



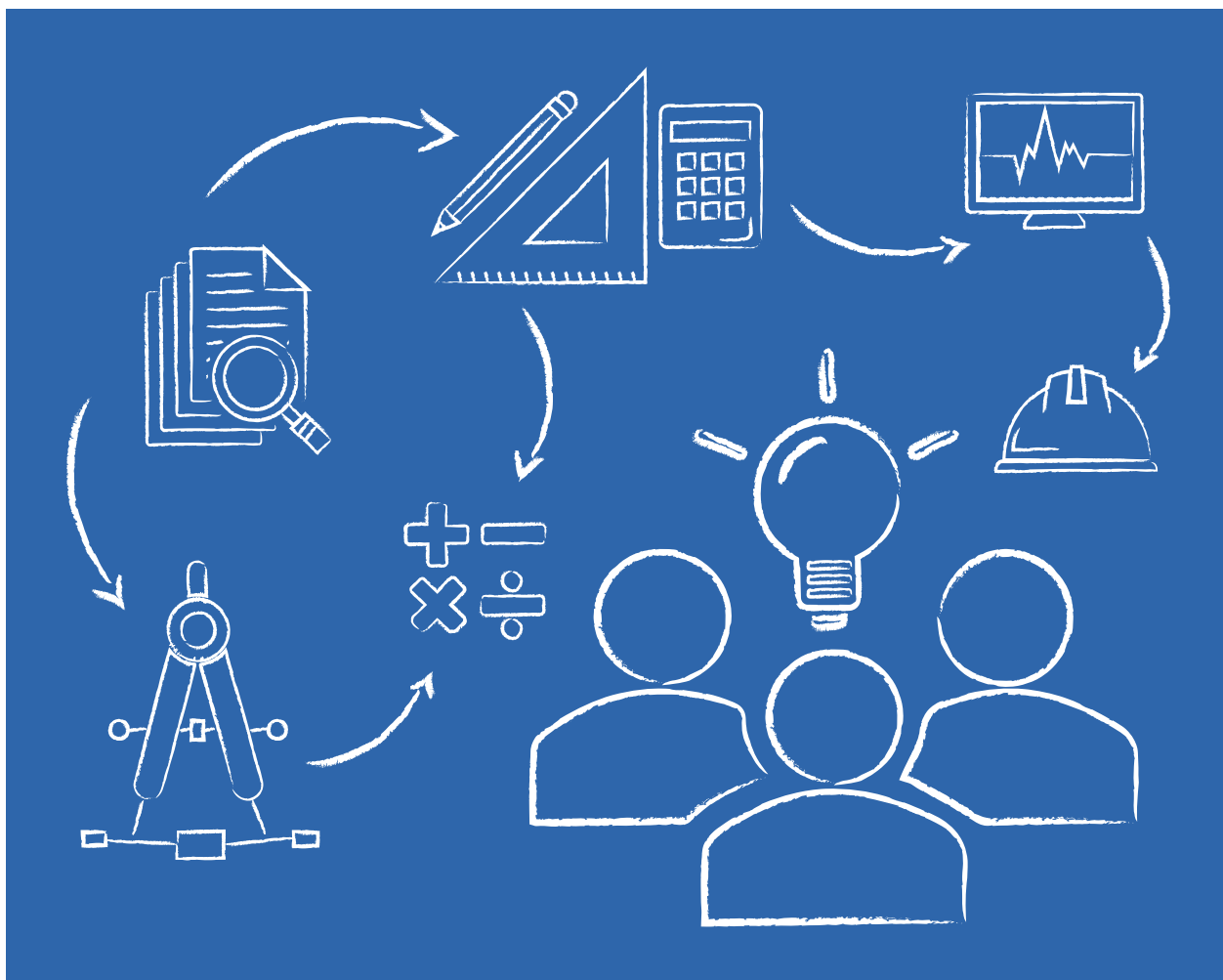
# tecnología

Glosas de innovación aplicadas a la pyme

Ed. 36\_Vol. 9\_N.º 4  
Diciembre 2020 \_Marzo 2021

Publicación trimestral

ISSN: 2254 – 4143



**3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme.**

Periodicidad trimestral. *Quarterly periodicity.*

Edición 36, Volumen 9, Número 4 (Diciembre 2020 - Marzo 2021).

*Edition 36, Volume 9, Issue 4 (December 2020 – March 2021).*

Tirada nacional e internacional. *National and internacional circulation.*

Artículos revisados por el método de evaluación de pares de doble ciego.

*Articles reviewed by the double blind peer evaluation method.*

ISSN: 2254 – 4143

Nº de Depósito Legal: A 268 – 2012

DOI: <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n4e36>

Edita:

Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

C/Alzamora 17, Alcoy, Alicante (España)

Tel: 965030572

[info@3ciencias.com](mailto:info@3ciencias.com) \_ [www.3ciencias.com](http://www.3ciencias.com)



Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos citando la fuente y el autor. *This publication may be reproduced by mentioning the source and the authors.*

Copyright © Área de Innovación y Desarrollo, S.L.



## CONSEJO EDITORIAL EDITORIAL BOARD

---

Director	Víctor Gisbert Soler
Editores adjuntos	María J. Vilaplana Aparicio
	Maria Vela Garcia
Editores asociados	David Juárez Varón
	F. Javier Cárcel Carrasco

## CONSEJO DE REDACCIÓN DRAFTING BOARD

---

- Dr. David Juárez Varón. *Universidad Politécnica de Valencia (España)*
- Dr. Martín León Santiesteban. *Universidad Autónoma de Occidente (México)*
- Dr. F. Javier Cárcel Carrasco. *Universidad Politécnica de Valencia (España)*
- Dr. Alberto Rodríguez Rodríguez. *Universidad Estatal del Sur de Manabí (Ecuador)*

## CONSEJO ASESOR ADVISORY BOARD

---

- Dra. Ana Isabel Pérez Molina. *Universidad Politécnica de Valencia (España)*
- Dr. Julio C. Pino Tarragó. *Universidad Estatal del Sur de Manabí (Ecuador)*
- Dr. Jorge Francisco Bernal Peralta. *Universidad de Tarapacá (Chile)*
- Dr. Roberth O. Zambrano Santos. *Instituto Tecnológico Superior de Portoviejo (Ecuador)*
- Dr. Sebastián Sánchez Castillo. *Universidad de Valencia (España)*
- Dra. Sonia P. Ubillús Saltos. *Instituto Tecnológico Superior de Portoviejo (Ecuador)*
- Dr. Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel. *Instituto Politécnico Nacional (México)*



## CONSEJO EDITORIAL EDITORIAL BOARD

---

Área textil	Dr. Josep Valldeperas Morell <i>Universidad Politécnica de Cataluña (España)</i>
Área financiera	Dr. Juan Ángel Lafuente Luengo <i>Universidad Jaime I (España)</i>
Organización de empresas y RRHH	Dr. Francisco Llopis Vañó <i>Universidad de Alicante (España)</i>
Estadística; Investigación operativa	Dra. Elena Pérez Bernabeu <i>Universidad Politécnica de Valencia (España)</i>
Economía y empresariales	Dr. José Joaquín García Gómez <i>Universidad de Almería (España)</i>
Sociología y Ciencias Políticas	Dr. Rodrigo Martínez Béjar <i>Universidad de Murcia (España)</i>
Derecho	Dra. María del Carmen Pastor Sempere <i>Universidad de Alicante (España)</i>
Ingeniería y Tecnología	Dr. David Juárez Varón <i>Universidad Politécnica de Valencia (España)</i>
Tecnologías de la Información y la Comunicación	Dr. Manuel Llorca Alcón <i>Universidad Politécnica de Valencia (España)</i>
Ciencias de la salud	Dra. Mar Arlandis Domingo <i>Hospital San Juan de Alicante (España)</i>

# POLÍTICA EDITORIAL

## OBJETIVO EDITORIAL

---

La Editorial científica 3Ciencias pretende transmitir a la sociedad ideas y proyectos innovadores, plasmados, o bien en artículos originales sometidos a revisión por expertos, o bien en los libros publicados con la más alta calidad científica y técnica.

## COBERTURA TEMÁTICA

---

3C Tecnología es una revista de carácter científico-social en la que se difunden trabajos originales que abarcan la Arquitectura y los diferentes campos de la Ingeniería, como puede ser Ingeniería Mecánica, Industrial, Informática, Eléctrica, Agronómica, Naval, Física, Química, Civil, Electrónica, Forestal, Aeronáutica y de las Telecomunicaciones.

## NUESTRO PÚBLICO

---

- Personal investigador.
- Doctorandos.
- Profesores de universidad.
- Oficinas de transferencia de resultados de investigación (OTRI).
- Empresas que desarrollan labor investigadora y quieran publicar alguno de sus estudios.

# AIMS AND SCOPE

## PUBLISHING GOAL

---

3C Ciencias wants to transmit to society innovative projects and ideas. This goal is reached through the publication of original articles which are subject to peer review or through the publication of scientific books.

## THEMATIC COVERAGE

---

3C Tecnología is a scientific-social journal in which original works that cover Architecture and the different fields of Engineering are disseminated, such as Mechanical, Industrial, Computer, Electrical, Agronomic, Naval, Physics, Chemistry, Civil, Electronics, Forestry, Aeronautics and Telecommunications.

## OUR TARGET

---

- Research staff.
- PhD students.
- Professors.
- Research Results Transfer Office.
- Companies that develop research and want to publish some of their works.

# NORMAS DE PUBLICACIÓN

3C Tecnología es una revista arbitrada que utiliza el sistema de revisión por pares de doble ciego (*double-blind peer review*), donde expertos externos en la materia sobre la que trata un trabajo lo evalúan, siempre manteniendo el anonimato, tanto de los autores como de los revisores. La revista sigue las normas de publicación de la APA (American Psychological Association) para su indización en las principales bases de datos internacionales.

Cada número de la revista se edita en versión electrónica (e-ISSN: 2254 – 4143), identificándose cada trabajo con su respectivo código DOI (Digital Object Identifier System).

## PRESENTACIÓN TRABAJOS

---

Los artículos se presentarán en tipo de letra Baskerville, cuerpo 11, justificados y sin tabuladores. Han de tener formato Word. La extensión será de no más de 6.000 palabras de texto, incluidas referencias.

Los trabajos deben ser enviados exclusivamente por plataforma de gestión de manuscritos OJS:

<https://ojs.3ciencias.com/>

Toda la información, así como las plantillas a las que deben ceñirse los trabajos se encuentran en:

<https://www.3ciencias.com/normas-de-publicacion/>

<https://www.3ciencias.com/normas-de-publicacion/plantillas/>

# SUBMISSION GUIDELINES

3C Tecnología is an arbitrated journal that uses the double-blind peer review system, where external experts in the field on which a paper deals evaluate it, always maintaining the anonymity of both the authors and of the reviewers. The journal follows the standards of publication of the APA (American Psychological Association) for indexing in the main international databases.

Each issue of the journal is published in electronic version (e-ISSN: 2254 – 4143), each work being identified with its respective DOI (Digital Object Identifier System) code.

## PRESENTATION WORK

---

The papers will be presented in Baskerville typeface, body 11, justified and without tabs. They must have Word format. The extension will be no more than 6.000 words of text, including references.

Papers must be submitted exclusively by OJS manuscript management platform:

<https://ojs.3ciencias.com/>

All the information, as well as the templates to which the works must adhere, can be found at:

<https://www.3ciencias.com/en/regulations/>

<https://www.3ciencias.com/en/regulations/templates/>

## ESTRUCTURA

---

Los trabajos originales tenderán a respetar la siguiente estructura: introducción, métodos, resultados, discusión/conclusiones, notas, agradecimientos y referencias bibliográficas.

Es obligatoria la inclusión de referencias, mientras que notas y agradecimientos son opcionales. Se valorará la correcta citación conforme a la 7.<sup>a</sup> edición de las normas APA.

## RESPONSABILIDADES ÉTICAS

---

No se acepta material previamente publicado (deben ser trabajos inéditos). En la lista de autores firmantes deben figurar única y exclusivamente aquellas personas que hayan contribuido intelectualmente (autoría), con un máximo de 4 autores por trabajo. No se aceptan artículos que no cumplan estrictamente las normas.

## INFORMACIÓN ESTADÍSTICA SOBRE TASAS DE ACEPTACIÓN E INTERNACIONALIZACIÓN

---

- Número de trabajos aceptados publicados: 5.
- Nivel de aceptación de manuscritos en este número: 55,6%.
- Nivel de rechazo de manuscritos: 44,4%.
- Internacionalización de autores: 5 países (Ecuador, Perú, Alemania, Arabia Saudita y Pakistán).

Normas de publicación: <https://www.3ciencias.com/normas-de-publicacion/instrucciones/>

## STRUCTURE

---

The original works will tend to respect the following structure: introduction, methods, results, discussion/ conclusions, notes, acknowledgments and bibliographical references.

The inclusion of references is mandatory, while notes and acknowledgments are optional. The correct citation will be assessed according to the 7th edition of the APA standards.

## ETHICAL RESPONSIBILITIES

---

Previously published material is not accepted (they must be unpublished works). The list of signatory authors should include only and exclusively those who have contributed intellectually (authorship), with a maximum of 4 authors per work. Articles that do not strictly comply with the standards are not accepted.

## STATISTICAL INFORMATION ON ACCEPTANCE AND INTERNATIONALIZATION FEES

---

- Number of accepted papers published: 5.
- Level of acceptance of manuscripts in this issue: 55,6%.
- Level of rejection of manuscripts: 44,4%.
- Internationalization of authors: 5 countries (Ecuador, Peru, Germany, Saudi Arabia and Pakistan).

Guidelines for authors: <https://www.3ciencias.com/en/regulations/instructions/>

## INDEXACIONES INDEXATIONS

---





## INDEXACIONES INDEXATIONS

---



# /SUMARIO/ /SUMMARY/

Comportamiento aerodinámico en la reducción del arrastre mediante la variación de accesorios en un tractocamión

*Aerodynamic behavior in reducing drag by varying accessories on a tractor-trailer*

Antonio Castillo, Alex Tenicota y Stalin Nuela

17

---

Pronóstico de siniestros viales en el Ecuador basado en descomposición de valores singulares multinivel - MSVD

*Forecasting of traffic accidents in Ecuador based on multilevel singular value decomposition - MSVD*

Ana Elizabeth Congacha, Lady Espinoza, Lida Barba y Cristian Hugo Morales

45

---

Firma digital basada en criptografía asimétrica para generación de historial clínico

*Digital signature based on asymmetric cryptography for generation of medical history*

Jose Cordova Ramirez, Hugo Vega Huerta, Ciro Rodriguez Rodriguez y Frank Escobedo Bailón

65

---

IoT based efficient solar panel monitoring

Mirsad Hyder Shah y Nasser Hassan Abosaq

87

---

Development of smart painting machine using image processing

Atif Saeed, Hussain Muslim Mithaiwala, Ammar Iqbal Hussain y Tulsi Kumar

95

---

/01/

# COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO EN LA REDUCCIÓN DEL ARRASTRE MEDIANTE LA VARIACIÓN DE ACCESORIOS EN UN TRACTOCAMIÓN

## AERODYNAMIC BEHAVIOR IN REDUCING DRAG BY VARYING ACCESSORIES ON A TRACTOR-TRAILER

---

**Antonio Castillo**

Máster en Ingeniería de Vehículos, Grupo de Investigación del Mantenimiento Gimán, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [antoniog.castillo@esPOCH.edu.ec](mailto:antoniog.castillo@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0045-7495>

**Alex Tenicota**

Magister en Gestión del Mantenimiento, Grupo de Investigación del Mantenimiento Gimán, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [alex.tenicota@esPOCH.edu.ec](mailto:alex.tenicota@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-7698>

**Stalin Nuela**

Magister en Gestión del Mantenimiento, Grupo de Investigación del Mantenimiento Gimán, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [stalin.nuela@esPOCH.edu.ec](mailto:stalin.nuela@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3543-9390>

**Recepción:** 20/07/2020 **Aceptación:** 08/10/2020 **Publicación:** 14/12/2020

### Citación sugerida:

Castillo, A., Tenicota, A., y Nuela, S. (2020). Comportamiento aerodinámico en la reducción del arrastre mediante la variación de accesorios en un tractocamión. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 9(4), 17-43. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n4e36.17-43>

## RESUMEN

El transporte público y carga pesada como productos del sector automotriz son las principales fuentes de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y aproximadamente un tercio son causadas por vehículos comerciales, especialmente de la clase de tractocamión - remolque de extensos recorridos en carretera. Aunque las estrategias para reducir el consumo de combustible cada vez son más restringidas, la resistencia aerodinámica es una alternativa sustentable des ahorro de combustible en la última década. El objetivo de la investigación persigue identificar el comportamiento aerodinámico en la reducción del arrastre hasta el límite mediante la variación de accesorios en un tractocamión y remolque para identificar las posibles ganancias aerodinámicas. Un tractocamión - remolque estándar con dimensiones conocidas fue modelado en CAD, del mismo modo los accesorios instalados en el remolque, deflector de techo, estabilizador de vórtice, secciones laterales, y extensión del marco. Con la simulación mediante Computational Fluid Dynamics FLUENT, se investigó la influencia del flujo alrededor del camión, y sus comportamientos inestables. La velocidad referencia de 90 km / h misma que contribuye al arrastre, fue analizada en diferentes regiones para la obtención de una mayor resistencia al viento frontal. Para la simulación fueron agregadas las mejoras en los accesorios del remolque, y con ello la evaluación de resultados entre la simulación y el modelo original. Los accesorios simples del remolque con la mejora en la geometría y longitud hacen posible la reducción de la resistencia aerodinámica entre el 19 al 28.8%, en comparación con el vehículo objetivo, y un aumento dimensional general inferior al 1%, sin ningún cambio en la capacidad de carga del remolque.

## PALABRAS CLAVE

Resistencia aerodinámica, Tractocamión, Remolque, Accesorios.

## ABSTRACT

*Public transport and heavy freight as a product of the automotive sector are the main sources of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, and about one third are caused by commercial vehicles, especially of the tractor-trailer class of long road journeys. Although strategies to reduce fuel consumption are becoming increasingly constrained, aerodynamic drag is a sustainable fuel-saving alternative in the last decade. The objective of the research is to identify the aerodynamic flow behaviour around the standard tractor-trailer case, within the framework of drag reduction by varying trailer devices and accessories to the limit to generate possible aerodynamic gains. A standard tractor-trailer with known dimensions was CAD-modelled, as were the trailer-installed accessories, roof deflector, vortex stabilizer, side sections, and frame extension. With the simulation using Computational Fluid Dynamics FLUENT, the influence of the flow around the truck, and its unstable behavior was investigated. The reference speed of 90 km/hr, which contributes to the drag, was analyzed in different regions to obtain a greater resistance to the front wind. For the simulation, the improvements in the trailer accessories were added, and with it the evaluation of results between the simulation and the original model. Simple trailer attachments with improved geometry and length make it possible to reduce the drag by 19 to 28.8% compared to the target vehicle and to increase the overall size by less than 1% without any change in the load capacity of the trailer.*

## KEYWORDS

*Aerodynamic resistance, Tractor truck, Trailer, Accessories.*

# 1. INTRODUCCIÓN

La reducción del consumo de combustible se ha convertido en una necesidad importante a resolver en la “industria automotriz definida por la tendencia al alza de precios, y la aparición de compañías competitivas y eficientes para el diseño de sus productos” (Meneses y Trejos, 2018). El transporte público y privado de carga pesada son las principales fuentes de emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y aproximadamente un tercio son causadas por vehículos comerciales como el caso del remolque-camión en largos recorridos. Según estudios especializados en el análisis del consumo de combustible de vehículos (Schaller, 2010; Hucho, 1998; IEA, 2011) y la National Research Council Canada; identifican como principales fuentes de emisiones a las cargas producidas por efecto aerodinámico, y resistencia a la rodadura, con factores de consumo de entre el 30 al 55%, debido a las cargas axiales en alta velocidad y diseño de accesorios.

Debido a que los vehículos están trabajando para avanzar por el aire o túnel de viento, el aire creará una fuerza de arrastre que se opone al movimiento. En circunstancias realistas y condiciones de conducción, el túnel de viento se divide en varias partes; suelo, entrada, salida, paredes laterales y techo. La entrada está configurada como entrada de velocidad, la cara de salida está configurada como salida de presión, mientras que las paredes laterales se definen como pared estacionaria sin condición de deslizamiento para simular simetría. Esto hace que el vehículo tenga que crear más potencia para realizar la misma cantidad de trabajo, debido a que el arrastre es una fuerza inevitable que debe minimizarse para maximizar la cantidad de potencia para desplazarse hacia adelante. Los estudios realizados por especialistas aerodinámicos tales como Meneses y Trejos (2018), y Algozino (2019), consideran a los camiones grandes como cuerpos bluff, por disponerse en un flujo de alta velocidad a enormes fuerzas de arrastre, y ser aerodinámicamente ineficientes. Lo mencionado a los 100 km/h se caracteriza por un coeficiente de arrastre promedio ( $C_d$ ) de 0.6 y gasto del 65% del combustible para superar la resistencia aerodinámica, a diferencia de un automóvil de pasajeros de consumo menor hasta en 4 veces en mismas condiciones. “Un camión - remolque a gran escala en un túnel de viento a 55 millas por hora y sin ningún dispositivo



adicional aerodinámico, puede producir un coeficiente de arrastre promedio por el viento entre 0.80 y 1.00” (Englar, 2013). En tal virtud, “cualquier reducción de la resistencia aerodinámica, dará como resultado un gran ahorro de combustible” (Lav, 2013). La aerodinámica en un camión estándar varía de manera no lineal, mientras que la resistencia a la rodadura crece linealmente con la velocidad. “El arrastre aerodinámico aumenta cúbicamente a razón de los aproximados 80 km/h, pero las pérdidas aerodinámicas son menores a bajas velocidades” (Leuschen y Cooper, 2006).

Los métodos de reducción de resistencia para mejorar el rendimiento aerodinámico se remontan desde los aportes de Tanner en 1975, resumidos en acciones pasivas que no consumen energía externa, pero reducen o disponen de prototipos para componentes como la base, sangrado de la base, cola del bote, placas separadoras, cuñas separadoras, y varios tipos de bordes dentados o serrados. Los trabajos especializados de Santana *et al.* (2020), y Sautié *et al.* (2020), consideran a las placas separadoras como largas y difíciles de aplicar debido a la limitación de espacio y estabilidad, pero los relaves de botes son más fáciles de implementar para reducir los arrastres. La primera generación de dispositivos complementarios se caracteriza por la disminución del coeficiente de arrastre general entre 0.15 a 0.25. La segunda generación considera el uso de dispositivos como el sello de separación, faldones laterales del remolque y la cola trasera del bote con potencial de disminución del coeficiente de arrastre de 0.03 a 0.10.

El uso simultáneo de las alternativas, es una opción económica y viable en la reducción del coeficiente de arrastre y ahorro de combustible. “Los dispositivos más usados que reducen el arrastre en la región base del avance, son la cola de barco con grandes placas que producen una región de estela pequeña de baja presión” (Goñi y Rojas, 2017). Los generadores de vórtice con lengüeta de aire añaden impulso al flujo en la región fuera del espacio sin que entre al mismo” (Wood, 2004). El arrastre ocasionado por ruedas del tractor y remolque, han sido reducidos por la implementación de faldones laterales. La implementación de una forma externa variable del extremo trasero del remolque ha contribuido con la eficiencia del transporte de los futuros remolques de larga distancia, de tal manera que permite un

enfoque de reducción de la resistencia aerodinámica y aprovisionamiento de un volumen adecuado de transporte en concordancia con los tipos de carga útil, de tal manera que el 95% del espacio destinado para la carga útil total esté disponible para fines de transporte según los criterios establecidos en las investigaciones de Fabian (2016) y Stadler, Hirschberg, y Hirz (2012).

Para la disminución del coeficiente aerodinámico mediante soluciones numéricas, Hyams *et al.* (2011), obtiene una reducción del 9% en la resistencia con ecuaciones inestables de Navier-Stokes promediadas por Reynolds, y un solucionador de flujo paralelo que investiga el efecto del flujo aerodinámico inestable en la economía de combustible de los camiones de clase 8, con respecto al ángulo de guiñada, los extensores de la cabina, las ruedas giratorias, las aletas de base en el campo de flujo alrededor del camión y las placas separadoras. La reducción del 30% en el coeficiente aerodinámico documentado en Hyams *et al.* (2011), registra el uso de un deflector y un desviador de flujo de aire que circula por la parte superior del remolque, con un valor adicional del 10% en la reducción de arrastre, sin embargo, el modelo en 2D es limitado. Las pruebas de túnel de viento y simulaciones numéricas para investigar los efectos del faldón lateral de Hwang *et al.* (2016) han contribuido con la reducción de resistencia en camiones pesados hasta un 5%. Doost y Zadeh (2013), lograron una reducción del arrastre del 23%, gracias a la canalización del aire desde el parachoques delantero hacia el trasero con vórtice reducido, y para la simulación del campo, las líneas de flujo alrededor del vehículo, junto con los vórtices y la distribución de presión en la estructura fueron simuladas mediante las ecuaciones que rigen FLUENTE. Sin embargo, aunque los dispositivos complementarios funcionan como se esperaba, su efectividad no se puede comparar con los que se aplican a la misma región de origen de arrastre en el avance. Para la simulación precisa y válida del flujo alrededor de los camiones mediante métodos numéricos, se debe considerar las características del campo de flujo turbulento y las complejidades geométricas. El mallado de sólido, algoritmos de solución confiables y recursos informáticos apropiados son necesarios para la simulación tridimensional en lo referente a la caracterización aerodinámica. “Los camiones para el transporte de mercancía que permita la pequeña reducción de la resistencia aerodinámica mediante la consideración de los

efectos aerodinámicos y cambios en el flujo por la variación de la forma y dimensiones de dispositivos y accesorios, significan menor consumo de combustible manifestado en reducción en las emisiones de los camiones” (Lo y Kontis, 2016).

La presente investigación tiene como objetivo estudiar el comportamiento del flujo y resistencia aerodinámica frente al consumo de combustible del camión–remolque estándar, conforme a la variación de accesorios de reducción de arrastre. El transporte de mercaderías a nivel nacional e internacional ha contribuido con el desarrollo del comercio entre países, pero a la vez ha manifestado grandes proporciones de emisiones contaminantes. La contaminación del aire como un importante problema de salud pública, la reducción del consumo de combustible mediante la implementación de adiciones aerodinámicas en camiones pesados, la mejora de la salud de la población. La aplicación de tecnologías de reducción de resistencia de arrastre permitirá reducir emisiones y con ello el impacto que tienen sobre el calentamiento global.

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

El arrastre aerodinámico en cualquier caso del flujo de fluido fue definido por la fuerza resultante sobre el objeto como paralela a la velocidad de la corriente libre de acuerdo a:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho A V^2} \quad (1)$$

donde:

(Cd); coeficiente de arrastre como indicador de eficiencia aerodinámica entre diferentes vehículos.

(Fd); fuerza de arrastre aerodinámica,  $F_d = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2$

(V); velocidad del vehículo,

(A); área frontal o de referencia

(ρ); densidad

Se tomaron en cuenta tres ecuaciones de la Mecánica de Fluidos (FM) para estudiar la acción de fuerzas aplicadas o existentes de acuerdo con el trabajo especializado de (White, 2005):

- Conservación de la masa para establecer el equilibrio entre la cantidad de flujo másico que ingresa a un volumen y la cantidad que lo abandona.

$$\nabla V = 0 \quad (2)$$

- Conservación del momento lineal de la segunda ley del movimiento de Newton como fluido newtoniano, para obtener una relación entre la presión, el momento y las fuerzas viscosas.

$$\rho \frac{\partial V}{\partial t} = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + pg \quad (3)$$

- Conservación de la energía de acuerdo con la Primera ley de la termodinámica para establecer el equilibrio de la cantidad total de energía dentro del sistema, con posibles cambios entre los diferentes estados.

Energy equation

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = k \nabla^2 T + \Phi \quad (4)$$

Donde:

V = campo de velocidad,

g = campo de gravedad

$\rho$  = densidad,

$c_p$  = capacidad calorífica específica,

t = tiempo,

T = temperatura,

p = presión,

k = coeficiente de conductividad térmica,

$\mu$  = viscosidad,

$\Phi$  = función de disipación viscosa

La complejidad matemática de las ecuaciones hizo imposible resolverlas analíticamente, excepto en casos simplificados. Las condiciones del sistema fueron dadas a temperatura ambiente constantes con número de Mach inferior a 0,3, y densidad constante del flujo, junto con el supuesto de que la viscosidad del fluido es constante. Las ecuaciones de continuidad y momento fueron resueltas para velocidad y presión. Todos los flujos de fluidos fueron considerados turbulentos el caso de estocásticos, tridimensionales y dependientes del tiempo. Se describieron flujos con fluctuaciones con valores medios de presión y velocidad más un término de fluctuación;  $u = \bar{u} + u'$  y  $p = \bar{p} + p'$  respectivamente. Para manejar esto, las ecuaciones (continuidad e impulso), con términos adicionales debido a fluctuaciones, se promedian en el tiempo. “Las nuevas ecuaciones se denominan ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds, abreviadas como RANS” (Versteeg y Malalasekera, 2007).

Ecuación de continuidad para el flujo medio

$$\nabla \bar{V} = 0 \quad (5)$$

Ecuación de momento en dirección  $X$

$$\rho \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \rho g_z + \frac{\partial}{\partial x} \left( u \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} - \rho \overline{u'w'} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( u \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} - \rho \overline{v'w'} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( u \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} - \rho \overline{w'^2} \right)$$

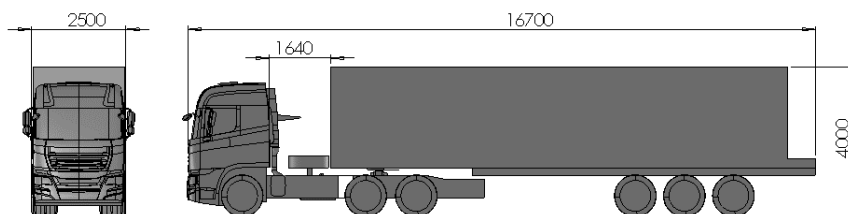
Ecuación de momento en dirección  $Y$

$$\rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \rho g_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( u \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \rho \overline{u'v'} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( u \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \rho \overline{u'^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( u \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} \right)$$

Ecuación de momento en dirección  $Z$

$$\rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \rho g_x + \frac{\partial}{\partial x} \left( u \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \rho \overline{u'^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( u \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \rho \overline{u'v'} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( u \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} \right)$$

Con el sistema de ecuaciones resuelto se pudo contar con todas las variables velocidad, presión, y temperatura de cada intervalo del sistema o discretización de un espacio en celdas pequeñas en las que se modela el fluido y se resuelven las ecuaciones para cada una de ellas. La investigación del flujo aerodinámico alrededor de un camión - remolque detalla aspectos en los accesorios instalados, de manera que, se identificaron las diferentes áreas y localización de zonas de mayor aporte como alternativas para reducir el arrastre aerodinámico. La evaluación del efecto de diferentes dispositivos de remolque reductores de resistencia mediante CFD, para con las dimensiones y geometría del camión - remolque definido en la Figura 1. El área frontal del modelo de grado cero es de  $9.78 \text{ m}^2$ . Se considera 3 L para una distancia entre la entrada y el área frontal del camión, 5 L la distancia entre la salida y la parte trasera del camión, 12 W ancho del dominio, y 6 H de altura del dominio.



**Figura 1.** Geometría simplificada y dimensiones estándar en tractocamiones y remolque.

**Fuente:** (SAE , 2013).

Debido a que el régimen predominante fue turbulento para el estudio, en ese sentido se utilizó la simulación numérica directa de DNS con el cálculo de variables promedio en el tiempo y el método Lattice Boltzmann (LBM) para recuperar la hidrodinámica de la ecuación de Navier-Stokes según (Kandasamy *et al.*, 2002). La información suficiente generada sobre el flujo, se pudo informatizar los datos con la aplicación de modelos RANS, de manera que fueron combinados los modelos de turbulencia y esfuerzo cortante de Menter, con la implicación de características cercanas y alejadas del muro.

Para involucrar una región 3D o su contraparte 2D simplificada donde se supone que el fluido ocupa el espacio del dominio computacional y sus celdas con el volumen hexaédrico para que de ese modo el

software CFD resuelva las ecuaciones diferenciales gobernantes. El dominio se modela con un bloqueo inferior al 5%. La configuración se realizó de acuerdo con la sugerencia de SAE J2966. La geometría del vehículo fue limpiada topológicamente y se verificó la geometría de intersección sin errores, notando así un modelo limpio con superficie de malla ideal. La discretización del dominio fue conjeturada mediante la aplicación de “mallas híbridas” (Wang *et al.*, 2014), de manera que se asociaron características de las mallas estructuradas y no estructuradas, para llenar los dominios sin restricción alguna, y mejora en la precisión de los cálculos viscosos. Son considerados los tamaños de malla entre finas y gruesas de diversas regiones establecidas según el dominio computacional en las diversas partes del tractocamión y remolque según la descripción de la Tabla 1.

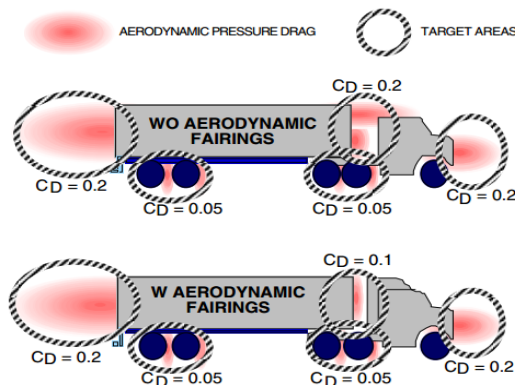
**Tabla 1.** Configuración de malla.

Elementos	Espesor de malla (mm)
Camión	5-60
Remolque	10-150
Carretera	10-1800
Caja de refinamiento 1	220
Caja de refinamiento 2	500
Paredes laterales	1900
Entrada y salida	1900

A partir de la malla realizada en ANSA, se creó una superficie cerrada, múltiple y no intersectante de forma triangulada de alta calidad, con algoritmo Tetra Rapid en el túnel de viento. Las capas de prisma más cercanas a la superficie fueron necesarias para resolver la parte interna de la capa límite y así manejar los gradientes de alta velocidad. Para asegurarse de que la solución esté estabilizada, se verificó la convergencia de los residuos y el diagrama de arrastre. De acuerdo con la experiencia sugerida en trabajos especializados en estudios de arrastre aerodinámico Roy (2005) y Versteeg y Malalasekera (2007), fue considerado el arrastre de presión (fuerza que actúa normal a la superficie) y arrastre de fricción (fuerza que actúa tangencial a la superficie), mismos que contribuyen más del 90% de la resistencia total de las regiones alrededor del camión formadas por la brecha entre el tractor y el remolque, la estela de la

base detrás del remolque y el tren de rodaje. El ancho comprendido desde la parte trasera de la cabina hasta el extremo delantero de la carrocería fue caracterizado su alta presión positiva (coeficiente de presión  $+0,5$  a  $+1$ ) en la parte delantera de la cabina y la carrocería. La altura de la carrocería medida sobre el techo de la cabina, en un patrón típico de flujo de aire alrededor de un camión no aerodinámico fue caracterizado su presión negativa (coeficiente de presión  $-0,5$  a  $-1$ ) en la parte trasera.

La distribución de resistencia aerodinámica entre el tractor y el remolque fue considerada la configuración de los coeficientes de arrastre en la cara frontal del tractor, la región de separación, y la base del remolque como regiones dominantes de arrastre de acuerdo con lo mostrado en la Figura 2. Para la distribución del arrastre del tractocamión y remolque, se tomaron en cuenta las configuraciones ideales en adición las características de los accesorios en los alerones, techos y carenados laterales, tomando en cuenta los efectos de viento cruzados, lo cual manifiesta la distribución de la resistencia aerodinámica de 40% para el tractor y 60% para el remolque.



**Figura 2.** Regiones dominantes de arrastre en un tracto – camión.

**Fuente:** (SAE , 2013).

En el estudio fueron incluidos los extensores laterales al tractor, con el montaje de dispositivos dentro del hueco y cierre completo como el ejemplo de la Figura 3, para tratar de evitar vientos cruzados,



acumulación de aire entre espacios, y separación del flujo con implicación de gran turbulencia que afecten a las condiciones definidas para el arrastre y estabilidad aerodinámica.



**Figura 3.** Cabina con deflector de techo y extensores laterales de cabina y Trailer-Tractor con espacio sellado.

**Fuente:** (SAE , 2013).

Debajo del remolque fue considerado el uso de faldones laterales y deflectores en las ruedas Bogey, con fondos más lisos y menos irregularidad para mejorar el flujo del tren de rodaje dirigiendo el flujo a lo largo del costado del remolque, ver la Figura 4.



**Figura 4.** Tratamiento del tren de rodaje.

**Fuente:** (SAE , 2013).

Para disminuir y estabilizar la estela base mediante el flujo en la parte trasera del remolque, fue considerado para el estudio el caso de placa base y cola del barco, descrito en la Figura 5, mismos contienen el flujo turbulento inestable, así como lo establecen las pruebas del túnel de viento que reflejan mejoras en la resistencia en 51 y 44 recuentos de resistencia, respectivamente.



**Figura 5.** Cola de barco larga de 4 paneles y placas base.

**Fuente:** (SAE , 2013).

“Los resultados de las pruebas de túnel de velocidad de viento, desarrolladas por el Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRC), a 100 km / h con barrido de guiñada promedio, sirvieron como referencia para argumentar la reducción de la resistencia de arrastre” (Mohamed-Kassim y Filippone, 2010; Wood y Bauer, 2003).

### 3. RESULTADOS

Mediante la aplicación de los argumentos de la ecuación 1, se pudo definir el coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) útil para la comparación de la eficiencia aerodinámica entre diferentes vehículos. Lo calculado con respecto al eje x, la velocidad del camión y la fuerza de arrastre se muestran en la Tabla 2. El valor calculado de  $C_d$  fue considerado como base para la comparación en simulaciones futuras y la validación de la eficiencia de diferentes complementos aerodinámicos.

**Tabla 2.** Arrastre aerodinámico del modelo de referencia.

<b>Área proyectada</b>	9.78 m <sup>2</sup>
<b>Fuerza de arrastre</b>	2313.95 kg m/s <sup>2</sup>
<b>Velocidad de entrada</b>	25 m/s <sup>2</sup>

Densidad del aire	1.293 kg/m³
Cd	0.619

Los resultados de las simulaciones de los dispositivos individuales corresponden a cambios de dispositivos y geometría del deflector de techo, estabilizador de vórtice, faldones laterales carenado y extensiones de marco.

Tabla 3. Cd del camión con deflector de techo y estabilizador de vórtice.

	Fuerza de arrastre	Cd	% reducción del Cd
Modelo referencia	2327.88	0.621	
Modelo + Deflector de techo + Estabilizador de vórtice	1753.13	0.463	25.4

El dispositivo adicional de faldones laterales ayuda en el flujo aerodinámico debajo del remolque a reducir el arrastre general. Como se ve en la Tabla 4, hay una mejora del 8% en la reducción de la resistencia y el flujo se desplaza a lo largo de los lados del remolque a nivel del suelo. Además, las mejoras también se pueden ver desde el difusor lateral en la parte trasera; estabilizando el flujo y dirigiéndolo hacia el centro de la estela base.

Tabla 4. Cd de las faldas laterales.

	Fuerza de arrastre	Cd	% reducción de Cd
Modelo referencia	2327.88	0.621	
Modelo + Faldones laterales	2250.04	0.582	6.3

Según los resultados de la simulación la extensión de trama adicional causó la reducción de la región de activación y el tamaño de la activación. Una mayor extensión de la región de la cola puede causar una mayor reducción de la estela y, por lo tanto, arrastrar, ver Tabla 5.

Tabla 5. Cd del marco de extensión.

	Fuerza de arrastre	Cd	% reducción de Cd
Modelo referencia	2327.88	0.621	
Modelo + Marco de extensión	2139.04	0.541	12.9

La evaluación de los dispositivos individuales muestra los resultados de las simulaciones en donde se puede deducir de acuerdo a lo mostrado que el caso Modelo + Deflector de techo + Estabilizador de vórtice es el de menor Cd, considerado de menor fuerza de arrastre.

El deflector de techo con estabilizador de vórtice y extensión de marco brindan las mejoras de resistencia más significativas. Esto da una indicación de que el flujo de aire entre el espacio del tractor y el remolque, y detrás del remolque tiene una gran influencia en la resistencia aerodinámica. En ese sentido se presentan los resultados de la optimización del estabilizador de vórtice utilizando el parámetro “X”, y es el número de estabilizador de vórtice en la parte delantera del remolque, estos dispositivos se distribuyen de manera uniforme de acuerdo con el ancho del remolque (ver Figura 6).

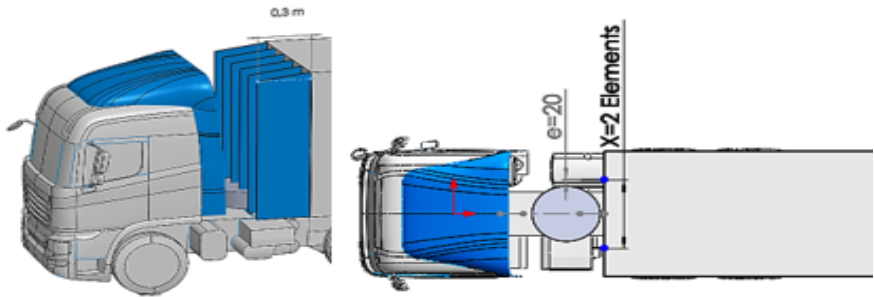
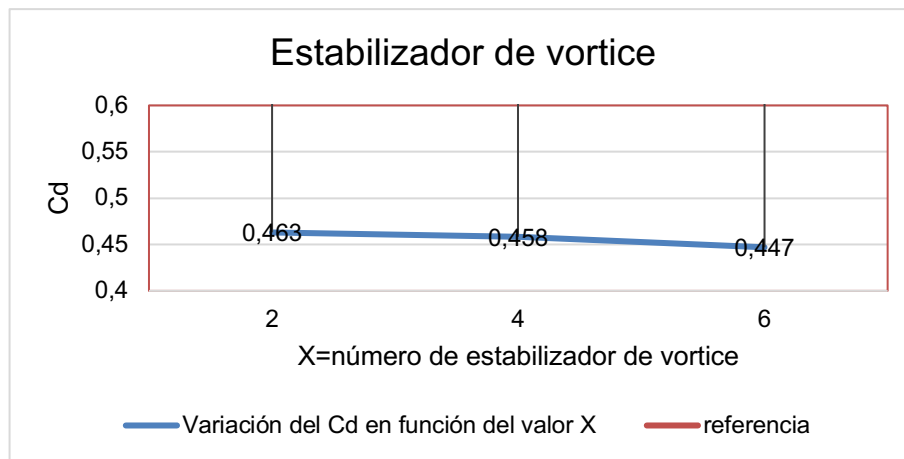


Figura 6. Mejora del esquema para el estabilizador de vórtice.  
Fuente: elaboración propia.

Los resultados que reflejan la línea punteada naranja en el Gráfico 1 representa el Cd del vehículo objetivo, la línea azul representa la variación del Cd sobre los números de vórtice “X”. Se puede observar una reducción de la resistencia entre el 25% y el 28% en referencia al modelo original. Sin embargo, la configuración más adecuada es cuando X = 6, notada por buena reducción de la resistencia

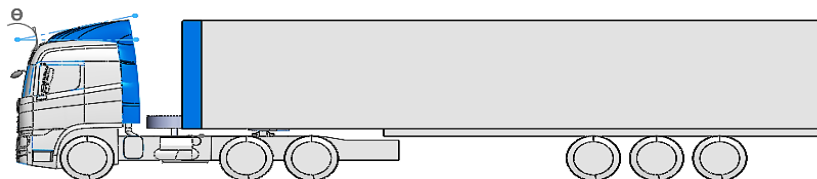
y un mejor rendimiento del aire en la brecha del camión, también tiene una mejora significativa de aproximadamente el 3% en comparación con llevar solo dos de estos estabilizadores de vórtice.



**Gráfico 1.** Reducción del coeficiente Cd en función del número X del estabilizador de vórtice.

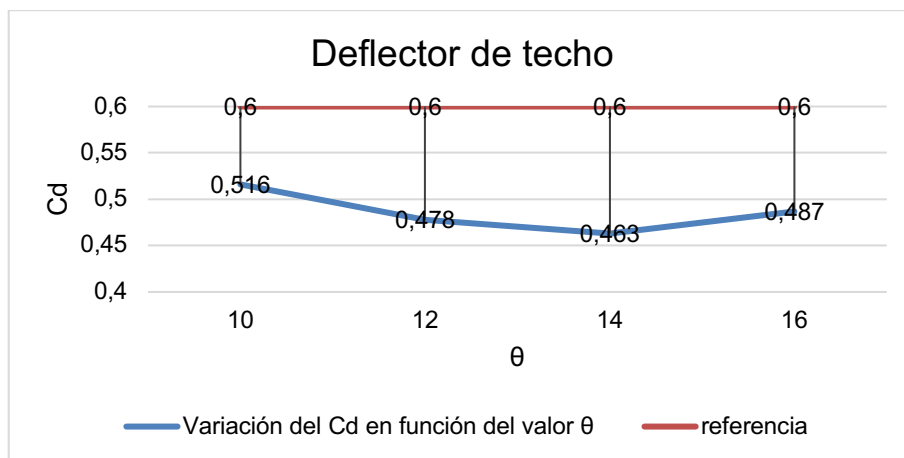
**Fuente:** elaboración propia.

La mejora en el ángulo de ataque del deflector del techo tiene una gran influencia en la capacidad de reducir la resistencia del vehículo en general, con una reducción de la resistencia entre el 17% y el 26% con referencia al modelo referencia, pero el ángulo más eficiente es cuando  $\theta = 140$ . Los resultados que se muestran en el Gráfico 2 muestran la línea punteada naranja como los valores Cd del vehículo objetivo, la línea azul representa la variación del Cd sobre el ángulo “ $\theta$ ”.



**Figura 7.** Mejora del ángulo del deflector de techo.

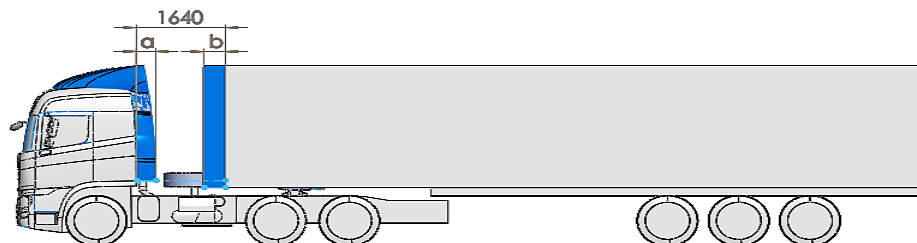
**Fuente:** elaboración propia.



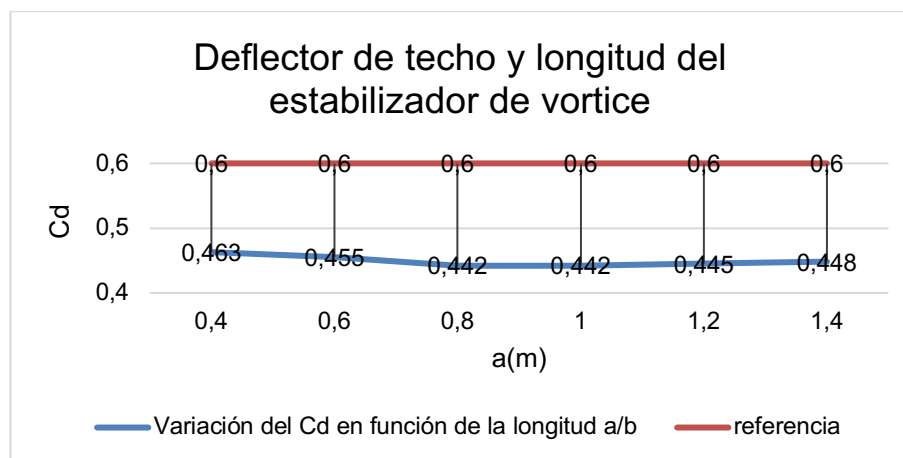
**Gráfico 2.** Reducción del coeficiente deflector del techo en función del ángulo  $\theta$ .

**Fuente:** elaboración propia.

La Figura 8 muestra un espacio sellado que confirma una buena reducción de la fuerza de arrastre y también una muy buena fijación del flujo sobre el espacio a lo largo del techo del remolque, en comparación con la Referencia. El sellado del espacio es descrito por los parámetros de extensión del deflector de techo “a” y la longitud del estabilizador de vórtice “b”, el espacio del modelo original es de 1640 mm sin estos dispositivos. Los resultados que se muestran en el siguiente gráfico donde la línea punteada naranja representa el Cd del vehículo objetivo, la línea azul representa la variación del Cd en la relación entre la longitud del deflector de techo y el estabilizador de vórtice. La reducción del coeficiente de arrastre en esta configuración no es más del 2%, es decir que se considera muy baja, pero podría aportar a los resultados globales.

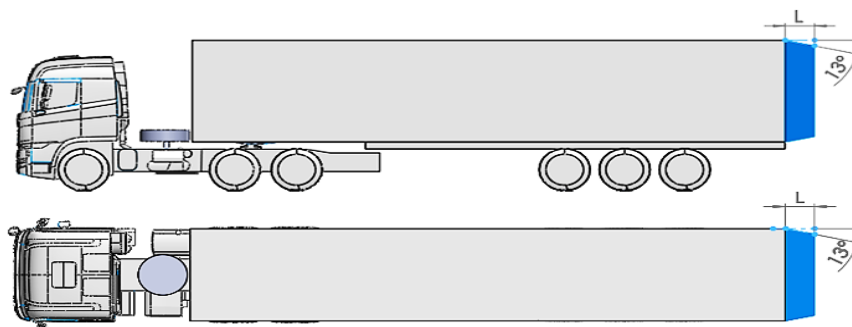


**Figura 8.** Mejora del deflector de techo y la longitud del estabilizador de vórtice.  
**Fuente:** elaboración propia.



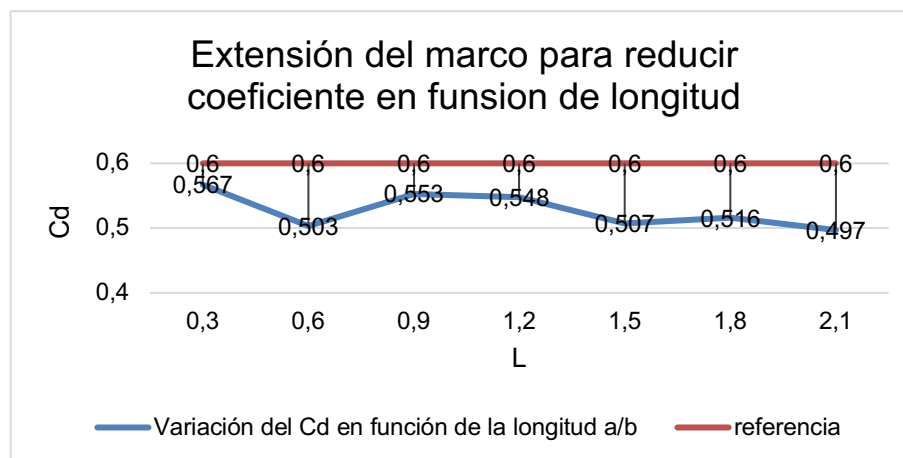
**Gráfico 3.** Reducción del coeficiente estabilizador en función de la longitud mediante mejora del deflector de techo y vórtice.  
**Fuente:** elaboración propia.

La mejora de la extensión del marco se realiza utilizando la longitud “L” del dispositivo como el “parámetro principal”. Para este caso, se realizarán varias simulaciones modificando la longitud “L” de 0.3 m con un aumento de 0.3 m hasta alcanzar una longitud máxima de 2.1 m. El ángulo entre la cola, costado y la parte superior del dispositivo se fija en 13° siguiendo las recomendaciones de Browand en Gelzer (2011).



**Figura 9.** Mejora de la extensión del marco trasero.

**Fuente:** elaboración propia.



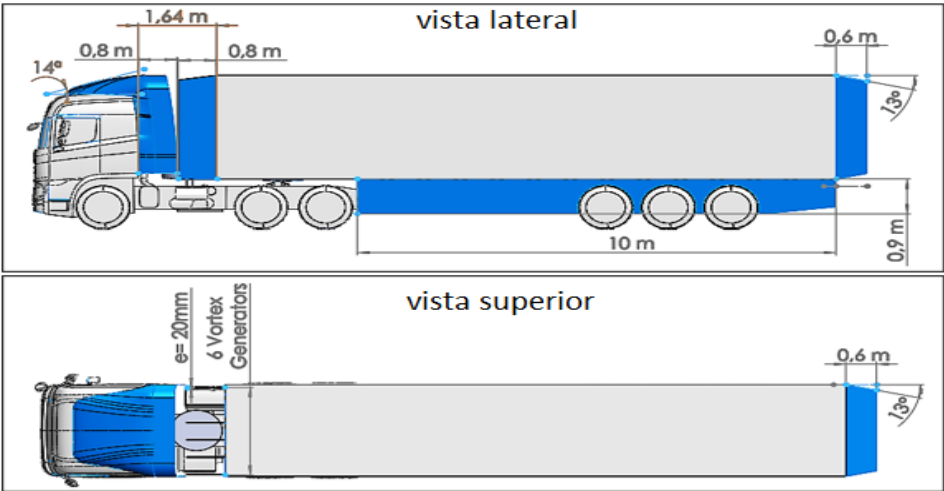
**Gráfico 4.** Mejora de la extensión del marco para reducir coeficiente en función de longitud.

**Fuente:** elaboración propia.

Los faldones laterales carenados dieron resultados bastante buenos. Sin embargo, estas configuraciones solo se probaron para obtener una comprensión de su influencia en el arrastre y no se utilizarán en la mejora. Una combinación que formará parte de la mejora es el carenado del deflector del techo con estabilizador de vórtice, ya que hace que el flujo a lo largo del techo se estabilice y sea más simétrico, algo que sigue el flujo hasta la estela de la base. El aire que sale del espacio en la zona superior, a veces



en forma de remolinos, perturba el flujo y crea un comportamiento de flujo inestable. A continuación, se muestra un esquema de cómo se implementarían en el remolque del camión, con las longitudes y ángulos optimizados para obtener la máxima eficiencia y mejorar su coeficiente de arrastre.



**Figura 13.** Vista lateral y superior del camión con accesorios aerodinámicos mejorados.  
**Fuente:** elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los resultados de las combinaciones y sus ganancias en la reducción de resistencia total en comparación con el modelo de referencia.

**Tabla 6.** Resultados de la reducción del Cd según la mejora de accesorios aerodinámicos.

	Cd	% de reducción del Cd
Modelo de referencia	0.621	
Deflector de techo y estabilizador de vórtice	0.431	30.6
Faldones laterales	0.582	6.3
Extensión del marco trasero	0.503	19.0
Combinación de mejoras	0.401	35.4

El nuevo coeficiente de arrastre  $C_d = 0.401$  con una eficiencia del 35.4% responde a una reducción de arrastre muy significativa resultado de la implementación de todas las mejoras. La mejora de cada dispositivo y la eficiencia varía del 19 al 28.8% en comparación con el vehículo objetivo en un resumen a continuación.

**Tabla 7.** Resumen de las mejoras.

	L(m)	Cd	% Cd reducción
Longitud de extensión del marco	0.6	0.503	19.0
Número del estabilizador de vórtice	X		
	6	0.447	28.0
Ángulo deflector de techo	$\theta$ (°)		
	14	0.463	25.4
Deflector de techo y longitud de vórtice	a=b (m)		
	0.8	0.442	28.8

#### 4. CONCLUSIONES

Son verificadas las posibilidades de mejorar la aerodinámica alrededor de un camión para reducir el arrastre, y también hay potencial para explotar en este campo de la aerodinámica para camiones. Los dispositivos de remolque aerodinámicos tienen un gran potencial para reducir la resistencia. En comparación con el tractor, el remolque es mucho más susceptible a las mejoras de resistencia aerodinámica y, por lo tanto, el consumo de combustible puede reducirse sustancialmente mediante el uso de dispositivos de remolque. Al combinar los dispositivos, se pueden lograr mejoras de arrastre aún mayores. Las regiones dominantes de arrastre en un tractor-remolque son la cara frontal del tractor, el espacio entre el tractor y el remolque, la parte trasera y la base del remolque de modo que en ellas se presentan las principales pérdidas de energía, consideradas como regiones críticas. La brecha entre el camión y el remolque no tiene una gran influencia en la capacidad de reducir la resistencia del vehículo en general. Después de llevar a cabo la mejora de cada uno de los dispositivos, como el deflector de techo, el estabilizador de vórtice, la extensión del marco y la adición de un elemento como los archivos

de faldones laterales, se obtuvo una mejora del 35,4% en la reducción de la resistencia en comparación con la referencia. modelo, con un  $C_d = 0,621$  del modelo original, el modelo después de la mejora el nuevo coeficiente de arrastre es  $C_d = 0,401$ .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Algozino, S.** (2019). *Estudio aerodinámico experimental en flujo turbulento de bajo Reynolds sobre alas con movimiento de cabeceo* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/83218>
- Doost, A. K., y Zadeh, A. M. S.** (2013). Green nature and reducing of air pollution with vehicle drag coefficient correction. *Advances in Energy Engineering*, 1(2), 28-33. [https://www.academia.edu/27932879/Green\\_Nature\\_and\\_Reducing\\_of\\_Air\\_Pollution\\_with\\_Vehicle\\_Drag\\_Coefficient\\_Correction](https://www.academia.edu/27932879/Green_Nature_and_Reducing_of_Air_Pollution_with_Vehicle_Drag_Coefficient_Correction)
- Englar, R.** (2013). *Advanced aerodynamic devices to improve the performance, economics, handling and safety of heavy vehicles*. SAE Paper. <https://doi.org/10.4271/2001-01-2072>
- Fabian, J.** (2016). *Variable body geometry for goods vehicles: Sustainable transport chains and networks*. Mobilität der Zukunft. <https://graz.pure.elsevier.com/en/publications/variable-body-geometry-for-goods-vehicles-sustainable-transport-c>
- Gelzer, C.** (2011). *Fairing Well - From Shoebox to Bat Truck and Beyond*. NASA Report No. SP-2011-4546.
- Goñi, J. C., y Rojas, M.** (2017). *Manual de combustibles alternativos y tecnología automotriz*. Fondo Editorial Universidad de Lima. <https://www.ulima.edu.pe/publicaciones/manual-de-combustibles-alternativos-y-tecnologia-automotriz>
- Hirz, M.** (2013). A New Approach for the Reduction of Aerodynamic Drag of Long-Distance Transportation Vehicles. *SAE International Journal of Commercial Vehicle*, 6(2), 453-458. <https://doi.org/10.4271/2013-01-2414>

- Hucho, W.-F.** (1998). *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering* (4.<sup>a</sup> ed.). Society of Automotive Engineers.
- Hwang, B. G., Lee, S., Lee, E. J., Kim, J. J., Kim, M., You, D., y Lee, S. J.** (2016). Reduction of drag in heavy vehicles with two different types of advanced side skirts. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 155, 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.04.009>
- Hyams, D. G., Sreenivas, K., Pankajakshan, R., Nichols, D. S., Briley, W. R., y Whitfield, D. L.** (2011). Computational simulation of model and full scale Class 8 trucks with drag reduction devices. *Computers & Fluids*, 41(1), 27- 40. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2010.09.015>
- IEA.** (2011, 2 de enero). *IEA Freight Truck Fuel Economy Workshop - Challenge Bibendum*. <https://www.ica.org/events/ica-freight-truck-fuel-economy-workshop-challenge-bibendum>
- Lav, C.** (2013). *Three Dimentional CFD Analysis on Aerodynamic Drag Reduction of a Bluff Tractor Trailer Body using Vortex Generators*. SAE. <https://doi.org/10.4271/2013-01-2458>
- Leuschen, J., y Cooper, K.** (2006). *Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype, Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-trailers*. SAE. <https://doi.org/10.4271/2006-01-3456>
- Lietz, R., Mallick, S., Kandasamy, S., y Chen, H.** (2002). *Exterior airflow simulations using a lattice Boltzmann approach*. SAE Technical Paper 2002-01-0596. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0596>
- Lo, K. H., y Kontis, K.** (2016). Flow characteristics over a tractor-trailer model with and without vane-type vortex generator installed. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 159, 110-122. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.10.009>
- Meneses, L. E., y Trejos, M. C.** (2018). *Análisis aerodinámico de generadores de vórtice instalados en el carenado de las ruedas del ultraliviano tipo Trike Aeronation Body Clipper 912 HJ-103*. [https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2169/meneses\\_luis\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2169/meneses_luis_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Mohamed-Kassim, Z., y Filippone, A.** (2010). Fuel savings on a heavy vehicle via aerodynamic drag reduction. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(5), 275-284. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.02.010>
- Roy, C. J.** (2005). Review of Code and Solution Verification Procedures in Computational Simulation. *Journal of Computational Physics*, 205(1), 131-156. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2004.10.036>
- SAE.** (2013). Guidelines for Aerodynamics Assessment of Medium and Heavy Commercial Ground Vehicle Using Computational Fluid Dynamics. *SAE Standard J2966*. [https://www.sae.org/standards/content/j2966\\_201309/](https://www.sae.org/standards/content/j2966_201309/)
- Santana, S. A., Morales, J. F., de la Rosa, A. A., y Álvarez, A.** (2020). Análisis aerodinámico de la carrocería de un ómnibus usando la Dinámica de Fluidos Computacional. *Revista Cubana de Ingeniería*, XI(1), 57-65. [https://www.researchgate.net/publication/339956276\\_Analisis\\_aerodinamico\\_de\\_la\\_carroceria\\_de\\_un\\_omnibus\\_usando\\_la\\_Dinamica\\_de\\_Fluidos\\_Computacional\\_Aerodynamic\\_analysis\\_of\\_a\\_bus\\_bodywork\\_using\\_Computational\\_Fluid\\_Dynamics](https://www.researchgate.net/publication/339956276_Analisis_aerodinamico_de_la_carroceria_de_un_omnibus_usando_la_Dinamica_de_Fluidos_Computacional_Aerodynamic_analysis_of_a_bus_bodywork_using_Computational_Fluid_Dynamics)
- Sautié, N. F., Romero, L., Camano, E. B., y Parnás, V. E.** (2020). Determinación de los coeficientes de arrastre y sustentación en un perfil angular de alas iguales con el empleo de simulación numérica. *Ingeniería y desarrollo: revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte*, 38(1), 66-84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7467123>
- Schaller, K.** (2010). Commercial vehicles for the future. *ATZ - autotechnology*, 10(4), 10-15.
- Stadler, S., Hirschberg, W., y Hirz, M.** (2012). Potenzial der Aerodynamik zur Steigerung der Transporteffizienz von schweren Nutzfahrzeugen. En *5th Grazer Nutzfahrzeug Workshop* (pp. 1-15). <https://graz.pure.elsevier.com/en/publications/potenzial-der-aerodynamik-zur-steigerung-der-transporteffizienz-v>

- Versteeg, H. K., y Malalasekera, W.** (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics - The Finite Volume Method* (2.ª ed.). Pearson Education Limited. [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM702/Versteeg\\_Malalasekera\\_2ed.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM702/Versteeg_Malalasekera_2ed.pdf)
- Wang, D., Wang, Y., Han, Y., Dang, Y., Fan, D., y Li, L.** (2014). Numerical Simulation of the Influence of Additional Aerodynamic Devices on the Aerodynamic Drag of VanBody Truck. En Society of Automotive Engineers of China (SAE-China) (eds) *Proceedings of SAE-China Congress 2014: Selected Papers. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 328. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45043-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45043-7_2)
- White, F. M.** (2005). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill.
- Wood, R.** (2004). Impact of advanced aerodynamic technology on transportation energy consumption. *SAE Technical Paper 2004-01-1306*. <https://doi.org/10.4271/2004-01-1306>
- Wood, R., y Bauer, S.** (2003). Simple and Low-Cost Aerodynamic Drag Reduction Devices for Tractor-Trailer Trucks. *SAE Technical Paper 2003-01-3377*. <https://doi.org/10.4271/2003-01-3377>



/02/



# PRONÓSTICO DE SINIESTROS VIALES EN EL ECUADOR BASADO EN DESCOMPOSICIÓN DE VALORES SINGULARES MULTINIVEL - MSVD

## FORECASTING OF TRAFFIC ACCIDENTS IN ECUADOR BASED ON MULTILEVEL SINGULAR VALUE DECOMPOSITION - MSVD

---

**Ana Elizabeth Congacha**

Profesora, Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [acongacha@unach.edu.ec](mailto:acongacha@unach.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2488-9110>

**Lady Espinoza**

Profesora, Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [lespinoza@unach.edu.ec](mailto:lespinoza@unach.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6569-3686>

**Lida Barba**

Profesora, Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [lbarba@unach.edu.ec](mailto:lbarba@unach.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4191-9497>

**Cristian Hugo Morales**

Investigador Externo Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador).

E-mail: [cristianmorales18m@gmail.com](mailto:cristianmorales18m@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0197-0581>

**Recepción:** 04/08/2020 **Aceptación:** 24/09/2020 **Publicación:** 14/12/2020

### Citación sugerida:

Congacha, A.E., Espinoza, L., Barba, L., y Morales, C.H. (2020). Pronóstico de siniestros viales en el Ecuador basado en descomposición de valores singulares multinivel - MSVD. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 9(4), 45-63. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n4e36.45-63>

## RESUMEN

Las instituciones y organizaciones necesitan apoyar sus tareas de planificación para mejorar la toma de decisiones, requieren de información conocida y del conocimiento no visible que contienen los datos. Uno de los principales desafíos para la mayoría de los países es disminuir la tasa de siniestros viales implementando acciones estratégicas como estudios científicos centrados en apoyar planes de prevención. En este artículo se aplica el método basado en la descomposición de valores singulares multinivel (MSVD) para mejorar la exactitud del pronóstico multihorizonte de un modelo lineal MIMO-AR (múltiple entrada-múltiple salida autorregresivo). El modelo propuesto se evalúa por medio de las series de tiempo de siniestros de tránsito en Ecuador, recolectados semanalmente entre los años 2015 a 2018, el número de personas lesionadas, ilesas, fallecidas, vehículos retenidos y conductores identificados. Los resultados muestran que el modelo alcanza una eficiencia de Nash-Sutcliffe promedio de 89.2% para un horizonte de 12 semanas, y un coeficiente de determinación  $R^2$  promedio de 98.9% para el mismo horizonte.

## PALABRAS CLAVE

MSVD, MIMO-AR, Series de tiempo, Pronóstico, Siniestros de tránsito.

## ABSTRACT

*Institutions and organizations need to support their planning tasks to improve decision-making, they require known information and the non-visible knowledge contained in the data. One of the main challenges for most countries is to reduce the rate of road accidents by implementing strategic actions such as scientific studies focused on supporting prevention plans. In this article, the method based on multilevel singular value decomposition (MSVD) is applied to improve the accuracy of the multi-horizon forecast of a linear MIMO-AR (multiple input-multiple output autoregressive) model. The proposed model is evaluated by means of the time series of traffic accidents in Ecuador, collected weekly between the years 2015 to 2018, the number of injured, uninjured, deceased, detained vehicles and identified drivers. The results show that the model reaches an average Nash-Sutcliffe efficiency of 89.2% for a 12-week horizon, and an average Coefficient of Determination  $R^2$  of 98.9% for the same horizon.*

## KEYWORDS

*MSVD, MIMO-AR, Time series, Forecast, Traffic accidents.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tráfico provocan la muerte de aproximadamente 1,35 millones de personas en todo el mundo cada año y dejan entre 20 y 50 millones de personas con lesiones no mortales (World Health Organization, 2019). Las muertes y lesiones causadas en el siniestro vial involucran a usuarios vulnerables de la vía, como peatones, ciclistas, motociclistas y sus pasajeros. En Ecuador, según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) en 2018 el número de siniestros de tránsito a nivel nacional fue de 25.530 con una reducción del 12% en relación al año 2017 con 28.967 siniestros (Agencia Nacional de Tránsito, 2019). Son múltiples los factores que intervienen en los siniestros en la vía, se identifican 28 causas en el Ecuador, la causa predominante es la conducción con falta de atención a las condiciones del tránsito, con una incidencia del 56.8% (Congacha *et al.*, 2019).

En general, estos datos denotan un problema de atención pública prioritaria de interés global, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, ha definido metas ambiciosas para conseguir una reducción del 50% de las muertes y traumatismos por accidentes de tránsito (Organización Mundial de la Salud, 2015). Por lo tanto, los pronósticos son una herramienta que proporciona un estimado cuantitativo de la probabilidad de eventos futuros. La relevancia de incorporar pronósticos en siniestros viales deriva de la gran carga social, sanitaria y económica que suponen, donde la idea principal es que los tomadores de decisiones determinen estrategias a través de la recuperación y análisis de datos históricos conocidos como series de tiempo, estableciendo una coordinación con los pronósticos (Contreras *et al.*, 2016).

Una serie de tiempo es una colección de observaciones hechas cronológicamente (Fu, 2011). En casi todos los campos científicos, las mediciones se realizan en el tiempo, estas observaciones conducen a una recopilación de datos organizados llamados series temporales (Esling y Agon, 2012). La previsión de series de tiempo ha alcanzado gran importancia en la planificación y gestión de las instituciones gubernamentales, industrias y empresas. Los algoritmos predictivos se pueden emplear con éxito en la estimación de las variables de rendimiento y la predicción de eventos críticos (Vilalta *et al.*, 2002). Las implementaciones de pronóstico son limitadas debido a la complejidad de los datos, condiciones

ambientales, variables económicas, situaciones de riesgo, entre otras, se originan en sistemas altamente dinámicos; en consecuencia, su análisis se vuelve complejo y se han obtenido resultados inexactos.

El modelado de datos permite la obtención de información válida, en este contexto los datos históricos de accidentes de tránsito constituyen valiosas fuentes de información para extraer patrones de comportamiento de alto impacto socioeconómico. El método de predicción basado en la descomposición de Valores Singulares Multinivel (MSVD) es un método inspirado en el proceso piramidal implementado en el análisis multiresolución del algoritmo Mallat que se definió para la representación de wavelets. En este método se propone la descomposición multinivel de una matriz de Hankel. (Barba y Rodríguez, 2017). El modelo AR se implementa para pronosticar las series de tiempo utilizando la estrategia múltiple entradas - múltiples salidas MIMO que se utiliza para superar el problema de acumulación de errores que se observa en la estrategia recursiva y la estrategia directa y para preservar las relaciones aleatorias entre los valores pronosticados (Barba y Rodríguez, 2017).

En esta investigación se aplica el método MSVD para la extracción de componentes de baja y alta frecuencia de una serie temporal no estacionaria. A partir de las componentes extraídas se implementan los modelos de pronóstico de horizonte amplio. MSVD ha demostrado ser eficiente en otros contextos tales como el pronóstico del CO<sub>2</sub> (Barba *et al.*, 2017) y pesca en Chile (Barba, 2017).

En general, aplicar modelos de pronóstico aporta con información para la toma de decisiones; buenas prácticas en materia de prevención que puedan ser implementadas por las instituciones públicas y privadas para disminuir la tasa de siniestros viales. El artículo se encuentra organizado en cuatro secciones. La sección dos presenta la metodología del pronóstico y métricas de eficiencia. La sección tres muestra los resultados obtenidos al aplicar MSVD+MIMO-AR. Finalmente, la sección cuatro concluye el documento.

## 2. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló utilizando un enfoque mixto, los datos proporcionados por la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNT) fueron entregados en una hoja de cálculo, los cuales poseen variables de tipo cualitativo que se utilizaron para realizar un análisis descriptivo, y de tipo cuantitativo que hacen relación a los siniestros de tránsito, correspondientes a número de conductores identificados, personas fallecidas, ilesos, lesionados y vehículos retenidos.

La metodología de pronóstico se describe en dos etapas; la primera es la descomposición de valores singulares multinivel MSVD para descomponer una serie temporal en dos componentes de baja y alta frecuencia, y en la segunda etapa se realiza pronóstico a través del modelo MIMO-AR.

### **Descomposición de valores singulares multinivel**

El método de Descomposición de Valores Singulares Multinivel (MSVD) fue planteado por Barba y Rodríguez (2017), para descomponer series de tiempo no estacionarias en componentes de baja y alta frecuencia.

MSVD implementa un proceso iterativo que consiste en el mapeo de una serie de tiempo  $x$  de longitud  $N$  en una matriz de Hankel  $H$  de orden  $m \times n$ , con  $m=2$ , y  $n=N-I$ .

La matriz es descompuesta mediante la descomposición de valores singulares SVD, por medio de la cual se obtienen valores singulares  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , una matriz  $U$  y una matriz  $V$  de vectores singulares izquierdo y derecho respectivamente.

Por medio de los valores y vectores singulares se representan matrices elementales  $H_1$  y  $H_2$ , utilizadas para extraer las componentes de baja y alta frecuencia  $C_L$  y  $C_H$  respectivamente.

El proceso es controlado por medio del cálculo de la función tasa de espectro singular  $f(\Delta R)$ , en cada iteración; el algoritmo se detiene cuando la función alcanza su valor asintótico.

## Modelo Autorregresivo basado en MIMO

El modelo AR se implementa para pronosticar la serie de tiempo usando la estrategia MIMO. Esta estrategia calcula el pronóstico de horizonte múltiple en un solo paso, preserva las relaciones aleatorias entre los valores históricos utilizados como predictores (Wang *et al.*, 2016). El modelo MIMO-AR se expresa de la siguiente manera:

$$[\hat{x}(n+1), \dots, \hat{x}(n+h)] = f[z(n), z(n-1), \dots, z(n-P+1)]$$

donde  $n$  es el instante de tiempo actual,  $h$  es el tamaño del horizonte de pronóstico,  $z$  es el vector regresor, y  $P$  es el tamaño del vector regresor. La siguiente ecuación define MIMO en forma de matriz:

$$\hat{X} = \beta Z^T$$

donde  $\hat{X}$  es la matriz de valores estimados,  $\beta$  es la matriz de coeficientes de la regresión de dimensión  $h \times 2P$ . La matriz  $Z$  está conformada por los valores autorregresivos las componentes de baja frecuencia y los valores autorregresivos de la componente de alta frecuencia. La matriz  $Z$  tiene dimensión  $N_t \times 2P$ , donde  $N_t$  es el número de muestras de entrenamiento. Los coeficientes de la regresión son estimados por medio del método de los mínimos cuadrados (LS):

$$\beta = X \times Z^\tau$$

donde  $\tau$  es la matriz pseudoinversa de Moore-Penrose (Serre, 2002).

### 2.1. METRICAS DE EFICIENCIA

En este estudio el desempeño de los modelos MSVD + MIMO-AR se evalúa con los siguientes criterios de eficiencia: error de porcentaje absoluto medio (MAPE), error cuadrático medio (RMSE), validación cruzada generalizada (GCV), coeficiente de determinación  $R^2$ , Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E). En la Tabla 1 se describen las métricas.

Tabla 1. Métricas de eficiencia.

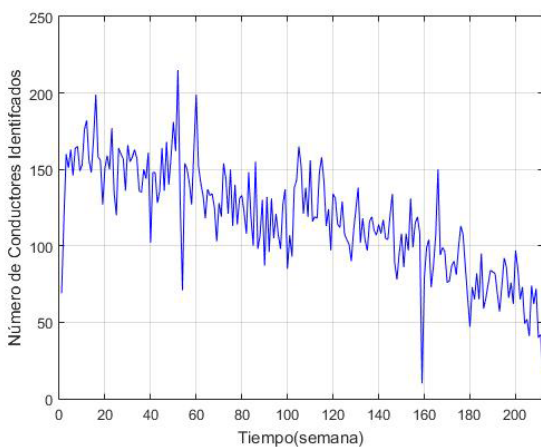
MÉTRICA	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
MAPE: error de porcentaje absoluto medio	$MAPE = \left[ \frac{1}{N_v} \sum_{i=1}^{N_v} \left  \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right  \right] \times 100$	Donde: $N_v$ es el tamaño de la muestra de validación $x_i$ es el ith valor observado $\hat{x}$ es el ith valor estimado y $K$ es la longitud del vector regresor de entrada (Barba, Rodríguez y Montt, 2014).
RMSE: error cuadrático medio	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N_v} \sum_{i=1}^{N_v} (x_i - \hat{x}_i)^2}$	
GCV: validación cruzada generalizada	$GCV = \frac{RMSE}{(1 - K / N_v)^2}$	
$R^2$ : coeficiente de determinación	$R^2 = \left[ 1 - \frac{var(x - \hat{x})}{var(x)} \right] \times 100$	Donde $x$ es la señal sobsevadada, $\hat{x}$ es la señal predicha y $var$ es la varianza (Barba y Rodríguez, 2016).
$E$ : Eficiencia de Nash-Sutcliffe	$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	Donde $O_i$ es el valor observado, $P_i$ es el valor pronosticado (Krause, Boyle, y Base, 2005).

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. CASO DE ESTUDIO

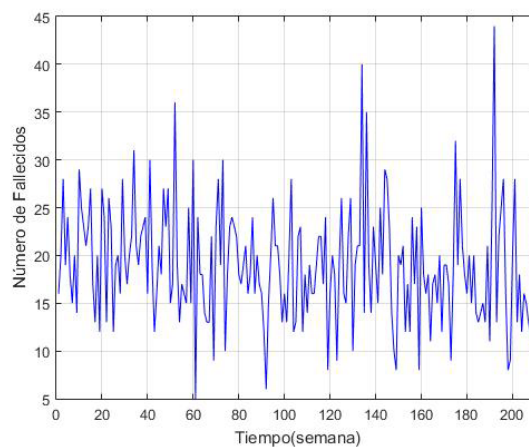
DNT es la institución del gobierno del Ecuador, responsable de planificar, regular y controlar la gestión del transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, a fin de garantizar la libre y segura movilidad terrestre (Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial, 2019). Las zonas de su competencia corresponden a 22 de las 24 provincias del Ecuador, por tanto, las provincias que no han sido consideradas son Guayas y Santa Elena, correspondientes a la zona 8. Los datos se recopilan continuamente, para este estudio se tomaron muestras con un intervalo fijo de 7 días (una semana) entre el año 2015 y el 2018. Se utilizan cinco series de tiempo discretas de conductores identificados, fallecidos, ilesos, lesionados y vehículos retenidos en siniestros viables.





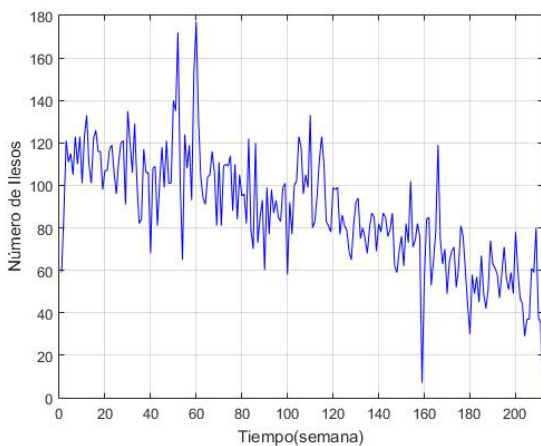
(a)

Número de conductores identificados por siniestros viales en el Ecuador, entre el año 2015 al 2018.



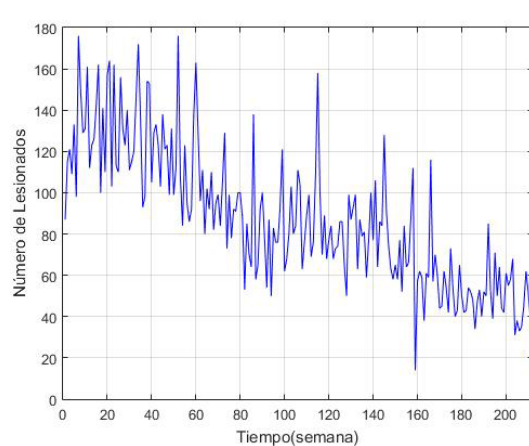
(b)

Número de personas fallecidas por siniestros viales en el Ecuador, entre el año 2015 al 2018



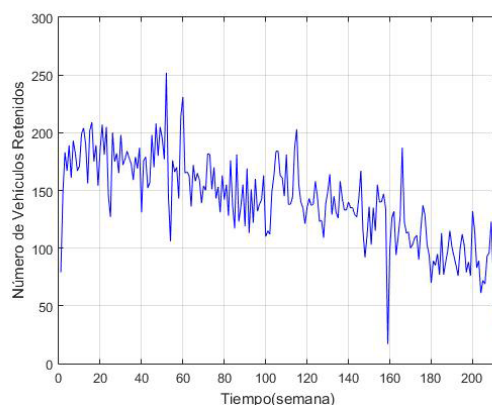
(c)

Número de personas ilesas por siniestros viales en el Ecuador, entre el año 2015 al 2018



(d)

Número de personas lesionadas por siniestros viales en el Ecuador, entre el año 2015 al 2018



(e)

Número de vehículos retenidos por siniestros viales en el Ecuador, entre el año 2015 al 2018

**Figura 1.** Series de tiempo observadas: (a) Conductores identificados, (b) Fallecidos, (c) Ilesos, (d) Lesionados, (e) Vehículos retenidos.

**Fuente:** elaboración propia.

La Figura 1 muestra una variabilidad de datos durante el período analizado en las series de tiempo observadas; por ejemplo, (a) Conductores identificados presenta una tendencia al alza entre las semanas 1 y 52, seguida de una tendencia a la baja hasta la semana 212. Por otro lado, (b) Fallecidos presenta una tendencia ascendente desde la semana 1 hasta la 52 seguida de una tendencia a la baja hasta la semana 130 seguida de una tendencia al alza hasta la 192 seguida de una tendencia a la baja hasta el final, (c) Ilesos presenta una tendencia descendente desde la semana 61 hasta el final, (d) Lesionados presenta una tendencia descendente desde la semana 53 hasta el final y (e) Vehículos retenidos presenta una tendencia a la baja a partir de la semana 53 hasta el final.

### 3. RESULTADOS

En esta investigación se utilizan cinco métricas para evaluar los modelos de pronóstico, en este caso, el error de porcentaje absoluto medio (MAPE), error cuadrático medio (RMSE), la validación cruzada generalizada (GCV), el coeficiente de determinación  $R^2$  y la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E).

### 3.1. APLICACIÓN DE MÉTRICAS DE EFICIENCIA

Se observa un buen ajuste entre cifras reales y estimadas. El cálculo de métricas MAPE, RMSE, GCV, R2, E, nos permite conocer que el modelo implementado en horizonte 12 en las series observadas es mayor al 95% en la métrica R2.

**Tabla 2.** Resultados del pronóstico MSVD + MIMO-AR: conductores identificados, fallecidos e ilesos.

h (semana)	CONDUCTORES IDENTIFICADOS					FALLECIDOS					ILESOS				
	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)
1	0,001	0,001	0,001	100,000	99,996	0,002	0,000	0,001	100,000	99,993	0,005	0,003	0,006	100,000	99,979
2	0,002	0,002	0,004	100,000	99,989	0,001	0,000	0,000	100,000	99,997	0,006	0,003	0,007	100,000	99,973
3	0,011	0,008	0,018	100,000	99,949	0,006	0,001	0,002	100,000	99,981	0,008	0,004	0,008	100,000	99,969
4	0,001	0,001	0,001	100,000	99,997	0,003	0,000	0,001	100,000	99,990	0,008	0,004	0,010	100,000	99,966
5	0,015	0,011	0,023	100,000	99,936	0,004	0,001	0,002	100,000	99,984	0,012	0,007	0,014	100,000	99,952
6	0,013	0,011	0,024	100,000	99,947	0,017	0,003	0,007	100,000	99,942	0,025	0,014	0,030	100,000	99,908
7	0,027	0,025	0,053	100,000	99,888	0,053	0,011	0,023	100,000	99,818	0,033	0,024	0,051	100,000	99,866
8	0,102	0,074	0,158	99,999	99,665	0,147	0,031	0,067	99,998	99,477	0,116	0,061	0,131	99,999	99,628
9	0,253	0,186	0,396	99,993	99,129	0,391	0,081	0,171	99,984	98,678	0,284	0,160	0,340	99,991	98,980
10	0,568	0,435	0,926	99,963	97,939	0,892	0,188	0,400	99,916	96,936	0,687	0,373	0,795	99,954	97,636
11	1,066	0,928	1,977	99,833	95,646	2,052	0,398	0,848	99,627	93,514	1,334	0,798	1,699	99,791	94,997
12	2,170	1,810	3,855	99,337	91,225	3,969	0,771	1,642	98,693	88,038	2,654	1,555	3,312	99,210	90,278
Min	0,001	0,001	0,001	99,337	91,225	0,001	0,000	0,000	98,693	88,038	0,005	0,003	0,006	99,210	90,278
Max	2,170	1,810	3,855	100,000	99,997	3,969	0,771	1,642	100,000	99,997	2,654	1,555	3,312	100,000	99,979
Media	0,352	0,291	0,620	99,927	98,609	0,628	0,124	0,264	99,851	98,029	0,431	0,251	0,534	99,912	98,428

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.** Resultados del pronóstico MSVD + MIMO-AR: lesionados y vehículos retenidos.

h (semana)	LESIONADOS					VEHICULOS RETENIDOS				
	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)
1	0,009	0,005	0,010	100,000	99,964	0,006	0,006	0,013	100,000	99,970
2	0,013	0,007	0,014	100,000	99,946	0,015	0,015	0,031	100,000	99,925
3	0,017	0,009	0,019	100,000	99,926	0,001	0,001	0,002	100,000	99,995
4	0,015	0,008	0,017	100,000	99,937	0,006	0,006	0,013	100,000	99,970
5	0,017	0,009	0,020	100,000	99,931	0,017	0,016	0,035	100,000	99,921
6	0,013	0,009	0,019	100,000	99,947	0,023	0,023	0,050	100,000	99,897
7	0,043	0,029	0,061	100,000	99,828	0,025	0,031	0,067	100,000	99,882
8	0,146	0,083	0,176	99,998	99,507	0,085	0,090	0,193	99,999	99,659
9	0,352	0,214	0,455	99,985	98,686	0,229	0,233	0,496	99,992	99,079
10	0,795	0,501	1,067	99,919	96,892	0,520	0,547	1,166	99,956	97,806
11	1,697	1,071	2,281	99,627	93,177	0,938	1,164	2,480	99,798	95,264
12	3,213	2,093	4,459	98,441	86,043	2,166	2,254	4,800	99,230	90,642

h (semana)	LESIONADOS					VEHICULOS RETENIDOS				
	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)	MAPE (%)	RMSE (%)	GCV (%)	R2 (%)	E (%)
Min	0,009	0,005	0,010	98,441	86,043	0,001	0,001	0,002	99,230	90,642
Max	3,213	2,093	4,459	100,000	99,964	2,166	2,254	4,800	100,000	99,995
Media	0,528	0,336	0,716	99,831	97,815	0,336	0,366	0,779	99,915	98,501

**Fuente:** elaboración propia.

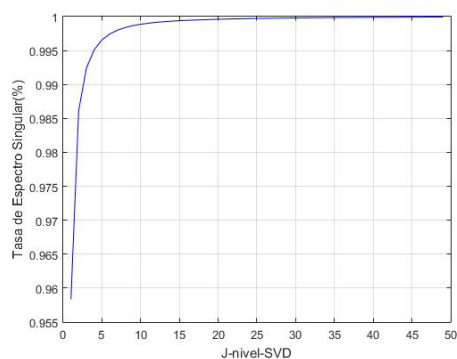
**Tabla 4.** Resumen de métricas.

SERIES	METRICAS				
	MAPE	RMSE	GCV	R2	E
CONDUCTORES IDENTIFICADOS	0,352	0,291	0,62	99,93	98,61
FALLECIDOS	0,628	0,124	0,264	99,85	98,03
ILESOS	0,431	0,251	0,534	99,91	98,43
LESIONADOS	0,528	0,336	0,716	99,83	97,82
VEHICULOS RETENIDOS	0,336	0,366	0,779	99,92	98,50

**Fuente:** elaboración propia.

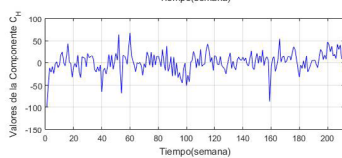
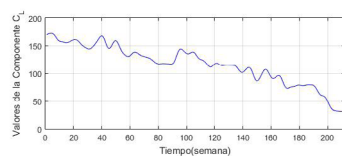
Los resultados obtenidos al aplicar MSVD+MIMO–AR se presentan divididos en dos etapas: descomposición y predicción.

**Descomposición.** La descomposición basada en MSVD aplica un proceso iterativo que concluye cuando la función  $\Delta R$ , correspondiente a la tasa de espectro singular, calculada en cada descomposición. La función alcanza el valor asintótico,  $\Delta R \approx I$ , para este caso, se alcanza en la repetición 20, por lo tanto, el proceso iterativo termina con la iteración 20.

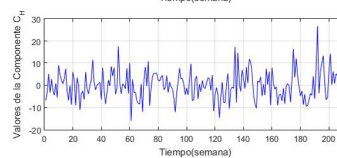
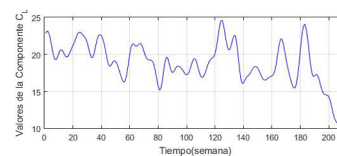


**Figura 2.** Niveles de descomposición versus Tasa de Espectro Singular.

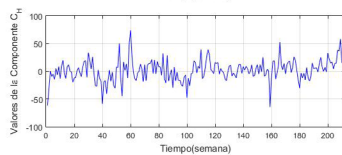
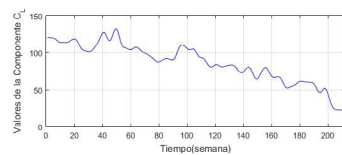
**Fuente:** elaboración propia.



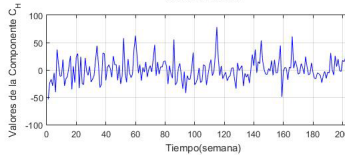
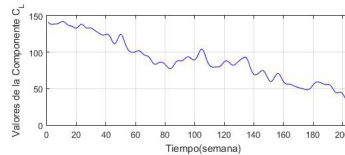
(a)



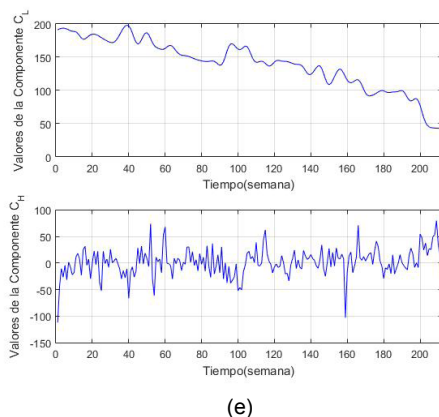
(b)



(c)



(d)

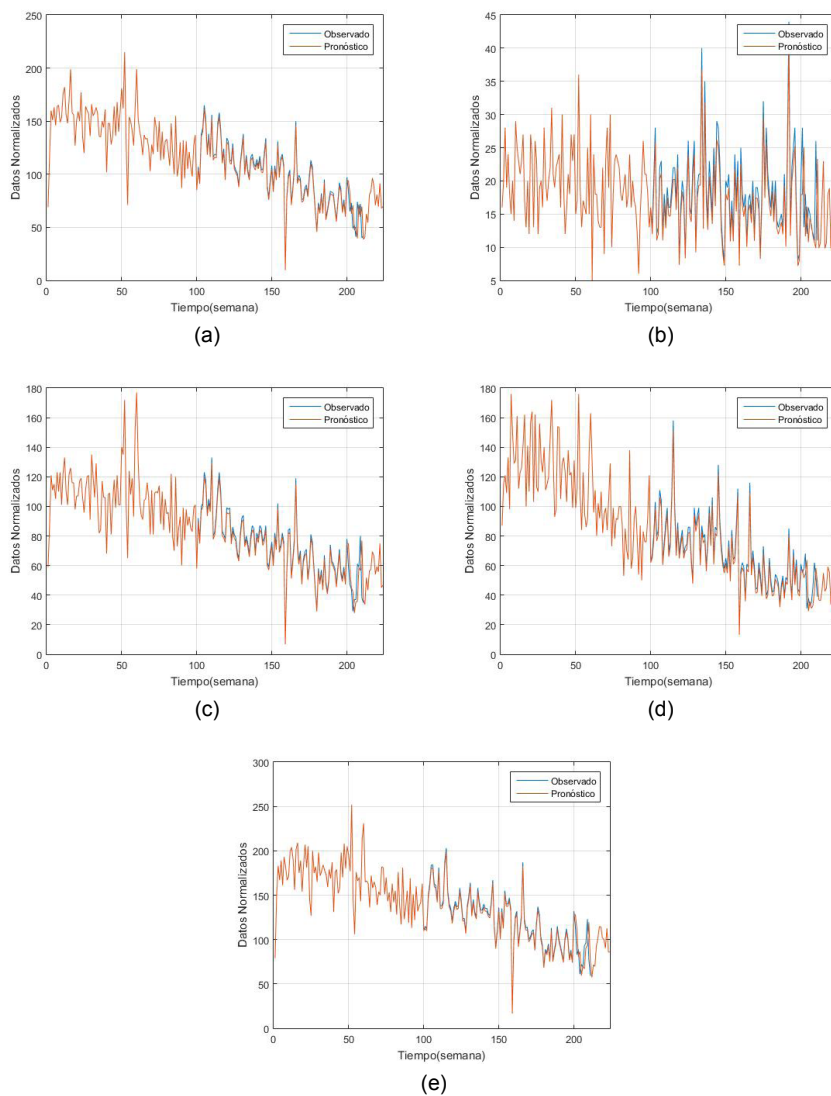


**Figure 3.** Componente de baja y alta frecuencia: (a) Conductores identificados, (b) Fallecidos, (c) Ilesos, (d) Lesionados, (e) Vehículos retenidos.

**Fuente:** elaboración propia.

La Figura 3 muestra los componentes de baja y alta frecuencia obtenidos con MSVD para las cinco series de tiempo de conductores identificados, fallecidos, ilesos, lesionados y vehículos retenidos en siniestros viables, respectivamente. Los componentes  $C_L$  extraídos muestran fluctuaciones de larga duración, mientras que los componentes  $C_H$  muestran fluctuaciones de corta duración.

**Predicción.** La estrategia MIMO se implementa para predecir las cinco series de estudio, con horizonte múltiple mediante el modelo autorregresivo. Las entradas son los  $P$  valores correspondientes a la ventana de tiempo elegida para el modelo AR, a través de un proceso de selección por medio de pruebas de repetición evaluadas con la métrica GCV. Los componentes  $C_L$  y  $C_H$  que fueron extraídas previamente con MSVD son las entradas del modelo AR. Cada conjunto de datos de baja y alta frecuencia se han dividido en dos subconjuntos, experimentación o entrenamiento y validación. El subconjunto de entrenamiento ( $N_{tr}$ ) involucra el 70% de las muestras, el subconjunto de validación ( $N_v$ ) implica 30% restante. La exactitud del pronóstico se evalúa con las métricas MAPE, RMSE, GCV,  $R^2$  y E, presentadas en las Tablas 2 y 3. Las curvas observadas y pronosticadas para el máximo horizonte de 12 semanas, se presentan en la Figura 4.



**Figure 4.** Series de tiempo proyectadas (a) Conductores identificados, (b) Fallecidos, (c) Ilesos, (d) Lesionados, (e) Vehículos retenidos.

**Fuente:** elaboración propia.

La Figura 4 muestra las curvas de valores observados versus valores pronosticados de cada una de las series de tiempo analizadas. A partir de las cifras se observa un buen ajuste entre los valores reales y estimados. En todos los casos se ha realizado una proyección de 12 semanas, es decir desde la semana 213 a la 224. Las proyecciones muestran un decrecimiento en las figuras 4(a), 4(c), 4(d) y 4(e). Por otro lado, las proyecciones muestran un comportamiento constante en la Figura 4(b) Fallecidos.

## 4. CONCLUSIONES

En el presente artículo se evidencia la importancia de realizar pronóstico para un horizonte amplio, logrado por medio de un modelo convencional, lineal, AR, mismo que a diferencia de los métodos no lineales presenta baja complejidad computacional. En etapas tempranas y antes de aplicar el modelo de pronóstico se aplica un método de descomposición de las series de tiempo, basado en la descomposición de valores singulares en múltiples pasos, es decir es de tipo iterativa, denotada como MSVD.

Por medio del método MSVD se logran extraer componentes de alta y baja frecuencia, mismas que representan las fluctuaciones del fenómeno de siniestros de tránsito, aquellas de mayor duración representadas en la componente de baja frecuencia, mientras que aquellas que tienen duración corta están representadas por la componente de alta frecuencia.

El modelo MIMO-AR fue implementado para cada serie de tiempo: conductores identificados, fallecidos, ilesos, lesionados y vehículos retenidos encontrando que el modelo es eficiente para un horizonte de 12 semanas, alcanzando una eficiencia promedio  $E$  de 89,2%, un coeficiente de determinación promedio  $R^2$  de 98,9%, un error cuadrático medio RMSE de 1,7%, un error de porcentaje absoluto medio MAPE de 2,8%, y una validación cruzada generalizada promedio GCV de 3,6%.

Los resultados obtenidos permitirán a las instituciones de gobierno, responsables de la planificación de estrategias minimizar el número de siniestros viales en el Ecuador y contar con información a priori del fenómeno con implicaciones sociales y económicas. En el futuro, dada la efectividad del método, se



realizarán nuevas simulaciones de pronóstico con series de tiempo recolectadas en otros periodos y otras áreas del conocimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional de Tránsito.** (2019). *Siniestros diciembre 2018*. <https://www.ant.gob.ec/index.php/ley-de-transparencia/ley-de-transparencia-2020/file/6096-siniestros-diciembre-2018>
- Armstrong, J., y Collopy, F.** (1992). Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons. *International Journal of Forecasting*, 8(1), 69–80. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(92\)90008-w](https://doi.org/10.1016/0169-2070(92)90008-w)
- Barba, L.** (2017). Multiscale Forecasting Models Based on Singular Values for Nonstationary Time Series. En *III Concurso Latinoamericano de Tesis de Doctorado (CLTD-CLEI)- JAIIO 46*, Córdoba. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/64919>
- Barba, L., y Rodríguez, N.** (2016). Hybrid Models Based on Singular Values and Autoregressive Methods for Multistep Ahead Forecasting of Traffic Accidents. *Mathematical Problems in Engineering*. Article ID 2030647. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2030647>
- Barba, L., Rodríguez, N., y Montt, C.** (2014). Smoothing Strategies Combined with ARIMA and Neural Networks to Improve the Forecasting of Traffic Accidents. *The Scientific World Journal*. Article ID 152375. <https://doi.org/10.1155/2014/152375>
- Barba, L., y Rodriguez, N.** (2017). A Novel Multilevel-SVD Method to Improve Multistep Ahead Forecasting in Traffic Accidents Domain. *Computational Intelligence and Neuroscience*. Article ID 7951395. <https://doi.org/10.1155/2017/7951395>
- Barba, L., Machado, G., Molina, L., Congacha A., Delgado, J., y Espinoza, L.** (2017). *Forecasting of CO2 emissions based on Preprocessing Techniques*. ITISE.

- Chatfield, C., y Yar, M.** (1988). *Holt-Winters Forecasting: Some Practical Issues*. *The Statistician*, 37(2), 129. <https://doi.org/10.2307/2348687>
- Congacha, A., Barba, J., Palacios, L., y Delgado, J.** (2019). Caracterización de los Siniestros Viales en el Ecuador. *NOVASINERGIA*, 2(2), 17-29. <https://doi.org/10.37135/unach.001.04.02>
- Contreras, A., Zuñiga, C., Martínez, J., y Sánchez, D.** (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos. *Estudios Gerenciales*, 32(141), 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.11.002>
- Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial.** (2019). *Policía Nacional del Ecuador*. <https://www.policiaecuador.gob.ec/quienes-somos-direccion-nacional-de-control-de-transito-y-seguridad-vial/>
- Esling, P., y Agon, C.** (2012). Time-Series Data Mining. *ACM Computing Surveys*, 45(1), 1-34. <https://doi.org/10.1145/2379776.2379788>
- Fu, T.** (2011). A review on time series data mining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(1), 164-181. <https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAL.2010.09.007>
- Krause, P., Boyle, D. P., y Base, F.** (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89–97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>
- Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., Newton, J., Parzen, E., y Winkler, R.** (1982). The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition. *Journal of forecasting*, 1(2), 111-153. <https://doi.org/10.1002/for.3980010202>
- Organización Mundial de la Salud.** (2015). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015*. [https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/Summary\\_GSRRS2015\\_SPA.pdf?ua=1](https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/Summary_GSRRS2015_SPA.pdf?ua=1)

- Organización Mundial de la Salud.** (2017). *Seguridad de los vehículos de motor de dos y tres ruedas: Manual de seguridad vial para decisores y profesionales*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272757/9789243511924-spa.pdf?ua=1>
- Serre, D.** (2002). *Matrices: Theory and Applications*. Springer, New York, 218-220.
- Vilalta, R., Apte, C., Hellerstein, J., Ma, S., y Weiss.** (2002). Predictive algorithms in the management of computer systems. *IBM Systems Journal*, 41(3), 461 – 474. <https://doi.org/10.1147/sj.413.0461>
- Wang, J., Song, Y., Liu, F., y Hou, R.** (2016). Analysis and application of forecasting models in wind power integration: a review of multi-step-ahead wind speed forecasting models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 960–981. <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v60y2016icp960-981.html>
- World Health Organization.** (2015). *Global status report on road safety 2015*. Geneva. [https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/es/](https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/es/)
- World Health Organization.** (2019, 8 de agosto). Road traffic injuries. [https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab_1)

/03/

# FIRMA DIGITAL BASADA EN CRIPTOGRAFÍA ASIMÉTRICA PARA GENERACIÓN DE HISTORIAL CLÍNICO

## DIGITAL SIGNATURE BASED ON ASYMMETRIC CRYPTOGRAPHY FOR GENERATION OF MEDICAL HISTORY

---

**Jose Cordova Ramirez**

National University Mayor de San Marcos, (Perú).

E-mail: [12200082@unmsm.edu.pe](mailto:12200082@unmsm.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0850-7266>

**Hugo Vega Huerta**

National University Mayor de San Marcos, (Perú).

E-mail: [hvegah@unmsm.edu.pe](mailto:hvegah@unmsm.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4268-5808>

**Ciro Rodriguez Rodriguez**

National University Mayor de San Marcos, (Perú).

E-mail: [crodriguezro@unmsm.edu.pe](mailto:crodriguezro@unmsm.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2112-1349>

**Frank Escobedo Bailón**

National University Mayor de San Marcos, (Perú).

E-mail: [fescobedob@unmsm.edu.pe](mailto:fescobedob@unmsm.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2058-0976>

**Recepción:** 07/08/2020 **Aceptación:** 29/09/2020 **Publicación:** 14/12/2020

### Citación sugerida:

Cordova, J., Vega, H., Rodriguez, C., y Escobedo, F. (2020). Firma digital basada en criptografía asimétrica para generación de historial clínico. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 9(4), 65-85. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n4e36.65-85>

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de en la cual se propone sistematizar el proceso de la redacción y generación de historiales médicos con los cuales se propone la reducción del tiempo de la generación de historiales y la reducción de recursos físicos, especialmente en lo que respecta al uso del papel, la cual los especialistas de la salud redactan en el transcurso de una consulta médica, esto además implicaría en la optimización en la gestión de los historiales médicos. El sistema planteado a desarrollar consiste en la aplicación del mecanismo de la firma digital en base al método de la criptografía asimétrica o también llamada criptografía de clave pública. Esta tecnología se aplicará principalmente mediante la aplicación de dos herramientas contempladas para el uso de la firma digital: el sistema RSA (Rivest, Shamir y Adleman) y la función hash SHA-256. La aplicación de la firma digital a los historiales médicos se mostrará implementada a través del manejo de interfaces gráficas que está planteada para que el especialista pueda redactar y manejar los historiales a su conveniencia. El sistema abordará el uso del lenguaje de programación Python y el conjunto de herramientas OpenSSL para las funciones criptográficas y PyQt5 para el desarrollo a nivel interfaces gráficas.

Se propone esta solución debido a que la tecnología de firma digital se ha planeado y posteriormente se ha estado desarrollando desde la década de 1980, son en estos últimos años que esta tecnología ha sido tomada más en cuenta para el manejo de documentos, y como este caso, de los historiales médicos.

## PALABRAS CLAVE

Firma digital, Historial médico, Criptografía asimétrica, RSA, PyQt5.

## ABSTRACT

*The present work aims to develop a system in which it is proposed to systematize the process of writing and generating medical records which is proposed to reduce the time of generation of records and the reduction of physical resources, especially regarding the use of paper; which health specialists write in the course of a medical consultation, this would also imply the process of optimization in the management of medical records. The proposed system to develop consists of the application of the digital signature mechanism based on the method of asymmetric cryptography or also called public key cryptography.*

*This technology is applied mainly through the application of two tools contemplated for the use of the digital signature: the RSA system (Rivest, Shamir and Adleman) and the SHA-256 hash function. The application of the digital signature to medical records will be implemented through the handling of graphical interfaces that is proposed so that the specialist can write and manage the records at his convenience. The system will address the use of Python programming language and the software libraries OpenSSL applied for cryptographic functions and PyQt5 for development at the graphical interface level.*

*This solution is proposed because digital signature technology has been planned and has been subsequently developed since the 1980s, it is in recent years that this technology has been taken more into account for document management, and like this case, medical records.*

## KEYWORDS

*Digital signature, Medical record, Asymmetric key cryptography, RSA, PyQt5.*

# 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al informe del Plan Estratégico Institucional del Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión (2017), el hospital, con dirección en la Av. Guardia Chalaca 2176, Bellavista, Callao, es la institución de Salud de mayor complejidad en la red de establecimientos en la Provincia Constitucional del Callao, con Dependencia Administrativa de la Dirección Regional de Salud I, es además un Hospital de referencia nacional y sede de pre y post grado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y otras universidades públicas y privadas.

El hospital como establecimiento de salud de categoría y nivel de complejidad III – 1 es responsable de satisfacer las necesidades de salud brindando atención ambulatoria y hospitalaria especializada, con énfasis en la recuperación y rehabilitación de problemas de salud a través de unidades productoras de servicios de salud médico-quirúrgicos de alta complejidad, teniendo población de referencia regional y nacional conforma con otros 54 establecimientos la Red de Servicios Hospitalarios de la Dirección Regional de Salud del Callao. Al ser el hospital un establecimiento donde hay tránsito de pacientes, se generan historiales médicos, las cuales recopilan información acerca de un paciente para entender mejor un problema de salud que el paciente sufre, además de tener una validación de carácter legal, lo cual la validación del especialista de la salud con su firma es de vital importancia.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, la problemática acerca de los hospitales públicos es documentada de manera extensa en documentos oficiales estatales, reportajes y artículos periodísticos, entre otros.

Es en base a la premisa anterior, las gestiones sobre las operaciones que se realizan en un hospital suelen ser de mucha carga burocrática. Una de estas operaciones es la redacción y el posterior manejo de los



historiales médicos que se realizan en el hospital, que se realizan de forma manual y su posterior gestión también es realizada de forma manual.

## 2.2. BASE DEL PROBLEMA

Para generar un historial médico, se debe emitir una firma manuscrita luego de la redacción manual luego de una consulta médica, la cual es la forma más usada para la validación de las firmas y posteriormente el historial médico.

Es por este motivo que el proceso de validación del historial médico desde la redacción y posterior firma del especialista de la salud hasta su almacenamiento para una futura revisión u otra actividad que implique el uso del historial implica tiempo que se considera en demasía. Otra cuestión importante es el uso cuantioso de papel que se genera por la generación de los reportes de los historiales

## 2.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Se propone el desarrollo de un sistema que use la herramienta de la firma digital para la redacción y validación de los historiales médicos, con lo cual se propone brindar una reducción de la demora de las validaciones de los historiales médicos y una reducción en el uso del recurso físico del papel. A continuación, nuestros objetivos específicos:

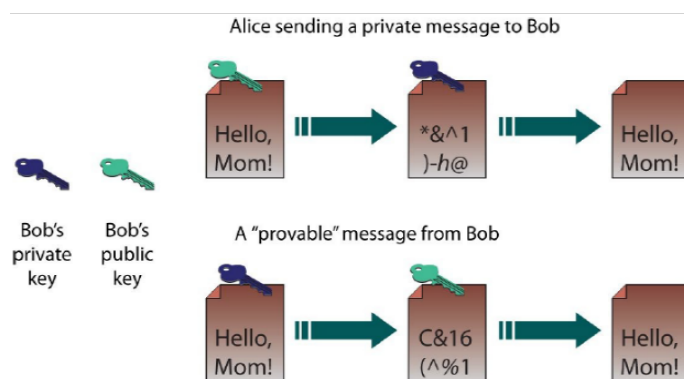
- Aplicar la legalidad para el proceso de la generación de los historiales médicos.
- Validar las firmas digitales generadas en archivos PDF.
- Aplicar los estándares válidos para el desarrollo de la generación de la firma.
- Desarrollar el sistema mediante el uso de software no-propietario y libre.

### 3. CONCEPTOS PREVIOS

#### 3.1. CRIPTOGRAFÍA ASIMÉTRICA

La encriptación asimétrica es mejor conocida como criptografía de clave pública. La encriptación asimétrica es diferente a la encriptación simétrica. Mientras ambos son usados para proteger la data de accesos no autorizados, la encriptación asimétrica utiliza dos llaves en vez de una. Este tipo de encriptación fue inventada por Whitfield Diffie y Martin Hellman en 1975 (Conklin *et al.*, 2018).

La encriptación asimétrica ayuda en la creación de firmas digitales y también apunta hacia la mayor debilidad de la encriptación simétrica. Las firmas digitales ayudan en la eficiencia y rapidez de la gestión de los documentos, incluyendo los documentos legales. La encriptación asimétrica envuelve dos claves separadas pero relacionadas matemáticamente. Las claves son usadas en direcciones opuestas, como se verá en la siguiente imagen:



**Figura 1.** Modelo de encriptación asimétrica. Fuente: (Principles of Computer Security, 2018).

En los procesos de la criptografía asimétrica, se opta por el cifrado, no precisamente de todo el mensaje, sino, de una parte, la cual se realiza mediante una función, conocida como función hash, que extrae de un mensaje de datos una longitud fija. En esta extracción, la cual es un resumen, consiste en un listado de letras y números incompresible, la cual resulta de aplicar los algoritmos de cifrado. Este resultado se caracteriza por su irreversibilidad, la cual no se puede acceder al mensaje cifrado y descifrarlo, y su

exclusividad, que sólo existe una para cada mensaje de datos, lo que conlleva que, si se modifica un número o letra del resultado cifrado, el resultado del mensaje cambia.

Los algoritmos y tecnologías más comunes son:

### **Diffie-Hellman**

Según Conklin *et al.* (2018) este protocolo es uno de los más utilizados, toma un rol fundamental en los procesos de SSL (Secure Sockets Layer), además para las tecnologías TLS (Transport Layer Security), SSH (Secure Shell). Este protocolo, usa números primos para trabajar. Utiliza dos números primos,  $P$  y  $G$ , luego se eligen dos números secretos:  $a$  y  $b$ . Luego se procesa:

- $X = Ga \bmod P$ , siendo  $X$  un número público.
- $Y = Gb \bmod P$ , siendo  $Y$  un número público.

Luego se procede a intercambiar los números públicos.

- Se computa:  $Ka = Y^a \bmod P$
- Se computa:  $Kb = Y^b \bmod P$

Aunque hay otros métodos que se crearon para reforzarlo, Diffie-Hellman es aún utilizado.

### **RSA**

De acuerdo a Conklin *et al.* (2018), este algoritmo usa el producto de dos números primos y trabaja en el principio de la dificultad en factorizar estos números. Se da por recomendación trabajar con números primos de 100 a 200 dígitos. Estos dos números primos, para este caso, llamados  $P$  y  $Q$ , aleatoriamente se elige un número  $E$ , donde  $E$  es mayor que 1. Dado que la seguridad de RSA radica en la dificultad de la factorización de dos números grandes, esto puede llevar a demora a nivel software.

## ElGamal

Según Conklin *et al.* (2018), es usado para la encriptación y las firmas digitales. Este sistema está basado en el cálculo de logaritmos discretos en un campo finito. Se necesita 3 números para generar el par de llaves. Fue descrito por Taher Elgamal en 1984 y se usa en software GNU Privacy Guard, versiones recientes de PGP, y otros sistemas criptográficos. Este algoritmo no está bajo ninguna patente lo que lo hace de uso libre.

La seguridad del algoritmo se basa en la suposición que la función utilizada es de un solo sentido y la dificultad de calcular un logaritmo discreto. El procedimiento de cifrado y descifrado está basado en cálculos sobre un grupo cíclico cualquiera  $G$  lo que lleva a que la seguridad de este dependa de la dificultad de calcular logaritmos discretos en  $G$ .

## 3.2. FIRMA DIGITAL

Según Katz (2014), la firma digital sirve como una poderosa arma que se está aceptando en algunos países, ello se puede utilizar para certificar contratos o notarizar documentos, para autenticación de personas o corporaciones, así como componentes de protocolos más complejos. Su uso y validación está implementado mediante el manejo de las claves criptográficas públicas y privadas. Un esquema de la firma digital por lo general es usado por un firmante y verificadores. El firmante empieza a ejecutar un algoritmo de generador de claves. El firmante luego publica su clave pública, para que un verificador empiece a validarlo, se asume que el verificador tiene las herramientas y opciones necesarias para su validación.

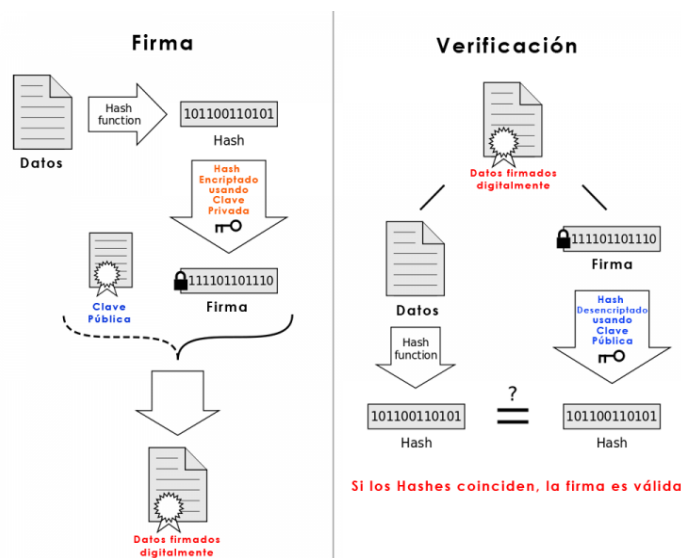
Las características que tiene la firma digital son las siguientes:

- Debe permitir la identificación del usuario. Para lograrse, la firma debe estar asociada solamente al emisor. Se entra en el concepto de la autoría electrónica, de otra forma, la comprobación de las identidades y validaciones y verificaciones de la firma se realizan mediante procesos electrónicos.

- La firma digital solo puede ser generada por un único emisor, por lo que debe ser infalsificable e inimitable, lo que quiere decir es que no debe ser suplantada. Significa que solamente el firmante es el único generador de su propia firma.
- Las informaciones que se generen a partir de la firma digital deben ser suficientes para validarla, pero insuficientes para falsificarla.
- Debe permitir detectar la alteración de los mensajes.
- Debe contener los elementos necesarios para probar la participación del signatario en la emisión del mensaje que ha sido firmado digitalmente. Se debe facilitar la no-repudiación de los mensajes, quiere decir que el signatario es capaz de autenticar la firma y el mensaje adjunto a la firma.
- La firma digital autentifica documentos y/o mensajes. Una vez identificado, es imposible falsificar o alterar el documento firmado o la firma sin que este acto sea detectado.
- Las firmas digitales por lo general consisten en 3 algoritmos probabilísticos (Gen, Sign, Vrfy):
- El algoritmo generador de clave Gen toma como entrada el parámetro  $k$ . Como salida muestra un par de claves: Clave pública,  $pk$  y Clave Privada,  $sk$ . Se asume que el parámetro de seguridad  $k$  está implícitamente en las dos claves: en la clave pública y en la clave privada.
- El algoritmo Sign que es el algoritmo de la firma toma la clave privada  $sk$  y un mensaje  $m$ , devuelve una firma  $\delta$ . Si el mensaje no pertenece al emisor, se bloquea y se invalida el proceso. Se describe que la firma pertenece al conjunto de las firmas generadas para el mensaje  $m$ . Si se descubre el mensaje no pertenece al emisor, el algoritmo de la firma digital genera un valor vacío e invalida el mensaje, o dependiendo del desarrollador, se genera un mensaje de invalidación, un mensaje de error, no se envía el mensaje, entre otras maneras de demostrar una invalidación de una firma.
- El Algoritmo de verificación Vrfy toma la clave pública  $pk$ , el mensaje  $m$  y la firma  $\delta$ . Luego de este proceso devuelve un bit  $b$ , donde si  $b=1$ , significa aceptado y si  $b=0$ , significa rechazado. Entendemos que cuando un bit que es 1, significa que el mensaje es válido, por lo que se acepta la verificación y el mensaje se envía sin ningún problema. Caso contrario, cuando el mensaje no está

verificado correctamente, el bit de salida es 0, por lo que el algoritmo rechaza la firma, el mensaje y no se provee de un mensaje con la firma digital al emisor que el receptor desea.

A continuación, se muestra un gráfico que describe el esquema de una firma digital:



**Figura 2.** Esquema de firma digital. Fuente: (Iglesias, 2017).

## 4. REQUERIMIENTOS Y ARQUITECTURA

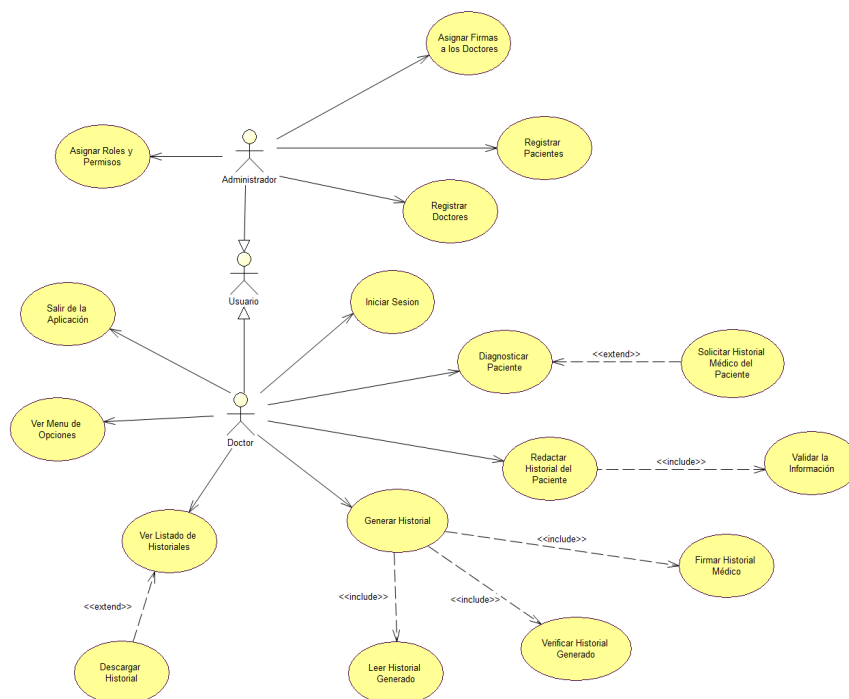
### 4.1. REQUERIMIENTOS

Basándonos en Chumbimuni y Vega (2019) y Céspedes, Vega y Bustos (2016), hemos elaborado los siguientes requerimientos:

- El usuario debe ingresar al sistema a través de una cuenta personal.
- El sistema permite redactar un historial médico después de haber realizado una revisión al paciente.
- El sistema permite al especialista de la salud realizar el seguimiento de los historiales médicos.

## 4.2. CASOS DE USO DEL SISTEMA

Según Rodríguez *et al.* (2020) y Sánchez *et al.* (2020) presentamos los siguientes casos de uso:



**Figura 3.** Casos de uso del sistema.

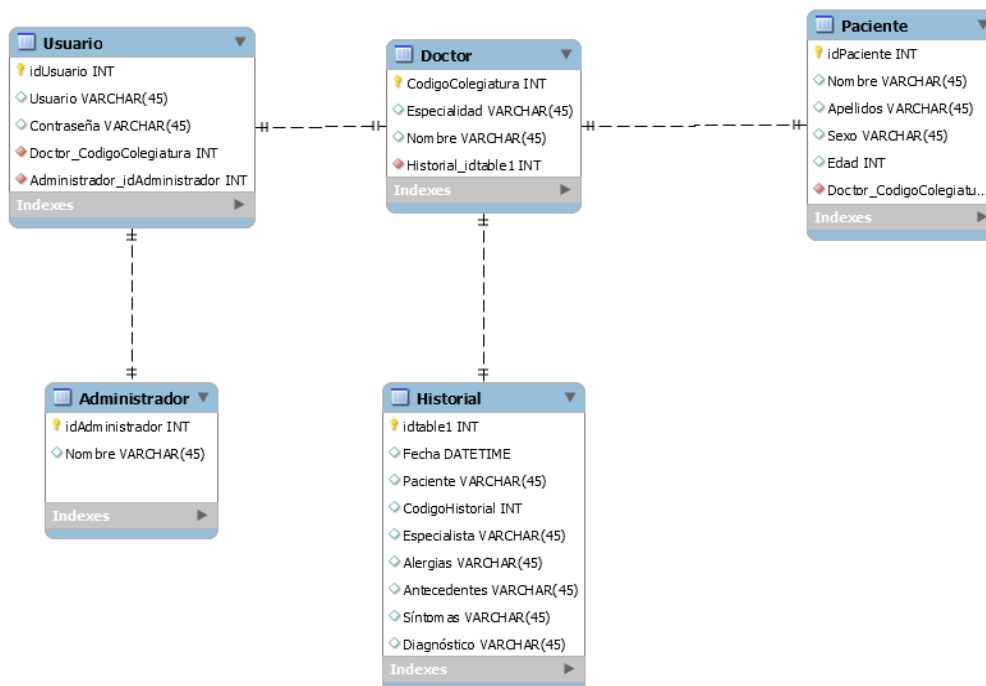
**Fuente:** elaboración propia.

Los casos de uso más relevantes para el sistema son:

- Asignar Firmas a los Doctores
- Redactar Historial del Paciente
- Generar Historial
- Verificar Historial Generado
- Ver Listado de Historiales

### 4.3. BASE DE DATOS

Apoyados en Soto *et al.* (2020) y Vega, Huayna, y Romero (2009), elaboramos la siguiente base de datos:



**Figura 4.** Diagrama de la Base de Datos.

**Fuente:** elaboración propia.

## 5. DESARROLLO

Basándonos en Távara *et al.* (2020) y Vega y Huayna (2010), realizamos el siguiente planteamiento:

El proyecto implica el desarrollo de un sistema que se plantea el uso para los especialistas de la salud, ya que ellos son las personas responsables de la redacción del historial médico. Las herramientas tecnológicas implementadas son el algoritmo RSA y las funciones criptográficas hash SHA 256.



**Figura 5.** Inicio.**Fuente:** elaboración propia.**Figura 6.** Historial.**Fuente:** elaboración propia.

**PANEL DE CONTROL**

H.C.: 5464 Especialista: Juan Perez Fecha: 2020-05-18

**INFORMACIÓN GENERAL DEL PACIENTE**

Nombre: Carla Parodi Edad: 30

Sexo: Femenino

**INFORMACIÓN MÉDICA**

Alergias: Polen

Antecedentes: Ronchas

Síntomas: Debilidad y Desmayo

Diagnóstico: Reacción alérgica

**Generar Documento**

**Figura 7.** Confirmación de Historial Generado.

**Fuente:** elaboración propia.

Fecha: 2020-07-07

---

**HISTORIAL MEDICO DEL PACIENTE**

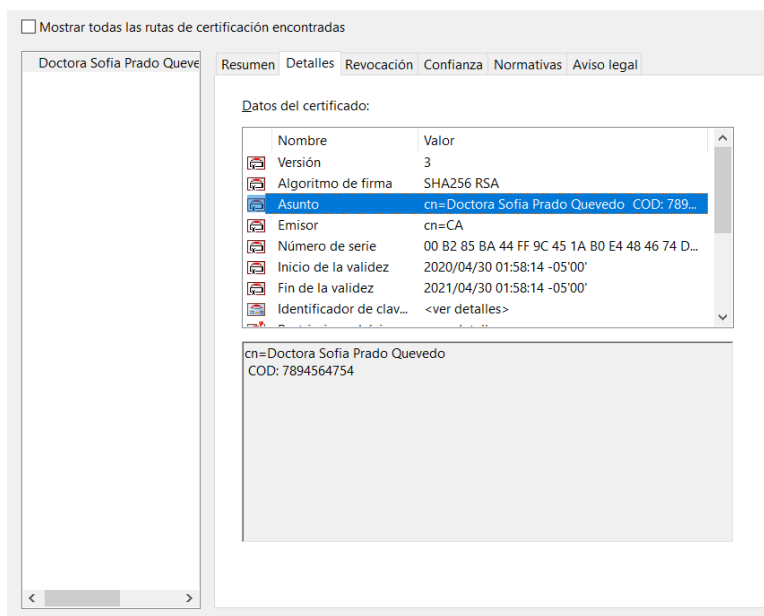
---

Código: HC-N°322Doctor(a): Sofía Prado Quevedo**INFORMACION DEL PACIENTE**Paciente: Juan Dominguez PerezEdad: 65 añosSexo: Masculino**INFORMACION MEDICA**Alergias: No presenta alergia a ningún medicamentoAntecedentes: Artritis, recetado con corticoides, cirugía en la manoA. familiares: Padres con artritis a la edad de 40 añosSíntomas: Dolor en las articulaciones en ambas manos, dificultad para movilizar las manos, entumecimiento.Medicación: Hidroxicloroquina 500mgDiagnóstico: Rebote de la artritis, sequedad en las articulaciones.Tratamiento: Analgésicos: oxicodona 500mg diario c/8 horas, Corticoides: cortisona , 1 dosis cada 2 días.  
Derivación al área de terapia físicaFirmado por Doctora Sofía Prado Quevedo  
COD: 7894564754**Figura 8.** Documento PDF del Historial Generado.**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 9.** Panel de la firma digital.

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 10.** Detalle de la firma digital.

**Fuente:** elaboración propia.

## 6. RESULTADOS

En base a la investigación anteriormente desarrollada, los resultados son los siguientes:

- El tiempo de la redacción del historial fue entre 2 a 5 minutos.
- La generación del historial es automática, lo cual se da inmediatamente después de proceder a validar lo redactado en el historial.
- La firma adjunta en el documento del historial médico se da de forma conjunta con la generación del historial, dado que los procesos de verificación y validación se da en simultáneo.
- No hubo la necesidad de usar recursos físicos alguno, ya sea papel o algún material para la redacción física.

## 7. CONCLUSIONES

En base al desarrollo de la solución del sistema para la gestión de historiales médicos mediante el uso de la firma digital, se concluye lo siguiente:

- Después de analizar una serie de sistemas criptográficos, se procedió a implementar el sistema RSA, debido a su versatilidad y robustez.
- El sistema demostró la posibilidad de la implementación de la firma digital aplicado para un historial médico, considerando también su verificación y validación.
- Se demostró que el proceso de la generación de un historial médico trae consigo la posibilidad de reducir el uso de recursos, especialmente los recursos de tiempo y consumo de papel físico.
- El desarrollo del software además tuvo la intención de generar un software amigable al usuario, con la idea de no generar dificultad o inconveniente en el manejo de esta.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda la futura interconexión con otros establecimientos de salud para una futura mejora en la gestión de los historiales médicos de los pacientes, cumpliendo con la privacidad y seguridad del manejo de estos documentos. Además, se recomienda contemplar a otros actores del hospital para una mayor integración del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Céspedes, C., Vega, H., y Bustos, S.** (2016). *CRM para optimizar la gestión del proceso de venta de una inmobiliaria: Solución basada en tecnologías Web para el sector construcción, centrada en el proceso de venta*. Editorial Académica Española.
- Chumbimuni, J., y Vega, H.** (2019). Mejora de la calidad de atención del servicio de Depósito Legal de la Biblioteca Nacional del Perú mediante la implementación del módulo de consulta en línea de certificados digitales basado en la tecnología de firma digital. En *10th International Symposium on Innovation and Technology*.
- Conklin, A., White, G., Dwayne W., Davis, R., y Cothren, C.** (2018). *Principles of Computer Security. CompTIA Security+ and Beyond* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Hospital Nacional Daniel Alcides Carrion.** (2017). *Plan Estratégico Institucional*.
- Iglesias, V.** (2017). *Cómo funciona la firma digital*. <https://www.victoriglesias.net/como-funciona-la-firma-digital/>
- Katz, J.** (2014). *Digital Signatures*. Springer, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-27712-7>
- Ley N.º 27269.** Ley de Firmas y Certificados Digitales. <https://www.minjus.gob.pe/wp-content/uploads/2014/03/Ley27269.pdf>

- Metzgar, C. N.** (2017). *RSA cryptosystem: an analysis and python simulator*. <https://libres.uncg.edu/ir/asu/f/Metzgar,%20Ciscily%20Spring%202017.pdf>
- Rodriguez, C., Lezama, P., Kaseng, F., y Chávez, D.** (2020). Bayesian model to determine genealogical links of family descendants. *Test Engineering and Management*, 83, 17937- 17946.
- Sanchez, J., Vega, H., Guzmán, Y., Rodriguez C., y Quinto, D.** (2020). Data Mart Design to Improve the Decision-Making Process of the After-Sales Service. *Test Engineering and Management*, 83, 15481–15494.
- Soto, B., Vega, H., Guzmán, Y., Rodriguez C., y Quinto, D.** (2020). Classification Algorithm Based on machine learning to optimize athletes talent detection. *Test Engineering and Management*, 83, 13464–13461.
- Távora, A., Vega, H., Guzmán, Y., Rodriguez, C., y Quinto D.** (2020). Wearable technology to improve health care infants in the yomibato peruvian community. *Test Engineering and Management*, 83, 17960- 17968.
- Torres, H.** (2005). *El sistema de seguridad jurídica en el comercio electrónico*. Fondo Editorial De La Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Vega, H., Huayna, M., y Romero, P.** (2009). Reconocimiento de patrones mediante redes neuronales artificiales. *Revista de Ingeniería de Sistemas e Informática*, 6(2). [https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/risi/2009\\_n2/v6n2/a03v6n2.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/risi/2009_n2/v6n2/a03v6n2.pdf)
- Vega, H., y Huayna, M.** (2010). Sistema experto para la prevención de enfermedades basado en consumo de alimentos cotidianos. *Revista del Encuentro Científico Internacional*, 7(2). [https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/publicaciones/risi/2009\\_n1/v6n1/a02v6n1.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/publicaciones/risi/2009_n1/v6n1/a02v6n1.pdf)

**Verma, A., Guha, P., y Mishra, S.** (2016). Comparative Study of Different Cryptographic Algorithms. *Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, 11(3). <https://doi.org/10.4236/jis.2020.113009>





/04/

# IOT BASED EFFICIENT SOLAR PANEL MONITORING

---

**Mirsad Hyder Shah**

Student, Technische Universitat Dortmund.

Dortmund, (Germany).

E-mail: [itsmirsadhyder@yahoo.com](mailto:itsmirsadhyder@yahoo.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2476-5887>

**Nasser Hassan Abosaq**

Assistant Professor, Computer Science and Engineering Department. Yanbu University College, Yanbu Industrial City,

(Kingdom of Saudi Arabia).

E-mail: [abosaqn@rcyci.edu.sa](mailto:abosaqn@rcyci.edu.sa) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1354-3170>

**Recepción:** 01/09/2020 **Aceptación:** 05/10/2020 **Publicación:** 14/12/2020

## Citación sugerida:

Shah, M.H., y Abosaq, N.H. (2020). IoT based efficient solar panel monitoring. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 9(4), 87-93. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n4e36.87-93>

## ABSTRACT

The invention of smart grid has already outdated the conventional method of one way power production-supply concept. While developed countries have already started to adopt smart meters, appliances and renewable energy sources; underdeveloped and developing countries are still facing power shortages every day. In the second Industrial Revolution, electricity was the main advancement and the recent Industrial Revolution 4.0 has pushed giant Production companies into the adoption and promotion of Renewable Energy sources. The integration of IoT and power systems has revolutionized the world in terms of power efficiency and real time monitoring. This paper discusses an experimental work done on how IoT can monitor the power/voltage and current production of a standalone renewable energy source i.e. a solar panel. This paper also discusses how to improve the solar panel efficiency by correcting the tilt angle of the solar panel. The monitoring of the solar panel is done via an inter-connected system using NodeMCU, Node-RED, Arduino and an MQTT channel. The monitoring of solar panels can be made easier by implementing the proposed work in a photovoltaic (PV) power plant. Moreover the monitoring of energy production will greatly enhance the health of the PV system. A 24% increase in the power output has been noticed after the correction of the tilt angle which was corrected using a solar tracker.

## KEYWORDS

IoT based Solar Panel, Solar monitoring, NodeMCU, Node-RED, MQTT, Tilt Correction using IoT, Azimuth Correction using IoT.

## 1. INTRODUCTION

Internet of Things (IoT) has already made its way into numerous applications. From smart homes to IoT based management systems in Industries, IoT has been employed to make our lives much easier and data-accessible. It is estimated that by 2025, there will be more than 21 Billion IoT devices (Symanovich, n.d.). The ease which IoT introduces in the monitoring of power production and consumption is unmatched.

## 2. METHODOLOGY

The components required for the integration of IoT with solar panel are as follows (Oukennou *et al.*, 2019):

### 2.1. NODEMCU

NodeMCU is an open source firmware based on ESP8266 wifi-soc. NodeMCU provides access to the GPIO (General Purpose Input/Output) subsystem. It is mainly used for IoT based applications. (NodeMCU, 2014)

### 2.2. INA219 CURRENT SENSOR

After connecting it with INA219 which is a current shunt and power monitor, it monitors the shunt voltage and current coming from the solar panel. INA219 is basically a High side DC Current sensor which can detect current from a range of +3.2 to -3.2 Amperes and 26 Volts.

### 2.3. NODE-RED

Node-RED is a programming tool which wires the above hardware devices together. Node-RED is also an open source project. It has a web browser based flow editor with which JavaScript functions can be employed (Node-RED, n.d.).

## 2.4. ARDUINO

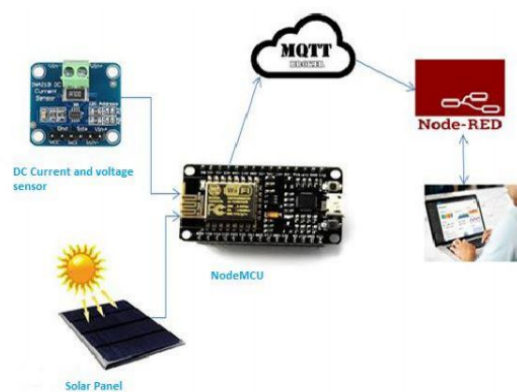
Arduino software is a free Integrated Development Environment (IDE). It is open source application which can be downloaded from their website. It allows users to create interactive electronic circuits with program editions which can be uploaded, compiled in Arduino boards.

## 2.5. MQTT

MQTT is used as a communication channel between two or more devices. It is bandwidth efficient and consumes very little power. It can be used as a transport mechanism between the devices and IoT.

## 3. WORKING

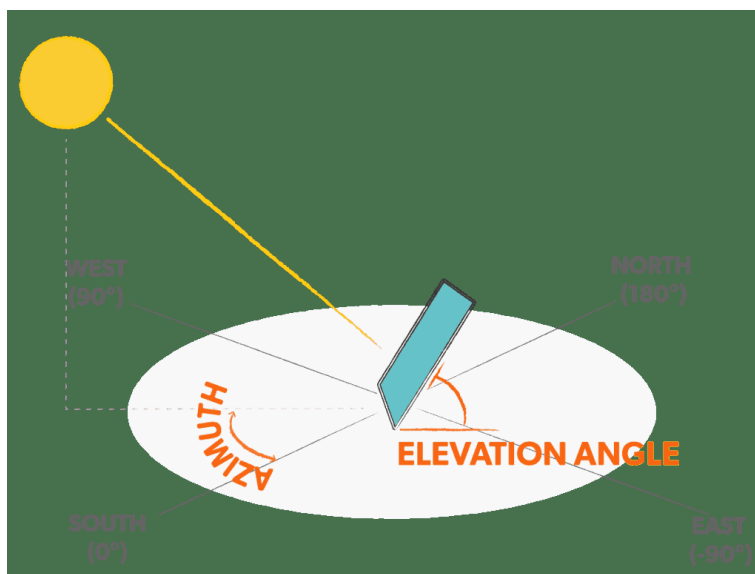
The NodeMCU microcontroller or the ESP8266, collects the input parameters (Voltage, current and power) from the INA219 sensor. After the microcontroller is connected to the MQTT via Wi-Fi, we can collect the output from the NodeMCU after opening Node-RED. Since the privacy of our data should not be compromised, we can visualize the results via connecting a device to the Internet with the username/password. (Oukennou *et al.*, 2019)



**Graphic 1.** System Architecture.  
**Source:** (Oukennou *et al.*, 2019).

## 4. CORRECTION OF TILT AND AZIMUTH ANGLE USING IOT

The tilt angle describes the vertical angle of a solar panel. Azimuth angle is their horizontal facing in relation to the equator. For solar panels to perform best they should be directed accurately towards the sun. Users in the northern hemisphere should face their solar panels towards the south and vice versa. Due to magnetic declination, the inaccuracy of finding the true south hinders the solar panel's best performance (Wholesale Solar, 2018).



**Graphic 2.** Azimuth and tilt angle in relation to the equator.

**Source:** (Wholesale Solar, 2018).

A solar tracker is a device that orients the direction of the solar panel directly towards the sun. With employing IoT, solar panels can be made much more efficient. This can be done by providing accurate data to the microcontroller which then corrects the tilt angle. Brushless DC motors are employed under the solar panel which take hourly readings from the microcontroller and adjusts the tilt angle.

## 5. RESULTS

This paper proposes a real time and low cost monitoring system for solar panel using NodeMCU which is connected to Node-Red. This system can help to measure PV system's productions: voltage, current and power. The table below compares the measured values of INA219 and a multimeter.

In Table 1, the monitoring of the solar panel has been carried out. These results were achieved with the combined setup of the Microcontroller, Sensors, Software and a multimeter. In Table 1, the measured power using a multimeter is much more accurate but dealing with a software using the current sensor is much easier.

**Table 1.** Results with NodeMCU and Node-RED setup.

Measured power using INA219	Measured Power using multimeter	Inaccuracy in results
24 mW	24.4mW	0.4 mW
30 mW	30.2 mW	0.2 mW
33mW	33.4 mW	0.4 mW
36mW	36.6 mW	0.6 mW
37 mW	37.3 mW	0.3 mW

In Table 2, Voltage and Power readings with and without the correction of tilt and Azimuth angle have been discussed. As it can be inferred from the power readings with and without IoT, IoT provides a much higher power output. At time 12:00 p.m. the power with IoT is 24% more than power without IoT.

**Table 2.** Results obtained after correcting tilt and Azimuth angle using IoT.

TIME	Voltage without IoT	Voltage with IoT	Power without IoT	Power with IoT
8:00 a.m.	10 V	12 V	20 mW	27 mW
10:00 a.m.	15.27 V	17.46 V	26 mW	32 mW
12:00 p.m.	19.55 V	21.65 V	32 mW	42 mW
14:00 p.m.	19.71 V	21.34 V	35 mW	42 mW
17:00 p.m.	14.25 V	18.62 V	22 mW	30 mW



## 6. CONCLUSION

IoT has already managed its way into our daily lives in the form of Smart homes. This paper discusses how IoT can be integrated with a standalone renewable energy source i.e. a solar panel. Typical Solar panels waste about 15-20% of their maximum power potential due to magnetic declination, this paper also involves IoT as to improve solar efficiency by correcting the tilt angle of solar panel. As a result, a 24% increase in power was noticed with the inclusion of a solar tracker. The monitoring of a standalone solar panel was also carried out using the NodeMCU, Node-RED, Arduino, INA219 and multimeter setup. Except for some minor inaccuracy in the power output, the proposed system can easily work well in a solar power plant.

## REFERENCES

**NodeMCU.** (2014). [https://www.nodemcu.com/index\\_en.html](https://www.nodemcu.com/index_en.html)

**Node-RED.** (n.d.). <https://nodered.org/>

**Oukennou, A., Berrar, A., Belbhar, I., & El Hamri, N.** (2019). *Low Cost IoT System for Solar Panel Power Monitoring*. Colloque sur les Objets et systèmes Connectés, Ecole Supérieure de Technologie de Casablanca (Maroc), Institut Universitaire de Technologie d'Aix-Marseille (France), CASABLANCA, Morocco. fhal-02298769f. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02298769/document>

**Symanovich, S.** (n.d.). *The future of IoT: 10 predictions about the Internet of Things*. <https://us.norton.com/internetsecurity-iot-5-predictions-for-the-future-of-iot.html>

**Wholesale Solar.** (2018). *Tilt and Azimuth angle*. <https://www.wholesalesolar.com/blog/solar-panel-azimuth-angle>

/05/

# DEVELOPMENT OF SMART PAINTING MACHINE USING IMAGE PROCESSING

---

**Atif Saeed**

Faculty, Department of Mechatronics Engineering, SZABIST, (Pakistan).  
E-mail: [m.atif@szabist.edu.pk](mailto:m.atif@szabist.edu.pk) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4369-2388>

**Hussain Muslim Mithaiwala**

Student, Department of Mechatronics Engineering, SZABIST, (Pakistan).  
E-mail: [hussain.muslim53@gmail.com](mailto:hussain.muslim53@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6284-6237>

**Ammar Iqbal Hussain**

Student, Department of Mechatronics Engineering, SZABIST, (Pakistan).  
E-mail: [ammararsi48@gmail.com](mailto:ammararsi48@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2031-8393>

**Tulsi Kumar**

Student, Department of Mechatronics Engineering, SZABIST, (Pakistan).  
E-mail: [tulsikumar199600@gmail.com](mailto:tulsikumar199600@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8848-0533>

**Recepción:** 04/09/2020 **Aceptación:** 02/10/2020 **Publicación:** 14/12/2020

## Citación sugerida:

Saeed, A., Mithaiwala, H.M., Hussain, A.I., y Kumar, T. (2020). Development of smart painting machine using image processing. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 9(4), 95-119. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2020.v9n4e36.95-119>

## ABSTRACT

Painting is a process in automotive industry that takes about 10% of the total time consumed per vehicle. Currently, the painting lines in several automotive industries like Toyota motors or General motors is largely being automated after implementation of robotic arms. However, according to the study done, this automation is restricted to paint main body or chassis only, the coating and painting on small vehicle parts is still done manually. This paper represents the study conducted on local Toyota motor plant located in Karachi where the need of automating the small parts painting line evolved to increase production. The designed system is based on 3axis gantry mechanism which locates the position of parts to be painted on moving conveyor through computer vision, reach the coordinates, paints autonomously and forwards it to buffer station for drying. The computer vision is introduced to minimize the human interference and make the line semi-autonomous. The system was tested for correct image processing and at the end algorithms was correctly identifying and locating 90% of the parts. Moreover, the system was tested for one week in a laboratory environment and it was observed that production rate was increased to 2% as compare to their previously available data.

## KEYWORDS

Computer Vision, Autonomous Painting, CNC, Automobile, Mechatronic System, Python.

## 1. INTRODUCTION

Today, the modern industrial revolution is on its way towards advancements. The industrial revolution is taking over the entire world briefly. One of the major goals of today's industrial revolution is to adopt automation. Almost in every sector such as military, agriculture, automobile, manufacturing and design and development etc. Presently, automation is widely being implemented and used in the industrial sector all over the world, this is done in order to increase the efficiency and productivity of the manufactured goods. The automobile sector is also using automation to perform various task in the cars body manufacturing, assembly and paint shops in order to increase their per day productivity and efficiency of the cars. But however, the industrial automation is not implemented and used in Pakistan at its maximum pace. Thus, a lot of task are done manually, this affects the efficiency and productivity of the produced parts. In Pakistan, especially in the automobile sector, painting procedures are not fully carried out by robots, instead paid labors (humans) are also employed in painting small parts such as mirror covers, mud flaps, door handles, spoiler and fog lamps etc. And also, automatic painting is adopted only by factories and industries which produce large lot sizes of same type/variant of parts (Saeed *et al.*, 2019).

Thus this paper discusses about the possible feasible solution which will help shift the small scale industries and the automobile industries to implement modern industrial automation by placing robots in their production line in order to increase their productivity and efficiency of produced goods.

Currently, Pakistan is not able to completely not able to adopt the industrial revolution along with the modern automation as because the initial capital cost is way too much for which small industries can't invest in it. The other major reason is that most of the robots can paint only one part variant at a time, thus industries not producing large lot sizes of same part variant are unable to get automatic painting being carried out in their industry. Another problem caused by this is the human health issues, as painting process contains release of harmful chemical fumes which ultimately affects human health. Also human painted parts are sometimes not up to the mark as the paint coating are uneven, thus the parts are not

passed from quality check departments which results in reducing the productivity as well as efficiency of the parts produced by the industry. Thus, all these reasons affect the productivity and efficiency of the industrial produced goods (Amin & Saeed, 2018).

Our idea is to introduce a Smart Painting Machine which will be capable of painting various geometry parts at a time. By this our aim is to introduce the concept of automatic painting in small scale industries who cannot afford costly automatic painting machines within their vicinity. We basically derived the idea of automatic painting from the automobile industries where still small parts such as mud flaps, door handles, spoilers, fog lamps etc. are painted by labors.

The key feature of this machine is basically its programming part which waves off the requirement to burn/run different program for different geometrical part. The programming embedded with the smart painting machine is basically based on image processing. A camera is mounted in the workspace of the painting machine which takes the real-time image of the part and then the image is processed. After processing the image, its geometry is detected by applying edge detection and contour detection. This results in identifying the object geometry by which the object coordinated are detected. Thus the part is painted as per its geometry. This features allows small lots of various geometrical parts to be painted with a single machine and single program. Thus, it's very beneficial for industries as it saves a lot of capital investment.

As far as human health is concerned, this machine follows all the safety protocols. The painting workspace is enclosed by a glass/acrylic frame house to eliminate the chances of spilling out paint particles as well as escape of any painting chemical fumes. Thus a lot health issues like coughing, sneezing, nausea and breathing issues are eradicated.

## 2. LITERATURE REVIEW

Authors, in this paper, plans to introduce a process for advance mechanize spray painting of unknown parts. The machine made by this experiment will be very useful for painting of unknown shape. The time consumed by this machine is very less as compared to manually, (hand) painting. It will, save expenditure such as labor cost and the total cost of painting any jobs (Swarakar *et al.*, 2018).

Thakar and Vora (2014) in his paper gives essential knowledge about mini and large scaled industries manufacturing parts are painted for protecting from rust, so the spray method consumes large amount of time and paint which required the workers which are skilled emerged with the application. Robotic painting techniques is not applicable for large efficiency so the rise in such method have to be made which is affordable, have accuracy and precision, consumes minimum time for the coating of the part so objective has to developed in such a manner that the mechanism which coat the part with the dipping and baking process having semi-automated techniques which is up to the required mark and which can be valuable for mini and large scale factories (Thakar & Vora, 2014).

Author in this research highlights some key features through the system test, it is fact that the design of intelligent robot have many advantage not only has good painting effect but also has high efficiency which can only at least 2-6 minutes to draw the simple cartoon images and also take no more than 15 minutes to draw complex portrait images. We also provided an illustrative example to show our required results (Feng *et al.*, 2017).

Abdellatif (2012) in his research describes the design, construction and working of an Automatic wall painting robotic machine. This visionary and remarkable design of a robot which is movable to be used for painting interior walls of residential building or offices has been described. Robot has a roller that is fed with liquid paint and keeps contact with the wall surfaces. The robot has advance option that helps the roller to scan vertically as well as horizontally to the painted walls. The robot has advance technology that can adjust itself in front of the wall (Abdellatif, 2012).

Naticchia *et al.* (2007) in his research, shows that mechanical painting can be not only be done to upgrade production and allows quality checking. The robotic arm application with high precision and accuracy is required. An automatic system to convert to the normal coordinates of the liquid colors to be reproduce the moveable speed of the robot's end tool and valve opening and closing end of the mixing board. The maximum work shall be probably required to get high resolution (Naticchia *et al.*, 2007) hence also the productivity of the construction industry must be improved, while preserving its labour from hazardous job sites. Such requirements can be accomplished by the adoption of robotized products, which, however, need to be quickly developed and marketed. In this paper, first the issue of a new miniature laboratory for developing lightweight and well-coordinated robotized systems is pursued, then a novel robot device for high quality multi-colour interior wall painting carried by a robot arm is developed and successfully tested. Thanks to the new 1:6 scaled down laboratory and its six degree of freedom robot arm on an hexapod for horizontal moves, we tested the opportunity to introduce also in the building sector miniature robots that can change the ergonomics standardly adopted by construction workers. It is analyzed how and why switching from full size to miniature robots is convenient in construction. In addition, a new system adding further features to robotized painting has been conceived. Our new multi-colour spraying end-tool was developed and fixed on the robot arm, in order to be able to reproduce coloured artworks. Finally, a methodology to reproduce colours from digital format of artzoorks is presented, showing how accurate and efficient is this new robotized spraying device. miniature painting robot, scaled down laboratory, multi-colour spraying end tool. Ata and Eleyan (2017) in their research present his work on articulated robots like these robots are widely re-known by basically automobile company commercials and robot dance application. SCARA (Selective-Compliance-Articulated-Robot-Arm) robots are also re-known for their usage and proliferate in industries from 1970's. Two kind of robot articulated and SCARA robot's combination to gather linear and rotary motion accomplishing in formation for complex tasks (Ata & Eleyan, 2017).



In this research paper goal was to learn the system for coating and painting tasks carried out in automobile repair and then change manual painting by robot painting. So the most important study, was for skilled spray gun handling for automobile repair painting which were observed and compared with those with little or no experience. The spray gun movements of the experts were characterized by longer length, longer time, higher speed, and narrower swing range, compared with the non-experts. The results were collected and accordingly the spray gun movement was set (Ikemoto *et al.*, 2015).

Authors in this paper presents a research on Image Processing that can be directed to Machine Learning and the process of computing can identify pattern of high diverse parts. Machine learning is very close and like computing statistics that consist of spam filter optical character identification searching engines and computer vision. Their extensive arrays of knowledge observed (algorithms) to reduce destruction noise such linear filter of Gaussian-based algorithm. Algorithms can remove certain kind of grain noise destruction from a picture. Because every pixel of picture in setting to mean values in its environment the normal variations tested by the grain are reduced (Wiley & Lucas, 2018).

Authors in this project through his studies, successfully identified the part from the background picture used for color process is required to remove the background by 1st filter grayscale filtering is the second step and finally by Circular Hough Transform (CHT) and binary testing for part that is in circular object detection. Using of color processing is used as it is powerful process to identify the part as it is in normal color process it has a lot of information as human eyes can do. For the grayscale filter it filters the (pixel and smoothness) the picture to the edge clear. In last CHT is required to detect the parts which are circular and total number is displayed (Hussin *et al.*, 2012).

Authors in this research paper formulates that it is not possible to consider a single process for all type of images, nor can all process perform well for types of image. The background subtraction process identify parts with noise destruction and output is not accurate and precise. The object behind object is not recognized. During identification of part when any other thing come before the part problem occurs. The image cannot be recognized if the position of camera is not accurate and object in picture

is not snapped properly (Jain & Chadokar, 2015) Object recognition is a work of searching a selected object in an image or video sequence. Object detection plays a key role in image processing, It helps in searching of any particular object Object recognition is use to detect a particular object from a series of other objects, sometimes shadow and background images becomes problem in detection. Skull detection technique is use resolving such kind of problems. Here we deals with differ sort of object detection techniques and modes of multiple object detection for a image.

The authors, in this paper, through his knowledge and work proposes an algorithm that has been proved to meet the requirement of object detection without using the color feature in an automatic robot. The proposed algorithm specially relies on two main process that emphasize on shape identification and feature extraction that follows.

The first method is edge detection and line-oriented method to performing contour extraction, which results in object detection in very less or no time. Next, the second method is a geometric moment that captures and computes the global features of the objects. Both the process is well assured in image processing, however, a mixture of both is a novel method in this study and has been proven to precisely detect static and moving object under illumination variety (Dewi *et al.*, 2019) such as the lengthy process to calibrate color, color fading, and others. Nonetheless, the need of such application that does not necessarily rely on color information has seen a hike due to the mentioned issues. In fact, some of the desirable solutions are those that take less computation time, as well as those that provide higher accuracy and scalability for a large number of objects in a scene. One application that requires such solution is in a game playing by autonomous robot. This paper suggests a novel patch carried by autonomous robots with relevant detection algorithm using contour detection and geometric moment without using the color feature.

### 3. METHODOLOGY

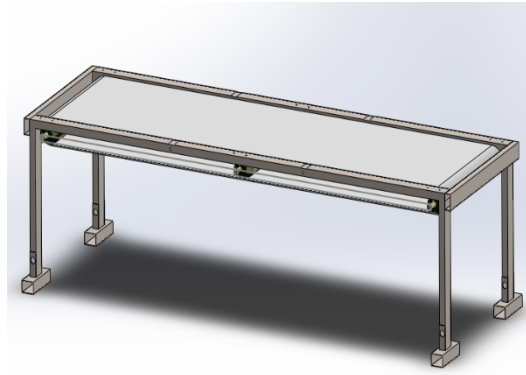
#### 3.1. DESIGNING PHASE

##### 3.1.1. HARDWARE DESIGNING

So initially, it is not recommended to go towards hardware fabrication directly. It is more desirable to first virtually design the hardware on a CAD/CAM Software, such as SolidWorks. Mostly, the thinking and fabricating part does not go hand to hand simultaneously as it's necessary that what we think can be implemented and fabricated practically, this leads to loss of time and capital. So, in order to check our design ideas and its practical fabrication feasibility, we do the designing work first.

So, in the designing phase, we first started with our conveyor. First the conveyor frame structure of dimensions 70in x 20in x 3in was made. To understand it, it is basically like a table structure. Now, in order to run make the conveyor bed, we attached 2 rollers at each end of the conveyor frame. By attaching two rollers, it was observed that the conveyor belt be stable while moving as when the part comes in the middle of the conveyor belt while travelling, the belt will sag downwards due to no roller in the middle and this will cause irregular movement of the conveyor belt. Thus, we added a third roller in the middle of the conveyor frame.

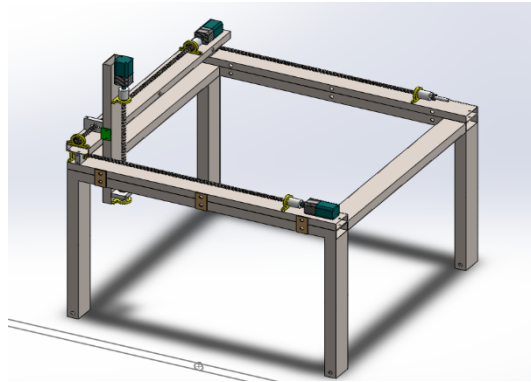
We, now, added a white rubber belt of 2mm thickness over the rollers to form a conveyor bed. Three double slotted pulleys of were mounted on each on the three rollers in order to interconnect the rollers with each other so that movement of the rollers are in sync. These pulleys are interconnected 2 rubber V-Belt and the third belt of size relates to a pulley and with a D.C Geared Motor of 30Nm torque (24V-3A) in order to drive the conveyor. The part to be painted will be placed on the conveyor which will help in transporting the part to and from the painting work area. The conveyor design is given below in Figure 1.



**Figure 1.** Conveyor Design.

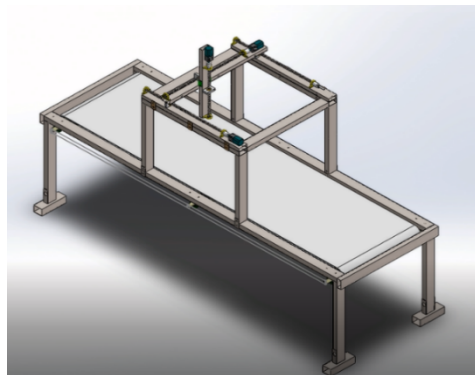
After the completion of the Conveyor Design or the Part Transporting Mechanism, we started to design the CNC Mechanism which is the Painting Mechanism of our Machine. The overall size of the CNC mechanism is 24in x 20in x 24in. Each of the 3 axes of the CNC machine is made of square shaped 2.5"x1" mild steel pipe. The main axis mechanism is formed of a ball screw of length 500mm and 8mm size of double threads. Each of the two ends of the ball screw is connected in the 8mm bearing which is mounted inside bearing housing.

Now, we will screw an 8mm double threaded nut over which an aluminum cube is fixed which acts as a traveler. All these things are fixed to form a single axis structure. We replicate this structure four time to form X, Y and Z axis individually (X axis is made from 2 of these structures). We mount individual Stepper Motor on each axis in order to rotate the ball screw so that the aluminum cube mounted over a nut move linearly back and forth. Each axis motion is limited/restricted by attaching a limit switch at its both ends. This helps in restricting the axis motion in forward or backward direction, so all the 3-axis does not collide with each other. The painting spray gun is mounted on the Z-axis of the CNC Mechanism. The Design of CNC Mechanism is given below in Figure 2.



**Figure 2.** CNC Mechanism Design.

This CNC Mechanism is mounted on the conveyor in the middle, thus the area under the CNC mechanism is the painting working area. Ball screws are used to move the 3-axis of the CNC mechanism. These ball screws are rotated with the help of a stepper motor and stepper drives are also used. The painting spray gun is mounted on the Z-axis of the CNC Mechanism.



**Figure 3.** Smart Painting Machine Complete Hardware Design.

### 3.1.2. ELECTRONIC CIRCUITRY DESIGNING

Apart from the hardware of the machine, the Brain which will help in driving the functionality of this machine is the Electronic Circuitry. Basically, the electronic Circuit of this machine needs to be designed

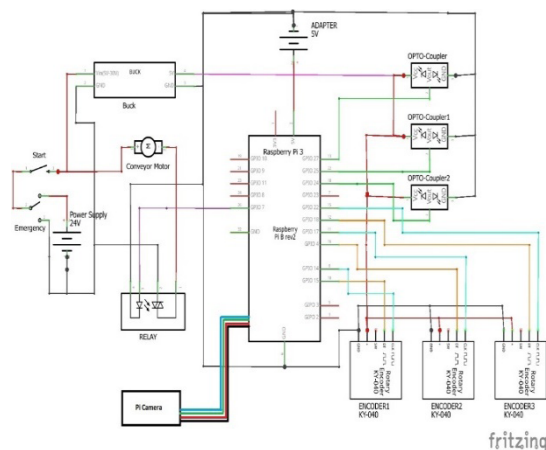
exclusively for itself. The readily available circuits can't be integrated with one another to drive this painting machine, instead its circuit needs to be designed. The main task required by the circuitry is to:

1. Drive and Control the motion of the Conveyor.
2. Drive and Control the motion of the Painting Mechanism (i.e. 3-axis CNC Mechanism).
3. Assist the Image Processing Program in execution so that the part Geometry can be identified, and it's coordinated can be extracted in order to move the painting mechanism to perform the painting task.

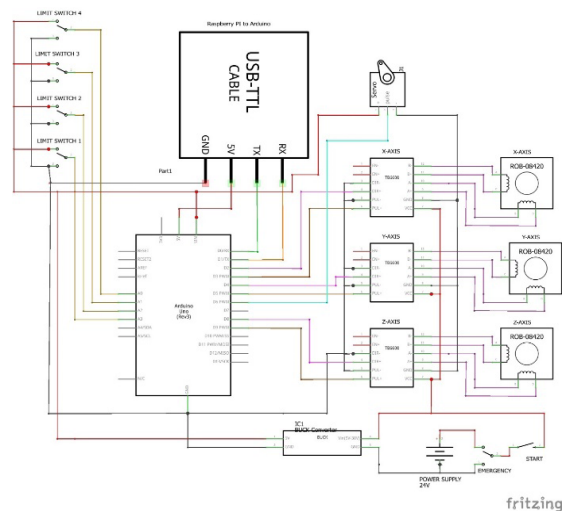
Thus, in order to accomplish this task we chose Raspberry Pi Microcontroller which will control the entire circuitry. Raspberry Pi will be powered by a 5V supply input which is fed from a 24V Power Supply after connected a buck converter in series in order to step-down the voltage. Also, the conveyor motor will be powered by this power supply and its programmable controlling will be handled by the switching of a relay which is connected to the raspberry pi microcontroller. The Raspberry Pi Camera Module will be connected to the microcontroller which through its assistance will capture the image of the part which will enter the workspace to be painted. Also the Image Processing Software, which is developed on OpenCV to detect the part, identify it and calculate its geometrical coordinates will also be executed by this microcontroller. Also, after the extraction of the parts center coordinates, these coordinates will be via Encoder and TTL IC will be fed to Arduino.

The Arduino Microcontroller will take in the centroid coordinates of the part (X, Y, Z) and then will drive the painting mechanism motors in order to paint the part. The motion of the axis is limited by Limit Switches.

The Designed Circuit for Smart Painting Machine is given in Figure 4 and Figure 5 below.



**Figure 4.** Design of Circuit 1.



**Figure 5.** Design of Circuit 2.

### 3.1.3. SOFTWARE DESIGNING

The heart of this Smart Painting Machine is its Software. The software is basically termed as heart because the sole purpose which makes this machine smart is the image processing program. We thought of applying image processing in this machine as to get rid of uploading new programing from every

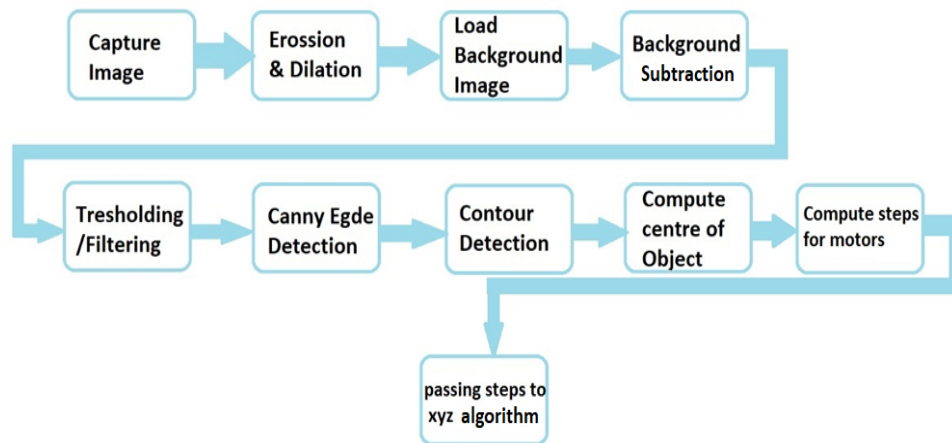
new part and forbid the idea of keeping/placing the part to be painted in a fixed place or to be fixed in its respective jigs. Image processing will help in determining the part orientation on the conveyor bed and will calculate the part coordinates and will command the motor to move the axis respectively in order to paint it. To implement this idea, we had to first check that whether his idea is working or is practically feasible to implement on a machine to calculate the part coordinates on real-time basis. Thus, for developing, testing and final implementation of this program, we chose to do this task using Python.

The camera which will be taking the part image will be mounted over the workspace. Once the part enters the workspace, IR sensor will indicate the microcontroller to stop the conveyor and then the part image will be taken and processed and then the part will get painted and then the conveyor will move, and the part will depart the workstation. So, to implement the software idea, we made program which works as follows:

First the part image is read by the program. After reading the image, filters of Erosion (process which removes pixel from boundary of the object in an image) and Dilation (process which adds pixel to boundary of the object in an image) are implemented. Then the object in the image is subtracted from its background and then thresholding is applied on the image. After this Canny Edge Algorithm (which detects edges of the object with noises suppressed at the same time) is applied and then the Counter detection is applied (which joins the curve of all the continuous points along with boundaries of same pixel intensity).

This enable the program to calculate the center of the object and its dimension. After this the coordinated of the image is found. Then the motor steps are calculated, and this is passed on to the XYZ Algorithm which then controls the motor movement of the CNC axis. The below Figure 6 shows the Software design flowchart.





**Figure 6.** Software Flowchart.

## 3.2. IMPLEMENTATION VIA VIRTUAL SIMULATION OF THE PAINTING MACHINE

### 3.2.1. SOLIDWORKS DESIGN SIMULATION AND ANALYSIS OF THE HARDWARE

As the Hardware was not able to get complete due to the pandemic situation, what we did that we designed and made a complete CAD Model of our hardware (which was to be fabricated) with exact configurations so that the hardware can be tested with respect to its structural properties and working principle.

SolidWorks Software was used to make the CAD Model of the Hardware and its Tools were used to obtain graphical results of the Structural Rigidity Tests which includes Stress and Strain graphs of the critical hardware element. Also, Motion Analysis was performed of the working hardware and respective graphical results were calculated and portrayed in order to confirm the smooth working of the hardware and its motor while on full loading conditions.

This will not only confirm the proper hardware working but will also help in analyzing the motor selection done in our project based on the interrupted working of the motors under loading conditions. Also the velocity of the CNC mechanism, i.e. the speed with which its axis moves can also be obtained.

### 3.2.2. IMAGE PROCESSING PROGRAMMING SIMULATION USING JUPYTER

As briefed before, the Image Processing Program is used to detect the part geometry (i.e. the part which will be placed on a conveyor and enter the workspace) so that part can be painted as per its geometrical figure. This image processing programming was done on Python.

This task was to be performed on real-time basis that as the part would enter the workspace, the camera mounted on the workspace would capture the image of the part placed on the conveyor and then image processing program would process this image and compare it with original part image in the directory and would classify the part and detect its geometry and center coordinates so that the part could be painted as per its geometry. However, due to unavailability of the hardware of this project, the testing of this image processing programming was performed on Jupyter.

The testing results were perfect (as predicted) and the part was classified, its geometry was identified, and its center coordinates were perfectly calculated. This data found by Image Processing Program is further useful to paint the part as per its geometry.

### 3.2.3. SIMULATION OF ELECTRONIC CIRCUITS AND PAINTING MECHANISM USING ARDUINO AND PROTEUS

At first, Raspberry Pi was to be used as a Controller in order to run the entire Painting Machine and its Electronics. As we moved towards Simulation, due to unavailability of the raspberry pi simulator, we used Proteus and Arduino in order to simulate the painting mechanism and other electronics of our project. The Part Coordinates obtained from the Image Processing is now fed into the Arduino Programming (used to drive the Painting Mechanism as per the part geometry in order to perform Painting). This Arduino coding was interfaced to Proteus on which we had made the entire Electronic

### Circuitry of the Painting Machine.

As we ran the Arduino coding, so the part coordinates interpreted by the coding was used in the simulation of the circuitry in Proteus. The Smart Painting Machine Circuitry in the Proteus Simulation worked sequentially. As the part is placed on the conveyor, Sensor 1 detects the part presence and the Conveyor Motor starts.

Now as the part enters workspace, Sensor 2 detects the part and stops the Conveyor Motor and after getting the part coordinates via image processing the Painting Mechanism start moving as per the geometry and the part is painted. After the painting process is completed, the conveyor starts again and the part starts to move along the conveyor until it reaches the end of the conveyor where Sensor 3 detects the parts and stops the conveyor motor so that the painted part can be picked up by the human operator/labor.

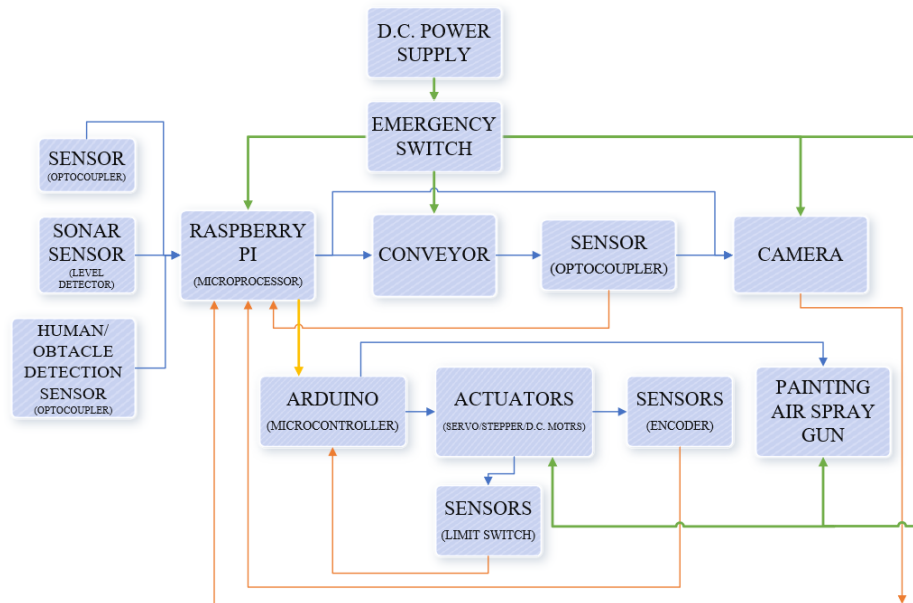
### 3.3. SMART PAINTING MACHINE WORKING PRINCIPLE

Initially, conveyor will be stationary i.e. it won't be moving. There is an IR sensor mounted on the input side of the conveyor frame. The task of this IR sensor is to signal the conveyor's motor driver circuit that the part is placed at the input side of the conveyor. As the part is placed the conveyor, motor starts, and the belt begins to rotate over the conveyor rollers and the part moves forward towards the workspace i.e. Painting Mechanism.

Now as the part moves inside the workspace, I.R sensor mounted inside the workspace signals the conveyor motor driver circuit to stop its motion and simultaneously it also informs the Main Controller of the Painting Machine (i.e. Raspberry Pi) that the part is now present inside the workspace. As now the part is stationary inside the workspace, the camera mounted in the workspace captures the image of the part and sends it to the main controller where further the part geometry is calculated by the program. As soon as the part geometry is calculated the main controller dispatches X Y Z Algorithm to the motor

driving circuit of CNC mechanism.

The CNC mechanism has a Painting Spray gun mounted on its z-axis. CNC mechanism or the painting mechanism moves as per the X Y Z Algorithm and the paint gun paints the part as per its geometry by moving about the coordinates of the part edges. Here the Limit Switches which is connected to each and every axis of the CNC machine restricts the extra axis motion and helps in avoiding axis collision, thus there is no chance of distortion occurrence during the painting procedure. Also, the Encoder Sensors mounted on the motors shaft keeps the stepper motor control drive updated about motors direction of rotation, position and speed. After the completion of part painting or we can say that after the complete execution of the X Y Z Algorithm, the painting mechanism moves at its home position and the camera captures a photo of the part and sends it to the main controller to check the painting work. After this machine controller sends a signal to the motor driver circuit of the conveyor motor to start its motion which in turn takes the path outside of the workspace and the part keeps on moving and until it reaches the end of the conveyor bed where IR sensor detects the part arrival and inform the motor driver circuit of the conveyor to stop its motion so that the part can be picked up by the user. As the part is picked up, the sensor signals the motor driver circuit of the conveyor that it can start its motion and thus the cycle of painting the next part continues. Also, for Safety purpose, Human/Obstacle Detection Sensors are mounted outside the workspace which signal the main controller to stop all the operations at once if any human detection is made near the workspace. This promotes human safety.



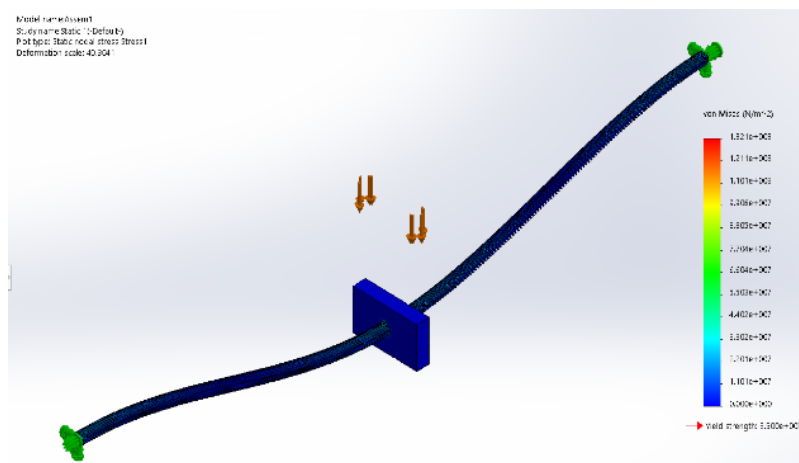
**Figure 7.** Standard Operating Procedure of Smart Painting Machine.

## 4. RESULTS

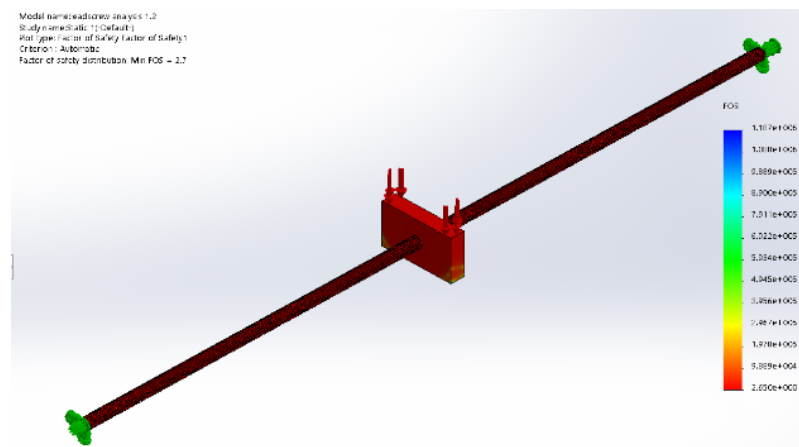
### 4.1. HARDWARE SIMULATION RESULTS

Smart Painting Machine's Hardware was designed and simulated on SolidWorks. The hardware was fabricated as per the designed model. During the designing phase the material used for fabrications of the machine, ball-screw material and design configurations, driving motors, conveyor belt material and other things were all kept the same which we were going to use for the real hardware fabrications. This was done so to check the proper working of hardware during the simulation phase and rectify any error/problem (if any) so that it can be tackled during the designing phase only and no problems are caused during fabrications. To further ensure the hardware structural rigidity reliability, the critical element of the hardware (the component which bears maximum load during operation) was checked for its maximum stress it can handle and its factor of safety (FOS) was checked. It was found out that the Yield

Stress of ball screw is 350MPa and due to the load exertion, the Stress caused on ball screw is not more than 66.04MPa. Also, the Factor of Safety is 2.7 which means that the ball screw is very far away from fracture.



**Figure 8.** Ball Screw Stress Analysis.



**Figure 9.** Ball Screw Factor of Safety.

## 4.2. IMAGE PROCESSING PROGRAM SIMULATION

After successfully making the Image Processing Program of Object Detection and Classification and Simulating the Program on Jupyter, the desired results were obtained. The Resulting Images of the Parts shows perfect geometry detection of the part which is to be painted and its center coordinates are given. Almost 11 different parts were tested, result of some parts are given below.



**Figure 10a.** Indicator Back cover- Object Detection.



**Figure 10b.** Indicator Back cover- Object Classification.

```

Image Dimension : (705, 531, 3)
Image Height    : 705
Image Width     : 531
Number of Channels : 3
0.6845390070921986 0.9088512241054615
centre in mm is 214.488888888889 250.5412765957447

```

**Figure 10c.** Indicator Back cover- Object Center Coordinates.

## 5. CONCLUSION

By analyzing and observing the simulated results we can conclude that the Smart Painting Machine is working as per the requirement and is performing the desired job efficiently. The Simulated Results of the hardware the shows feasibility of functionality and robustness of the machine itself. The designing part helps us determine whether the components that are to be incorporated in the machine structure will work as per the requirement and how the maximum loading conditions will affect the working of the painting mechanism. The results obtained from the testing of the Hardware CAD Model further proves that the Hardware Design is up-to the mark in all aspects of robustness and functionality.

Also, by observing the simulation results of the Image Processing Program, we can conclude that the objects which will be placed on the conveyor will be correctly identified by the Developed Program using Image Processing. We have developed this program using Python OpenCV. The results obtained are very much accurate to that of the objects in the sample/saved images of the parts in the directory. We have also identified that whatever the orientation of the part on the conveyor, still the program will able to identify the part correctly. Also, we during testing of this program also observed that the size of the real-time captured image of the part (zoomed-in or zoomed-out photograph) but still the program will detect and classify the part. However, there is a limitation that the angle of capturing the image of the sample and test image should be same.

The simulation of the Electronic Circuitry of the Smart Painting Machine was executed very well. This is because the Designed Circuitry of the Painting Machine fulfills all the requirements of which assists in smooth operation of the painting machine.



## REFERENCES

- Abdellatif, M.** (2012). Design of An Autonomous Wall Painting Robot Design of An Autonomous Wall Painting Robot. In *First International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems*. [https://www.researchgate.net/publication/236659040\\_Design\\_of\\_An\\_Autonomous\\_Wall\\_Painting\\_Robot](https://www.researchgate.net/publication/236659040_Design_of_An_Autonomous_Wall_Painting_Robot)
- Amin, I., & Saeed, A.** (2018). 5.10 Wireless Technologies in Energy Management. *Comprehensive Energy Systems*, 5, 389–422. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00524-1>
- Ata, A. A., & Eleyan, A.** (2017). *An Autonomous Robotic Cell for Painting Applications*. Acta Press. <https://doi.org/10.2316/P.2017.848-014>
- Dewi, D. A., Sundararajan, E., Prabuwono, A. S., & Cheng, L. M.** (2019). Object detection without color feature: Case study Autonomous Robot. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 8(4), 646–650. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.8.4.646-650>
- Feng, X., Chen, L., Zhou, W., & Huang, Z.** (2017). Research on the Design of Smart Paint Robot. *DEStech Transactions on Materials Science and Engineering*, c(smne), 1–5. <https://doi.org/10.12783/dtmse/smne2016/10590>
- Hussin, R., Juhari, M. R., Kang, N. W., Ismail, R. C., & Kamarudin, A.** (2012). Digital image processing techniques for object detection from complex background image. *Procedia Engineering*, 41, 340–344. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.182>
- Ikemoto, S., Liao, M., Takai, Y., Goto, A., Nishimoto, H., & Hamada, H.** (2015). Impact of Operator Experience on Spray Gun Handling for Automobile Repair. *Procedia Manufacturing*, 3, 488–494. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.212>

- Jain, S., & Chadokar, S.** (2015). A Object Detection in Image Processing: A Review. *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 4(2), 26-29. <https://www.researchtrend.net/ijeece/ijet21/ijetnew/4%20SHRISHTEE%20JAIN.pdf>
- Naticchia, B., Giretti, A., & Carbonari, A.** (2007). Set up of an automated multi-colour system for interior wall painting. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 4(4), 407–416. <https://doi.org/10.5772/5666>
- Saeed, A., Haroon, K. M., Talha, M., & Thebo, T. M.** (2019). Frictional Analysis of different coatings on MS material in order to increase the life of machine element. In *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2019.8932769>
- Swarakar, J. R., Belkhade, R. D., Dalal, V. G., Ghode, C. D., Maskar, S. L., Fulmali, S. M., & Shelki, S. B.** (2018). Design and Fabrication of Automatic Spray Painting Machine. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 4(2), 1388–1394. [http://www.ijariie.com/AdminUploadPdf/DESIGN\\_AND\\_FABRICATION\\_OF\\_AUTOMATIC\\_SPRAY\\_PAINTING\\_MACHINE\\_ijariie7676.pdf](http://www.ijariie.com/AdminUploadPdf/DESIGN_AND_FABRICATION_OF_AUTOMATIC_SPRAY_PAINTING_MACHINE_ijariie7676.pdf)
- Thakar, D., & Vora, C. P.** (2014). A Review on Design & Development of Semi-Automated Colour Painting Machine. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4(4), 58–61. [https://www.academia.edu/7548109/A\\_Review\\_on\\_Design\\_and\\_Development\\_of\\_Semi\\_Automated\\_Colour\\_Painting\\_Machine](https://www.academia.edu/7548109/A_Review_on_Design_and_Development_of_Semi_Automated_Colour_Painting_Machine)
- Wiley, V., & Lucas, T.** (2018). Computer Vision and Image Processing: A Paper Review. *International Journal of Artificial Intelligence Research*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.29099/ijair.v2i1.42>



