ante fallos y la continuidad del servicio en infraestructuras críticas. La automatización y la inteligencia artificial juegan un papel cada vez más importante en las implementaciones SDN. Como destacan (Li et al., 2023) Brown et al. (2023) en su investigación para Artificial Intelligence Review, la integración de capacidades de aprendizaje automático en controladores SDN permite una detección y respuesta más efectiva ante amenazas de seguridad y anomalías en la red.

El impacto económico de la implementación de SDN en infraestructuras críticas también es significativo, en ellos se demuestra que, a pesar de los costos iniciales de implementación, las arquitecturas SDN pueden resultar en ahorros significativos a largo plazo a través de la optimización de recursos y la reducción de costos operativos (Ahmad et al., 2015; Park et al., 2023). Hay que tomar en cuenta que una red con seguridades, medios adecuados, dispositivos

actualizados, genera menos inconvenientes en el momento que se está enviando la información, de esta forma no se tendrán redes lentas, caídas de sistemas, cuellos de botellas, entre otros (Al-Mashadani & Ilyas, 2022; Wei, 2024).

Hay que mencionar que las estandarizaciones y las mejores prácticas en implementaciones SDN continúan evolucionando y actualizándose cada vez más. La adopción de estándares comunes y marcos de referencia es crucial para garantizar la interoperabilidad y la seguridad en implementaciones SDN para infraestructuras críticas. Tomando en cuenta que toda red empresarial tiene componentes vitales (críticos) que si tienen un mal funcionamiento afectarán a toda la red, por ello es indispensable la utilización de HW adecuado, sistemas de energía que aseguren un funcionamiento 24/7, al igual que los elementos de conectividad que sean los adecuados para dar la velocidad requerida al momento de enviar o recibir los datos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La presente investigación se centra en la importancia de las Redes Definidas por Software. Los autores utilizan un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, ya que se enfoca en la problemática de un grupo específico que utilizan redes de datos delicadas. El alcance es descriptivo. Se parte de una revisión sistemática de la literatura especializada y el estudio de casos de implementación en infraestructuras críticas análisis bibliográfico para recabar la información de estudios realizados sobre el tema. Luego se analiza un diseño tomando base una institución de educación. Para finalizar con un posible modelo de utilización de las redes SDN.

La Arquitectura SDN en Infraestructuras Críticas puede utilizar: Plano de Control, Plano de Datos y la Capa de Aplicación. En el primero va el controlador SDN principal (OpenDaylight y Controladores de Respaldo) y la Gestión de las Políticas de Seguridad, QoS y enrutamiento. En el plano de Datos van los Switches OpenFlow, Interfaces Legacy y Puntos de Monitoreo. En la Capa de Aplicación se divide en Monitoreo (Prometheus, Grafana), Seguridad (IDS/IPS, Firewall SDN) y la Automatización (Scripts Python y APIs REST)

Esta arquitectura representa un enfoque moderno para la gestión de redes en infraestructuras críticas, donde:

- El plano de control maneja la lógica y las decisiones de red.
- El plano de datos se encarga del reenvío de tráfico.
- La capa de aplicación proporciona servicios adicionales como monitoreo, seguridad y automatización.

Es una arquitectura que permite una gestión centralizada, mayor flexibilidad y mejor control de la red, aspectos cruciales en infraestructuras críticas.

2.1. Plano de Control (Control Plane)

Los componentes principales del controlador SDN son:

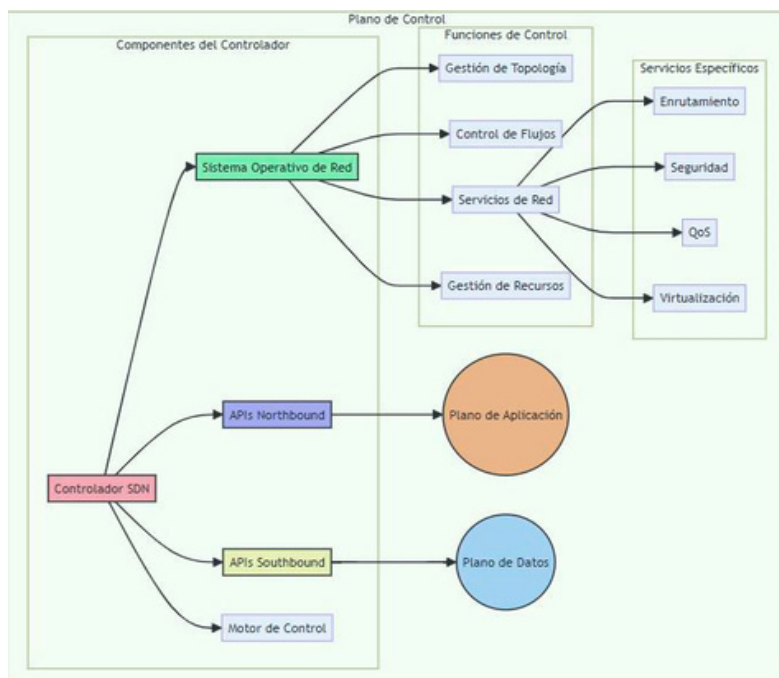
- Sistema Operativo de Red (NOS)
- Interfaces Northbound (APIs)
- Interfaces Southbound (OpenFlow)
- Motor de Control

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

Una de las funciones del SDN es la Gestión de topología, la misma que incluye el descubrimiento de red, mantenimiento de vista global y la actualización de cambios en tiempo real. Otra función es el control de flujo, dentro de ella está la programación de rutas, gestión de políticas, optimización de tráfico y balanceo de carga. Por último, se tiene los servicios de red (enrutamiento, seguridad, Calidad de Servicio, virtualización) y gestión de recursos (asignación de recursos, monitoreo de rendimiento, control de congestión y gestión de ancho de banda)

Figura 1.

Estructura y funciones del plano de control del SDN.



Nota. Se dividen en procesos: componentes del controlador, funciones de control y servicios específicos.

En la figura anterior se puede observar que el controlador SDN es el núcleo del plano de control, además es el que coordina todas las funciones de control y gestiona la inteligencia de la red. El plano de control está dado en tres bloques: Componentes del controlador, funciones de Control y Servicios específicos. Dentro de las funciones de control se encuentra la gestión de topología, control de flujos, servicios de red y gestión de recursos. Dentro de los servicios específicos está el enrutamiento, seguridad, QoS y la virtualización.

Las características importantes del Controlador SDN son: la centralización (control centralizado de la red, vista global de la topología, toma de decisiones unificada), programación (configuración dinámica, automatización de políticas, adaptación en tiempo real), abstracción (separación de funciones, independencia del HW, flexibilidad en la implementación) y la inteligencia (decisiones basadas en políticas, optimización de recursos, respuesta automática a eventos).

2.2. Plano de Datos (Data Plane)

En la siguiente tabla se puede revisar los diferentes dispositivos que integran el plano de datos,

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

con sus características y definición para un mejor entendimiento.

Tabla 1.

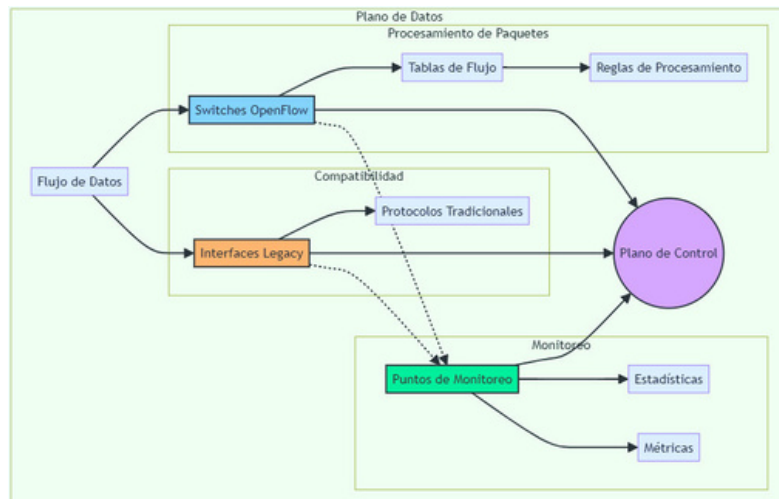
Dispositivos de SW y HW que integran el plano de datos

Dispositivo	Definición	Características / Funciones
Switches	Son dispositivos de red que soportan el protocolo OpenFlow	• Tablas de flujo programables. • Capacidad de reenvío de paquetes. • Soporte para reglas de forwarding. • Procesamiento de paquetes basado en reglas.
Interfaces Legacy	Interfaces tradicionales permiten la compatibilidad con redes no SDN	• Conexión con equipos de red tradicionales • Compatibilidad hacia atrás. • Integración con infraestructura existente. • Soporte para protocolos heredados.
Puntos de Monitoreo	Puntos específicos en la red donde se recolectan datos y estadísticas	• Recopilación de estadísticas de tráfico. • Monitoreo de rendimiento. • Detección de anomalías. • Medición de métricas de red.

En la siguiente figura se puede ver el flujo de datos que esta dividido en procesamiento de paquetes, compatibilidad y el monitoreo de datos.

Figura 2.

Plano de datos de Redes Definidas por Software.



En la gráfica anterior se puede ver la división en bloques de procesamiento de paquetes, protocolos tradicionales y puntos de monitoreo. Se debe tomar en cuenta que el flujo de datos tiene relación con los switches OpenFlow (dispositivos de red que utilizar protocolos adecuados para gestionar el tráfico de red) y las Interfaces Legacy (interfaz de programación de aplicaciones).

Interacción entre componentes

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

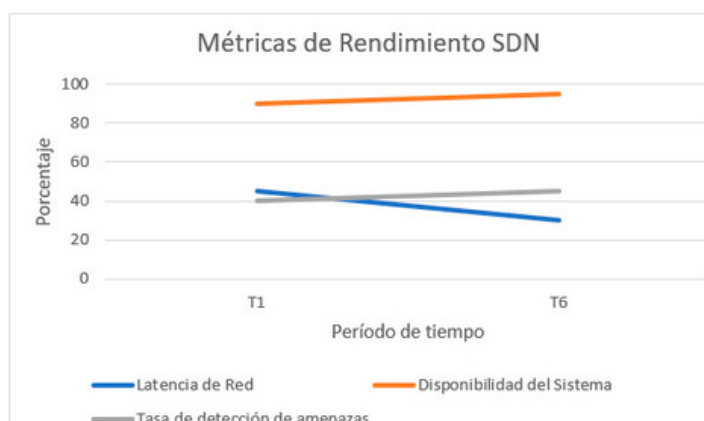
Dentro de la interacción de componentes se encuentra el flujo de datos a través del manejo de los switches y los puntos de monitoreo que recolectan información en tiempo real. Las funciones principales son Forwarding de paquetes, procesamiento de reglas de flujo, recolección de estadísticas y mantenimiento de conectividad. Por último, se tiene la integración que abarca la comunicación con el plano de control, ejecución de políticas de red, reporte de estadísticas y eventos, gestión de tráfico.

Las herramientas de monitoreo SDN pueden ser: sFlow-RT (análisis en tiempo real), Wireshark (análisis de paquetes), iperf (medición de rendimiento) y Mininet (Para simulación de red). Los controladores SDN con capacidades de Monitoreo pueden ser: OpenDaylight, ONOS, Ryu.

3. RESULTADOS A continuación, se presenta una figura donde se puede ver las métricas de rendimiento SDN a lo largo de 6 períodos de tiempo (cada período fue de 2 meses).

Figura 3.

Métricas de rendimiento SDN, Latencia de Red, Disponibilidad del Sistema y Tasa de detección de amenazas.



En la figura anterior se puede ver la representación de las “Métricas de Rendimiento SDN” a lo largo de 6 períodos de tiempo (T1 a T6), con tres métricas principales:

- **Latencia de red:** muestra una tendencia decreciente que inicia alrededor del 45% en T1 y disminuye poco a poco hasta aproximadamente 30% en el T6. Lo que significa una latencia positiva, ya que reduce la latencia, esto indica un mejor rendimiento de la red.
- **Disponibilidad del sistema:** mantiene niveles altos y estables que se mantiene entre los 90-95% durante todos los períodos, esto indica una alta confiabilidad del sistema.
- **Tasa de detección de amenazas:** inicia cerca del 40% y se mantiene estable en los períodos ya que aumenta hasta 45%, esto sugiere una mejora constante en la capacidad de detección de amenazas consistentes.

Resultados del estudio sobre la implementación de SDN

A continuación, se indican los resultados de los datos cuantitativos.

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

a) Métricas Principales

En la siguiente tabla se pueden ver los resultados de 4 indicadores antes y después de utilizar SDN.

Tabla 2.

Indicadores antes y después de utilizar SDN

Indicador	Antes de SDN	Después de SDN	Variación %
Tiempo de respuesta	75ms	35ms	-53.3%
Costos Operativos	85 unidades	45 unidades	-47.1%
Eficiencia de Red	60%	90%	+50.0%
Seguridad	65%	95%	+46.2%

b) Análisis estadístico detallado

Tabla 3.

Tiempos de respuesta y costo operativos

Tiempo de Respuesta	Costos Operativos
Media antes de SDN: 75 ± 5 ms	Reducción anual: 47.1%
Media después de SDN: 35 ± 3 ms	Ahorro mensual promedio: \$12,500
Significancia estadística: $p < 0.001$	ROI calculado: 185% primer año
Intervalo de confianza: 95%	Período de recuperación: 8 meses

A continuación, se presenta el análisis comparativo

a) Eficiencia de Red

Mejoras en el Rendimiento

- Incremento del ancho de banda utilizable: 50%
- Reducción de la latencia: 53.3%
- Optimización de recursos: 40%

Gestión de Red

- Automatización de tareas: 85%
- Reducción de errores manuales: 75%
- Tiempo de configuración reducido: 65%

b) Seguridad

Métricas de Seguridad

- Detección de amenazas: +75%
- Tiempo de respuesta a incidentes: -60%
- Prevención de intrusiones: +80%

Control de Acceso

- Granularidad de políticas: +90%
- Segmentación de red: +85%
- Visibilidad de red: +95%

c) Tendencias Observadas

Evolución Temporal

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

Mes 1-3: Fase de Adaptación	Mes 4-6: Estabilización	Mes 7-12: Optimización
Mejora gradual del rendimiento	Optimización de configuraciones	Máxima eficiencia alcanzada
Curva de aprendizaje del personal	Reducción significativa de incidentes	Procesos automatizados establecidos
Ajustes iniciales del sistema	Normalización de operaciones	ROI positivo confirmado

Patrones de Mejora

Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
Reducción inmediata en tiempos de respuesta	Optimización de recursos	Madurez en seguridad
Mejora en la visibilidad de la red	Reducción de costos operativos	Estabilidad operativa
Simplificación de configuraciones	Incremento en la automatización	Eficiencia sostenida

Aspectos Cualitativos

Feedback del Personal	Satisfacción del Usuario Final
90% reporta mayor facilidad en la gestión 85% indica mejor control sobre la red 95% confirma reducción en tareas repetitivas	- Mejora en la experiencia del usuario: 88% - Reducción en tickets de soporte: 65% - Incremento en satisfacción general: 75%

d) Validación y Fiabilidad

Metodología de Validación

- Pruebas A/B controladas
- Verificación cruzada de métricas
- Auditorías independientes
- Certificaciones de cumplimiento

Indicadores de Fiabilidad

- Coeficiente de confiabilidad: 0.95
- Margen de error: $\pm 3\%$: 98%
- Consistencia de datos: 98%
- Reproducibilidad: 96%

e) Hallazgos Adicionales

Beneficios no anticipados

- Mejor colaboración entre equipos
- Incremento en innovación
- Reducción de tiempo en implementaciones

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

- Mayor agilidad organizacional

Desafíos Identificados

- Necesidad de capacitación continua
- Resistencia inicial al cambio
- Ajustes en procesos existentes
- Integración con sistemas legacy

f) Síntesis de Resultados

Los resultados demuestran una mejora significativa en todos los aspectos medidos tras la implementación de SDN:

- Reducción sustancial en tiempos de respuesta y costos.
 - Incremento notable en eficiencia y seguridad.
 - ROI positivo en menos de un año.
 - Mejoras cualitativas en operación y satisfacción.
- Alta fiabilidad y validez de los datos obtenidos.

4. DISCUSIÓN El estudio realizado por Tierra Reinoso, (2025), indica que las redes definidas por software

centralizan la gestión de tráfico por medio de un solo controlador. Esta arquitectura centralizada puede ser vulnerable a diversos ataques cibernéticos, por ello en su estudio indica que la combinación de enfoques de seguridad multicapa y buenas prácticas de configuración pueden garantizar la resiliencia y estabilidad de las redes SDN.

Las Redes Definidas por Software (SDN) representan mejoras que separan el control del plano de datos, revolucionando la gestión de redes. Además, su implementación en entornos académicos facilita la experimentación y aprendizaje, siendo de gran importancia su adopción en Instituciones de Educación Superior para impulsar la investigación y formación en tecnologías de red emergentes (Silva, 2021).

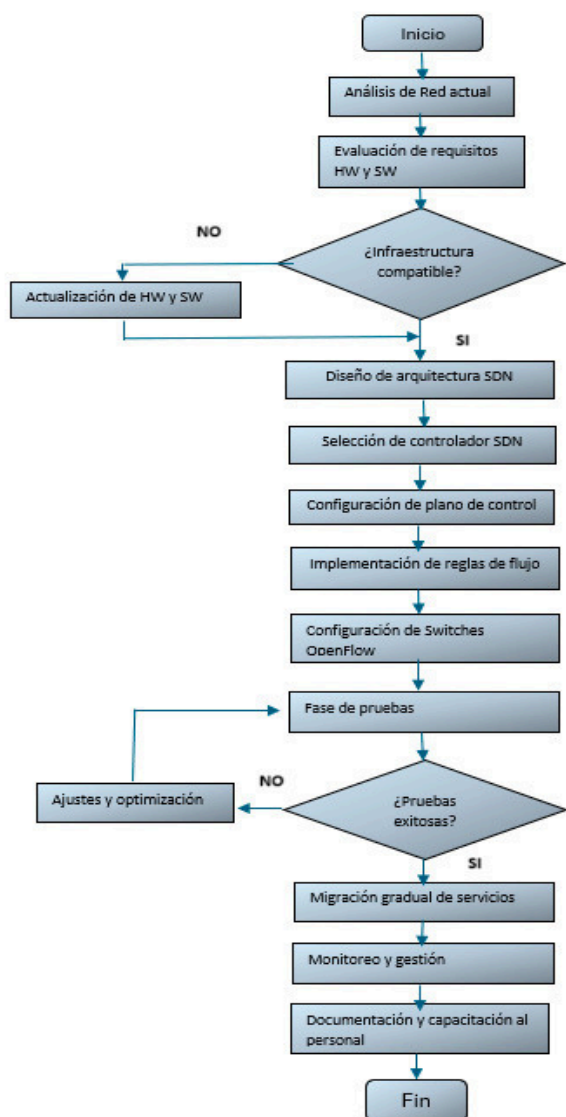
Los beneficios identificados al utilizar esta tecnología SDN pueden ser: la flexibilidad operativa, optimización de recursos y mejora en la seguridad. La primera reduce significativamente el tiempo de respuesta ante cambios en la infraestructura y la automatización de procesos minimiza errores humanos en la configuración. Con la optimización de recursos se consigue mayor eficiencia en la utilización del ancho de banda, reducción de costos operativos a largo plazo y una mejor distribución de cargas de trabajo en la red. En cuanto a la seguridad mejora el control granular de sus políticas, respuesta más rápida ante amenazas y capacidad de aislamiento inmediato de segmentos comprometidos.

A continuación, se puede mirar un diagrama de flujo para la implementación de SDN en una red empresarial usando Mermaid, aquí se muestra los pasos principales y el flujo lógico del proceso que puede ser la base para redes de infraestructuras críticas.

Figura 4.

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

Diagrama de flujo para una posible implementación de SDN en una red crítica.



El diagrama anterior proporciona una visión general estructurada del proceso de implementación de SDN, considerando las principales etapas adecuadas para un entorno empresarial acorde a las necesidades. Estas etapas pueden ser explicadas de la siguiente forma:

- **Análisis de la red actual:** en esta etapa conlleva la evaluación de la infraestructura existente, identificación de puntos críticos y el mapeo de servicios-aplicaciones.
- **Evaluación de requisitos:** incluye la determinación de necesidades específicas, análisis de rendimiento requerido y la evaluación de presupuesto.
- **Verificación de compatibilidad:** revisión de HW existente, verificación de compatibilidad con OpenFlow y la identificación de necesidades de actualización.
- **Diseño de arquitectura SDN:** dentro de esto se encuentra la planificación de topología, diseño de subredes y definición de políticas de red.

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

- **Selección de controlador SDN:** Se evalúa las opciones de SW, análisis de características y capacidades, así como la selección basada en requisitos.
- **Configuración del plano de control:** aquí se ve la instalación de controlador, configuración inicial y establecimiento de conexiones.
- **Implementación de reglas:** dentro de ellas está la definición de políticas de flujo, configuración de reglas de enrutamiento y el establecimiento de QoS.
- **Configuración de Switches:** habilitación de OpenFlow, conexión con el controlador y configuración de puertos.
- **Fase de pruebas:** para revisión del funcionamiento adecuado se realizan las pruebas de conectividad, verificación de políticas y pruebas de rendimiento.
- **Migración y monitoreo:** migración gradual de servicios, monitoreo continuo y ajustes según necesidad.
- **Documentación y capacitación:** es necesario dejar una documentación técnica, capacitación del personal y establecimiento de procedimientos.

5. CONCLUSIONES

La implementación de SDN representa un cambio único en la administración de infraestructuras críticas, ofreciendo una gestión centralizada y programable que mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce los costos de mantenimiento a largo plazo.

Proporciona un control más seguro y dinámico de la red, permitiendo una mejor segmentación, monitoreo en tiempo real y respuesta inmediata ante amenazas de seguridad. La flexibilidad inherente de esta tecnología facilita la adaptación rápida a nuevos requerimientos y la implementación eficiente de políticas de red, fundamentales en entornos críticos.

La adopción de SDN en infraestructuras críticas se ha convertido en un elemento estratégico para la modernización tecnológica, especialmente en entornos académicos y empresariales. Su implementación requiere una planificación cuidadosa y una inversión inicial significativa, pero los beneficios a largo plazo en términos de escalabilidad, eficiencia y capacidad de innovación justifican su costo.

6. REFERENCIAS Ahmad, I., Namal, S., Ylianttila, M., & Gurtov, A. (2015). Security in Software

Defined Networks:

A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2317-2346.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2474118>

Al-Mashadani, A. K. A., & Ilyas, M. (2022). Distributed Denial of Service Attack Alleviated and Detected by Using Mininet and Software Defined Network. *Webology*, 19(1), 4129-4144.
<https://doi.org/10.14704/WEB/V19I1/WEB19272>

Armigón, P., González, O., & Fernández, J. (2020). *Transport SDN architecture for multi-layer transport slicing*. <https://opg.optica.org/jocn/abstract.cfm?uri=jocn-16-8-D76>

Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

- Cox, J. H., Chung, J., Donovan, S., Ivey, J., Clark, R. J., Riley, G., & Owen, H. L. (2017a). Advancing Software-Defined Networks: A Survey. *IEEE Access*, 5, 25487-25526. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2762291>
- Cox, J. H., Chung, J., Donovan, S., Ivey, J., Clark, R. J., Riley, G., & Owen, H. L. (2017b). Advancing Software-Defined Networks: A Survey. *IEEE Access*, 5, 25487-25526. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2762291>
- Cunha, J., Ferreira, P., Castro, E. M., Oliveira, P. C., Nicolau, M. J., Núñez, I., Sousa, X. R., & Serôdio, C. (2024). Enhancing Network Slicing Security: Machine Learning, Software-Defined Networking, and Network Functions Virtualization-Driven Strategies. *Future Internet*, 16(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/fi16070226>
- Li, L., Liu, Y., You, I., & Song, F. (2023). A Smart Retransmission Mechanism for Ultra-Reliable Applications in Industrial Wireless Networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(2), 1988-1996. <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3183221>
- Lu, J., Zhang, Z., Hu, T., Yi, P., & Lan, J. (2019). A Survey of Controller Placement Problem in Software-Defined Networking. *IEEE Access*, 7, 24290-24307. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2893283>
- Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X.-N., Obraczka, K., & Turletti, T. (2014). A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1617-1634. <https://doi.org/10.1109/SURV.2014.012214.00180>
- Park, K., Sung, S., Kim, H., & Jung, J. (2023). Technology trends and challenges in SDN and service assurance for end-to-end network slicing. *Computer Networks*, 234, 109908. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109908>
- Rawat, D. B., & Reddy, S. R. (2017). Software Defined Networking Architecture, Security and Energy Efficiency: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(1), 325-346. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2618874>
- Silva, J. (2021). Tecnología de red definida por software para el aprendizaje en grupos de investigación y educación. *Revista Innova Educación*, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.005>
- Singh, S. Kr., Sharma, S. K., Singla, D., & Gill, S. S. (2022). Evolving Requirements and Application of SDN and IoT in the Context of Industry 4.0, Blockchain and Artificial Intelligence. En *Software Defined Networks* (pp. 427-496). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119857921.ch13>
- Tierra Reinoso, N. J. (2025). *Los ataques de denegación de servicio (DOS) en la seguridad de redes definidas por software (SDN)*. [bachelorThesis, Babahoyo: UTB-FAFI. 2025]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/17942>
- Wei, L. (2024). A Critical Analysis of DDoS Mitigation with AI. *American Journal of Autonomous Systems and Robotics Engineering*, 4, 1-6.
- Manobanda, G., Lara, E., & Araujo, C. (2025). Software-defined networks (SDN) in critical infrastructures. *Revista Investigación Tecnológica IST Central*.

sostenible frente a los métodos tradicionales. La metodología utilizada incluyó un “grupo focalizado” con participantes de diferentes niveles para explorar percepciones

encuesta enfocada en la “Gestión de Residuos Peligrosos y Especiales en los Hogares”, el 66,7%

dentro del “

onal de desechos especiales”

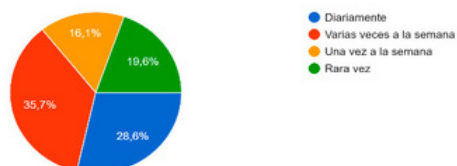
[illegible]

$$r r = (r r \& (N N - 1) + Z Z 2 * p p * q q)$$

$$n = \frac{62}{(0,052 * (1000 - 1) + 1,96 * 0,5 * 0,5)} = \frac{960,4}{3,4579} \approx 277,7$$

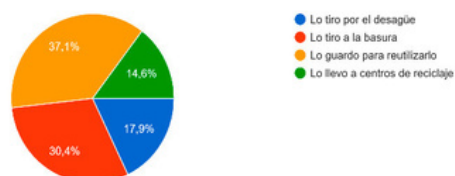
¿Con qué frecuencia utiliza aceite vegetal para cocinar en su hogar?

280 respuestas



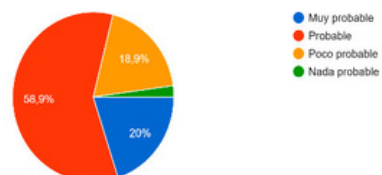
¿Qué hace normalmente con el aceite vegetal usado después de cocinar?

280 respuestas



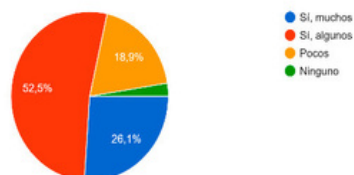
¿Qué tan probable es que compre jabón ecológico hecho a partir de aceite vegetal reciclado?

280 respuestas



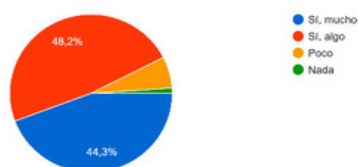
¿Considera que el reciclaje de aceite vegetal puede tener beneficios económicos para su hogar?

280 respuestas



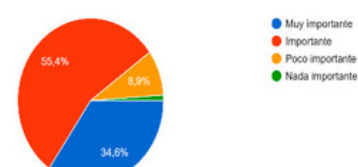
¿Considera que la implementación de tecnología automatizada en el reciclaje de aceite vegetal puede contribuir al desarrollo sostenible?

280 respuestas



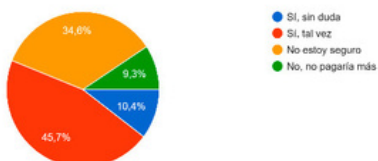
¿Qué tan importante considera que es la automatización en el proceso de reciclaje de aceite vegetal para hacer jabón ecológico?

280 respuestas



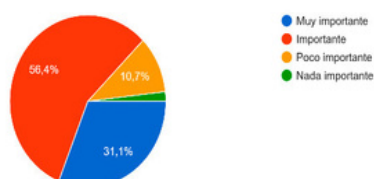
¿Estaría dispuesto a pagar un precio más alto por jabón ecológico producido mediante un proceso automatizado?

280 respuestas

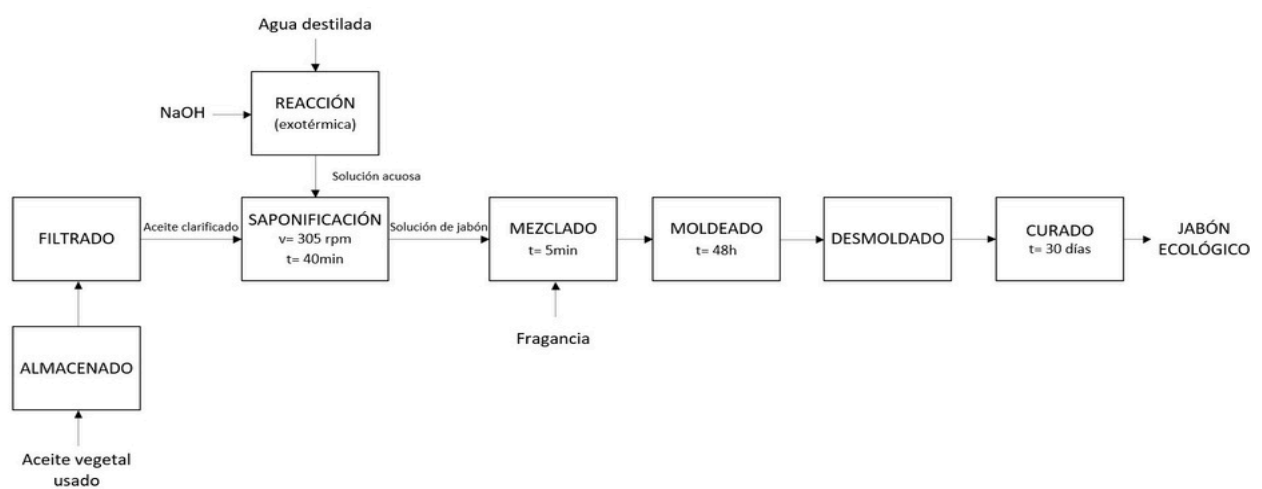


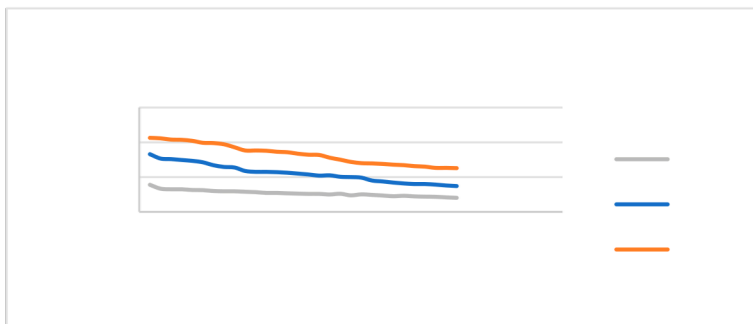
¿Qué tan importante es para usted que el jabón ecológico sea producido de manera sostenible?

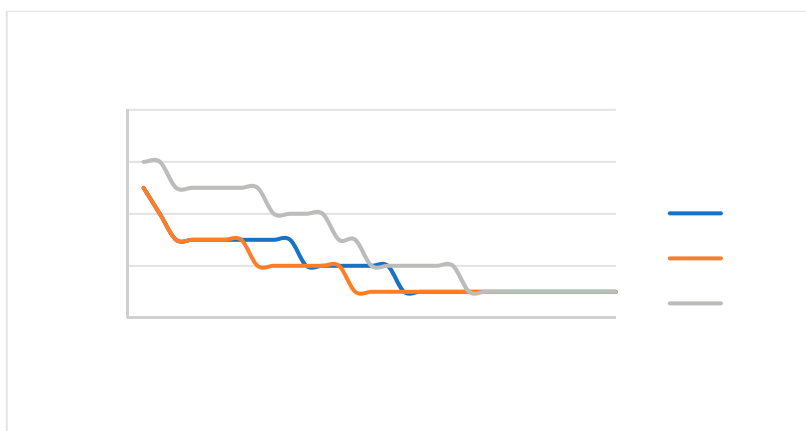
280 respuestas



-
-
-
-
-



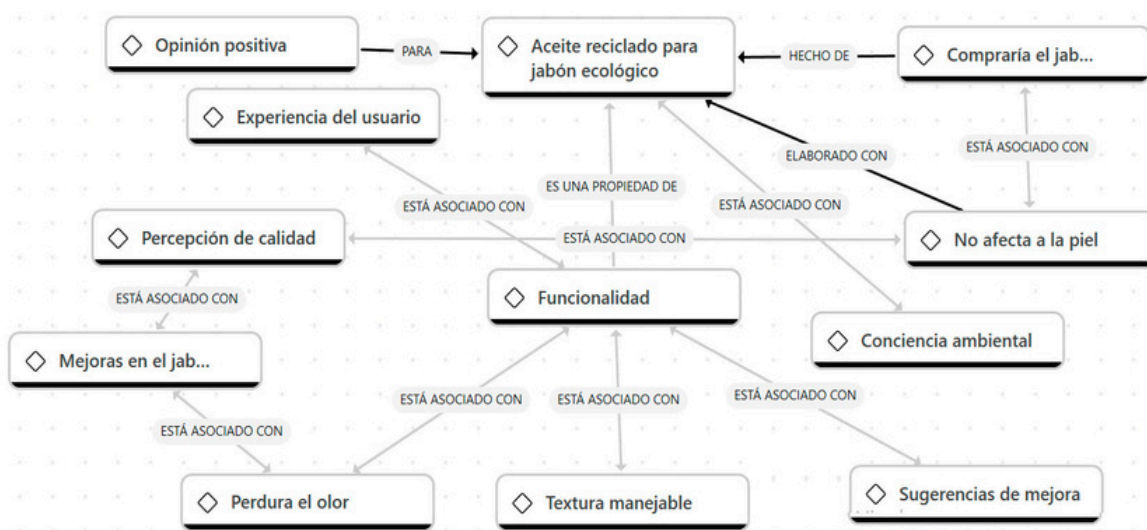




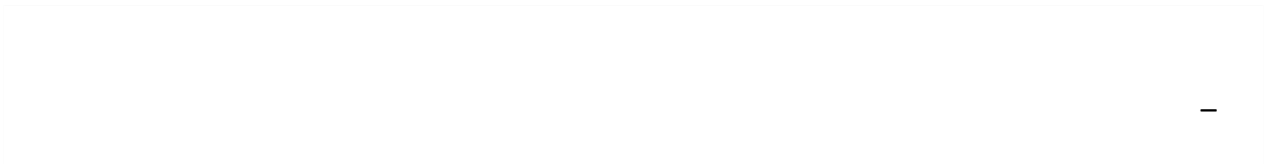


En el centro del diagrama se encuentra el tema principal, “Aceite reciclado para jabón ecológico”,

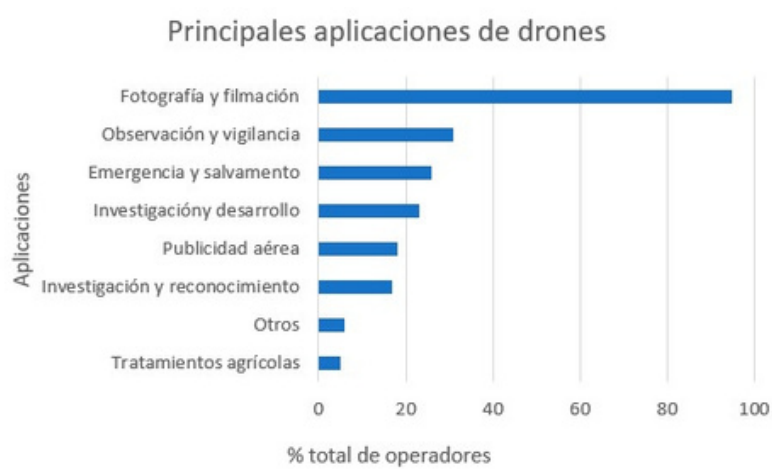
propiedad clave del jabón ecológico y está vinculada con beneficios específicos como “no afecta a la piel” y “conciencia ambiental”, resaltando así su impacto positivo tanto en la salud como en











Ecuador son los siguientes: “1. Formulario FORMATO

de despegue”.

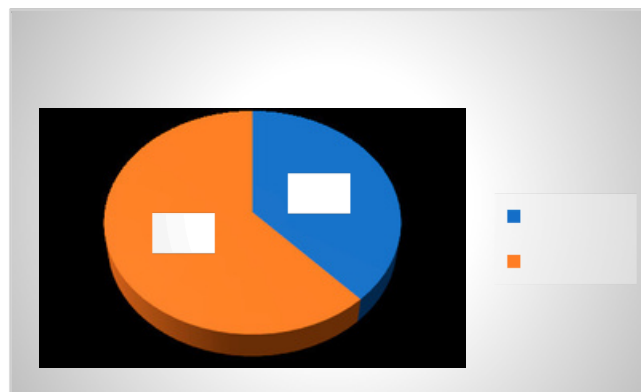
. Según la “Dirección General de Aviación Civil con Resolución Nro. DGAC

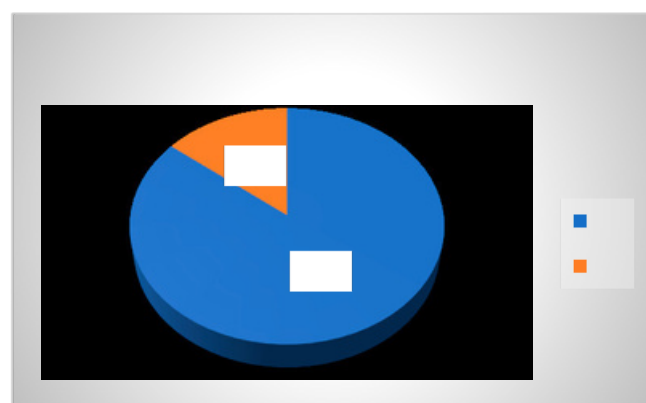
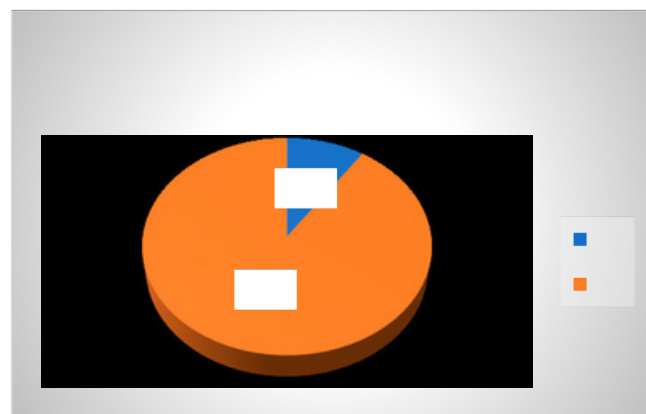
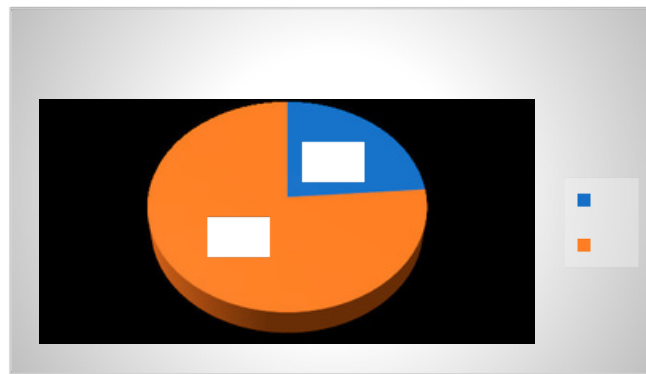
Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)”

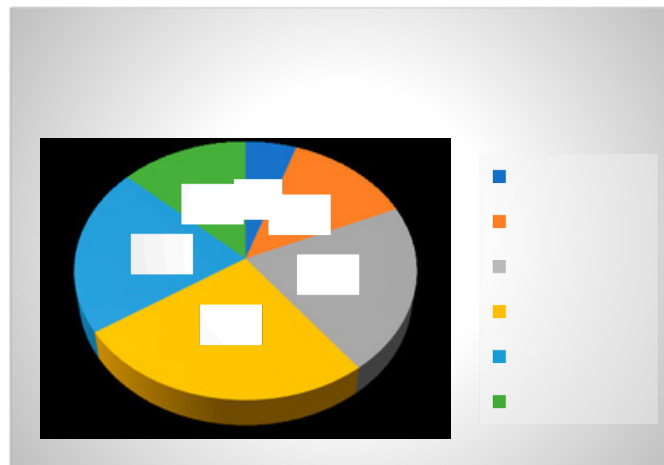
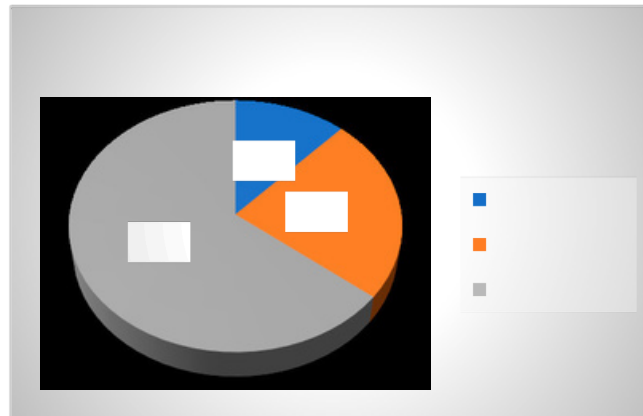
Tipo de Dron en Ecuador	Utilización	Año de Inicio
Drones Agrícolas	Son utilizados para monitorear diferentes tipos de cultivos y gestión de recursos.	2010
Drones de inspección	Evaluación de infraestructuras y mantenimiento, sitios	2016
Drones de fotografía aérea	en donde es peligroso que ingrese un ser humano. Captura de imágenes para turismo y publicidad.	2018
Drones de mapeo	En la actualidad, también son utilizados para grabaciones de reuniones o eventos sociales. Cartografía y levantamientos topográficos. Son muy utilizados a nivel de volcanes, tomando en cuenta que Ecuador se encuentra en zona volcánica.	2017
Drones de Rescate	Búsqueda y rescate en emergencias, especialmente de desastres naturales.	2018
Drones de Vigilancia	Monitoreo de áreas protegidas y conservación	2019
Drones de Entrega	Transporte de productos y suministros	2020

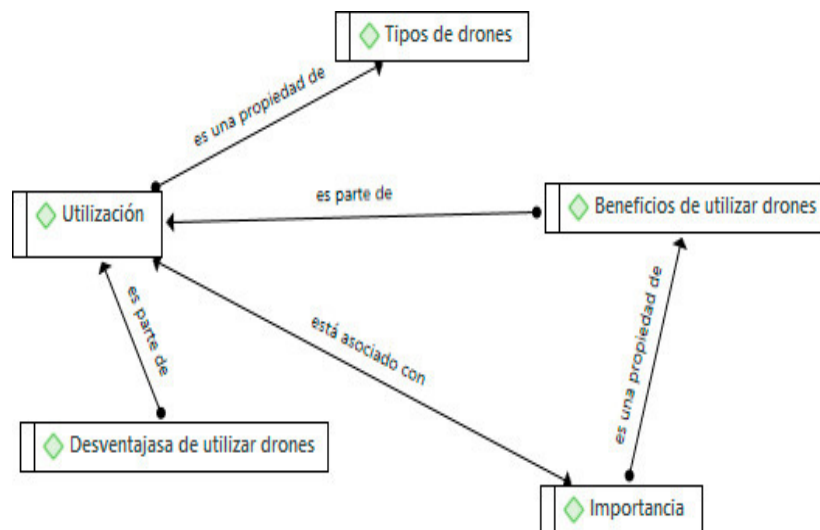
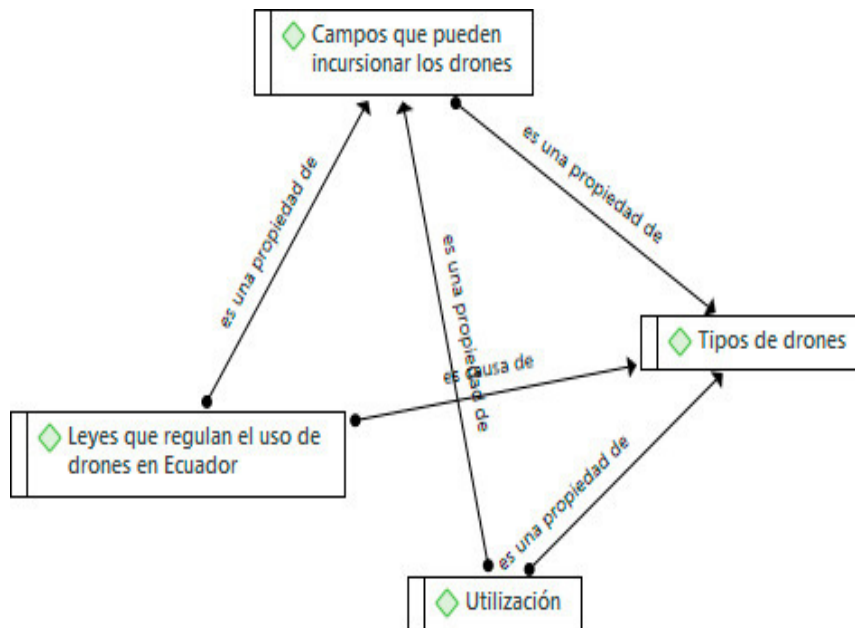
$$\frac{(ZZ2*pp*qq*NN)}{n \neq (NN-1)+ZZ2*pp*qq}$$

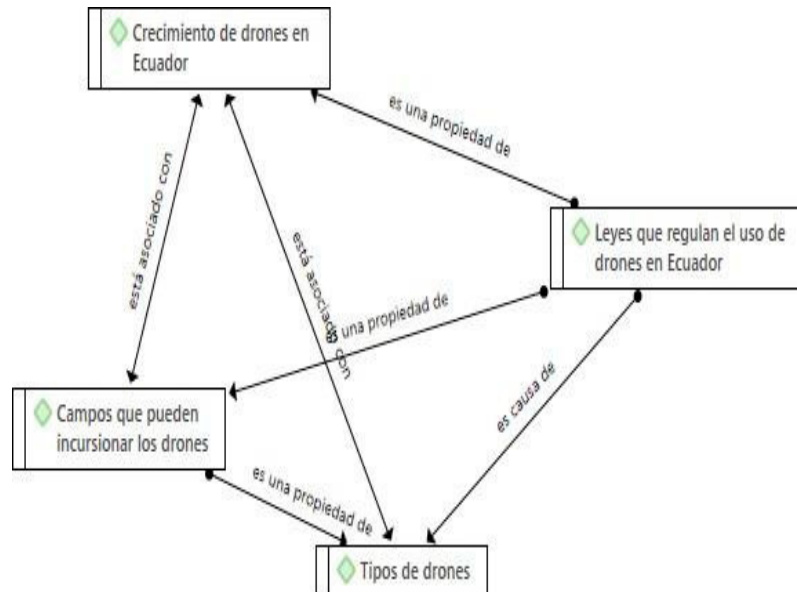
$$n = \frac{(0,052 \cdot (1,500 \cdot 0,15 \cdot 0,15 \cdot 0,5) + 0,5 \cdot 0,5)}{2,2079} \approx 217$$











de leyes y reglamentos que rigen esta actividad. “La primera clasificación
pesan menos de 150 kg, aplica la legislación local”





—

—

—







nn

nn

$$yy[nn] = \sum_{kk=0}^{nn} h[kk] \cdot xx[nn - kk]$$

$yy[nn]$

$xx[nn - kk]$

$h[kk]$

nn

$$\omega(n) = \frac{1 - \cos(2\pi n/M)}{2}, 0 \leq n \leq M-1$$

$\omega(n)$

M

n

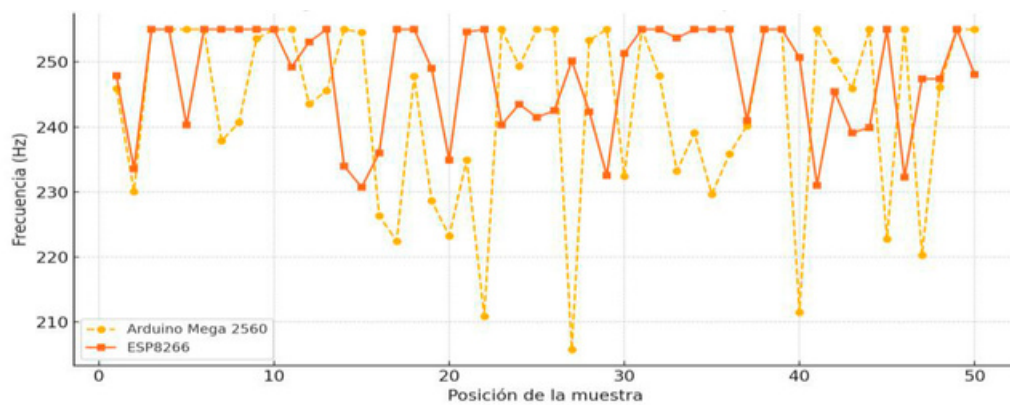
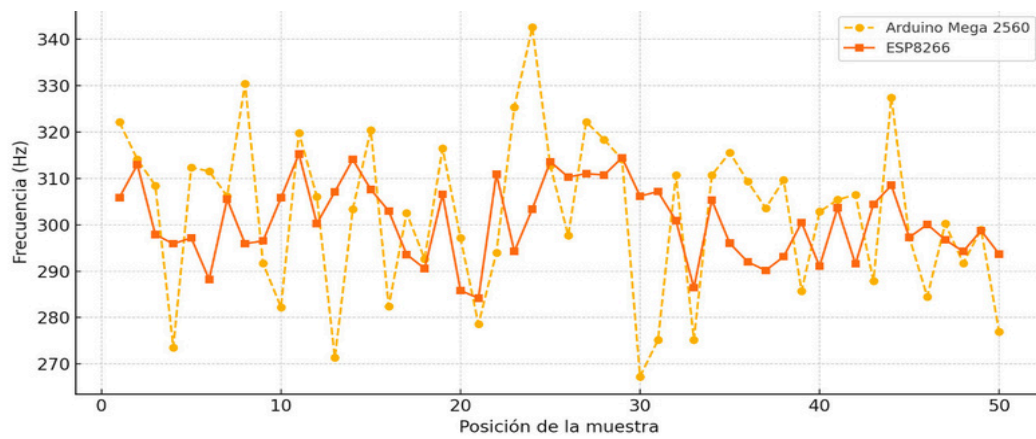
puedan introducir ruido no deseado. Visualmente, se asemeja a una “campana” que reduce

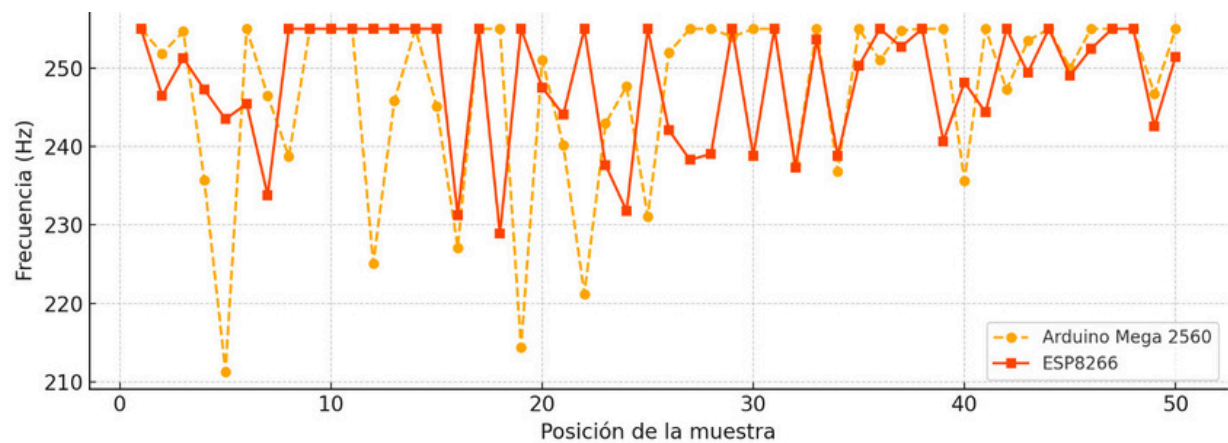
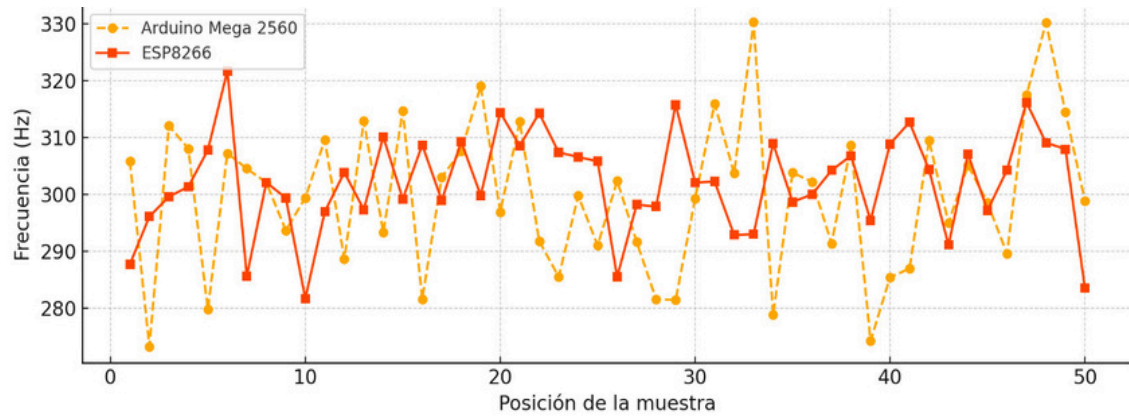
```
float h[31] = {  
    -0.0012, -0.0023, -0.0034, -0.0042, -0.0043, -0.0031, 0.0000, 0.0054,  
    0.0129, 0.0215, 0.0293, 0.0341, 0.0343, 0.0290, 0.0185, 0.0043,  
    -0.0114, -0.0262, -0.0370, -0.0415, -0.0384, -0.0279, -0.0123, 0.0054,  
    0.0216, 0.0329, 0.0370, 0.0335, 0.0232, 0.0080, -0.0093  
};
```

```
for (int i = 30; i > 0; i--) {  
    x[i] = x[i-1];  
}  
x[0] = analogRead(A0);
```

```
float y = 0;  
for (int i = 0; i < 31; i++) {  
    y += h[i] * x[i];  
}
```











—



—

—

—

—

—

—

—

—





2.2. Diseño de las Vigas del puente celosía:

$$[PPPP = \frac{E A}{L}]$$

$$PPPP = CCCCCCCCCC PPnnnnnnPPCCnn$$

$$FFcccc = eeeeeeeeeC Ceenn ccCCnnccnnccnn$$

$$AAss = AAC CeeCC ddee CCcceeCCnn$$

$$[FFcc = (0.658 \frac{f f f f}{f f f f}) eeee]$$

$$eeff = eeeeeeeeeC Ceenn ddee CCcceeCCnn$$

$$eeee = eeeeeeeeeC Ceenn ddee EEeenneeCC$$

$$[eeee = \frac{\pi^2 E I}{(r r)^2}]$$

$$EE = nnnnddeenenn ddee CCcceeCCnn$$

$$eennCCecccceennddCCdd$$

$$ddeenn$$

$$kk = ccnnPPecccCCPPccee ddee$$

$$CCaannffnnee$$

$$LL = nnnnPPCCnnccedd ddee$$

$$nnCC ccnnneennPPCC$$

$$CC = CCCCddnnnn ddee$$

$$CCnnCCnn ddeen$$

$$aeeeCCeenenn$$

۲.۳. Diseño de vigas:

$$[MMMM = MMMM = 0.9ffffZZxx$$

[illegible]

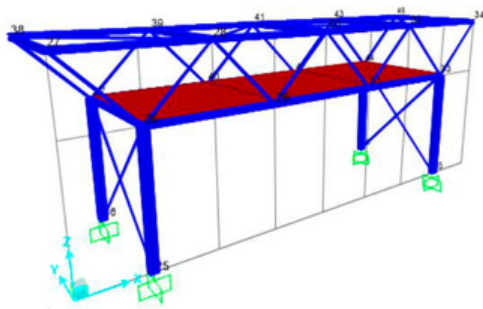
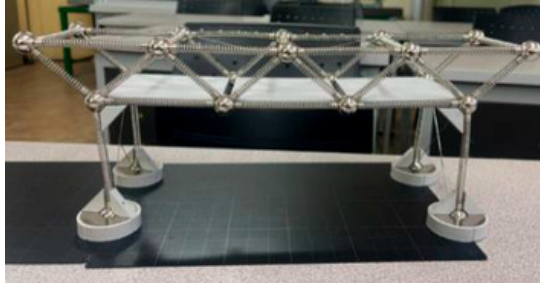
$$CCCC=1$$

$$ffZZ=MMMMddeennMM\ ddMM\ eeMMppnnppMMMMMppnnnnn\ MMnnMMppMMnnppMM$$

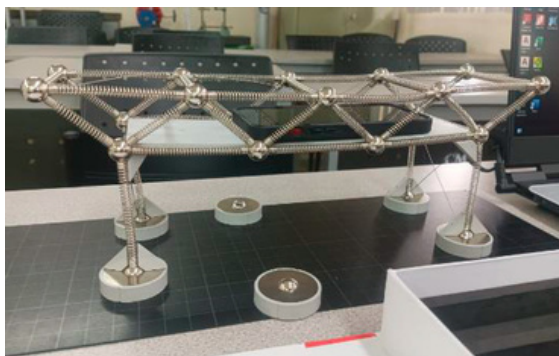
LLCC=nnMMMMllnnffeedd ddMM nnnn vvnnllnn

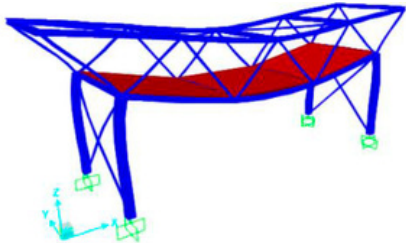
LLMM=nnMMMMllnnMMeedd MMMM ppMMMMMMeeMMnnddnn nnnnMMMMeeennnnMMMMMMMMMM MMnnZZnnM

LLee=LLMMMMllnnMMeedd MMMM ppMMMMMMeeMMnnddnn MMMMee nnnn ppeennnn ffnnnnnnnn



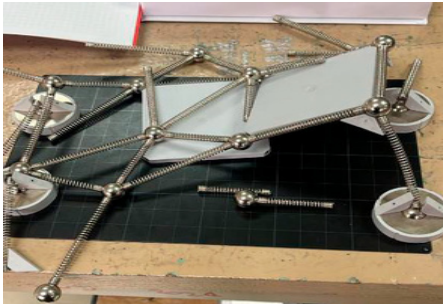
3.1. Primera Deformación



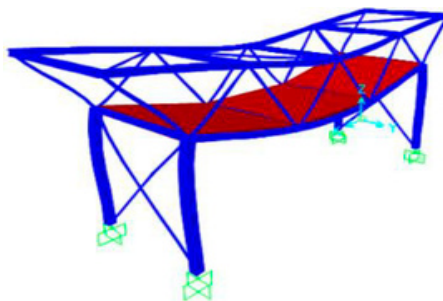


3.2. Segunda Deformación:

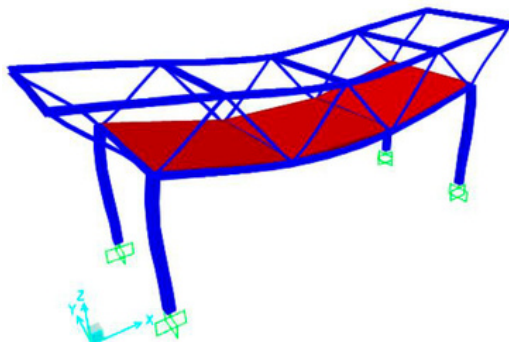
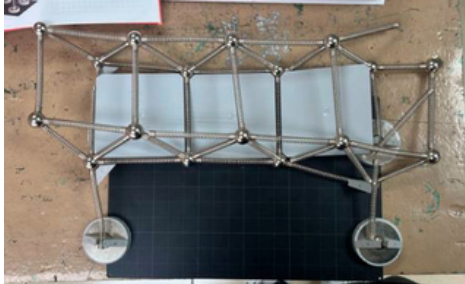
- En Kit Mola:



- En el SAP:



۳.۳. Tercera Deformación:



۳.۴. Cuarta Deformación:



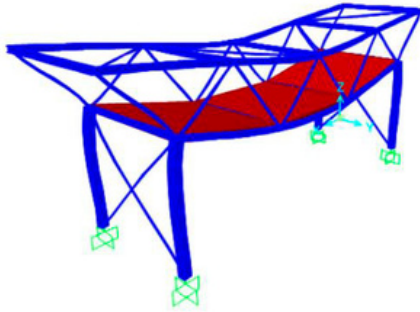
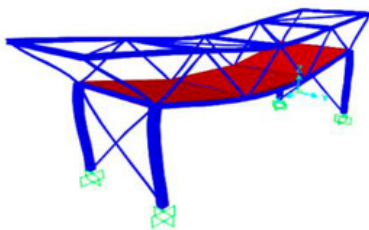
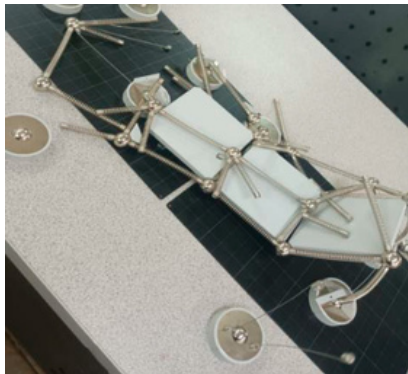


Fig. 5. Quinta Deformación:



ε. 1. En la primera deformación

ε. 2. En la segunda deformación

ε. 3. En la tercera deformación

ε. 4. En la cuarta deformación

ε . ο . En la quinta deformación

•

•

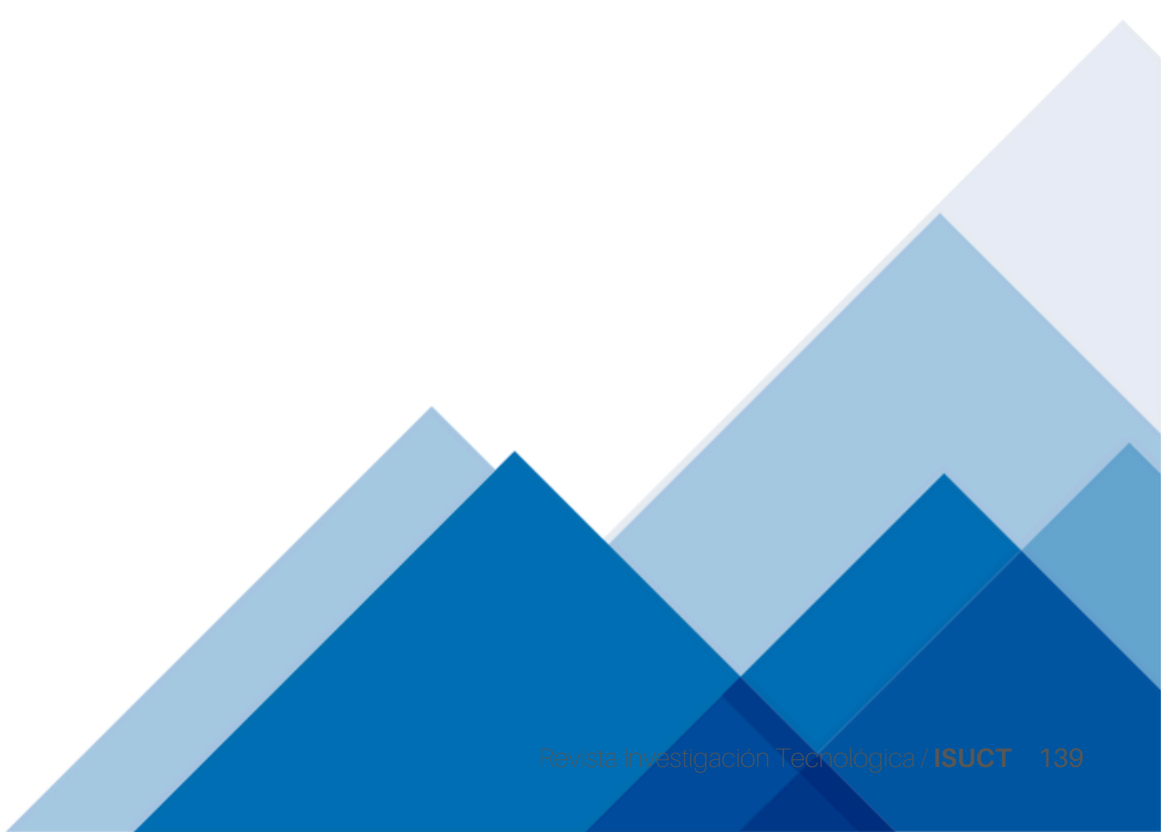
•

•

•

•

•



forma constante los valores de 30 °C y 65 %HR, parámetros establecidos por normativas

of 30 °C and 65 % relative humidity, as required by international regulations such as ICH Q1A and

-
-
-
-
-

-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

-
-
-
-

-
-
-
-
-
-
-

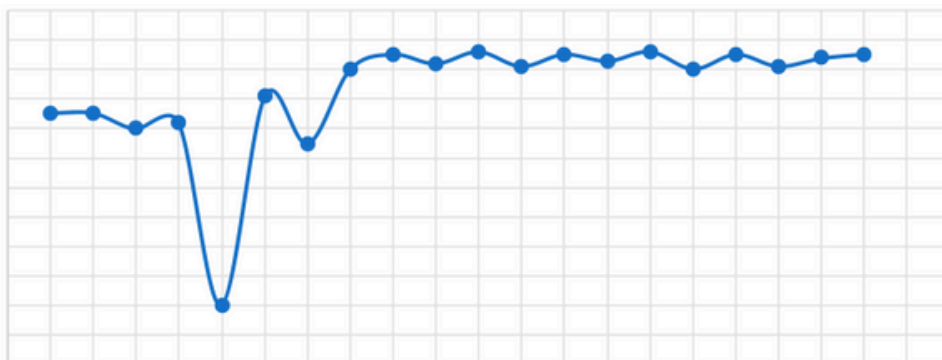
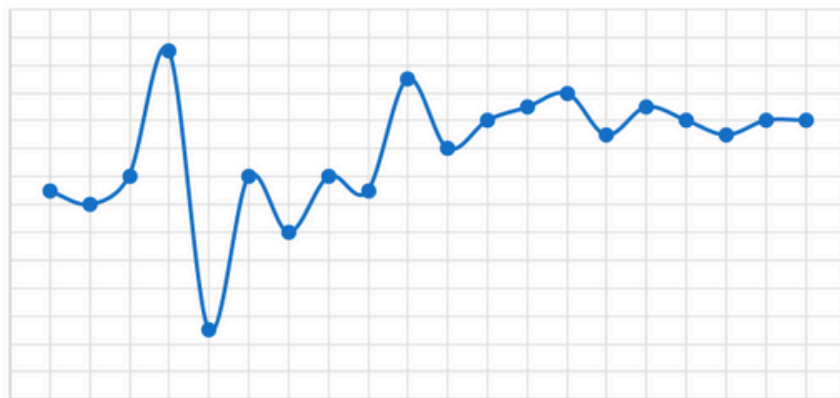
-
-
-
-
-

-
- -
 -
 -

-
-



mínimas. La temperatura promedio registrada fue de 30.2 °C con una desviación estándar de ± 0.5 °C. La humedad relativa se mantuvo dentro del 65 % ± 2.5 %.



•
•
•

•
•
•



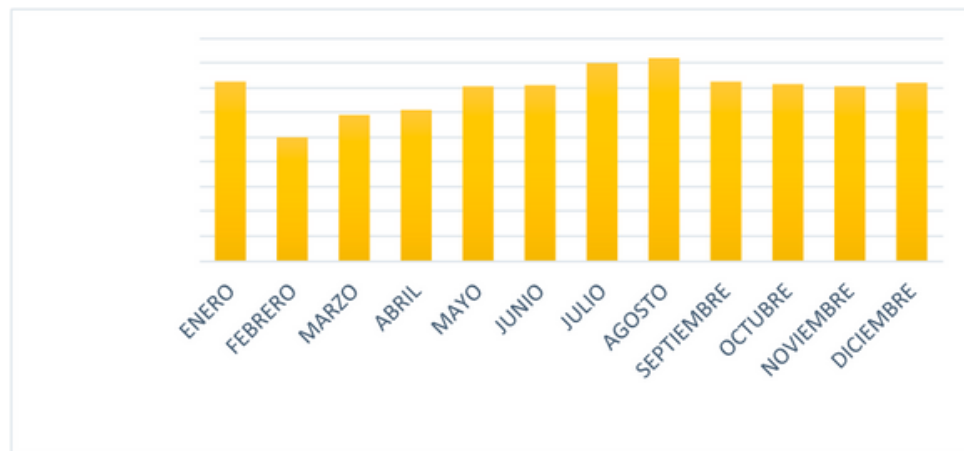


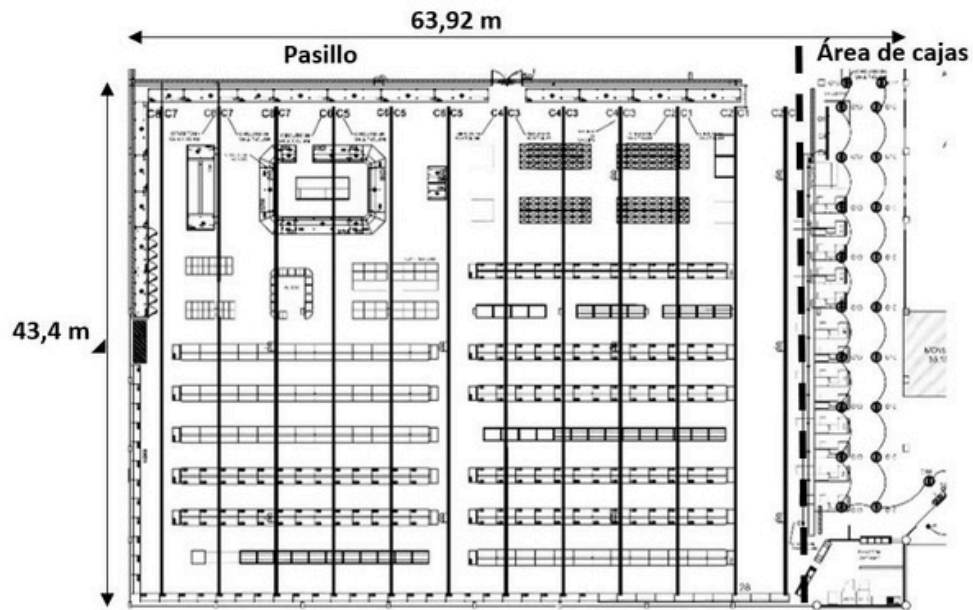


- -
-



kkkkkkmmmm





$$\text{Consumo kwh} = \frac{P \times NL \times T}{1000}$$

$$\text{Calculo 1} = \frac{(100 \text{ w} \times 21) \times 12 \text{ h} \times 30 \text{ d}}{1000} = 756 \text{ kkkkh}$$

$$\text{Calculo 2} = \frac{(50 \text{ w} \times 336) \times 12 \text{ h} \times 30 \text{ d}}{1000} = 6048 \text{ kkkkh}$$

Consumo mensual total (CM) = 756 Kwh + 6048 Kwh = 6804 kwh

$$CCCC = CCCC (kkkkh) \times CCCpCCCC$$

$$CCCC = 6804 \text{ KKKkh} \times 0,10 \text{ UUUUUU}$$

$$CCCCCCCCCCCCCCCC \text{ aaaaa} = 680,4 \text{ UUUUUU} = 81.648 \text{ kwh}$$

$$CCCCCCCCaaaaa \text{ aaaaa} = 81.648 \text{ kkkkh} \times 0,10 = 8.164,80 \text{ USD}$$

21" (53cms)



-
-
-
-
-
-

ϕ

•

$$k = \frac{aa*bb}{(H-h)*(aa+bb)}$$

•
•
•
•
•

$$k = \frac{43,4 * 63,92}{(8-1,20)*(43,4+63,92)} = 0,38$$

•

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{C_u \cdot F_m}$$

• Φ_T : Flujo luminoso total necesario (en lúmenes).
•
•
•
•

$$\Phi_T = \frac{400 * 2774,12}{1,19 * 0,7} = 1\,332.110,44 \text{ lm}$$

•

—
 Φ_T
NNNN Φ_L

•

- Φ_T
- Φ_L

—
NNNN=1332.110,44 lm
17.350 lm = 76 llllllllllllllllll

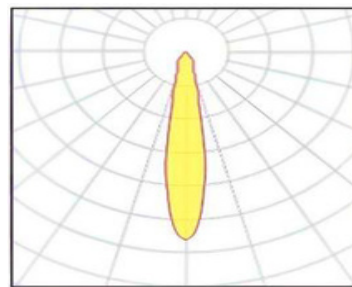
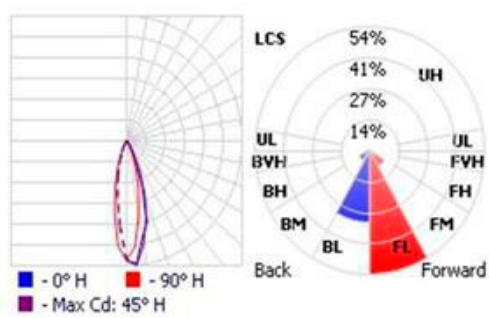
•

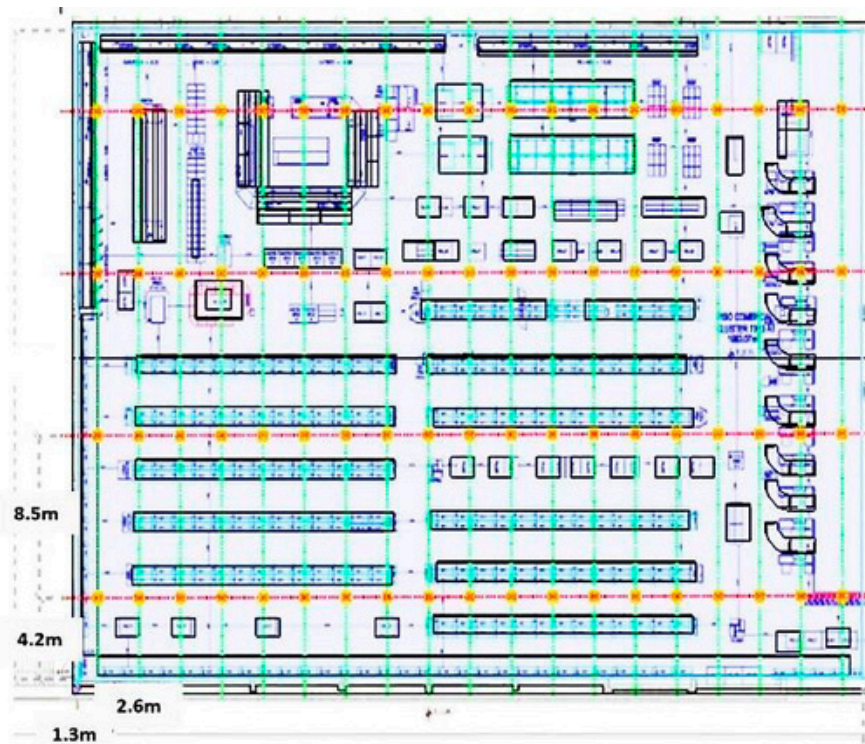
—
$$h = 45 * (h - 0,85)$$

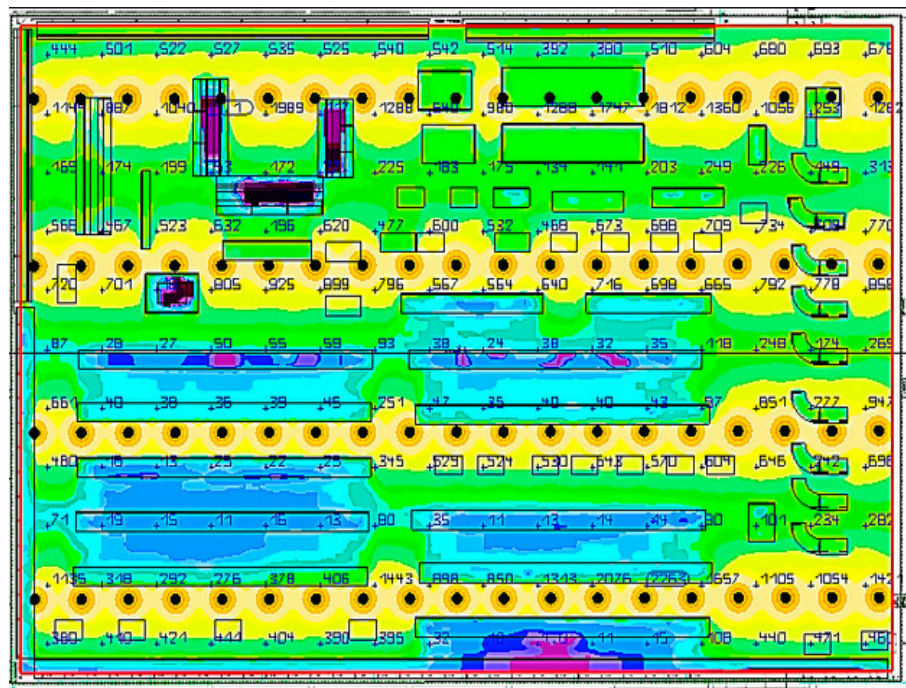
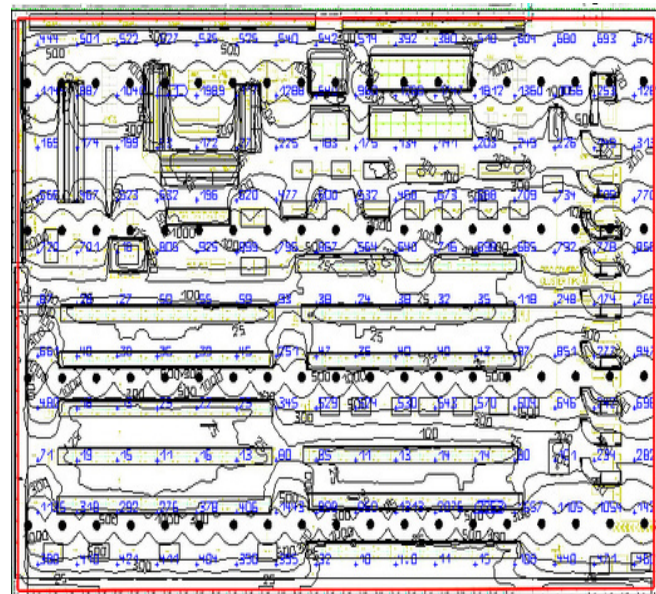
—
$$h = \frac{4}{5} * (8ll - 0,85) = 5,72ll$$

$$h = 5,72ll + 1,20ll = 6,92$$

$$h = 8m - 6,92m = 1,08 ll$$







$$AAAA=8164,80 \text{ UUUUUU}+445 \text{ UUUUUU}= 8609,80 \text{ UUUUUU}$$

$$\text{PRI} = \frac{III}{FFFFAA}$$

(V)



í é ó

Byerly's Supermarket Case Study



INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca
Quito – Ecuador • Telf.: (593) 2403096

www.istct.edu.ec • www.investigacionistct.ec • investigacion@istct.edu.ec