

Desarrollo de un Sistema de Visión Artificial para Medición del Ángulo de Convergencia por Medio del Patrón de Huella de Neumáticos

Ronald Mamani Quispe¹

ronaldmamaniq@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-7959-1495>

Instituto de Investigaciones Mecánicas y
Electromecánicas - IIME
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz - Bolivia

Jaime Eduardo Sánchez Guzmán

jedsanguz@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-6204-3610>

Instituto de Investigaciones Mecánicas y
Electromecánicas - IIME
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz - Bolivia

RESUMEN

El presente artículo tiene por objetivo desarrollar un sistema de medición con visión óptica para la obtención del ángulo de convergencia, en función del patrón de huellas de neumáticos del eje delantero basándose en visión por computadora. Para ello, se construyó dos rampas capaces de almacenar cámaras de celular de tal manera que se pueda obtener imágenes claras de las huellas de neumáticos de investigación, mientras el vehículo está parado encima de las rampas. Se realizaron pruebas con una determinada marca y modelo de neumáticos comercializados en el mercado local y se obtuvieron imágenes de la huella de la banda de rodadura. Paralelamente se desarrolló un programa de computadora a partir de estas imágenes para su procesamiento digital a fin de determinar los ángulos de alineación de los neumáticos. Los resultados obtenidos cumplen con el propósito del trabajo, ya que las imágenes obtenidas fueron claras y el programa de computadora muestra resultados aproximados a los resultados obtenidos por equipos comerciales de alineación.

Palabras clave: alineación; ángulo de convergencia; visión por computadora

¹ Autor principal.

Correspondencia: ronaldmamaniq@gmail.com

Development of Artificial Vision System for Measuring the angle of Convergence Based on the Tire Track Pattern

ABSTRACT

The objective of this article is to develop a measurement system with optical vision to obtain the convergence angle, with the tire track pattern of the front axle based on computer vision. To this end, two ramps capable of storing cell phone cameras were built in such a way that clear images of the investigative tire tracks can be obtained, while the vehicle is stopped on top of the ramps. Tests were carried out with a certain brand and model of tires sold in the local market and images of the tread imprint were obtained. In parallel, a computer program was developed from these images for digital processing in order to determine the tire alignment angles. The results obtained meet the purpose of the work, since the images obtained were clear and the computer program shows results that are approximate to the results obtained by commercial alignment equipment.

Key words: alignment; convergence angle; computer vision

Artículo recibido 15 noviembre 2023

Aceptado para publicación: 28 diciembre 2023

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el automóvil se ha convertido en parte de nuestra vida cotidiana como medio de transporte, por lo que se le debe prestar especial atención a la seguridad que éste da. Las ruedas son los únicos elementos en contacto con la carretera, por lo tanto, necesitan una atención especial. El estado y buena alineación de las ruedas asegura la tracción necesaria para circular por asfalto con suficiente nivel de seguridad.

Existen diferentes métodos y sistemas para determinar la alineación de un vehículo. En la propuesta de este artículo se presentará un nuevo método para diagnosticar si un vehículo tiene un ángulo adecuado de convergencia de las ruedas con una técnica que antes no se había utilizado dentro del campo de la visión por computadora.

Existen varias empresas dedicadas a la alineación de ruedas con sus respectivas patentes, las cuales van desde el alineador al paso, hasta robots alineadores tridimensionales.

Estos y otras han sido las principales herramientas utilizadas para la obtención del ángulo de convergencia del tren delantero; sin embargo, el problema en sí, es el vacío de conocimiento, existiendo pocos estudios teóricos y técnicas alternativas a partir de librerías desarrolladas con otros propósitos en el campo de visión por computadora para determinar la alineación (López Barros, 2011), (Arauz Estrella & Llumiquinga Chingay, 2017) y (Korhonen, 2020).

A pesar de los numerosos métodos tradicionales para medir la alineación del tren delantero de los vehículos, no existen soluciones basadas en visión por computador para obtener el ángulo de convergencia, por lo cual se considera, desarrollar un sistema de medición con visión óptica para la obtención del ángulo de convergencia, en función del patrón de huellas de neumáticos del eje delantero basándose en visión por computadora.

La hipótesis de esta investigación es, si a partir del patrón de huellas de los neumáticos del eje delantero y con técnicas de medidas de no contacto de visión por computadora se logra obtener el ángulo de convergencia.

Marco Teórico

Ángulos relativos de neumáticos de automóviles

Hay cuatro parámetros principales de alineación de las ruedas que afectan la dinámica del vehículo: **convergencia, inclinación, avance y ángulo de empuje.**

De los cuatro ángulos, se medirá, la variable del ángulo de convergencia para el diagnóstico de alineado en esta tesis.

Convergencia/divergencia o ángulo toe.

El ángulo de convergencia estático es el ángulo entre el plano de la rueda y el eje x_v , con respecto al eje z_v , esta variable es medida con el *volante en posición recta y el vehículo en reposo* [6, p. 17].

Además, la suma de los ángulos de convergencia estáticos en el mismo eje se denomina comúnmente ángulo de convergencia estático total.

Este ángulo indica la dirección hacia la que apuntan las ruedas respecto a una línea vertical en el vehículo, al ver las ruedas desde la parte superior (o inferior). Este **ángulo** puede ser **expresado** en **grados** o fracciones de milímetros. Se dice que hay convergencia (toe in) cuando la parte delantera de las ruedas apuntan al centro, si apuntan hacia fuera se llama divergencia o convergencia negativa (toe out) (Reza N Jazar, 2008).

El ángulo de convergencia/divergencia (toe) es uno de los elementos críticos de la alineación, la configuración de la convergencia afecta tres aspectos principales (Reza N Jazar, 2008):

- El desgaste de los neumáticos.
- La estabilidad en línea recta.
- El manejo de entrada a las curvas.

Medidas incorrectas de la convergencia/divergencia disminuirá significativamente la vida útil del neumático.

Una convergencia excesiva provoca un desgaste acelerado en los bordes exteriores de los neumáticos, mientras que una divergencia excesiva provoca un desgaste en los bordes interiores.

La convergencia aumenta la estabilidad direccional del vehículo y la divergencia aumenta la respuesta de la dirección. Por lo tanto, una configuración de convergencia hace que la función de dirección sea

perezosa, mientras que una configuración de divergencia hace que el vehículo sea inestable.

Con suspensiones independientes en las cuatro ruedas, la convergencia también se puede colocar en la parte trasera del automóvil. *La configuración de la convergencia en la parte trasera tiene el mismo efecto* sobre el desgaste, la estabilidad direccional y el giro hacia adentro que en la parte delantera (Reza N Jazar, 2008).

Proceso de Visión Artificial o Computador

Definen a la Visión por Computador como la ciencia que desarrolla las bases teóricas y algorítmicas para obtener información sobre el mundo real a partir de una o varias imágenes. Así, se deja establecido la forma en que se va a tratar este concepto a lo largo del trabajo (Oña Vilatuña, 2019).

Todo sistema de visión artificial sigue el proceso general representado, de manera sintética, con el esquema de la Figura 1. En la imagen, las cajas representan datos y las burbujas procesos. Se parte de la escena tridimensional y se termina con la aplicación de interés.

Para poder realizar ese proceso, un sistema de visión por computador también llamada visión artificial (Hidalgo Bejarano & Sánchez García de Blas, 2015), requiere de dos factores prescindibles:

- Un sensor óptico para captar la imagen: una cámara de video, una cámara fotográfica, cámara digital, un escáner, etc., uniéndole un conversor analógico-digital cuando sea preciso (Quintana et al., 2012).
- Un computador que almacene las imágenes y que ejecute los algoritmos de pre procesamiento, segmentación y reconocimiento de la misma (Quintana et al., 2012).

En la visión por computador, la escena tridimensional es vista por una o más cámaras para producir imágenes monocromáticas o en color, que luego serán procesadas para obtener información relevante.

Figura 1 Esquema del sistema de visión por computador



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Captura de las imágenes

Las imágenes de entrada del proceso pueden ser de diferentes tipos: imágenes de intensidad. Estas se encuentran ligadas estrechamente con el concepto de luminosidad; son aquellas imágenes que se adquieren a través de dispositivos ópticos basados en la captura de luz, como cámaras fotográficas y de video.

Imágenes de alcance (de profundidad o perfiles de superficie). Tienen su fundamento en los sensores de alcance óptico que utilizan algún fenómeno físico diferente a la luz para adquirir la imagen (por ejemplo, el radar, el sonar, el láser) (Quintana et al., 2012).

Se podrían contemplar otros tipos de imágenes, como por ejemplo las que son producidas por las cámaras térmicas. Pero, sin importar el medio de obtención de las imágenes, después del proceso de captura se obtiene una matriz 2D de valores, que se conoce comúnmente como una imagen digital (Quintana et al., 2012). El sistema de medición desarrollado se basa en el procesamiento de intensidad en imágenes. Los valores de la matriz 2D de una imagen de intensidad son valores de intensidad. En el caso de una imagen de alcance, serían valores de profundidad; y en el de una imagen térmica, valores de temperatura.

Representación de imágenes digitales

El término de imagen se refiere a una función de intensidad bidimensional, que se representa dependiendo de la literatura y el contexto como $f(x, y)$ donde x e y son coordenadas espaciales y el valor f en cualquier punto (x, y) es proporcional a la intensidad o escala de gris de la imagen en un punto dado.

Figura 2. Convención de ejes usado para representación de imágenes digitales.



Fuente: Elaboración propia, extraída de (Gonzales & Woods, 2001).

Segmentación

Se basa en dos principios fundamentales: discontinuidad y similitud. Tienen dos categorías: orientada a bordes (discontinuidad) y orientada a regiones (similitud). Cualquiera que sea la técnica de segmentación usada, el proceso implica manipular y transformar la imagen original en una que pueda procesarse fácilmente. También En esta etapa se aíslan los elementos que interesan del resto de la imagen para su comprensión (Ponce González, 2012)

Detección de bordes

Basándose en el hecho de la discontinuidad, se proponen los siguientes tipos de operadores para la detección de bordes: operadores primera derivada, operadores segunda derivada y operadores morfológicos.

Detección de regiones

Para la detección de regiones se utilizan técnicas basadas en el hecho de la similitud: binarización, apoyada en el uso de umbrales; crecimiento de regiones, mediante la adición de píxeles; división de regiones y similitud de textura, color o niveles de gris.

En general, el proceso de la segmentación suele resultar complejo, debido, por un lado, a que no se tiene una información adecuada de los objetos a extraer y, por otro, a que en la escena a segmentar aparece normalmente ruido. Es por esto que el uso de conocimiento sobre el tipo de imagen a segmentar o alguna otra información de alto nivel puede resultar muy útil para conseguir la segmentación de la imagen.

Cuando la calidad de la imagen no es buena, no es posible extraer la información de forma adecuada, y es necesario aplicar técnicas de mejora en la calidad de la imagen original.

Descripción

Una vez se han destacado los bordes o las regiones como elementos de interés, el proceso de descripción consiste en extraer propiedades o atributos para su uso en las aplicaciones. En líneas generales, se trata de reconocer e identificar de forma inequívoca, las diferentes estructuras de la imagen. Estructuras que el investigador considera necesarias para entender y comunicar su significado.

Técnica de detección de rectas por la transformada de Hough

Considerando un píxel de coordenadas (x_i, y_i) como en el eje cartesiano, seleccionado como elemento que representa un borde; sobre éste pasarán infinitas rectas, el modelo de todas estas posibilidades queda definido por los infinitos valores de a y b .

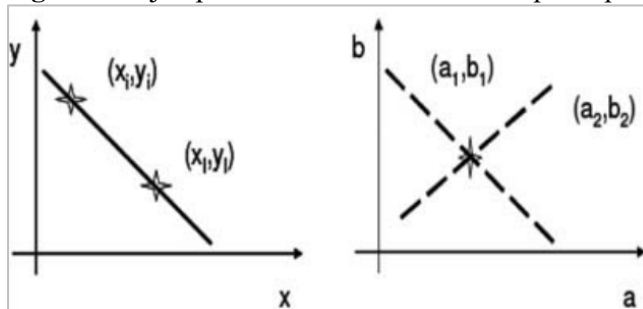
$$y_i = ax_i + b$$

Haciendo la transformación al espacio paramétrico, mostrada en la Figura 3, los valores de a y b quedarán definidos como:

$$b = -ax_i + y_i$$

Al variar el parámetro a desde $-\infty$ a $+\infty$ se obtendrán los infinitos valores de b en el espacio paramétrico y obtendremos infinitas rectas. La característica interesante de esta presentación consiste en que, si dos píxeles que pertenezcan a una misma línea son representados en el espacio paramétrico, el modelo de la recta estará definido en la intersección de las dos rectas del espacio paramétrico (Ramos et al., 2011).

Figura 3. Ejemplo de conversión hacia el espacio paramétrico.



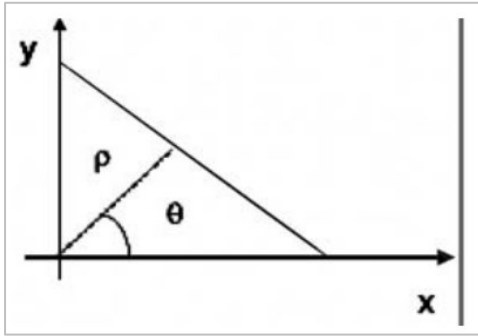
Fuente: extraída de (Ramos et al., 2011).

Sin embargo, el espacio paramétrico elegido no es el más correcto, ya que los rangos dinámicos de a y b no están limitados. En cambio, si se hace una representación en coordenadas polares, mostrada en la figura 4, el ángulo de la normal de la recta, θ , está limitado al rango de $[0, \pi]$. Ecuación de la recta en forma polar:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

Por tanto, hay que realizar una transformación entre el plano imagen (coordenadas x - y) y el plano o espacio paramétrico $[\rho, \theta]$, discretizado en una serie de celdas denominadas celdas acumuladoras. Esta discretización se realiza sobre los intervalos $[\rho_{\min} \rho_{\max}]$ y $[\theta_{\min} \theta_{\max}]$.

Figura 4 Espacio paramétrico en coordenadas polares



Fuente: extraída de (Ramos et al., 2011).

Esta discretización del espacio también es conocida como matriz de Hough, en ella se graficará un grupo de líneas por cada pixel que se recorra de la imagen, y agregará un punto a la celda de acumulación correspondiente. Donde se evidencien más puntos de cruce, en esta coordenada existe una línea.

Aplicación

Las aplicaciones de visión artificial o por computador se clasifican, en cuatro áreas: Obtención de la distancia de los objetos en la escena y estructura tridimensional; detección de objetos en movimiento; reconocimiento de patrones y formas; y reconocimiento de objetos tridimensionales, esta investigación se puede enmarcar en la tercera área, ya que se requiere analizar y detectar líneas en los patrones de huellas de neumáticos.

METODOLOGÍA

Clasificación de la investigación

El presente trabajo de investigación puede clasificarse en Aplicativa.

Aplicativa o tecnológica: Debido a que se basa en conocimientos existentes, derivados de investigaciones previas, dirigida al desarrollo tecnológico para establecer nuevos procesos para mejorar los existentes.

Se denomina aplicadas; porque en base a investigación básica, fundamental en las ciencias formales se formulan problemas o hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida productiva de la sociedad. Se llama también tecnológico, porque su producto no es un conocimiento puro, sino tecnológico (Nieto, 2018)

Población y muestra

La población de estudio del presente proyecto se encuentra conformada al análisis del patrón de huellas de neumático para la obtención del ángulo de convergencia mediante imágenes, previamente se realizará un control de calidad de la imagen ya sea por saturación y opacidad de la imagen, de esta manera se determinarán las imágenes analizadas aceptadas o rechazadas, para posteriormente analizarlos mediante un sistema de procesamiento de imágenes.

Técnicas

Las técnicas que serán utilizadas en la presente investigación son:

- **Búsqueda de información:** Permite obtener la información necesaria acerca del objeto de estudio de la investigación para su desarrollo, utilizando las fuentes secundarias disponibles.
- **Pruebas:** Permite realizar los experimentos.
- **Observación:** Permite determinar resultados de las pruebas realizadas.
- **Análisis:** Permite determinar los resultados de la investigación.

La metodología aplicada al desarrollo de la investigación está basada en el desarrollo de sistemas electrónicos mediante RUP (Rational Unified Process) (Nava Amador, 2004). De sus fases se consideraron:

- La evaluación de requerimientos.
- El diseño del sistema.
- El desarrollo de un prototipo.
- Realización de pruebas.

Evaluación de requerimientos.

La evaluación de requerimientos consideró:

- El análisis e investigación de los aspectos inherentes al mecanismo que se llevan en la descripción de parámetros de alineación de las ruedas y las normas que las rigen por la SAE J570 (SAE Standard J670_200801, 2008) e ISO 8855 (ISO Standard 8855:2011, 2011) donde ambos sistemas consisten en coordenadas cartesianas tridimensionales (3D) con el origen situado en el centro de la zona de contacto neumático-plano de contacto con el suelo ISO 8855.

- La investigación del estado del arte en referencia a las técnicas del procesamiento digital de imágenes e visión por computadora, relacionadas con la medición del ángulo de convergencia (Korhonen, 2020; López Barros, 2011; Ngo N-V, Hsu Q-C, Hsiao W-L, Yang C-J, 2017).
- La identificación y evaluación de los componentes tecnológicos necesarios, los cuales permitieron recoger información de escritorio y campo.
- La identificación y evaluación de las técnicas de procesamiento de imágenes que permiten obtener el ángulo de convergencia.

Dentro de la identificación de los componentes necesarios que permiten recoger la información, se dimensionó las rampas de acuerdo a: La altura entre el lente de la cámara de celular y el tren de rodadura de los neumáticos, así también para la adecuación de las cámaras de celular dentro de estas rampas para capturar imágenes con buena resolución de dichas huellas de un vehículo del cual estará sometido a las pruebas experimentales.

En la identificación y evaluación de técnicas de procesamiento de imágenes, se determinó identificó las fases como el cambio de imágenes de color a escala de grises, uso de los filtros Gaussianos para el suavizado de las imágenes, uso de valores umbral para discriminar ruido, el uso de detectores de contorno de Canny para identificar las líneas patrón de huellas (Gonzalez Osorio, 2017) y el uso de la transformada de Hough para la identificación y dibujo de líneas.

DESARROLLO

A continuación, se describe el desarrollo de la investigación a partir de la ingeniería del sistema basado en requisitos comunes de interfaz de hardware y software dentro de la metodología de desarrollo de software RUP.

Interfaz Hardware

El sistema cuenta con:

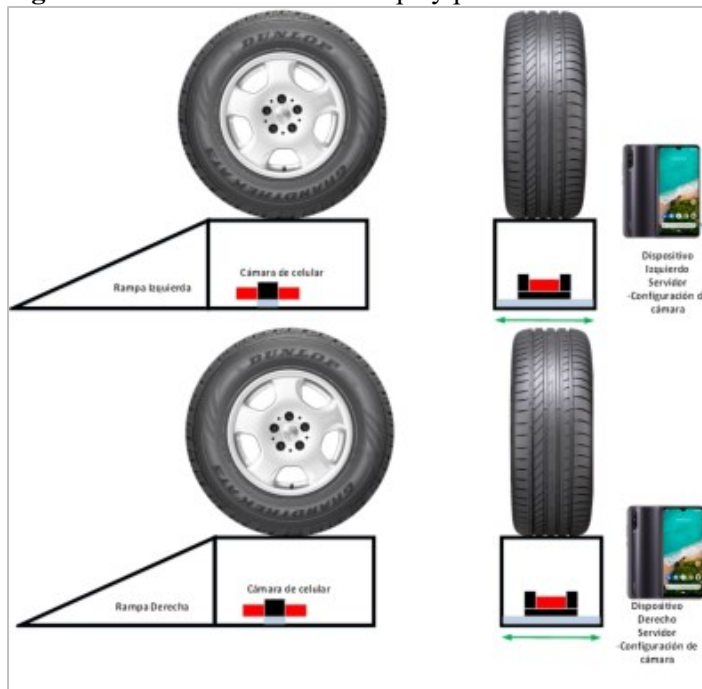
- Compresor de aire.
- Un Rúter para una red privada de interconexión entre los celulares y un computador.
- Celulares con cámaras de resolución 1920x1080 pixeles.
- Laptop de procesador Core i7 de 2.8GHz, RAM de 16 GB, 2GB de video dedicado.
- Un banco de batería de 5 voltios.

- Un nivel láser para que los neumáticos se suban al centro de las rampas.
- Dos Rampas en las cuales descansaran las ruedas del eje delantero.
- Dos cuñas de seguridad para que no se desplace hacia atrás el vehículo.
- Conos de seguridad para la señalización del área de trabajo para la experimentación.

Dimensionamiento de la estructura de la rampa

Las rampas se dimensionaron con la capacidad de albergar las cámaras de celular, las cuales se encargadas de obtener la imagen digital, de tal manera que se ubique debajo de los neumáticos a una altura prudente al momento de que el vehículo se ubique en la parte superior, todo esto para evitar daños en las cámaras, de igual manera debe existir espacio suficiente para colocar todos los dispositivos de las conexiones inalámbricas entre los celulares y un computador. Las dimensiones de cada rampa consideran una altura de 30 cm, las medidas de los alojamientos están en 42 x 33 cm como base de soporte de los neumáticos que se muestra en el siguiente apartado, el esquema de los alojamientos se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5. Dimensiones de la rampa y posición de las cámaras.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Interfaz software

Se compone de:

- La Base de registros o valores del ángulo de convergencia que se utilizará será Excel.
- Se requiere que el computador cuente con Sistema Operativo Windows 7 o superior.
- El sistema es compatible con las plataformas de: Windows 10 o Mac.
- El lenguaje de programación para el sistema es: Python.
- OpenCV: Esta librería se utilizará para la ejecución de algoritmos desarrollados para dicha librería como filtros, detectores de contornos, transformadas de Hough y otros.
- IDE: PyCharm, Software para el desarrollo de programación del sistema en Python.
- P Webcam: aplicación de streaming² de video para la captura de imagen desde el computador.

Planteamiento del experimento

El lugar de investigación es el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica (IIME), ubicada en Avenida Andrés Bello 22, La Paz

Figura 6: Locación de las pruebas de experimentación.



Fuente: imagen extraída de https://mecanica.umsa.edu.bo/?page_id=840#page-content , 2023

Adecuación del lugar

Se dispuso de un espacio pavimentado disponible de 10x20 metros. Dentro del instituto IIME en el área automotriz, con el espacio suficiente para el montaje de los equipos, se cuenta con un piso nivelado como se muestra en la figura.

² Cualquier contenido de medios, ya sea en vivo o grabado, que se puede disfrutar en computadoras y aparatos móviles a través de internet y en tiempo real

Figura 7 Adecuación del lugar IIME para las pruebas.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Vehículo de ensayo

De acuerdo al objetivo del trabajo, el estudio se realiza para vehículos livianos de transmisión delantera y trasera. Para la realización de los ensayos en la obtención de las imágenes de las huellas neumático-rampa se dispone de un sedán de uso común dentro de la ciudad marca Nissan Versa 1600 cc (guantera, 2022).

Tabla 1. Especificaciones técnicas del vehículo en la experimentación.

Especificaciones técnicas del vehículo ensayo	
Detalle	Valor
Marca	Nissan
Modelo	Versa
Tipo	Sedán
Año	2010
Peso del Vehículo	1141 Kg

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Neumáticos de ensayo

Para el análisis de las imágenes de la huella neumático-rampa se dispuso de un juego de neumáticos con una de banda de rodadura más utilizado por vehículos livianos en Bolivia.

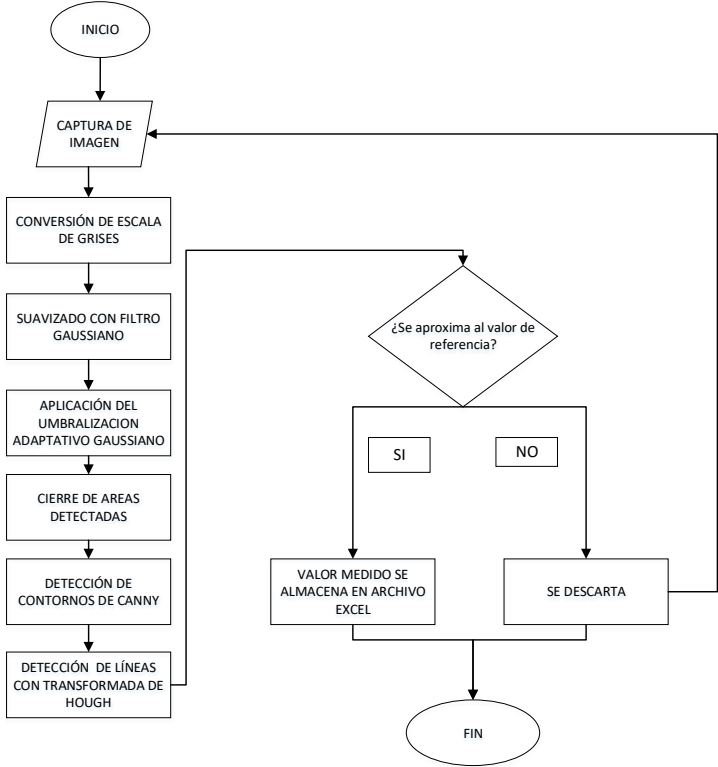
Tabla 2. Características de los neumáticos.

Neumático 1	
Marca	Dunlop
Código	PN032D
Modelo	ec201 185/65r14
Tipo de terreno	Asfalto, suelo seco
Condición	Usado
Patrón de huella	
 	
a) Vista frontal b) Vista lateral	

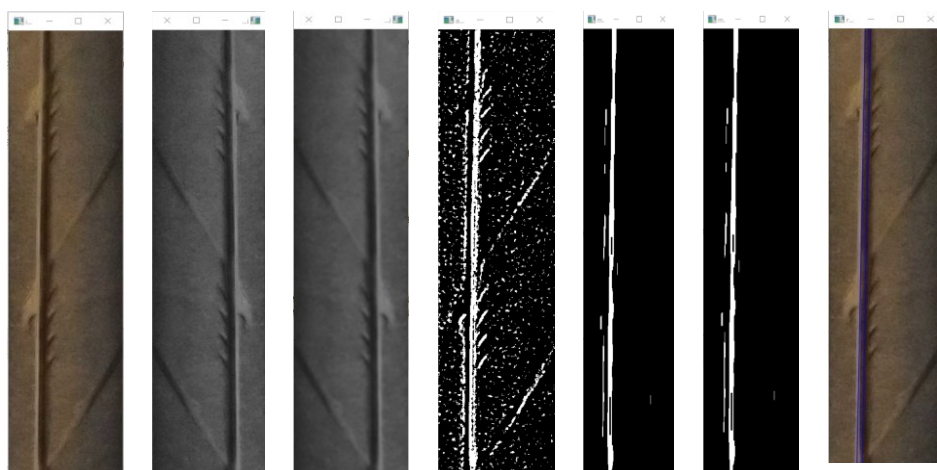
Fuente: Elaboración propia información extraída de (guantera, 2022) , 2023.

Modelo del sistema propuesto

Figura 8 Diagrama de flujo de procesamiento de la imagen y determinación del ángulo de convergencia.



Fuente: Elaboración propia, 2023.



a) b) c) d) e) f) g)

- a) De las imágenes capturadas se realizan recortes de las originales 1080x1920px del sector de la imagen con el patrón de huella visible desde las filas 500 al 1240 en px. y en columnas de 460 al 640 en px.
- b) Se realiza cambio de imagen neumático izquierdo de RGB a blanco y negro.
- c) Se aplica el filtro Gaussiano de imagen neumático izquierdo de blanco y negro para suavizar la imagen.
- d) Se aplica un umbral adaptativo de la imagen difuminada de la imagen del neumático.
- e) Se aplica el cierre de áreas blancas de la imagen umbralizada del neumático izquierdo.
- f) Se aplica el método de Canny para la detección de contornos de la imagen umbralizada y área detectada en blanco del neumático.
- g) Se obtiene el ángulo de convergencia del neumático, mediante la aplicación de la transformada de Hough a la imagen con la detección de contornos de Canny y el posterior dibujo de una línea a la imagen real recortada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En una primera etapa de estudio de las imágenes por medio del patrón de huellas de neumáticos a distintos ángulos dados o configurados por computadora para obtener el ángulo de convergencia.

Tabla 3: Resultados de la medición de ángulos de convergencia por la herramienta desarrollada.

Sesgo por computadora en grados	Rueda izq. y der. Ángulo medido	Diferencia
10	9.91001001	0.08998999
9.5	9.38692067	0.11307933
9	9.03819604	-0.038196
8.5	8.51942216	-0.0194222
8	7.96790667	0.03209333
7.5	7.61927042	-0.1192704
7	7.06814005	-0.0681401
6.5	6.5775645	-0.0775645
6	5.94448709	0.05551291
5.5	5.51097696	-0.010977
5	4.93745232	0.06254768
4.5	4.35915163	0.14084837
4	4.07336449	-0.0733645
3.5	3.556666	-0.056666
3	3.06699637	-0.0669964
2.5	2.52316916	-0.0231692
2	2.09245859	-0.0924586
1.5	1.46145623	0.03854377
1	0.94576738	0.05423262
0.5	0.48724601	0.01275399
0	0.0859866	-0.0859866

Fuente: Elaboración propia, 2023.

En la segunda etapa en las pruebas de experimentación en campo se determina el ángulo de convergencia en las imágenes por medio del patrón de huellas de neumáticos

Tabla 4. Resultados de las pruebas de como consecuencia de desarrollo en campo.

Prueba	Fecha	Placa	Ángulo izq.	Dirección	Ángulo der.	Dirección
1	2023-06-01 13:10:27	3157ccr	1.94925413	divergencia	4.99457581	divergencia
2	2023-06-01 13:15:49	3157ccr	4.01618224	convergencia	1.97789702	convergencia
3	2023-06-01 13:29:01	3157ccr	4.01618224	divergencia	1.97789702	convergencia
4	2023-06-06 11:23:48	3157ccr	1.00357718	divergencia	1.00307524	convergencia
5	2023-06-06 15:58:18	3157ccr	1.00307524	divergencia	4.99208117	divergencia
6	2023-06-23 16:43:47	3157ccr	1.97888667	divergencia	1.97789702	convergencia
7	2023-06-27 16:20:23	3157ccr	1.00357718	divergencia	4.99208117	convergencia
8	2023-06-30 13:12:22	3157ccr	1.00357718	convergencia	0.97490916	convergencia
9	2023-06-30 13:37:36	3157ccr	1.97789702	divergencia	1.00307524	convergencia
10	2023-07-06 11:50:50	3157ccr	3.9875881	divergencia	1.00357718	divergencia
11	2023-07-06 11:56:26	3157ccr	6.00150455	convergencia	1.00357718	divergencia
12	2023-07-06 12:11:32	3157ccr	1.00307524	divergencia	3.01128087	divergencia
13	2023-07-06 14:15:48	3157ccr	1.94925413	divergencia	1.97789702	convergencia
14	2023-07-11 12:29:03	3157ccr	0	convergencia 0	0	convergencia 0
15	2023-07-11 12:30:21	3157ccr	0	convergencia 0	1.00307524	divergencia
16	2023-07-11 12:41:50	3157ccr	0	convergencia 0	1.00357718	divergencia

Fuente: Elaboración propia, 2023.

De los registros del 1 al 13 son valores registrados en las etapas donde se modificaron los indicadores y parámetros de la variable independiente donde se registran los rangos con los que se trabajó en distintas pruebas.

En los registros del 14 al 16 se considera como muestras finales donde se mejoró todos los parámetros concernientes a la herramienta para la obtención del ángulo de convergencia.

Análisis de resultados

En base a los 16 registros de procesamiento digital, a cada imagen capturada y procesado se realizó 1 vez un análisis, con la finalidad de determinar el ángulo de convergencia.

Los resultados de las pruebas de análisis del ángulo de convergencia mediante el código de programación presentan leve variación de resultados en las tres muestras respecto a los otros factores de métodos comerciales.

Tabla 5. Resumen de registros de los tres factores de métodos comparados.

Factor método	Rueda izq. deg.	Rueda der. deg.
cva	-0.12	NA
cva	-0.11	NA
cva	-0.11	NA
rampa cam	0	0
rampa cam	0	-1.00
rampa cam	0	-1.00
alineador Launch	-0.03	-1.38
alineador Launch	0	-1.38
alineador Launch	-0.01	-1.38

Nota: No Aplica – NA.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Contraste (prueba) de hipótesis

Se hace referencia a la posibilidad de obtener registros del ángulo de convergencia mediante visión por computador por medio del patrón de huella de neumático.

Planteamiento de la hipótesis

H₀: Es posible obtener el ángulo de convergencia mediante visión por computador por medio del patrón de huella de neumático.

H₁: No es posible obtener el ángulo de convergencia mediante visión por computador por medio del patrón de huella de neumático.

Comprobación de Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se realiza mediante el análisis estadístico de, la distribución de T Student para los resultados obtenidos de escritorio, ya que la cantidad de muestras “n” es menor a treinta ($n \leq 30$) y para las muestras obtenidas en campo, de ANOVA.

Datos de escritorio.

Con la distribución del T Student, la desviación estándar, varianza muestral y datos estadísticos. Se determinan los siguientes valores del nivel de significancia de 0,05, donde se rechaza la hipótesis alternativa y acepta la hipótesis nula dándonos como resultados que, si se cumple, es decir, existe confiabilidad de los datos obtenidos en el procesamiento de obtención de medida del ángulo de convergencia mediante la herramienta (xlstat, 2023).

Tabla 6. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.

	Valor referencial	Valor calculado
Media	5	5.00631473
Varianza	9.625	9.5392967
Observaciones	21	21
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	40	
Estadístico t	-0.0066103	
P(T<=t) una cola	0.49737934	
Valor crítico de t (una cola)	1.68385101	
P(T<=t) dos colas	0.99475868	
Valor crítico de t (dos colas)	2.02107539	

Nota. Se evalúan las muestras de referencia (fijadas por computadora) y obtenidas por el C.V.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se puede demostrar que si existe factibilidad de confianza según los análisis estadísticos realizados y la distribución del T Student debido a que se cumple que se cumple los siguientes criterios:

Si:

El valor de “p” es menor o igual al valor de “nivel de significancia”, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Caso contrario:

El valor de “p” es mayor al valor de “nivel de significancia”, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

H₀: No existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio o media de los registros comparados, con un 95% de nivel de confianza.

H₁: No existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio o media de los registros comparados, con un 95% de nivel de confianza.

Análisis mediante los valores obtenidos en la prueba de T Student, de la **Tabla 6** se tiene el valor “p” de:

Valor $p=0.99475868$

Valor $\alpha=0.05$

$p > \alpha$

Por lo que se acepta la hipótesis nula.

Datos de campo

Del planteamiento de hipótesis se realiza la validación con dos muestras de valores obtenidos con diferentes métodos comerciales como Launch (alibaba spanish, 2023) y CVA (*CVA alineador al paso*, 2023) al propuesto mediante ANOVA con la herramienta estadística de (Design expert, 2023).

La hipótesis nula a probar es la siguiente:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots$$

μ : representa la media de la población

La hipótesis alternativa es que la media de al menos dos grupos es diferente.

H1: Al menos un par de medias es diferente

De la **Tabla 7** se obtiene los siguientes resultados de ANOVA:

Tabla 7. Análisis de varianza de un solo factor, rueda izquierda.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	2	0.023	0.012	129.500	< 0.0001
Error	6	0.001	0.000		
Total corregido	8	0.024			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Diferencias significativas.

Por último, se debe responder a las preguntas: ¿Existe una diferencia significativa entre las medidas obtenidas?, y en caso afirmativo, ¿Cómo podemos clasificarlos? Como está mostrado en el cuadro a continuación, la prueba de Tukey HSD (Honestly Significantly Different),

Tabla 8. Ángulo / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Y)

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
cv vs cva	0.113	14.722	3.068	< 0.0001	Sí	0.090	0.137
cv vs launch	0.013	1.732	3.068	0.269	No	-0.010	0.037
launch vs cva	0.100	12.990	3.068	< 0.0001	Sí	0.076	0.124
Valor crítico del d de Tukey:			4.339				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

De la **Tabla 8** se denota que no existe diferencia significativa entre CV y Launch, por lo que se cumpliría la hipótesis nula.

No hay diferencia significativa entre los métodos C.V. (Computer Vision) y Launch.

Del análisis de los tres grupos de muestras se observó que no existe diferencias significativas entre el Método Launch y C.V., por lo que se describe a más detalle esta relación en las siguientes tablas con las ruedas izquierda y derecha con la herramienta de Design Expert.

CONCLUSIONES

Las conclusiones, han sido organizadas en función de cada uno de los objetivos específicos y finalmente la conclusión al objetivo general.

Se dimensionó las rampas de acuerdo a las necesidades para la adecuación de las cámaras de celular dentro de estas para capturar imágenes con buena resolución.

Se determinó las técnicas de tratamiento de imágenes mediante la identificación de las fases de visión por computador y posterior aplicación de técnicas como el cambio de imágenes de color a escala de grises, uso de los filtros Gaussianos para el suavizado de las imágenes, uso de valores umbral para discriminar ruido, el uso de detectores de contorno de Canny para identificar las líneas patrón de huellas y el uso de la transformada de Hough para la identificación y dibujo de líneas.

Se evaluó el programa computacional desarrollado, conformado por los módulos de captura de imagen, y procesamiento y cálculo del ángulo de convergencia.

Con todo lo anterior se concluye que se desarrolló un sistema de medición con visión óptica a partir de sus componentes de hardware y software para la obtención del ángulo de convergencia mediante el tratamiento de imágenes con conceptos de visión por computadora, en función del patrón de huellas de neumáticos del eje delantero.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alibaba Spanish. (2023, Noviembre 23). Detalles Del Producto Launch X631, Alineador De Neumáticos [Comercial]. <https://Spanish.Alibaba.Com/Product-Detail/Launch-X631-Tyre-Wheel-Aligner-With-1797344902.Html>

Arauz Estrella, G. D., & Llumiquinga Chingay, Á. H. (2017). Obtención Y Tratamiento Digital De Imágenes De La Huella De Contacto Neumático-Calzada Para Evaluar Las Condiciones Físicas De Los Neumáticos En Vehículos De Tracción Delantera [Master's Thesis]. Quito, 2017.

- CVA Alineador Al Paso. (2023, Diciembre 24). [<https://www.cva-sa.com/Product/Linea-De-Diagnostico-Convencional-De-Livianos/>].
- Design Expert. (2023, Diciembre 24). Design Expert. <https://www.statease.com/Software/Design-Expert/>
- Gonzalez Osorio, G. J. (2017). Reconocimiento De Objetos Utilizando Open CV Y Python En Una Raspberry Pi 2 En Una Tlapalería.
- Guantera. (2022, Junio 2). Ficha Tecnica Nissan Versa Sedan [Especificaciones Técnicas De Vehículos]. Nissan Versa Sedan Ficha Tecnica. <https://www.guantera.es/Nissan/Nissan-Versa-1-6-Mt-107-Cv-Sedan-2009-2012-Ficha-Tecnica/>
- Hidalgo Bejarano, I., & Sánchez García De Blas, R. J. (2015). Reconocimiento De Caracteres Mediante Imágenes En Contadores De Gas En Entornos Reales.
- ISO Standard 8855:2011. (2011). Road Vehicles – Vehicle Dynamics And Road-Holding Ability – Vocabulary.
- Korhonen, D. (2020). Wheel Alignment Method Feasibility Study.
- López Barros, J. M. (2011). Estudio Teórico De La Alineación De Un Vehículo Por Visión Artificial [B.S. Thesis].
- Nava Amador, J. A. (2004). Aplicación De RUP En El Desarrollo De Proyectos De Sistemas Electrónicos. Noviembre.
- Ngo N-V, Hsu Q-C, Hsiao W-L, Yang C-J. (2017). Development Of A Simple Three-Dimensional Machine-Vision Measurement System For In-Process Mechanical Parts. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017717183>
- Nieto, E. (2018). Tipos De Investigación. Universidad Santo Domingo De Guzmán, 2.
- Oña Vilatuña, M. B. (2019). Desarrollo De Un Prototipo De Escáner Óptico 3D Montado En Un UAV Con Cámara 360 Utilizando Fotogrametría [Bachelorthesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19999>
- Ponce González, M. M. (2012). Visión Por Computador Para UAS. Aeronauticos.
- Quintana, A. F. L., Herrera, D. A. M., & Salazar, L. E. M. (2012). Sistema De Visión Artificial Para Conteo De Objetos En Movimiento. El Hombre Y La Máquina, 40, 87-101.

- Ramos, F. N. G., Gonzalez, F., Casallas, E. C., & Others. (2011). Algoritmos De Procesamiento De Imágenes Satelitales Con Transformada Hough. *Visión Electrónica*, 5(2), 26-41.
- Reza N Jazar. (2008). *Vehicle Dynamics: Theory And Application*. Springer Science.
- SAE Standard J670_200801. (2008). *Vehicle Dynamics Terminology*.
- Xlstat. (2023, Diciembre 24). T Student [<https://help.xlstat.com/es/6643-Prueba-De-Student-Dos-Muestras-Relacionadas>].