

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELECTROMECAÁNICA



MAESTRÍA TERMINAL EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE MAESTRÍA

“Presentado para la obtención del título de Magister Scientiarum”

“MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE CONVERGENCIA A TRAVÉS DE VISIÓN POR
COMPUTADORA POR MEDIO DEL PATRÓN DE HUELLA DE NEUMÁTICOS
DEL EJE DELANTERO EN VEHÍCULOS”

Autor: Ing. Ronald Mamani Quispe

Tutor: M. Sc. Ing. Oscar Febo Flores Meneses

LA PAZ - BOLIVIA

2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA.

*Dedicado a toda mi familia por la inmensa paciencia
durante el transcurso del desarrollo
de mi tesis.*

AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

*A Dios,
por la fortaleza que encontré en los momentos que
no encontraba el camino del desarrollo de la tesis*

*Mi reconocimiento al director Jaime Sánchez Guzmán del Instituto de Investigaciones de
Ingeniería Mecánica -Electromecánica de la Universidad Mayor de San Andrés por la
cooperación desinteresada.*

*Agradecimiento especial a:
Mi tutor Febo Flores Meneses
por los aportes de este trabajo.*

Resumen.

A pesar de los numerosos métodos tradicionales para medir la alineación del tren delantero de los vehículos, no existen soluciones basadas en visión por computadora, sin embargo, este campo tecnológico se ha desarrollado a nivel mundial lo cual permite adoptar diversas soluciones entre las cuales está para obtener el ángulo de convergencia.

La presente investigación se centra en 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 obtenidos por equipos comerciales de alineación.

Palabras clave: Alineación, ángulo de convergencia, visión por computador.

Índice General

1	CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN.....	14
1.1	Planteamiento del problema.....	14
1.2	Formulación del problema.....	14
1.3	Objetivos de la investigación.....	14
1.3.1	Objetivo general.....	14
1.3.2	Objetivos específicos.....	15
1.4	Hipótesis de la investigación.....	15
1.5	Justificación de la investigación.....	15
1.6	Alcances y límites.....	16
2	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1	Antecedentes de la investigación nacional e internacional.....	17
2.2	Bases teóricas de las variables.....	18
2.2.1	Sistema de coordenadas de neumáticos.....	18
2.2.2	Ángulos relativos de neumáticos de automóviles.....	19
2.3	Definición de términos básicos.....	21
2.3.1	Visión por computador.....	21
2.3.2	Captura.....	23
2.3.3	Pre procesamiento.....	26
2.3.4	Segmentación.....	29
2.3.5	Descripción.....	30
3	CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
3.1	Variables de investigación.....	31

3.1.1	Definición conceptual	31
3.1.2	Operacionalización de variables.....	32
3.2	Clasificación de la investigación.....	35
3.3	Población y muestra	35
3.4	Técnicas.....	35
3.5	Diseño de investigación.	36
3.5.1	Equipamiento utilizado.	36
3.5.2	Instrumentos de medición utilizados para la investigación.....	36
3.6	Recolección de datos.....	36
3.7	Descripción del experimento.....	36
3.8	Tratamiento de datos	37
3.9	Diseño experimental.....	37
3.9.1	Planteamiento del experimento	37
3.9.2	Adecuación del lugar.....	38
3.10	Equipamiento e instrumentación.....	39
3.10.1	Equipamiento empleado.....	39
3.10.2	Instrumentos	41
3.11	Proceso de prueba de hipótesis y análisis de datos.	41
4	CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	43
4.1	Trabajo experimental de escritorio y campo	43
4.2	Trabajo experimental de campo	43
4.2.1	Protocolo de pruebas	43
4.3	Análisis de datos.....	63
4.4	Análisis de resultados.....	65
4.5	Contraste (prueba) de hipótesis	66

4.5.1	Planteamiento de la hipótesis	66
4.5.2	Comprobación de hipótesis	66
4.6	Discusión de resultados	74
5	CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1	Conclusiones	74
5.2	Recomendaciones	75
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS/WEBGRAFÍA	75
	Apéndice A Ingeniería de desarrollo del sistema	79
	Apéndice B Código de programación	106
	Apéndice C Informes de alineación de los métodos comerciales	113
	Apéndice D Planes de trabajo	121
	Apéndice E Costos	123
	Anexo A Certificado de publicación de artículo científico	125

Índice de figuras

Figura 2-1 <i>Sistemas de coordenadas</i>	18
Figura 2-2 <i>Ángulo de convergencia</i>	19
Figura 2-3 <i>Fases de un sistema de visión por computador</i>	23
Figura 3-1 <i>Locación de las pruebas de experimentación</i>	38
Figura 3-2 <i>Adecuación de las instalaciones del IIME para las pruebas</i>	38
Figura 3-3 <i>Características de la cámara de celular</i>	39
Figura 3-4 <i>Rampa, cambio de estructura metálica diseñada después de las primeras pruebas</i>	40
Figura 3-5 <i>Diseño de la rampa para las primeras pruebas</i>	41
Figura 4-1 <i>Etapas del ensayo experimental</i>	45
Figura 4-2 <i>Adición de plancha metálica para evitar saturación de luz en los lentes de las cámaras</i>	47
Figura 4-3 <i>Adecuación de la base de policarbonato al de metal</i>	48
Figura 4-4 <i>Verificación del inflado de los neumáticos</i>	49
Figura 4-5 <i>Posicionamiento del vehículo</i>	50
Figura 4-6 <i>Medición del luxómetro</i>	50
Figura 4-7 <i>Captura de imagen lado izquierdo</i>	51
Figura 4-8 <i>Captura de imagen lado derecho</i>	51
Figura 4-9 <i>Dibujo de una cruz para ajustar la posición de las cámaras</i>	52
Figura 4-10 <i>Dirección de las carpetas donde se guardan los archivos (imágenes)</i>	53
Figura 4-11 <i>Descripción del script para la identificación del ángulo de convergencia</i>	54
Figura 4-12 <i>Recorte de la imagen original hacia el área de interés a evaluar</i>	55
Figura 4-13 <i>Conversión de la imagen de color a escala de grises</i>	56
Figura 4-14 <i>Resultado del filtro Gassiano de la imagen en gris</i>	57
Figura 4-15 <i>Resultado de la umbralización de la imagen en suavizada</i>	58
Figura 4-16 <i>Cierre de áreas blancas detectadas</i>	59
Figura 4-17 <i>Detección de contornos de Canny</i>	60
Figura 4-18 <i>Aplicación de la transformada de Hough</i>	62
Figura 4-19 <i>Captura de imagen de los resultados obtenidos</i>	63
Figura 4-20 <i>Distribución normal de los residuos, rueda izquierda</i>	71

Figura 4-21	<i>Modelo de comparación entre ambos métodos de la rueda izquierda.</i>	71
Figura 4-22	<i>Distribución normal de los residuos de la rueda derecha.</i>	73
Figura 4-23	<i>Modelo de comparación entre ambos métodos rueda derecha.</i>	73
Figura 7-1	<i>Esquema general de módulos de software organizado en bloques lógicos.</i>	81
Figura 7-2	<i>Esquema general de hardware y comunicación del sistema.</i>	84
Figura 8-1	<i>Descripción de los tipos de actores del sistema.</i>	88
Figura 8-2	<i>Descripción del módulo de captura de imagen.</i>	89
Figura 8-3	<i>Diagrama de Actividades de gestión de conexiones.</i>	94
Figura 8-4	<i>Diagrama de Actividades de ajuste de imagen del área de interés.</i>	95
Figura 8-5	<i>Diagrama de Actividades de guardar imagen.</i>	96
Figura 8-6	<i>Diagramas de Actividad de lectura de imagen, procesamiento y guardar imagen.</i>	97
Figura 10-1	<i>Manipulación de dirección en vertical de 0° grados a 10° por computador.</i>	101
Figura 10-2	<i>Recorte del área de interés.</i>	102
Figura 10-3	<i>Posición de vehículo Nissan versa, 2010, para el diagnóstico de alineación.</i>	113
Figura 10-4	<i>Interfaz de equipo donde se muestra la culminación del diagnóstico de alineado.</i>	114
Figura 10-5	<i>Vehículo de prueba Nissan Versa modelo 2010, y equipo de diagnóstico CVA.</i>	118
Figura 10-6	<i>Interfaz de software de CVA.</i>	118
Figura 10-7	<i>Primer registro del valor obtenido por el alineador al paso C.V.A.</i>	119
Figura 10-8	<i>Segundo registro del valor obtenido por el alineador al paso C.V.A.</i>	120
Figura 10-9	<i>Tercer registro del valor obtenido por el alineador al paso C.V.A.</i>	120

Índice de tablas

Tabla 3-1 Operacionalización de la variable de salida.	32
Tabla 3-2 Operacionalización de variable independiente.	33
Tabla 3-3 Operacionalización de la variable dependiente.	34
Tabla 4-1 Especificaciones técnicas del vehículo.	43
Tabla 4-2 Características de los neumáticos.	44
Tabla 4-3 Resultados de las pruebas como consecuencia del desarrollo en campo.	63
Tabla 4-4 Registro de tres muestras del método propuesto C.V.	65
Tabla 4-5 Registro de tres muestras del método comercial C.V.A.	65
Tabla 4-6 Registro de tres muestras del método comercial Launch.	65
Tabla 4-7 Resumen de registros de los tres factores de métodos comparados.	66
Tabla 4-8 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.	67
Tabla 4-9 Análisis de varianza de un solo factor, rueda izquierda.	68
Tabla 4-10 Ángulo / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Y)	69
Tabla 4-11 ANOVA para comparación de: C.V. con Launch, rueda izquierda.	69
Tabla 4-12 ANOVA para comparación de: C.V. con Launch, rueda derecha.	74
Tabla 7-1 Características del usuario técnico automotriz en adquisición de datos.	82
Tabla 7-2 Características del usuario técnico Auxiliar.	82
Tabla 7-3 Características del usuario sistema.	83
Tabla 7-4 Requerimiento funcional del módulo de captura de imagen.	85
Tabla 7-5 Requerimiento funcional del Módulo de procesamiento.	85
Tabla 7-6 Requerimiento no funcional de interfaz del sistema.	86
Tabla 7-7 Requerimiento no funcional de Portabilidad.	86
Tabla 8-1 Caso de Uso: Gestionar conexiones.	89
Tabla 8-2 Caso de Uso: Deslizar cámaras para capturar la imagen.	90
Tabla 8-3 Caso de Uso: Guardar Imagen.	90
Tabla 8-4 Caso de Uso: Lectura de imagen.	91
Tabla 8-5 Caso de Uso: Procesamiento.	92
Tabla 8-6 Caso de Uso: Guardar valores obtenidos.	93
Tabla 9-1 Lenguaje y librerías en el desarrollo del sistema.	98

Tabla 9-2 Principales funciones de las librerías del procesamiento de imágenes.	98
Tabla 10-1 Patrón de huellas de neumáticos de la marca Dunlop.	99
Tabla 10-2 Características técnicas del neumático con las que se trabajará en escritorio y <i>in situ</i>	100
Tabla 10-3 Sesgo de ángulos de 10° a 1° grados de dirección hacia la derecha.	101
Tabla 10-4 Resultados de la medición de ángulos de convergencia por la herramienta desarrollada.	102
Tabla 10-5 Descripción de la resolución del equipo Launch X631.	113
Tabla 10-6 Resumen de tres medidas tomadas del equipo X631 Launch.	114
Tabla 10-7 Resumen de pruebas de diagnóstico de equipo CVA.	119
Tabla 10-8 Costos de materiales e instrumentos utilizados.	123
Tabla 10-9 Costos de Software utilizados.	124
Tabla 10-10 Costos de mano de obra.	124
Tabla 10-11 Resumen costo de elaboración de tesis.	124

Índice de Apéndices

Apéndice A Ingeniería de desarrollo del sistema.....	79
Apéndice B Código de programación	106
Apéndice C Informes de alineación de los métodos comerciales.	113
Apéndice D Planes de trabajo	121
Apéndice E Costos	123

Lista de abreviaciones

CMOS Complementary metal-oxide-semiconductor

CVA Control Vehicular Argentino

HD High-definition

IDE Integrated Development Environment

IEEE Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

IIME Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica

ISO International Organization for Standardization

PPP Píxel por pulgada

RGB Red, green, blue

ROI Region of interest

SAE Society of Automotive Engineers

TCS Tyre coordinate system

VCS Vehicle coordinate system

WCS Wheel coordinate system

SMVO Sistema de medición de visión óptica

ERS Especificación de Requisitos Software

RF Requerimiento Funcional

RNF Requerimiento No Funcional

Glosario

Binarización: Proceso que consiste en la reducción de información de una imagen digital de color a valor binarios de 1 y 0 que corresponden a los colores Blanco y Negro.

Blur: Tipo de filtro gaussiano que elimina el ruido presente en una imagen producto de su procesamiento previo.

Opencv: Conjunto de librerías multiplataforma de código libre orientado a aplicaciones de visión artificial desarrollado originalmente por Intel en 1999.

Píxel: Es la menor unidad homogénea en color de una imagen digital.

Png: Formato gráfico de imágenes digitales basado en un algoritmo de compresión sin pérdida de información del mapa de bits. Este formato se desarrolló para solventar las deficiencias del formato GIF y permite almacenar imágenes con mayor profundidad de contraste y otros datos importantes.

Python: Lenguaje de programación interpretado con soporte de módulos para el manejo de OpenCV

1 CAPÍTULO I - 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 tesis 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.

1.1 Planteamiento del problema

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).

1.2 Formulación del problema

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 que se considera la pregunta de investigación, ¿es posible medir el ángulo de convergencia del tren delantero en función de la huella mediante visión por computadora?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

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.

1.3.2 Objetivos específicos

Dimensionar dos rampas con las mismas características para la adecuación de cámaras de celulares y planchas de metal móviles.

Determinar la técnica de tratamiento digital de imágenes para el cálculo del ángulo de convergencia.

Evaluar la herramienta desarrollada para el registro del ángulo de convergencia.

Validar los valores obtenidos para con los diferentes métodos comerciales como del CVA¹ y Launch².

1.4 Hipótesis de la investigación.

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.

1.5 Justificación de la investigación.

Esta investigación permite conocer detalles de los algoritmos de visión artificial existentes en la actualidad mostrando la implementación de estos sobre un problema práctico del área de diagnóstico automotriz, gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas.

Los sistemas de visión artificial, son capaces de tratar varios problemas a la vez, además permiten la interconexión de la información con tecnologías que normalmente se encuentra a nivel de plataforma de fábrica y que en décadas pasadas no hubiesen sido viables (dado que no tenían los medios donde realizar de forma eficiente y rápida sus operaciones).

Existe la necesidad de abordar técnicas de procesamiento para la medición del ángulo de convergencia, con la finalidad de obtener igual o mejores los resultados que con los métodos tradicionales y de esta forma sentar las bases suficientes que permitan realizar propuestas de investigaciones futuras que aborden técnicas innovadoras para el área (nuevas líneas de investigación).

¹ CVA es una empresa argentina fabricante de equipos para el diagnóstico automotriz de ITV

² La alineadora de ruedas LAUNCH puede medir varios ángulos de neumáticos de automóvil, incluyendo el ángulo de convergencia de rueda delantera.

1.6 Alcances y límites.

La investigación considerará los siguientes alcances de acuerdo con los objetivos planteados:

- En la construcción de las rampas, considerará a vehículos livianos, que, en su eje delantero, no sobrepasen los 900 kg de peso. Además de considerar que las rampas sean capaces de albergar ruedas entre 14 a 15 pulgadas de diámetro.
- En la etapa previa de determinación la técnica de tratamiento digital de imágenes para el cálculo del ángulo de convergencia, se considerará lo siguiente:
 1. La presión de los neumáticos, estará fijada de acuerdo a la presión nominal establecida por fábrica en cada vehículo y que el patrón de huellas sea mínimamente visible.
 2. La iluminación del entorno o espacio de experimentación contará con un umbral de luz para sus respectivas tomas de datos.
 3. Las capturas de imágenes se realizarán por medio de cámaras de celular de tipo CMOS³.
- En la Evaluación la herramienta desarrollada para el registro del ángulo de convergencia, se trabajará con librerías existentes de OpenCV, que, si bien se utilizan para otros fines, en esta investigación se aplicarán los ajustes necesarios en los parámetros de las distintas librerías y algoritmos, donde cada uno interviene en cada etapa para la obtención del ángulo de convergencia

Para realizar el desarrollo de la presente investigación se identifican limitaciones como, por ejemplo:

- En la Validación de los valores obtenidos del ángulo de convergencia, no se trabajará con indicadores propios, como precisión de reconocimiento, de las técnicas de visión por computadora; sin embargo, se contrastará con dos diferentes métodos comerciales.

³ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, en español “semiconductor complementario de óxido metálico”)

2 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación nacional e internacional

Se publicaron numerosos trabajos en el estudio de los métodos de diagnóstico y alineación de ruedas entre los cuales se presenta el de visión computacional (Wang & Tu, 2007), (López Barros, 2011) y (Korhonen, 2020), triangulación láser (Senjalia et al., 2013), acelerómetros tanto trabajos de (Chatur, 2015) y (Young et al., 2017). De todos estos trabajos mencionados, sólo se considerarán aquellos desarrollados con visión por computador.

Wang y Tu en su artículo sugieren resolver los parámetros de alineación de las cuatro ruedas de un vehículo con conceptos de visión artificial. La idea principal de su artículo es, en primer lugar, calcular la matriz homeográfica entre el tablero de destino y su imagen, y con ello obtener la matriz de rotación a partir de la cual se descompone el coseno direccional del eje de rotación de la rueda del vehículo y finalmente se resuelven los parámetros de alineación de la rueda (Wang & Tu, 2007).

José Manuel López Barros en su trabajo académico propone un nuevo sistema para comprobar la alineación en la ITV, haciendo uso de software y de cámaras especializadas en visión por computador donde se procesa la imagen de los neumáticos con el objeto de obtener su esqueleto. El esqueleto de la imagen de un neumático se encuentra definido en su mayor parte por una línea, la cual coincide con la línea principal del neumático.

En su estudio teórico se comprobó que se puede obtener el ángulo de convergencia o divergencia de las ruedas del eje delantero de un vehículo (López Barros, 2011).

Uno de los últimos trabajos de tesis está de Daniel Korhonen, en su sistema propuesto se basa en marcadores fiduciales⁴ planos denominados ArUco⁵, que, a partir de imágenes o fotogramas de video del marcador, se puede estimar la pose del marcador. Así, colocando tales marcadores en el suelo, en la rueda y en el vehículo, la posición estimada de los marcadores puede usarse para medir y calcular los parámetros de alineación de las ruedas. Donde mide los ángulos de Convergencia y Camber dentro del alcance de su tesis. Después

⁴ Son unos símbolos o marcas que deben tener las tarjetas de circuitos impresos cuando van a ser sometidas a procesos automáticos de montaje de componentes (Pick & Place), de inspección de defectos de soldadura y ensamble (AOI), de test eléctrico y otros.

⁵ Es una librería de código abierto basada en OpenCV que permite detectar marcadores cuadrados de referencia en imágenes.

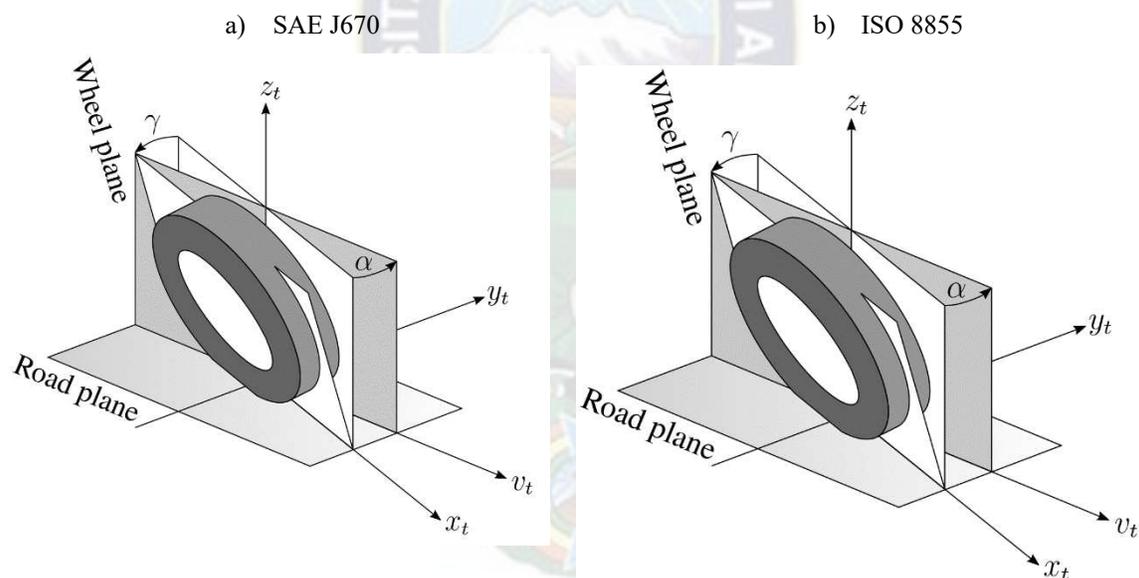
de la calibración de la cámara realiza pruebas simplificadas del marcador ArUco midiendo el desplazamiento y la inclinación conocidos de un marcador con respecto a un marcador de referencia (Korhonen, 2020).

2.2 Bases teóricas de las variables.

2.2.1 Sistema de coordenadas de neumáticos

Para poder describir los parámetros de alineación de las ruedas, es necesario definir inicialmente un sistema de coordenadas de neumáticos o Tyre Coordinate system (TCS), utilizado a lo largo de esta tesis. Existen dos sistemas de coordenadas comunes la primera por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y se describe en el documento de la SAE J670 y la segunda está definida por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en ISO 8855.

Figura 2-1
Sistemas de coordenadas.



Fuente: SAE J570 e ISO 8855.

Ambos sistemas consisten en coordenadas cartesianas tridimensionales (3D) con el origen situado en el centro de la zona de contacto neumático-plano carretero. La intersección del plano de la llanta y el plano de la carretera define el eje x_t para ambos sistemas. Además, el eje y_t es perpendicular al eje x_t , pero en el sistema ISO apunta hacia la izquierda y hacia la derecha en el sistema SAE. El eje z_t es normal al suelo, apuntando hacia abajo en el sistema

SAE y hacia arriba en el sistema ISO. Dado que en la mayoría de los casos es más conveniente e intuitivo tener el eje z_f dirigido hacia arriba, a lo largo de esta tesis se utilizará el sistema de coordenadas de neumáticos ISO.

2.2.2 Ángulos relativos de neumáticos de automóviles

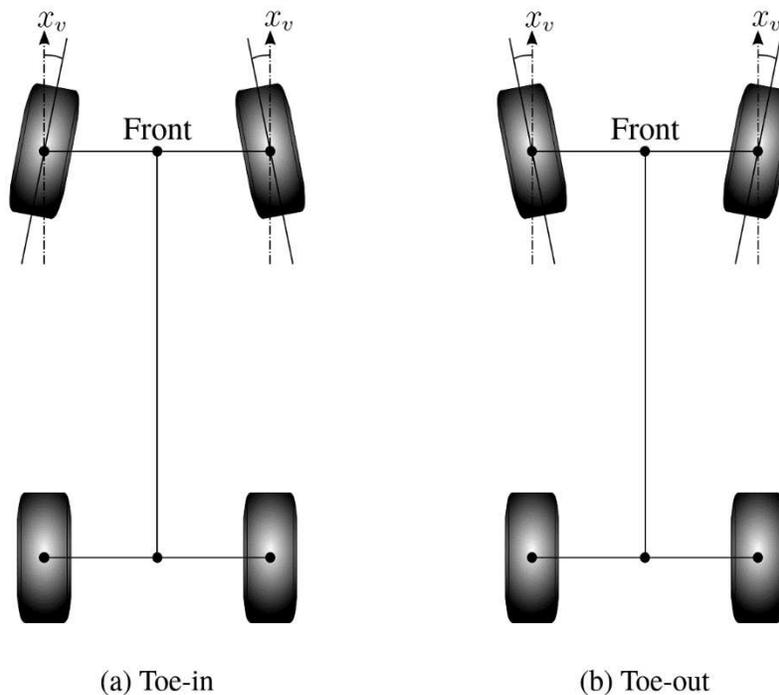
Hay cuatro parámetros principales de alineación de las ruedas que afectan la dinámica del vehículo: **convergencia**, **inclinación**, **avance** y **ángulo de empuje**.

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

2.2.2.1 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.

Figura 2-2
Ángulo de convergencia.



Fuente: Imagen extraída de (Korhonen, 2020)

En el alcance de esta tesis, el ángulo de convergencia estático de aquí en adelante se denominará simplemente *ángulo de convergencia* (Korhonen, 2020).

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).

2.2.2.2 Ángulo de caída o ángulo camber:

Es el ángulo que forman los neumáticos respecto a la vertical, es decir, es la *inclinación* de las ruedas. Su función es distribuir el peso del automóvil sobre toda la superficie de las llantas de forma homogénea para conseguir un desgaste uniforme.

2.2.2.3 Ángulo de *avance* o ángulo caster:

Se define así al ángulo formado entre el eje del pivote sobre el que gira la rueda para orientarse y la vertical, cuando se mira al vehículo lateralmente. Si la proyección superior del eje es hacia delante indica que existe caster negativo y positivo si la proyección es hacia atrás.

2.2.2.4 Ángulo de empuje:

El ángulo de empuje ν es el ángulo entre la línea central del vehículo y la perpendicular al eje trasero. Compara la dirección en la que apunta el eje trasero con la línea central del vehículo. El ángulo cero confirma que el eje trasero está paralelo al eje delantero y que la distancia entre ejes en ambos lados del vehículo es la misma. Una razón para el ángulo de confianza distinto de cero tendría una convergencia o convergencia desigual en ambos lados del eje.

2.3 Definición de términos básicos.

2.3.1 Visión por computador

Es la transformación de datos de una fotografía o vídeo en una nueva representación, estas transformaciones se las hacen con un objetivo específico. Una nueva representación podría ser el convertir una imagen de color a otra en escala de grises, o eliminar el movimiento de la cámara en una secuencia de imágenes, 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).

La *Visión por Computador*, también conocida como *Visión Artificial*, es un campo de la inteligencia artificial que incluye una serie de métodos para adquirir, procesar, analizar y llegar a la comprensión del contenido de las imágenes. El propósito general es que un computador sea capaz de recibir información de la escena tridimensional en forma de imágenes a través de una serie de sensores, básicamente cámaras de captura de imágenes, bien estáticas o secuencias de vídeo. En ellas se contiene información numérica o simbólica

que será utilizada para el objetivo propuesto según las diferentes aplicaciones. El principal objetivo es realizar una aproximación a la visión humana, incluyendo sus habilidades y capacidades, si bien desde un punto de vista automático comprendiendo de este modo un proceso de percepción computacional o de máquina que permita el análisis de las imágenes de cara a su análisis y comprensión final (Hidalgo Bejarano & Sánchez García de Blas, 2015).

Existen diversas áreas de aplicación de la Visión por Computador, destacando entre otras medicina, agricultura, vigilancia y seguridad, biometría, robótica. Dentro de cada una de ellas se aplican técnicas propias de esta disciplina tales como:

- Reconocimiento y seguimiento de objetos o personas.
- Detección del movimiento.
- Reconstrucción 3D.

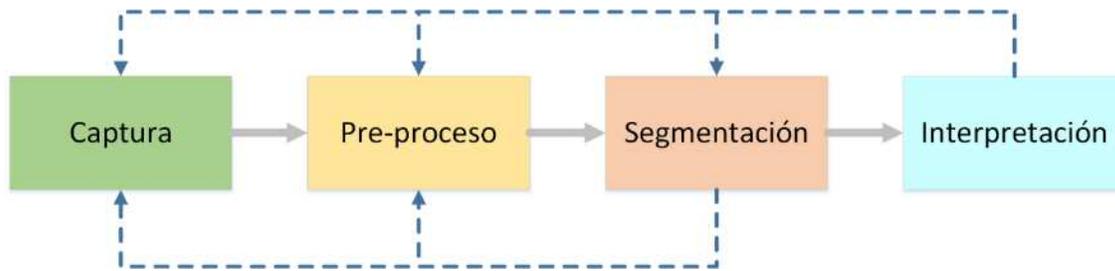
2.3.1.1 Fases en un sistema de visión artificial

Básicamente, el ser humano percibe la luz a través de los ojos y la información percibida se transmite al cerebro a través del nervio óptico. El cerebro procesa imágenes, interpreta escenas y actúa en consecuencia.

Los sistemas de visión artificial intentan reproducir el mismo comportamiento y para ello se definen en el sistema cuatro etapas o etapas, estas etapas son:

1. **Captura:** Etapa donde se adquiere la información, en si las imágenes.
2. **Pre procesamiento:** Etapa donde mediante filtros o transformaciones se eliminan partes indeseadas de las imágenes, reducción de ruido y realce de detalles, coadyuvando a las etapas posteriores.
3. **Segmentación:** En esta etapa se aísla el o los elementos que interesan del resto de la imagen para su comprensión.
4. **Reconocimiento:** En esta etapa se pretende distinguir los objetos segmentados mediante una serie de características que previamente se han establecido para diferenciarlos.

Figura 2-3
Fases de un sistema de visión por computador.



Fuente: Diagrama extraído y modificado de (Gonzalez Osorio, 2017)

Estas fases se siguen de manera secuencial en un sistema habitual de visión artificial, ***más puede suceder que no sigan esa secuencia siempre, sino que se realimenten hacia atrás en el ciclo.*** Así, si la segmentación falla, se puede volver al procesado o a la captura para intentar arreglar el fallo (Ponce González, 2012).

Las etapas de un sistema de visión por computadora suponen distintos tipos de procesamiento en función del nivel en el que se requiera.

Visión de bajo nivel: Abarca la captación y el preprocesamiento. Ejecuta algoritmos típicamente de filtrado, restauración de la imagen, realce, extracción de contornos y otros.

Visión de nivel intermedio: Abarca la segmentación, descripción y reconocimiento, con algoritmos típicamente de extracción de características, reconocimiento de forma y etiquetado de éstas.

Visión de alto nivel: Abarca la fase de interpretación, frecuentemente estos algoritmos se refieren a la interpretación de los datos generalmente mediante procedimientos típicos de la Inteligencia Artificial para acceso a bases de datos, búsquedas, razonamientos aproximados entre otros (Francisco J. García Fernández, 2009).

De los niveles de procesamiento descritos, el de visión de bajo nivel se caracterizará en esta tesis.

2.3.2 Captura

La captura es el proceso en el que se obtiene información sobre una escena del entorno mediante un dispositivo óptico. Si la imagen es digital, además de la captura, hay que

someterla a una digitalización, en la que transforma la información continua en información con todas sus componentes discretas.

De manera genérica, el proceso de captura se puede realizar mediante dos métodos. ***El primero se basa en el principio de la cámara oscura, mediante dispositivos pasivos;*** y el segundo método se basa en el escaneo de imágenes mediante dispositivos activos. También se puede capturar imágenes para el uso en el sistema de visión por computador mediante la construcción de imágenes sintéticas.

El principio de la cámara oscura se puede usar para obtener imágenes del mundo real y proyectarlas en un plano bidimensional. La cámara oscura se basa en la proyección de la imagen a través de una lente fina situada delante de un orificio, que hace que se obtenga una imagen invertida tanto vertical como horizontalmente de la escena que se está produciendo fuera de la cámara.

Otro método de capturar imágenes es el escaneo. Un elemento activo, como un haz de luz, atraviesa la escena que se está capturando. Por lo tanto, se necesitan al menos un haz de luz, un emisor de luz y un receptor o detector de luz de modo que cuando el haz de luz llegue a la escena después de haber sido emitido, el detector pueda recogerlo y obtener imágenes de la escena después de repetir esta operación.

De estos dos métodos, el modelo de cámara oscura, es el que mejor se adapta a la mayoría de usos, debido a que es una forma muy sencilla y económica de capturar imágenes, a que la velocidad de captura es mucho mayor y a que el funcionamiento es bastante similar al del ojo humano. Es en el proceso de digitalización donde la cámara tiene una desventaja frente al escáner, ya que hasta hace relativamente poco tiempo, era un punto crítico, ya que actuaba como cuello de botella, pero con los desarrollos actuales y el auge de la fotografía digital y de las cámaras integradas en dispositivos de telefonía móvil, esta desventaja se ve disminuida casi al máximo.

La digitalización es otra parte necesaria para capturar una imagen y poder pasar a la siguiente etapa del procesamiento de la imagen. Esta es la transición de un mundo analógico continuo a un mundo digital discreto. También tiene dos pasos, muestreo y cuantificación. El muestreo continuo de señales implica la discretización de variables tanto en el tiempo como en el

espacio de forma general. El parámetro básico del muestreo es la frecuencia de muestreo, es decir el número de veces que se mide el valor analógico cambia de unidad.

En imágenes, el muestreo ascendente convierte una imagen continua en una matriz discreta de píxeles $N \times M$. Un píxel es la unidad más pequeña de un solo color en una imagen digital. El número de muestras por unidad de espacio en el objeto original determina la resolución espacial de la imagen, un concepto definido por la distancia entre dos píxeles consecutivos en el objeto original. Hoy en día, la unidad de resolución espacial más común son los píxeles por pulgada o DPI, que siempre se mide en el objeto original..

La siguiente operación en la digitalización es la cuantización de la señal, que es la discretización de los posibles niveles de los valores de cada píxel. Los niveles de esa cuantización se hacen en potencias de 2 para facilitar el almacenaje en el computador de esas imágenes, ya que el ordenador usa el byte como unidad de memoria directamente direccionable. Los niveles posibles definen la resolución radiométrica y esos niveles pueden ser 2, 4, 16 o 256 habitualmente.

Cuando las imágenes tienen únicamente información sobre el brillo se habla de imágenes en niveles de gris. Se suelen utilizar hasta 256 niveles para representar desde el negro (nivel 0) al blanco (nivel 255).

El proceso de digitalización requiere evaluar las dos resoluciones, la espacial y la radiométrica, que se precisan para representar de manera adecuada una imagen. O lo que es lo mismo, se necesita conocer la frecuencia con la que se muestrean los píxeles y la gama de colores permitida. A través del teorema de Shannon, al que fue convertida la conjetura de muestreo de Nyquist, se establece que la frecuencia mínima de muestreo para recuperar una señal sin errores debe ser al menos el doble de la máxima frecuencia con la que cambian los elementos que se quieran capturar en la señal.

También se tiene que tener en cuenta que dependiendo del uso que se vaya a hacer de la imagen, se puede realizar la elección de parámetros de digitalización de manera menos objetiva. A la hora de usar una imagen para reconocimiento, puede ser más útil tener una gran variedad de niveles de intensidades, pero una resolución espacial pequeña, pero para

publicar un periódico en blanco y negro, con 16 niveles de intensidad, una resolución pequeña no será admisible (Ponce González, 2012).

2.3.3 Pre procesamiento

El procesado de la imagen consta de una serie de transformaciones con el objetivo primordial de facilitar la obtención de las características de la imagen, o simplemente, mejorar la calidad de la imagen.

Dicho proceso va desde simples operaciones aritméticas o geométricas entre píxeles, hasta complejos filtros de contornos como los operadores **Canny** o Sobel. En este acápite se indicarán las principales operaciones que se realizan para procesar una imagen de las cuales no todas se describirán debido a que se utilizarán en el desarrollo de la tesis.

1. Operaciones aritmético-lógicas.
2. Operaciones geométricas.
3. Operaciones sobre el histograma.
4. Filtrado en el dominio de la frecuencia.
5. Filtrado en el dominio del espacio.
6. Operaciones morfológicas.

2.3.3.1 Operaciones sobre el histograma

Las operaciones sobre el histograma son operaciones en las que se cambia el contraste y la luminosidad de la imagen. Primero habrá que hablar de qué es el histograma.

El histograma de una imagen es un diagrama de barras en el que se disponen en horizontal los niveles de cuantización y que cada barra del diagrama tiene una altura proporcional al número de píxeles que hay en cada nivel de cuantización. Los histogramas se suelen dar para imágenes en blanco y negro con 256 niveles de intensidad. Si se trata de una imagen a color, se da un histograma para cada una de las componentes RGB de la imagen. Además, el histograma se suele normalizar entre 0 y 1 para evitar dependencias del número de píxeles o de niveles.

Mediante una función de transferencia del histograma, las operaciones en éstos se visualizan de manera muy eficaz. Estas funciones de transferencia, al final, corresponden a aplicaciones, ya que cada punto del dominio tiene un único valor imagen.

Las operaciones más comunes en el histograma son:

- a. Ajuste de contraste: El contraste se define como la diferencia de intensidad pronunciada. Pues mediante el uso de una función de transferencia del histograma que aclare los niveles oscuros y oscurezca los claros, podremos aumentar el contraste del conjunto. Y si hacemos la operación contraria, reduciremos el contraste.
- b. Ecuilibración del histograma: El ecualizado consiste en obtener un nuevo histograma de la imagen a partir del original, con una distribución uniforme de los niveles de intensidad.

2.3.3.2 Filtrado en el dominio del espacio

Esto se hace directamente sobre la imagen. Por lo general, cuando se utiliza un filtro de convolución, se utiliza una máscara de convolución, que finalmente reduce la operación a los píxeles de la imagen multiplicados por la matriz de convolución que será responsable del filtro.

1. Suavizado (filtro de paso bajo): Se utilizan para eliminar ruido o detalles poco interesantes; estos filtros dependen en gran medida de la máscara utilizada. Se pueden promediar y calcular en píxeles consecutivos con matriz de identidad, media, frecuencia de paso bajo, impar y gaussiana. El filtro de mediana y el filtro bicho raro son filtros no lineales, mientras que el resto son filtros lineales.
2. Atenuación (filtro de paso alto): Mejora los bordes, los detalles y las oscilaciones de alta frecuencia y atenúa las áreas de tonos planos. Esto permite una mejor identificación de los objetos en las imágenes, y la presencia de ruido es común.
3. Mejora de bordes mediante desplazamiento y diferencia: Resta la copia desplazada de la imagen original. El resultado es una mejora de los bordes existentes dependiendo de la máscara de deformación utilizada: horizontal, vertical o diagonal (horizontal/verticalmente).

4. Laplaciano: Este tipo de filtro mejora los bordes en todas las direcciones porque se usa junto con un Laplaciano, mejora los resultados al aumentar el ruido de la imagen.
5. Filtrado de mejora de bordes de degradado direccional: Se utiliza para resaltar y resaltar con mayor precisión los bordes ubicados en una dirección específica. Se refiere a cambios de intensidad entre píxeles adyacentes.
6. Obtención de contornos: Al igual que los filtros anteriores, estos detectores de contornos se basan en diferencias de intensidad de píxel a píxel. Requieren un bajo coste computacional porque trabajan con operadores de gradiente en la intersección, extraen los contornos de la imagen y pueden clasificar las formas en ella. Los más utilizados son los filtros Sobel (horizontales y verticales), los filtros Prewitt, los filtros Roberts y los detectores de contorno Canny (Ponce González, 2012).

2.3.3.3 Filtro Gaussiano

Es una operación donde la imagen se convierte en un filtro gaussiano en lugar del filtro de cuadro, es decir el filtro gaussiano es un filtro de paso bajo que elimina los componentes de alta frecuencia que se producen en la misma. Realiza mediante la convolución de cada punto de la matriz de entrada con un kernel de Gauss y suma todos para producir la matriz de salida. Es la operación o función que se utiliza para aplicar un filtro de desenfoque a una imagen, este filtro es útil para quitar el ruido de alta frecuencia (píxeles cambiando muy rápido) para una imagen.

2.3.3.4 Detector de bordes filtro de Canny.

El detector de bordes de Canny resulta el más indicado para la detección de bordes en imágenes donde existe la presencia de geometrías regulares, ya que mantiene tres criterios vitales para nuestros propósitos (Gonzalez Osorio, 2017):

- Precisión en la localización del contorno, garantizando la mayor proximidad de los bordes detectados a los bordes verdaderos.
- Fiabilidad en la detección de los puntos de contorno, minimizando la probabilidad de detección de falsos bordes causados por el ruido, así como también la pérdida de bordes reales.
- Unicidad en la obtención de un único borde para el contorno, garantizando bordes con una anchura máxima de un píxel.

2.3.4 Segmentación

Es un proceso que divide una imagen en regiones homogéneas con respecto a una o más características como puede ser el brillo o el color, con el fin de facilitar un posterior análisis o reconocimiento. Esto permite que se pueda utilizar tanto para localizar objetos como para encontrar los bordes de los mismos dentro de una imagen.

Los algoritmos de segmentación están basados en las discontinuidades de los niveles de gris, segmentando la imagen desde los cambios grandes de niveles de gris entre píxeles, como se hace en la detección de líneas, detección de bordes, detección de esquinas, de puntos aislados; o están basados en el efecto contrario, en la similitud de niveles de gris, al agrupar píxeles con características similares mediante umbralización⁶, crecimiento de regiones y otros.

Existen numerosos métodos de segmentación. Se expondrán a continuación los métodos más relevantes y más usados en el mundo de la visión por computador de ello se describe solo el método utilizado (Ponce González, 2012):

a. Método del valor umbral

Convierte una imagen de niveles de gris o de color en una imagen binaria, de manera que los objetos de interés tienen una etiqueta distinta al fondo de la imagen. Esta técnica requiere un coste computacional muy bajo y, por lo tanto, es una técnica rápida, pudiendo ser realizada en tiempo real en un computador.

El caso más simple es, el umbral único o fijo, en el que se establece un umbral fijo sobre el histograma, que marca la separación y es el punto clave del método. El umbral es el límite por el que se divide la imagen, asignando cada píxel a uno de los dos segmentos comparando el umbral y el nivel.

Los métodos del valor umbral son métodos de segmentación completos, pues cada píxel pertenece a uno de los dos segmentos y solo a uno de esos segmentos.

Existen varias variantes de este método, como es la de banda, en la que se pone un límite inferior y uno superior; el valor umbral múltiple, que consiste en dar varios umbrales a la imagen dando lugar a regiones diferentes y no a una imagen binaria, la semi valorización de

⁶ Un método básico para diferenciar un objeto del fondo de la imagen es mediante binarización

umbral, consistente en mantener la imagen tal cual está a partir del umbral, pero binarizarla si el valor del píxel es inferior al umbral, o el **valor umbral adaptativo**, en la que se permite el cambio del valor umbral según las características del entorno del punto de estudio (Ponce González, 2012).

2.3.5 Descripción

Es el proceso mediante el cual se obtienen características convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro, por ejemplo, tamaño y forma.

La extracción de características más importantes en el análisis de imagen es: Los puntos, las líneas y los círculos como geometrías básicas en la extracción de características.

2.3.5.1 Extracción de líneas

Existen varias metodologías para la extracción automática de líneas entre una de ellas es:

- Transformada de Hough.

2.3.5.2 Transformada de Hough

Está diseñada para encontrar líneas. Se define una línea como una colección de puntos de borde que son adyacentes y que tienen la misma dirección. Es un algoritmo que tomará una colección de puntos de borde, encontrados mediante un detector de bordes y buscará todas las líneas sobre las cuales estos puntos de borde se encuentran (Gonzalez Osorio, 2017).

La idea básica es convertir los puntos de bordes al espacio de parámetros.

La estrategia para la extracción de líneas mediante Hough es la siguiente:

- Detección de los píxeles de borde de las rectas mediante un filtro de bordes.
- Establecimiento de un espacio de parámetros de dimensiones el espacio de búsqueda y una cuantización suficientemente precisa.
- Se barre la imagen de manera que cada píxel de borde da lugar a una recta: las celdas por las que "pasa" esta recta reciben un "voto".
- En teoría todos los píxeles que pertenecen a una misma recta (en la representación espacial) son rectas (en el dominio de parámetros) que se cortan en una misma celda (en la representación de los parámetros): la recta resultará ser la celda más votada.

3 CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

Para la presente investigación se utilizará el Método de Análisis que permitirá la identificación de cada una de las partes que caracterizan la realidad del objeto de estudio para de esta manera establecer la relación causa-efecto entre los elementos que componen el mismo.

También se utilizará el Método Científico que es el proceso mediante el cual una teoría científica es validada o bien descartada y contiene una serie ordenada de pasos a seguir para la resolución de un problema determinado y cuyas etapas son: observación, planteo de un problema, recopilación de datos, formulación de hipótesis, experimentación y conclusión.

El procedimiento de experimentación estará conformado por: La selección de variables o factores de entrada y salida, la determinación de la metodología de recolección de datos y ensayos experimentales. El análisis y tratamiento de datos, y la posterior validación será realizado con programas computacionales como: Xlstat y Design-Expert v.13.0.

3.1 Variables de investigación.

Las variables de investigación son las siguientes:

Variables de entrada:

Técnicas de Visión Artificial.

Variables de salida:

Ángulo de Convergencia.

3.1.1 Definición conceptual

Técnicas de visión por computador. Es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información numérica o simbólica para que puedan ser tratados por un ordenador.

Iluminación del medio ambiente.

Sirve para garantizar la visibilidad básica en todo el espacio y destacar ciertas características que en este caso son los patrones de huellas de los neumáticos.

Presión de Neumático.

La presión recomendada de los neumáticos varía según el tamaño del vehículo y sus neumáticos medidos en PSI definidos nominalmente por el fabricante.

Iluminación y presión de inflado de neumáticos. Estas variables si bien intervienen en el registro de datos, se considera a la entrada como condicionantes, tanto a la entrada y en el proceso, considerados en umbrales de iluminación y presión de neumáticos nominales del fabricante para el registro de las imágenes.

Ángulo de convergencia o Divergencia en grados deg. 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.

3.1.2 Operacionalización de variables

Tabla 3-1

Operacionalización de la variable de salida.

Cuadro de operacionalización de variables			
Variable dependiente	Indicadores	Unidad	Tipo de variable
Ángulos TOE del eje delantero.	Ángulo de convergencia o Divergencia	Medición en grados deg	Numérica continua

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 3-2*Operacionalización de variable independiente.*

Operacionalización de la variable independiente: Sistema de visión por computadora.				
Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems básicos	Técnicas e instrumentos de recolección de información
Conjunto de elementos y componentes para adquirir imágenes, y medir el ángulo de convergencia en ambas ruedas mediante la utilización de herramientas y algoritmos matemáticos.	Componentes	Cámaras	Resolución de imagen en píxeles	Recolección de información en base a datos estadísticos y medición.
		Iluminación	Umbral de iluminación en lux	
	Características físicas de los neumáticos	Región de interés	Patrón de huellas diseñado según el terreno por parte del fabricante	
		Presión de los neumáticos	Presión de neumáticos en PSI	
	Herramientas y Algoritmos	Filtrado	Contraste Detección: Bordes Líneas de Hough	
		Segmentación		

Fuente: Elaboración propia, modificada de (Maisa & Giovanni, 2019).

Tabla 3-3*Operacionalización de la variable dependiente.*

Operacionalización de la variable dependiente: Ángulo de convergencia.				
Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítems básicos	Técnicas e instrumentos de recolección de información
Obtención del ángulo de convergencia	Verificación de calidad de imagen	Indicadores de calidad	Revisión de errores en la captura de imágenes	Recolección de información en base a la medición del ángulo de convergencia y datos estadísticos
	Parámetros de calidad	Especificaciones	Nitidez, saturación de luz, opacidad por manchas y/o polvo en la lente. cantidad de píxeles en una imagen digital. Alineación de las cámaras con el patrón de huellas de los neumáticos	
	Pruebas	Número de pruebas bajo condiciones controladas.	Cuántas pruebas de control de calidad se hacen a las muestras	
	Recolección de muestras	Frecuencia de recolección de muestras	Cuántas veces se toma una muestra (imagen) del patrón de huellas.	

Fuente: Elaboración propia, modificada de (Maisa & Giovanni, 2019).

3.2 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.

Está orientada a resolver los problemas que se presentan en los procesos de producción, distribución, circulación, y consumo de bienes y servicios de cualquier actividad humana. Se denomina aplicadas; porque en base a investigación básica, pura o fundamental en las ciencias fácticas o 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)

3.3 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.

3.4 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.

3.5 Diseño de investigación.

3.5.1 Equipamiento utilizado.

Para el desarrollo de los experimentos son necesarios del siguiente equipamiento:

- Compresor de aire.
- Un Rúter para una red privada de interconexión entre los celulares y un computador.
- Laptop de procesador Core i7 de 2.8 GHz, RAM de 16 GB, 2 GB 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 descansarán 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.

3.5.2 Instrumentos de medición utilizados para la investigación.

- Manómetro para la verificación de la presión de neumáticos.
- Luxómetro.
- Dos cámaras de celular con las mismas características técnicas.

3.6 Recolección de datos.

Los valores de las variables se registran automáticamente en un archivo Excel:

Tipo de vehículo.

Placa.

Fecha y hora de la captura de imagen de las huellas de las ruedas.

Alineación:

Convergencia.

Grados DEG.

3.7 Descripción del experimento.

Las réplicas del experimento se realizarán de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Encender e inicializar el computador junto a las cámaras de celular que se encuentren conectados a una red privada.
- Acomodar las cámaras de celular que se encuentren alineadas de acuerdo con las barras que soportan el peso de un vehículo.
- Situar las ruedas del eje delantero (neumáticos) frente a las rampas con un nivel láser para que una vez se encuentren las ruedas encima de las rampas se encuentren en el centro de la base.
- Avanzar lentamente, en primera velocidad, en línea recta hacia la rampa.
- Al llegar las ruedas delanteras sobre las rampas a la altura donde se encuentran las cámaras, desembragar, soltar el volante y poner el freno de mano adicionalmente una cuña de seguridad para que el vehículo no se desplace hacia atrás.
- Realizar la captura de imagen tanto de la rueda izquierda y derecha y su posterior registro de la placa del vehículo, fecha y hora en la que se tomó las imágenes.
- Determinar y registrar la convergencia de ambas ruedas en un archivo Excel.

3.8 Tratamiento de datos

De las réplicas de experimentación en la obtención de las medidas de TOE se obtendrá en una tabla de valores con tres registros por cada método de cálculo

3.9 Diseño experimental

3.9.1 Planteamiento del experimento

El lugar de investigación es el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas (IIME).

Figura 3-1

Locación de las pruebas de experimentación.



a) Instalaciones



b) Av. Andrés Bello 22, La Paz

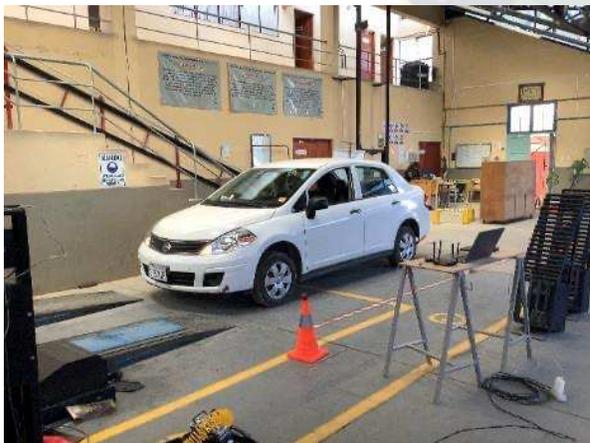
Fuente: imagen extraída de https://mecanica.umsa.edu.bo/?page_id=840#page-content , 2023

3.9.2 Adecuación del lugar

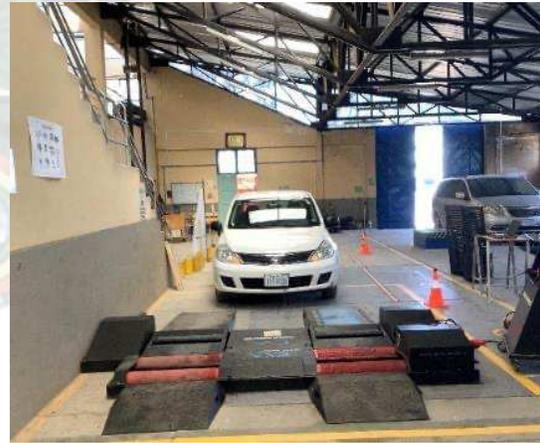
Para la realización del trabajo experimental se dispone de un espacio pavimentado disponible de 10x20 metros. Dentro del instituto IIME en el área automotriz, con el espacio suficiente para el montaje de los equipos, el lugar tiene la suficiente iluminación y se cuenta con un piso nivelado como se muestra en la figura.

Figura 3-2

Adecuación de las instalaciones del IIME para las pruebas.



a) Vista de perspectiva



b) Vista frontal

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.10 Equipamiento e instrumentación

3.10.1 Equipamiento empleado.

Se describen los dispositivos y estructuras metálicas empleadas para la obtención de la imagen del patrón de huella de los neumáticos – rampa con base de policarbonato y acrílico en las primeras pruebas.

Cámaras de celular.

Uno de los principales dispositivos para el desarrollo de las pruebas experimentales en la obtención de las imágenes del patrón de huellas de los neumáticos, ubicándose debajo de las rampas a una altura prudente para evitar distorsiones por mal enfoque de las imágenes.

Figura 3-3
Características de la cámara de celular.



Xioami Mi A3	
Cámara trasera	48MP+8MP+2MP
Dimensiones y peso	153.48x71.85x8.475mm 173.8 g.
Resolución máx. de imagen	8000 x 6000 px
Megapíxeles de imagen	48 MP
Resolución máx. de video	3840 x 6000 px
Megapíxeles de video	8.29 MP
Tipo de sensor	CMOS

Fuente: <https://decaracteristicas.com/xiaomi-mi-a3/>, 2023

Estructura metálica

Como se observa en la **Figura 3-4**, este elemento estructural está formado por dos marcos metálicos que se sueldan posteriormente para formar una estructura resistente.

Figura 3-4

Rampa, cambio de estructura metálica diseñada después de las primeras pruebas.



a) Vista lateral izquierda

b) Vista lateral derecha

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Alojamientos (rampas)

Puesto en posición el vehículo, se necesitan dos rampas, capaces de albergar las cámaras de celular, 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. La separación entre las rampas debe ser acomodada a la distancia entre ejes de un vehículo sedán o vagoneta, las dimensiones de cada rampa considera 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 3-5**.

Figura 3-5

Diseño de la rampa para las primeras pruebas.



a) Base de soporte transparente izquierda 40x33 cm.



b) Base de soporte transparente derecha 40x33 cm

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Las bases de soporte transparente son a la vez soportadas por las estructuras las rampas, se verifica sus medidas finales como se indica en la figura y dentro de estos se realiza la instalación las cámaras de celular.

Para el material de la estructura se ha optado por un acero fácil y seguro para trabajar como es el ASTM A36.

3.10.2 Instrumentos

Los instrumentos para recopilar los datos de los indicadores son los siguientes:

OpenCV: Librería de software libre para aplicaciones de visión artificial, dispone de interfaces de programación para C, C++, Python y JAVA. (Comunidad OPENCV: <http://www.opencv.org>). La comunidad de OpenCV cuenta actualmente con 47000 usuarios y más de 9 millones de descargas lo que le convierte en la plataforma número uno de investigación y desarrollo en el campo de la visión por computadora.

Python: Lenguaje de programación orientado a objetos utilizado en una amplia gama de aplicaciones por su facilidad y optimización de código. (Comunidad Python: <https://www.python.org/>)

3.11 Proceso de prueba de hipótesis y análisis de datos.

Se utilizará el método del análisis de la tabla de ANOVA la cual se puede expresar brevemente de la siguiente manera:

- La técnica de análisis de varianza (ANOVA) también conocida como análisis factorial y desarrollada por Fisher en 1930, constituye la herramienta básica para el estudio del efecto de uno o más factores (cada uno con dos o más niveles) sobre la media de una variable continua.

El test estadístico a emplear cuando se desea comparar las medias de dos o más grupos. Esta técnica puede generalizarse también para estudiar los posibles efectos de los factores sobre la varianza de una variable.

La hipótesis nula de la que parten los diferentes tipos de ANOVA es que la media de la variable estudiada es la misma en los diferentes grupos, en contraposición a la hipótesis alternativa de que al menos dos medias difieren de forma significativa. ANOVA permite comparar múltiples medias, pero lo hace mediante el estudio de las varianzas.



4 CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Trabajo experimental de escritorio y campo

En el **Apéndice A** Ingeniería de desarrollo del sistema, se describe al desarrollo del aplicativo de software ejecutable basado 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.

4.2 Trabajo experimental de campo

4.2.1 Protocolo de pruebas

Para un correcto desarrollo en la obtención de la imagen digital de la huella neumático –rampa es de suma importancia definir la metodología de ensayo y a partir de la adecuación correcta de las partes del sistema óptico se puede llegar a definir conjuntamente el procedimiento que se debe seguir y bajo qué condiciones se lleva a cabo el desarrollo experimental.

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 4-1

Especificaciones técnicas del vehículo.

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 tipo neumático, el cual se adapta a los neumáticos recomendados por el fabricante para el vehículo de ensayo del tipo ciudad o asfalto. Se ha seleccionado por su representatividad un juego de neumáticos con un solo de banda de rodadura más utilizado por vehículos livianos en Bolivia. Existen un sinnúmero de marcas y tipos de neumáticos aptos para el vehículo de ensayo, sin embargo, la tesis actual no busca crear una base de datos de imágenes de la huella de todos los neumáticos existentes sino a partir de imágenes de los neumáticos analizados crear un programa capaz de realizar el estudio respectivo de una determinada banda de rodadura.

Tabla 4-2
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, 2023.

Etapas de ensayo

La metodología para la obtención y el análisis del ángulo de convergencia del patrón de huella neumático-base de rampa consta de cuatro etapas como se observa en la **Figura 4-1**.

Figura 4-1
Etapas del ensayo experimental.



Fuente: Elaboración propia, modificado de (Arauz Estrella & Llumiyinga Chingay, 2017).

Condiciones iniciales.

Presión inflada de los neumáticos del eje delantero.

Alineado en paralelo o ajuste de las rampas con los neumáticos del vehículo.

Uso del nivel laser para poder alinear el centro de la rampa con el neumático del vehículo.

Poner las ruedas al centro de la base de las rampas.

Encendido de los equipos como el computador, rúter, celulares.

Colocación correcta de las cámaras de celular por debajo de las rampas.

Abrir la aplicación de celular “IP Webcam” para transmitir la imagen de los patrones de huellas hacia el computador.

Alineación del centro de las cámaras con la estructura de la rampa.

Captura de imagen y pre procesamiento

Se registra los valores de medida del índice de luminosidad con un luxómetro.

Se ajusta el brillo sobre imagen que captan las cámaras mediante las planchas adicionales a la rampa.

Uso de los programas computacionales para la captura de imagen de las huellas de patrón de los neumáticos.

Guardar la imagen en formato png.

Segmentación

De la imagen capturada solo se toma el sector de la imagen con el patrón de huella visible.

Se abre otro programa computacional para cambiar la imagen en blanco y negro.

Se usan filtros.

Se usan se detectores de contorno para identificar las líneas patrón en base a las huellas de los neumáticos.

Se dibujan las líneas de Hough de acuerdo a las líneas patrón identificadas en los anteriores pasos.

Resultados

Una vez dibujadas las líneas de Hough, se determinan los ángulos de convergencia.

Se los guarda en un archivo Excel.

Se registran los parámetros de la placa del vehículo, la fecha y hora, y los ángulos de convergencia de las ruedas izquierda y derecha.

Ajustes de las condiciones de ensayo

Los ajustes necesarios para las condiciones de ensayo se realizan con el siguiente procedimiento:

1. Colocar las cámaras dentro de las rampas.
2. Conexión de los celulares a la intranet red wifi “Mikrotik” para transmitir el video hacia el computador como se muestra en la figura.
3. Conexión de los celulares a la computadora: se comprueba el funcionamiento del mismo mediante ping a las direcciones locales de IP como la 192.168.0.X. donde X podría ser 8,9,10 asignados por el rúter.
4. Posicionar las cámaras de manera que se encuentre paralelo a los lados de las rampas y en la mitad del mismo: al ingresar el vehículo el neumático quede centrado con las cámaras.
5. Colocar las planchas metálicas apoyadas en los neumáticos para evitar de que se tenga imágenes saturadas de luz natural, ver **Figura 4-2**.
6. Cambio la base transparente de policarbonato y acrílico, ver **Figura 3-5**, por barras de metal, ver **Figura 4-3**, debido a la refracción de material transparente.

Figura 4-2

Adición de plancha metálica para evitar saturación de luz en los lentes de las cámaras.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 4-3

Adecuación de la base de policarbonato al de metal.



a) Rampa derecha con barras de metal y con planchas laterales



b) Rampa Izquierda con barras de metal y con planchas laterales

Fuente: Elaboración propia, 2023.

7. Medir la presión de inflado del neumático ver **Figura 4-4**.

Figura 4-4

Verificación del inflado de los neumáticos.



a) Presión de aire en el neumático der. 33 psi



b) Presión de aire en el neumático izq. 33 psi

Fuente: Elaboración propia, 2023.

8. El vehículo avanza lentamente hasta colocarse encima de las rampas, cada neumático respectivamente asegurándose que la dirección sea paralela al eje longitudinal del neumático (ángulo de dirección 0°): la cámara debe ubicarse en la mitad de la base donde reposan los neumáticos como se puede observar en la **Figura 4-5**.

Figura 4-5
Posicionamiento del vehículo.



- a) Vehículo en posición para captura de imagen.
 b) Imágenes de las ruedas del tren delantero para la captura correspondiente.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

10. Medir la intensidad de luz del entorno, ver **Figura 4-6**.

Figura 4-6
Medición del luxómetro.



- a) Intensidad de luz entorno rampa izquierda (28 lux)
 b) Intensidad de luz entorno rampa derecha (22 lux)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Dimensión	Componente	Luxómetro
Indicador	Iluminación	20 a 400 lux

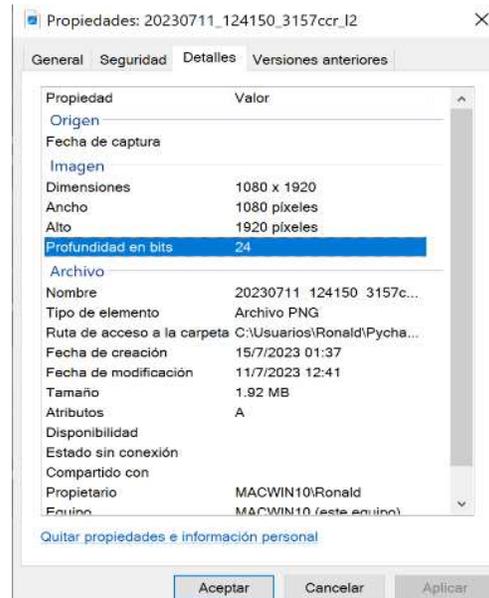
Imagen

1. Se captura las imágenes respectivas para cada neumático.

Figura 4-7
Captura de imagen lado izquierdo.



a) Captura imagen izquierda.



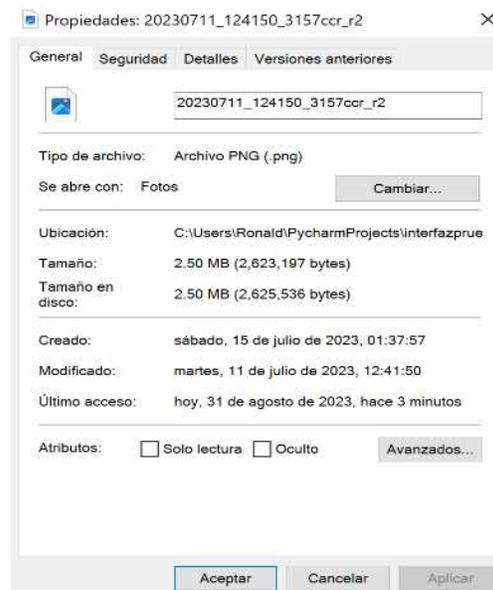
b) Propiedades de la imagen.

Captura de imagen de neumático izquierdo con las siguientes características: las dimensiones de 1080x1920 píxeles, formato de archivo de png

Figura 4-8
Captura de imagen lado derecho.



a) Captura imagen izquierda.



b) Propiedades de la imagen.

Fuente: Elaboración propia, 2023

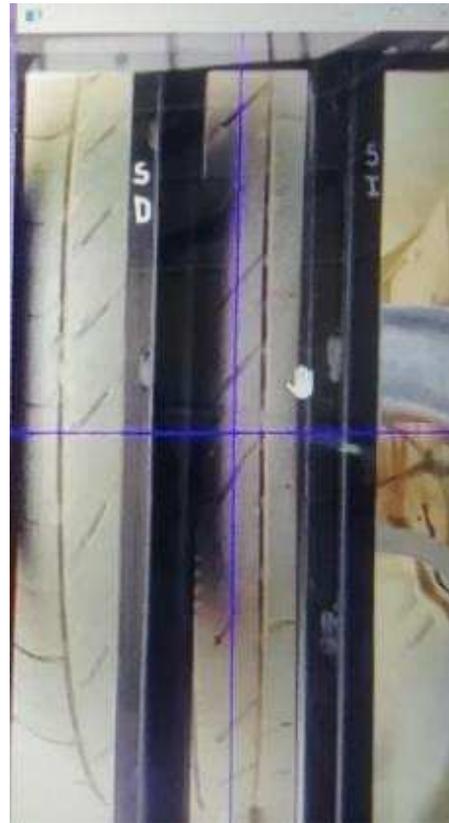
Captura de imagen de neumático derecho con las siguientes características: las dimensiones de 1080x1920 píxeles, formato de archivo de png.

Figura 4-9

Dibujo de una cruz para ajustar la posición de las cámaras.



a) Dibujo de una cruz de color rojo en la imagen izquierda.



b) Dibujo de una cruz de color azul en la imagen derecha.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Las líneas rojas y azules están definidas por software para determinar el centro de las cámaras y de acuerdo a esta señalización se ajustan dichas líneas con las del patrón de huellas de los neumáticos

Dimensiones	Componente	Cámara de celular
Indicador:	Resolución de imagen	1080x1920 píxeles

Categoría	Verificación de calidad	
------------------	-------------------------	--

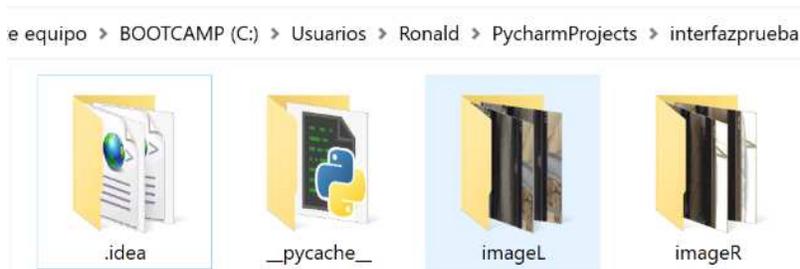
Indicador	Formato	PNG
	Profundidad de bits	24 bits

Categoría	Parámetro de calidad	
Indicador	Especificaciones	Ajuste de las líneas definidas por software con respecto a las líneas de patrón de huellas de neumático de manera paralela sobre posicionada o con leve desplazamiento

2. Las imágenes son almacenadas en dos carpetas específicas.

Figura 4-10

Dirección de las carpetas donde se guardan los archivos (imágenes)



Fuente: Elaboración propia, 2023.

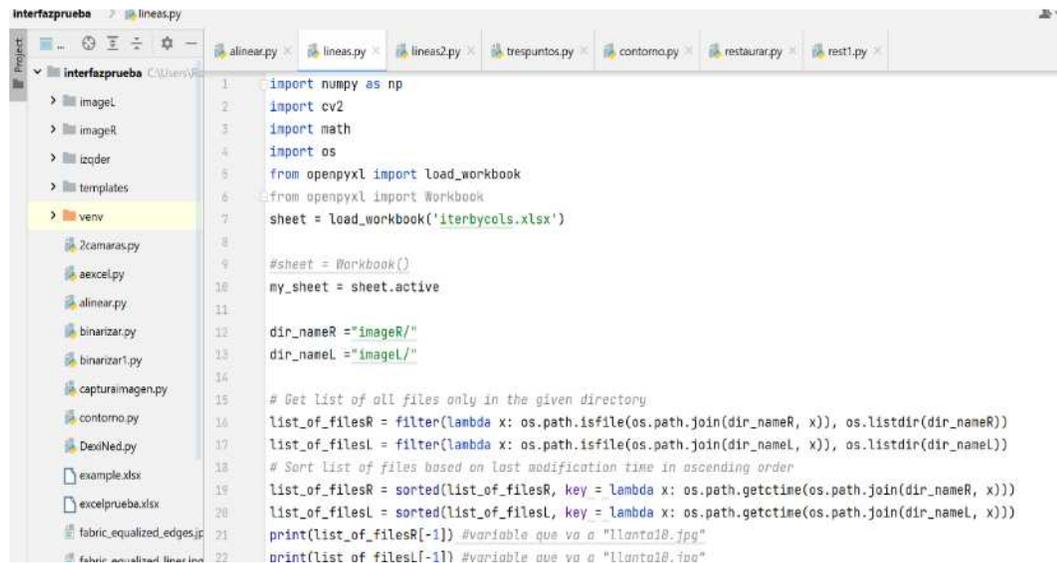
En las carpetas imageL e imageR se almacenan las imágenes de los neumáticos izquierdo y derecho, dichas imágenes se guardan con nombres característicos de `yyyymmdd_hhmmss_idplaca_xn.png`, donde x es referente a “l” izquierda y “r” derecha, n la cantidad de muestra o imagen registrada

Tratamiento

- a. Se ejecuta el programa computacional Pycharm que es un entorno de desarrollo integrado - IDE, donde se ejecuta el script “líneas.py” de Python dedicado a la obtención del ángulo de convergencia.

Figura 4-11

Descripción del script para la identificación del ángulo de convergencia.



```
1 import numpy as np
2 import cv2
3 import math
4 import os
5 from openpyxl import load_workbook
6 from openpyxl import Workbook
7 sheet = load_workbook('iterbycols.xlsx')
8
9 #sheet = Workbook()
10 my_sheet = sheet.active
11
12 dir_nameR = "imageR/"
13 dir_nameL = "imageL/"
14
15 # Get List of all files only in the given directory
16 list_of_filesR = filter(lambda x: os.path.isfile(os.path.join(dir_nameR, x)), os.listdir(dir_nameR))
17 list_of_filesL = filter(lambda x: os.path.isfile(os.path.join(dir_nameL, x)), os.listdir(dir_nameL))
18 # Sort List of files based on last modification time in ascending order
19 list_of_filesR = sorted(list_of_filesR, key = lambda x: os.path.getctime(os.path.join(dir_nameR, x)))
20 list_of_filesL = sorted(list_of_filesL, key = lambda x: os.path.getctime(os.path.join(dir_nameL, x)))
21 print(list_of_filesR[-1]) #variable que va a "llanta18.jpg"
22 print(list_of_filesL[-1]) #variable que va a "llanta18.png"
```

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Recorte del área de interés

De las imágenes capturadas se realizan recortes de las originales 1080x1920 px 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.

Dimensión	Característica física del neumático	
Indicador	Región de interés	740x180 px.

Figura 4-12

Recorte de la imagen original hacia el área de interés a evaluar.



a) Imagen recortada del neumático donde se quita las barras de soporte de la rampa izquierda



b) Imagen recortada del neumático donde se quita las barras de soporte de la rampa derecha

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Categoría	Parámetro de calidad		
Indicador	Especificaciones	Nitidez	50.77 ppp
		Saturación de luz	ninguna
		Opacidad	ninguna
		Imagen	740x180 px

Dentro de las etapas del script las imágenes recortadas se cambian a blanco y negro

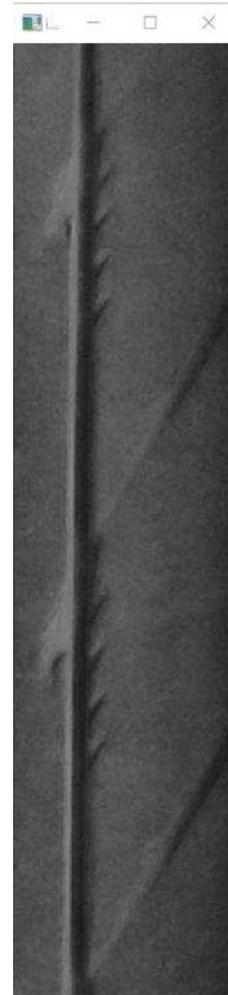
```
# convert to grayscale  
gray1 = cv2.cvtColor(img1, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

Figura 4-13

Conversión de la imagen de color a escala de grises.



a) Cambio de imagen neumático izquierdo de RGB a blanco y negro



b) Cambio de imagen neumático derecho de RGB a blanco y negro

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se aplica el filtro Gaussiano

```
# Aplicación del Filtro Gaussiano 1
kernel_size1 = 5 # con 10 se suaviza más la imagen
blur1 = cv2.GaussianBlur(gray1, (kernel_size1, kernel_size1),
cv2.BORDER_DEFAULT)
```

Figura 4-14

Resultado del filtro Gaussiano de la imagen en gris.



a) Aplicación del filtro Gaussiano de imagen neumático izquierdo de blanco y negro para suavizar la imagen.



b) Aplicación del filtro Gaussiano de imagen neumático derecho de blanco y negro para suavizar la imagen.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Umbralización

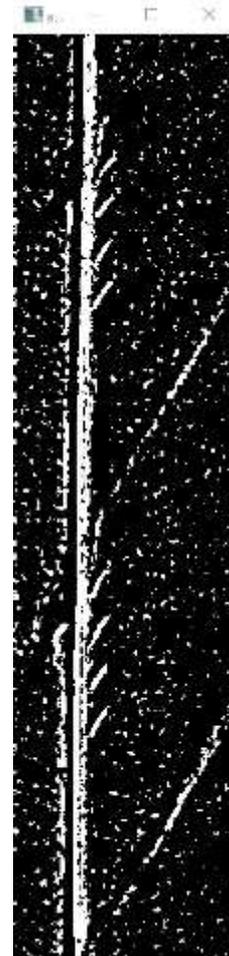
```
# threshold
# Umbral adaptativo usando 11 píxeles vecinos más cercanos
#thresh = cv2.threshold(gray,200,255,cv2.THRESH_BINARY) [1]
thresh1 = cv2.adaptiveThreshold(blur1, 255,
cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C, cv2.THRESH_BINARY_INV, 11, 2) #11,2
```

Figura 4-15

Resultado de la umbralización de la imagen en suavizada.



a) Aplicación del umbral adaptativo de la imagen difuminada del neumático izquierdo



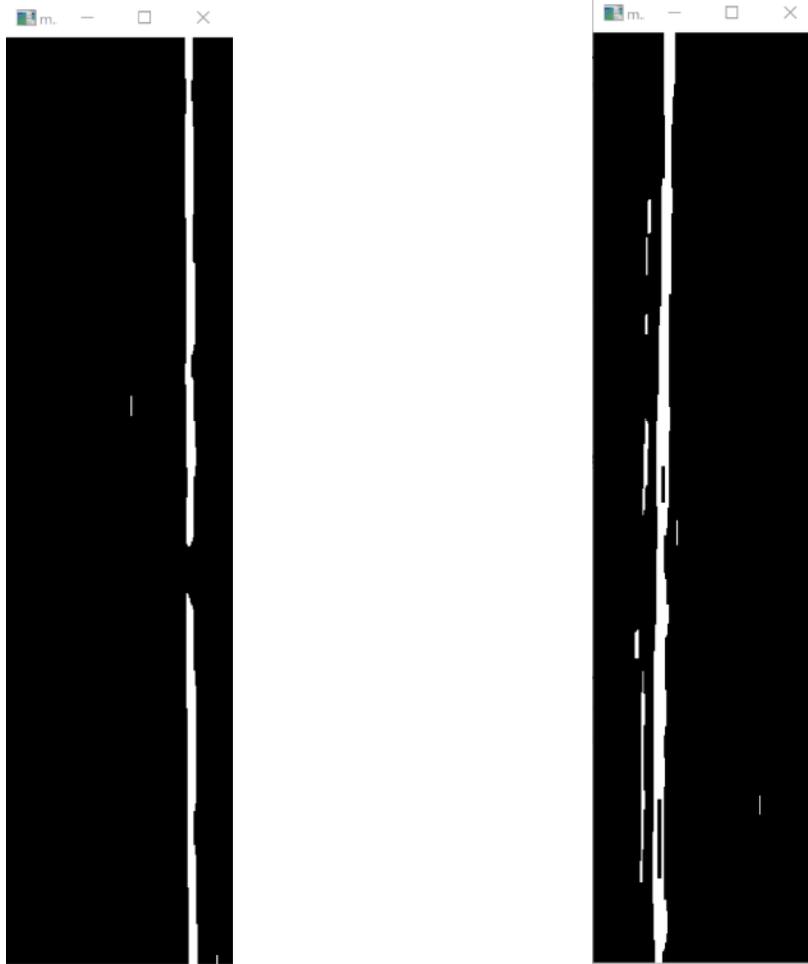
b) Aplicación del umbral adaptativo de la imagen difuminada del neumático derecho

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Aplicación del cierre de las áreas blancas detectadas

```
# apply close to connect the white areas  
#La apertura es sólo otro nombre de la erosión seguida de dilatación .  
Es útil para eliminar el ruido  
kernel1 = np.ones((15,1), np.uint8)  
morph1 = cv2.morphologyEx(thresh1, cv2.MORPH_OPEN, kernel1)
```

Figura 4-16
Cierre de áreas blancas detectadas.



a) Aplicación del cierre de áreas blancas de la imagen umbralizada del neumático izquierdo

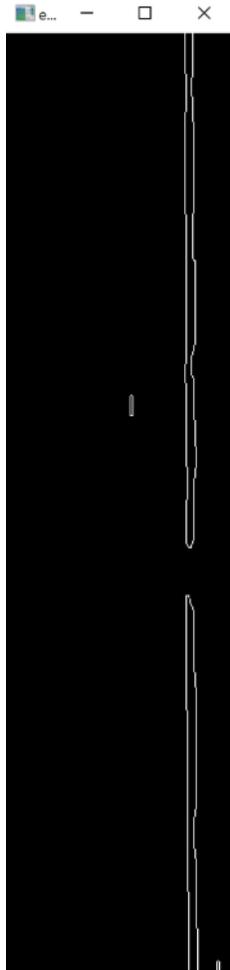
b) Aplicación del cierre de áreas blancas de la imagen umbralizada del neumático derecho

Fuente: Elaboración propia, 2023.

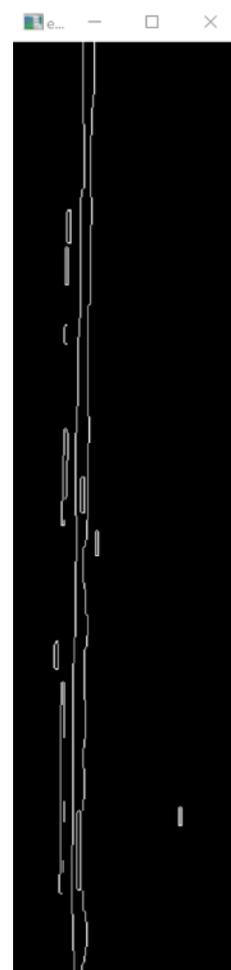
Detección de contornos Canny

```
# apply canny edge detection - se aplica el metodo de Canny para la
deteccion de contornos
# (50,100) primer y segundo umbral para el procedimiento de histéresis.
# 3 Tamaño de apertura para el operador Sobel
edges1 = cv2.Canny(morph1, 50, 150, apertureSize=3)
```

Figura 4-17
Detección de contornos de Canny.



a) Aplicación del método de Canny para la detección de contornos de la imagen umbralizada y área detectada en blanco del neumático izquierdo



b) Aplicación del método de Canny para la detección de contornos de la imagen umbralizada y área detectada en blanco del neumático derecho

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se usan detectores de contorno para identificar las líneas patrón en base a las huellas de los neumáticos.

Aplicación de la transformada de Hough.

Se dibujan las líneas de Hough de acuerdo a las líneas patrón identificadas en los anteriores pasos.

```

# get hough lines
#https://medium.com/mllearning-ai/road-lane-detection-using-opencv-
hough-lines-transform-explained-a6c8cfc03f68
#https://medium.com/@elvenkim1/how-to-use-houghlines-with-robot-
b8ac9d1554b3
result1 = img1.copy()
lines1 = cv2.HoughLines(edges1, 1, math.pi/180.0, 255, np.array([]),
0, 0) #1:95,2:255 3:255,
a, b, c = lines1.shape #a:alto, b:ancho
ancho = img1.shape[1]
alto = img1.shape[0]
for i in range(a):
    rho = lines1[i][0][0]
    theta = lines1[i][0][1]
    a = math.cos(theta)
    b = math.sin(theta)
    x0, y0 = a*rho, b*rho
    pt1 = ( int(x0+1000*(-b)), int(y0+1000*(a)) )
    [pt1x,pt1y]=pt1
    pt2 = ( int(x0-1000*(-b)), int(y0-1000*(a)) )
    [pt2x, pt2y] = pt2
    cv2.line(result1, pt1, pt2, (0, 0, 255), 1, cv2.LINE_AA) #BGR
lineasRojas

try:
    m = (pt2y-pt1y)/(pt2x-pt1x)
except ZeroDivisionError:
    m = 0
angulo = math.atan(m) #LLANTA IZQUIERDA
#angulogrados = math.degrees(angulo)
#print(angulogrados)
angulogrados1 = (angulo * 180 / np.pi)
print(angulogrados1)
if angulogrados1 > 0:
    print('angulo de divergencia IZQ')
    anguloizquierd1 = 90-angulogrados1
    sentidoizq1 = "divergencia"
    print(anguloizquierd1)
elif angulogrados1 < 0:
    print('angulo de convergencia IZQ')
    anguloizquierd1 = 90 + angulogrados1
    sentidoizq1 = "convergencia"
    print(anguloizquierd1)
elif angulogrados1 == 0:
    anguloizquierd1 = 0
    sentidoizq1 = "convergencia 0"

print("el ultimo angulo izq : ", anguloizquierd1)
print("el ultimo sentido : ", sentidoizq1)

```

Figura 4-18
Aplicación de la transformada de Hough.



a) Obtención del ángulo de convergencia del neumático izquierdo, mediante la aplicación de las líneas de Hough a la imagen con la detección de contornos de Canny.



b) Obtención del ángulo de convergencia del neumático derecho, mediante la aplicación de las líneas de Hough a la imagen con la detección de contornos de Canny.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Dimensiones	Herramientas y algoritmos	Pycharm, Librerías OpenCv
Indicador:	Filtro Gaussiano	kernel_size1 = 5, con 10 se suaviza más la imagen, el rango ideal se encuentra entre 3 a 5
	Umbral adaptativo	Usando 11 píxeles vecinos más cercanos se tiene mejores resultados, también se puede cambiar por 21 píxeles cercanos, sin embargo no se tienen buenos resultados

	Canny para la detección de contornos	50,100 primer y segundo umbral para el procedimiento de histéresis. 3, Tamaño de apertura para el operador Sobel
	Líneas de Hough	El tercer parámetro es el valor umbral. Este valor determina cuántos votos necesita una línea para ser considerada válida. Las líneas con votos por debajo de este umbral no se incluirán en los resultados, este parámetro puede variar desde 12 hasta 250

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Resultado de los procesos de segmentación

Una vez dibujadas las líneas de Hough, se determinan los valores de los ángulos de convergencia y se los guarda en un archivo Excel.

- a. Se registran los parámetros de: La fecha y hora; la placa del vehículo; y los ángulos de convergencia de las ruedas izquierda y derecha

Figura 4-19

Captura de imagen de los resultados obtenidos.

	A	B	C	D	E	F	G
1	fecha	placa	angulo izq	div-conv	angulo der	div-conv	
161	2023-07-11 12:30:21	3157ccr	0	convergencia 0	1.00307524	convergencia	
162	2023-07-11 12:30:21	3157ccr	0	convergencia 0	1.00307524	convergencia	
163	2023-07-11 12:30:21	3157ccr	0	convergencia 0	3.01128087	divergencia	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.3 Análisis de datos

De las pruebas de experimentación en campo se obtuvieron los siguientes valores.

Tabla 4-3

Resultados de las pruebas como consecuencia del 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.

4.4 Análisis de resultados

En base a los 16 registros de procesamiento digital, a cada imagen capturada y procesada 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 4-4

Registro de tres muestras del método propuesto C.V.

Fecha	Hora	Conver. izq. deg.	Conver. der. deg.
11/7/2023	12:29:03	0	0
11/7/2023	12:30:21	0	-1.0030752
11/7/2023	12:41:50	0	-1.0035772

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 4-5

Registro de tres muestras del método comercial C.V.A.

Fecha	Hora	m/km	m/m	Rueda izq. ángulo deg.
11/7/2023	11:42	-2.048	-0.002048	-0.1173416
11/7/2023	11:44	-1.952	-0.001952	-0.1118412
11/7/2023	11:47	-1.952	-0.001952	-0.1118412

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 4-6

Registro de tres muestras del método comercial Launch.

Fecha	Hora	Conver. Izq.	Conver. der.
11/7/2023	16:18	-0.03	-1.38
11/7/2023	16:27	0	-1.38
11/7/2023	16:32	-0.01	-1.38

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 4-7*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.

4.5 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.

4.5.1 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.

4.5.2 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.

4.5.2.1 Datos de escritorio.

Con la distribución del T Student, con 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.

Tabla 4-8*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales.*

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
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: Generada por la herramienta de Xlstat, a partir de datos propios, 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 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: 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 4-8** se tiene el valor “p” de:

$$\text{Valor } p = 0.99475868$$

$$\text{Valor } \alpha = 0.05$$

$$p > \alpha$$

Por lo que se acepta la hipótesis nula.

4.5.2.2 Datos de campo

Del planteamiento de hipótesis, se realiza la validación con dos muestras o más de valores obtenidos de diferentes métodos comerciales respecto al propuesto mediante ANOVA.

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 4-7** se obtiene los siguientes resultados de ANOVA:

Tabla 4-9

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: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

Diferencias significativas.

Por último, se debe responder a la pregunta inicial: ¿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 4-10

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: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

De la tabla 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.

Tabla 4-11

ANOVA para comparación de: C.V. con Launch, rueda izquierda.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo A Rueda izquierda	1	2.67E-04	2.667E-04	2.29	0.2051
Error	4	4.67E-04	1.167E-04		No significativo
Total corregido	5	7.33E-04			

Fuente: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

El "valor F del modelo" de 2.29 implica que el modelo no es significativo en relación con el ruido. Existe un 20.51 % de posibilidades de que se produzca un "valor F del modelo" tan grande debido al ruido.

Se determina que si los valores de "Prob > F" fueran inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativamente distintos, sin embargo, en este caso no hay términos de modelo significativamente distintos.

Std. Dev.	0.011	R-Squared	0.3636
Mean	-6.667E-003	Adj R-Squared	0.2045
C.V.	%162.02	Pred R-Squared	-0.4318
PRESS	1.050E-003	Adeq Precision	2.138

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio of 2.14 indicates an inadequate signal and we should not use this model to navigate the design space.

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	-6.667E-003		1	4.410E-003	-0.019	5.576E-003
A-Rueda Izquierda	-6.667E-003		1	4.410E-003	-	

Treatment Means (Adjusted, If Necessary)

	Estimated Mean	Standard Error
1-C.V.	-1.735E-018	6.236E-003
2-Launch	-0.013	6.236E-003

Mean Treatment	Difference	df	Standard Error	t for H0	Coeff=0	Prob > t
1 vs 2	0.013	1	8.819E-003	1.51		0.2051

Values of "Prob > |t|" less than 0.0500 indicate the difference in the two treatment means is significant.

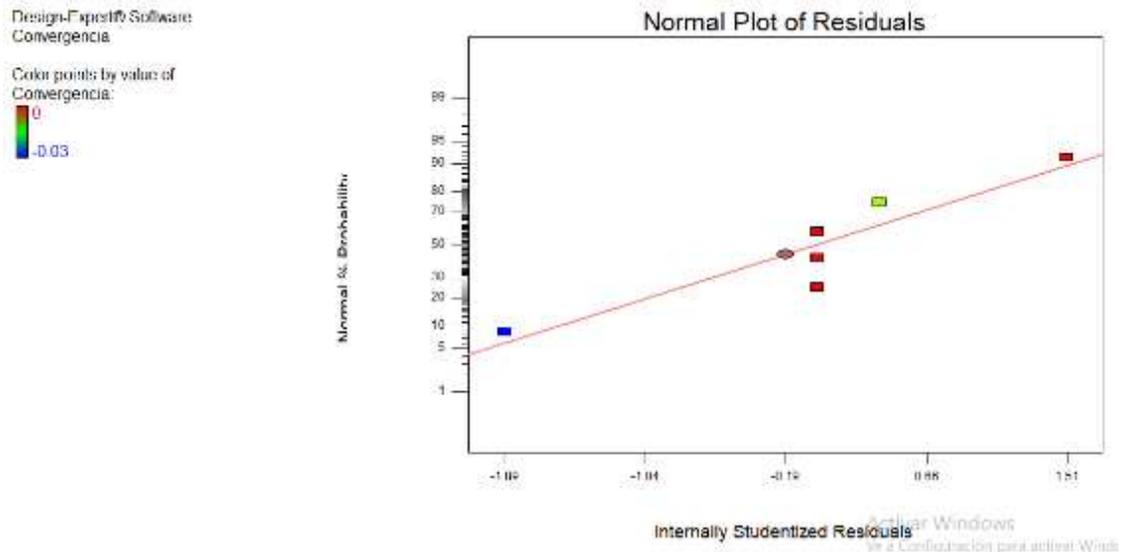
Values of "Prob > |t|" greater than 0.1000 indicate the difference in the two treatment means is not significant.

Donde se evalúa y concluye que las diferencias no son significativas para las muestras de la rueda izquierda.

Adicionalmente se realiza un análisis gráfico con:

1. Gráfico de probabilidad normal de los residuos Studentizados para verificar la normalidad de los residuos.
2. Residuos Studentizados versus valores predichos para verificar el error constante.
3. Residuos Studentizados externamente para buscar valores atípicos, es decir, valores influyentes.

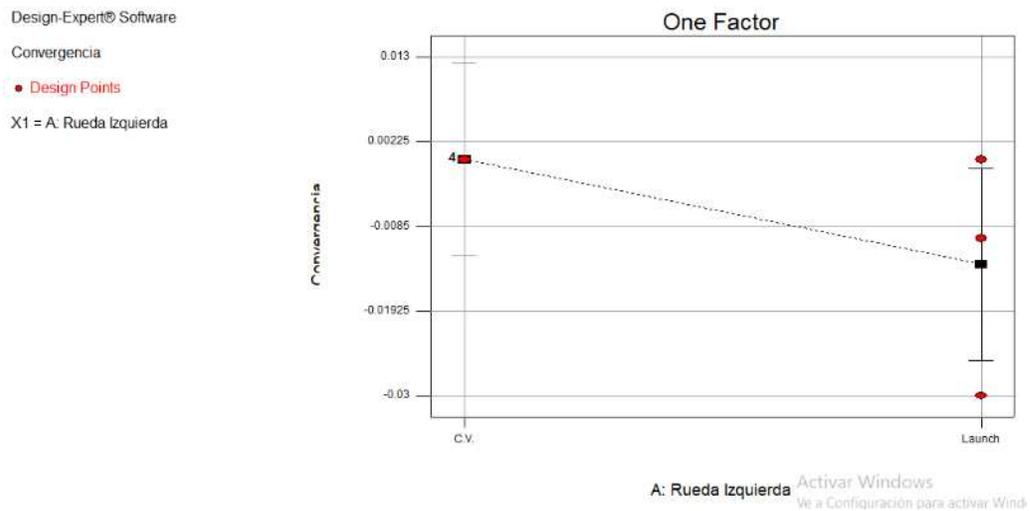
Figura 4-20
Distribución normal de los residuos, rueda izquierda.



Fuente: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

De la **Figura 4-20** de la rueda izquierda, los puntos se ajustan razonablemente a una línea recta por lo que no se denota de que se encuentren desviados del supuesto de normalidad.

Figura 4-21
Modelo de comparación entre ambos métodos de la rueda izquierda.



Fuente: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

Std. Dev.	0.41		R-Squared	0.5338
Mean-1.02		Adj R-Squared	0.4172	
C.V. %39.89		Pred R-Squared	-0.0490	
PRESS1.50		Adeq Precision	3.026	

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio of 3.03 indicates an inadequate signal and we should not use this model to navigate the design space.

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	-1.02		1	0.17	-1.49	-0.56
A-Rueda derecha	-0.36		1	0.17	-	
0.82	0.11		1.00			

Treatment Means (Adjusted, If Necessary)

	Estimated Mean	Standard Error
1-C.V.	-0.67	0.24
2-Launch	-1.38	0.24

Treatment	Mean	Difference	df	Standard Error	t for H0	Prob > t
1 vs 2	0.71		1	0.33	2.14	0.0991

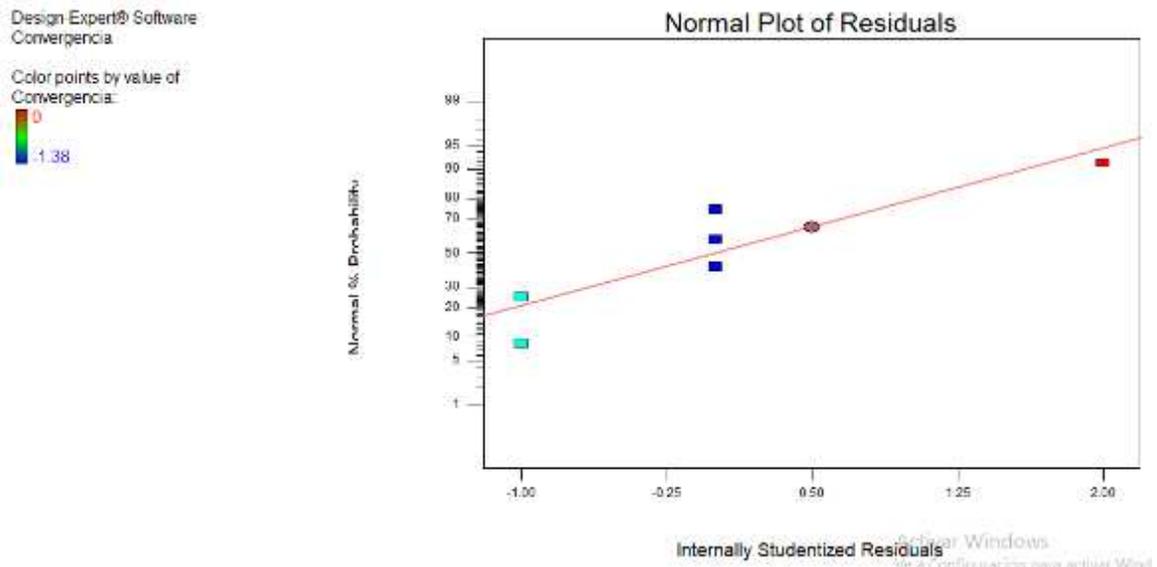
Values of "Prob > |t|" less than 0.0500 indicate the difference in the two treatment means is significant.

Values of "Prob > |t|" greater than 0.1000 indicate the difference in the two treatment means is not significant.

De la misma manera del análisis de la rueda izquierda, en esta, se evalúa y concluye que las diferencias no son significativas para las muestras de la rueda derecha.

Adicionalmente se realiza un análisis gráfico de la rueda derecha.

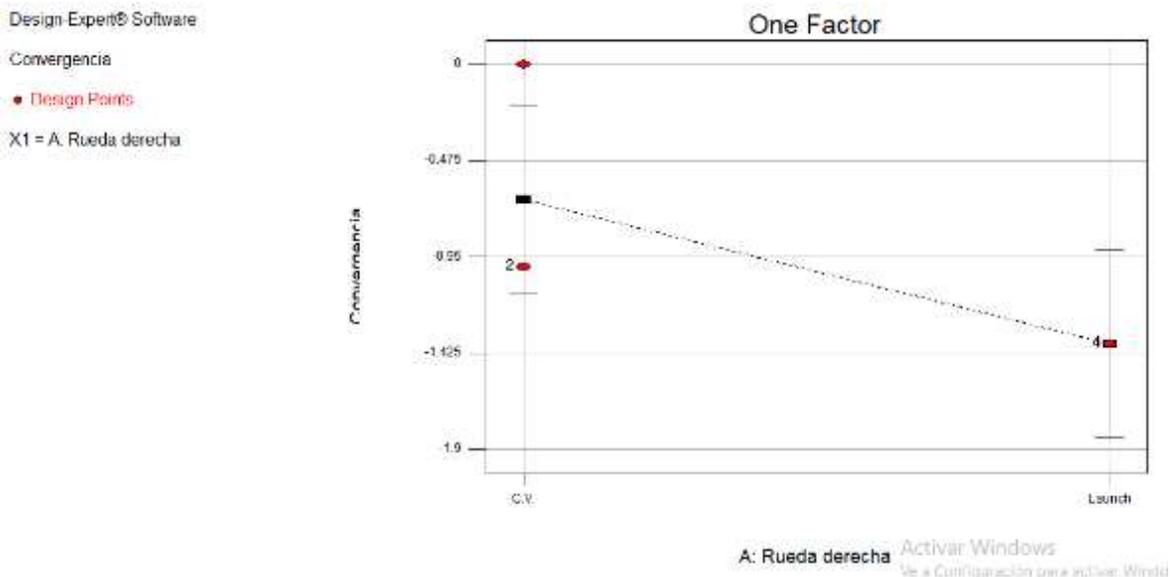
Figura 4-22
Distribución normal de los residuos de la rueda derecha.



Fuente: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

De la **Figura 4-22** de similares características que en la rueda izquierda, los puntos se ajustan razonablemente a una línea recta por lo que no se denota de que se encuentren desviados del supuesto de normalidad.

Figura 4-23
Modelo de comparación entre ambos métodos rueda derecha.



Fuente: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

Tabla 4-12
ANOVA para comparación de: C.V. con Launch, rueda derecha.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo A	1	0.76	0.76	4.58	0.0991
Rueda derecha					No significativo
Error	4	0.67	0.17		
Total corregido	5	1.43			

Fuente: Generada por la herramienta de Design Expert v13, a partir de datos propios, 2023.

De la misma manera en el análisis de la rueda derecha, se determina que si los valores de "Prob > F" fueran inferiores a 0.0500 indican que los términos del modelo son significativamente distintos, sin embargo, en este caso no hay términos de modelo significativamente distintos.

4.6 Discusión de resultados

En los análisis del T-Student y de ANOVA en ambos casos se obtienen valores promedio o media similares a los valores de referencia, por lo que en ambos análisis se acepta la hipótesis nula.

5 CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 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 descritas en la sección 3.10.1 y los cambios realizados en la sección 4.2.1 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 en la sección 2.3.1 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, descritas en la sección 4.2.

Se evaluó el programa computacional desarrollado, conformado por los módulos de captura de imagen, y procesamiento y cálculo del ángulo de convergencia descritos en el Capítulo 3 y el Apéndice .

Se validó los resultados obtenidos en las pruebas experimentales en la sección 4.5.2.2 mediante el método de análisis ANOVA con tres grupos muestrales de éstas, el grupo referencial fue el de Launch y las pruebas a comparar con el propuesto en la tesis.

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.

5.2 Recomendaciones

A partir de los resultados alcanzados en la presente tesis, se señalan las siguientes recomendaciones:

Mejorar la interfaz del programa computacional adicionando ventanas emergentes con mensajes de alerta en caso de que el neumático no cumpla con las condiciones admisibles para obtener el ángulo de convergencia.

Ampliar los métodos e instrumentos para obtener el ángulo de convergencia a partir del patrón de huellas de neumáticos de diferentes marcas y validar de esta manera el funcionamiento del programa a nivel comercial.

Finalmente, por todas las características funcionales del sistema desarrollado, éste puede ser aprovechado por el área automotriz del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas - IIME.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS/WEBGRAFÍA

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.
- Chatur, S. (2015). Computer based wireless automobile wheel alignment system using accelerometer. *The International of Journal of Engineering and Science*, 4, 62-69.
- Francisco J. García Fernández. (2009). *RECONOCIMIENTO DE OBJETOS EN UNA COCINA CON UNA WEBCAM* [Proyecto de fin de carrera]. Universidad Carlos III de Madrid.
- 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 Técnica Nissan Versa Sedan [Especificaciones técnicas de vehículos]. *Nissan Versa Sedan Ficha Técnica*.
<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.*
- Korhonen, D. (2020). *Wheel alignment method feasibility study.*
- Launch X631. (2023, noviembre 15). *Manual de Usuario Launch X631*.
<https://usermanual.wiki/Launch-Tech/X631WAPR/html>
- López Barros, J. M. (2011). *Estudio teórico de la alineación de un vehículo por visión artificial* [B.S. thesis].
- Maisa, V., & Giovanni, W. (2019). *Análisis de objetos translúcidos usando técnicas de visión por computador.*

- Nava Amador, J. A. (2004). *Aplicación de RUP en el Desarrollo de Proyectos de Sistemas Electrónicos*. Noviembre.
- 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.
- Reza N Jazar. (2008). *vehicle dynamics: Theory and application*. springer science.
- Senjalia, J., Pandya, P., & Kapadia, H. (2013). Measurement of wheel alignment using Camera Calibration and Laser Triangulation. *2013 Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE)*, 1-5.
<https://doi.org/10.1109/NUiCONE.2013.6780177>
- Wang, D., & Tu, Y. (2007). *An approach to measuring vehicle four-wheel alignment parameters based on computer vision*. The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments.
<https://doi.org/10.1109/ICEMI.2007.4351065>
- Young, J.-S., Hsu, H.-Y., & Chuang, C.-Y. (2017). Camber angle inspection for vehicle wheel alignments. *sensors*, 17(2), 285.

APÉNDICES y ANEXOS

Apéndice A Ingeniería de desarrollo del sistema

Análisis de requerimientos

Introducción

La etapa preliminar al diseño del Sistema; describe el alcance de qué debe hacer y cómo debe ser el sistema a través de la Especificación de Requisitos Software (ERS), la cual está estructurada basándose en las directrices dadas por el estándar ANSI/IEEE 830, 1998, Modelos de Casos de Uso, y entre otras consideraciones bajo la metodología RUP.

Propósito

Desarrollar un Sistema que debe ser capaz de brindar información de los valores de alineación del tren delantero de las ruedas izquierda y derecha pudiéndose registrar: La placa, los valores obtenidos de alineación, la fecha y hora.

Alcance.

El sistema a desarrollar deberá ser capaz de calcular obtener el ángulo de convergencia mediante algoritmos de visión por computador por medio de los patrones de huellas.

- Sistema de medición de visión óptica SMVO contendrá una interfaz gráfica sencilla en la que podrán observar en video los patrones de huellas de las ruedas para la captura de imágenes.
- SMVO permitirá al usuario realizar registros de las mediciones.

Definiciones, acrónimos y abreviaturas

Nombre	Descripción
SMVO	Sistema de medición de visión óptica
ERS	Especificación de Requisitos Software
RF	Requerimiento Funcional
RNF	Requerimiento No Funcional

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Referencias.

Título del documento	Referencia	Observación
Estándar IEEE 830	https://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieec830.pdf http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/Notas_Analisis_Requerimiento.pdf	Criterios necesarios para el desarrollo del software
SAE J670 ISO 8855	Existen dos sistemas de coordenadas comunes la primera por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y se describe en el documento de la SAE J670 y la segunda está definida por	A lo largo de esta tesis se utilizará los criterios del sistema de coordenadas de neumáticos ISO

	<p>la Organización Internacional de Normalización (ISO) en ISO 8855.</p> <p>Ambos sistemas consisten en coordenadas cartesianas tridimensionales (3D) con el origen situado en el centro de la zona de contacto neumático-plano carretero. La intersección del plano de la llanta y el plano de la carretera define el eje X_t para ambos sistemas.</p>	<p>para situar la referencia o posición de las cámaras de los celulares.</p>
--	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Visión o apreciación global

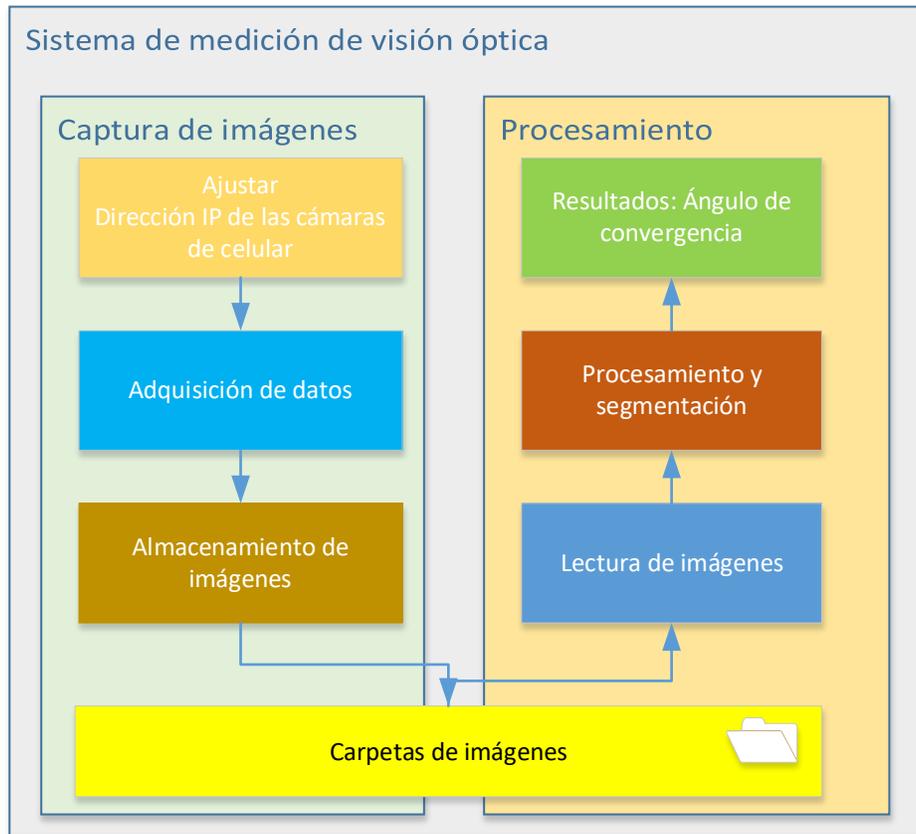
Esta etapa consta de tres secciones:

- La primera sección realiza una introducción al mismo y se proporciona una visión general de la especificación de recursos del sistema.
- La segunda sección realiza una descripción general del sistema, con el fin de conocer las principales funciones que éste debe realizar, los datos asociados y los factores, restricciones, supuestos y dependencias que afectan al desarrollo, sin entrar en detalles.
- La última sección define detalladamente los requisitos que debe tener el sistema.

Descripción general.

Figura 6-1

Esquema general de módulos de software organizado en bloques lógicos.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

El Sistema de Medición de Visión Óptica de aquí en adelante será mencionado solo como “Sistema” y estará integrado por dos módulos, un módulo de captura de imágenes y el de procesamiento total de la información del primer módulo.

Perspectiva del producto

El sistema SMVO será un producto diseñado para trabajar en entornos de escritorio en el lenguaje de Python, lo que permitirá su utilización de forma rápida y eficaz en varios sistemas operativos.

Interfaces del Sistema: el Sistema debe contener una Interfaz Gráfica que permita hacer una visualización simple de los patrones de huellas de las ruedas y posterior captura de imagen.

Interfaces con el usuario: Existirá una interfaz principal del sistema la cual solo permitirá abrir una funcionalidad a la vez, como, por ejemplo, capturar la imagen que se ejecutará con

un script y el procesamiento completo de dichas imágenes, para obtener el ángulo de convergencia del tren delantero, con otro script.

Funcionalidad del producto

El Sistema propuesto describe debe ser capaz de realizar las siguientes funciones:

- a. **Captura de imagen:** El Sistema debe ser capaz de obtener imágenes de las huellas de ruedas delanteras izquierda y derecha de un vehículo, guardadas en carpetas con información como (placa, fecha y hora), con establecimiento de tamaño, profundidad y formato de imagen.
- b. **Procesamiento de imágenes:** Debe permitir mediante las etapas necesarias de visión por computador obtener el ángulo de alineación de ambas ruedas de las imágenes adquiridas:
 - i. **Acondicionamiento:** Las imágenes registradas obtenidas, deben ser identificadas (placa, fecha y hora), convertidas a blanco y negro, uso de filtros Gaussianos, filtros de umbrales adaptativos, y detección de contornos con Canny.
 - ii. **Cálculos:** Debe permitirse aplicar la técnica “La transformada de Hough” que permite detectar curvas en una imagen. Es una técnica muy robusta frente al ruido y a la existencia de huecos en la frontera del objeto y realizar operaciones aritméticas y geométricas obtenidas a partir de las etapas anteriores y la transformada de Hough para obtener el ángulo de convergencia.
- c. **Almacenamiento:** Se tendrán las siguientes facilidades de almacenamiento Histórico:
 - i. **Historia:** Para almacenar las imágenes capturadas en dos carpetas.
 - ii. **Registro de valores obtenidos:** Se guardarán en un archivo Excel los valores obtenidos del ángulo de convergencia.

Características de los usuarios.

Tabla 6-1

Características del usuario técnico automotriz en adquisición de datos.

Tipo de usuario	Técnico en adquisición de datos
Formación	Ingeniero o técnico especializado automotriz
Actividades	Estos son los usuarios están encargados de realizar la captura de imágenes y procesamiento para obtener el ángulo de convergencia.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-2

Características del usuario técnico Auxiliar.

Tipo de usuario	Auxiliar
Formación	Técnico especializado automotriz
Actividades	Este usuario está encargado de manejar el vehículo para posicionarlo por encima de las rampas.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-3
Características del usuario sistema.

Tipo de usuario	Sistema
Función	Encargado de los resultados obtenidos del ángulo de convergencia
Actividades	Realiza el procesamiento y los cálculos necesarios para

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Restricciones.

Metodología de desarrollo de software: RUP.

Lenguajes de programación: Python.

Implementación del sistema: El sistema deberá tener un diseño e implementación sencilla, independiente de la plataforma (Sistema Operativo).

Suposiciones y dependencias

El equipo en el cual funcionará la aplicación deberá contar con el software de ofimática Excel donde se guardarán y visualizarán los valores obtenidos del ángulo de convergencia.

Requisitos específicos

Esta sección de ERS debe contener todos los requisitos del software a un nivel de detalle suficiente para diseñar y satisfacer los requisitos del sistema.

Requisitos comunes de las interfaces

Interfaz de usuario

Los usuarios deberán tener conocimiento previo de la ejecución de scripts de Python para la ejecución del sistema.

Interfaz de hardware

El sistema deberá contar con un computador con las siguientes características:

- Memoria mínima RAM: 4 GB.
- Memoria recomendada RAM: 8 GB.
- Procesador mínimo: QuadCore 2.4 GHz o similar.
- Procesador recomendado: Core i7 2.6 GHz o similar.
- Memoria en Disco Duro mínimo: 200 MB de espacio libre para implantación de sistema.
- Memoria en Disco Duro recomendado: 4 GB de espacio libre para implantación de sistema.

Celulares con cámaras: Provistos del sistema operativo de Android 9 o superior.

Router: RB941-2ND de Mikrotik, es un router para entornos pequeños con el que se puede crear una red doméstica con wifi en banda 2.4GHz, cuenta con 4 puertos fast ethernet y con sistema operativo RouterOS, se puede realizar configuraciones avanzadas como: puntos de acceso o puentes de otros routers, entre otros.

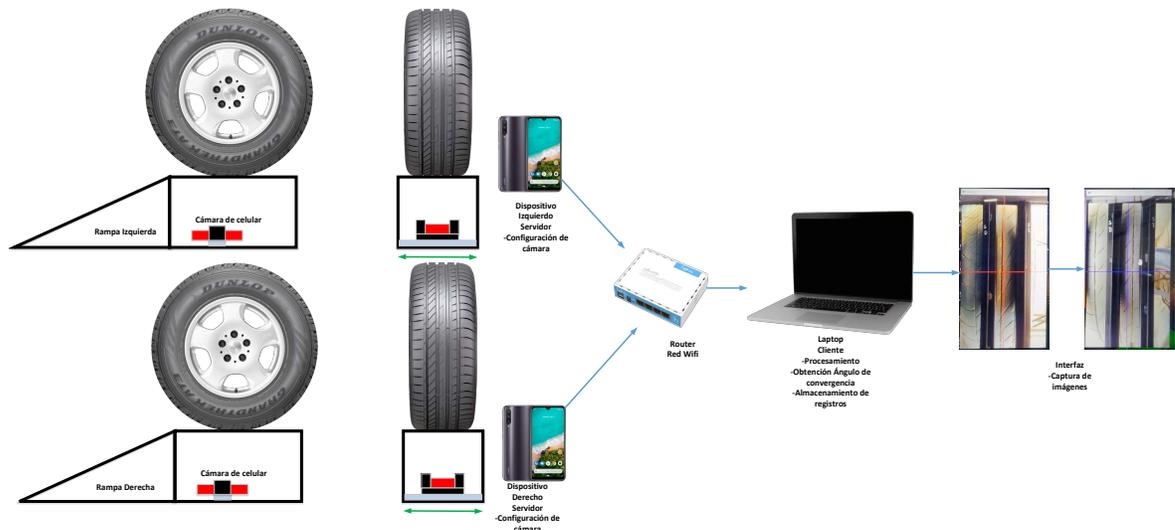
- Rampas: Dos rampas para el posicionamiento de las ruedas delanteras de un vehículo.

Interfaz de software

- 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 será compatible con las plataformas de: Windows 10 o Mac.
- El lenguaje de programación para el sistema será: 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.
- IP Webcam: aplicación de streaming⁷ de video para la captura de imagen desde el computador.

Figura 6-2

Esquema general de hardware y comunicación del sistema.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Interfaz de comunicación

⁷ 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

Para la comunicación entre los dispositivos Android y computador, la aplicación instalada en los celulares “IP Webcam” utiliza el protocolo de aplicación http, la comunicación será por vía red WIFI.

Requerimientos específicos

Requerimientos funcionales

Describen la funcionalidad del sistema que el desarrollador debe construir dentro del producto para que el usuario pueda cumplir con sus tareas.

Módulo de captura de imagen

Tabla 6-4

Requerimiento funcional del módulo de captura de imagen.

Identificador de requerimiento	RF_1
Nombre	Adquirir y almacenar
Clasificación	Almacenamiento a carpetas
Propósito	Capturar las imágenes y guardarlas
Descripción	Este requerimiento tiene como fin adquirir y almacenar las imágenes tomadas de las ruedas delanteras de un vehículo y guardarlas en dos carpetas con los nombres de imageR e imageL.
Consideraciones	El almacenamiento de dichas imágenes será después de ejecutar la tecla “s” en las respectivas carpetas

Nota: Requerimiento funcional – RF.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Módulo de procesamiento

Tabla 6-5

Requerimiento funcional del Módulo de procesamiento.

Identificador de requerimiento	RF_2
Nombre	Obtener valores del ángulo de convergencia
Clasificación	Operación
Propósito	Leer las imágenes guardadas, procesar dichas imágenes con algoritmos para su filtrado, segmentación y posterior cálculo del ángulo de alineación
Descripción	Se realizan todas las etapas de visión por computador para obtener el ángulo de convergencia
Consideraciones	Mediante el segundo script será ejecutado el programa.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Requerimientos no funcionales

Estos requerimientos describen las cualidad o propiedades de, la aplicación o producto como restricciones de ambiente y desarrollo, interfaz, disponibilidad y portabilidad

Interfaz del sistema

Tabla 6-6*Requerimiento no funcional de interfaz del sistema.*

Identificador de requerimiento	RNF_1
Nombre	Interfaz del sistema
Clasificación	SMVO
Descripción	Se dispondrá de una interfaz de usuario que permitirá el fácil manejo de la aplicación
Consideraciones	No Aplica (N/A)

Nota: Requerimiento no funcional – RNF.**Fuente:** Elaboración propia, 2023.

Portabilidad

Tabla 6-7*Requerimiento no funcional de Portabilidad.*

Identificador de requerimiento	RNF_2
Nombre	Portabilidad
Clasificación	SMVO
Descripción	El sistema permitirá la ejecución de la aplicación en el sistema operativo de Windows 10 o superior, con la capacidad de poder migrar a Mac por el lenguaje de Python
Consideraciones	No aplica (N/A)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Disponibilidad

Requerimiento no funcional de Disponibilidad

Identificador de requerimiento	RNF_3
Nombre	Disponibilidad
Clasificación	SMVO
Descripción	El sistema estará disponible mientras sea ejecutado por el usuario capacitado para su manejo mediante scripts de Python.
Consideraciones	No aplica (N/A)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Análisis y diseño

En esta sección se describe el procedimiento realizado para estructurar la arquitectura general funcional que organizan los diferentes niveles de abstracción, presentadas en partes lógicas como Módulos.

Se realiza con el fin de tener claridad en diseño del sistema mediante los diagramas de casos que representan la forma en como un Actor opera con el sistema, además de la forma, tipo y

orden en cómo los elementos interactúan (operaciones o casos de uso) y los diagramas de actividades que describen la manera en la que los usuarios usan el sistema.

Descripción de los componentes del sistema

En la **Figura 6-1** *Esquema general de módulos de software organizado en bloques lógicos*, se muestra los componentes principales del sistema los cuales son:

- Módulo de captura de imagen.
- Módulo de procesamiento.

Módulo de captura de imagen.

Una de las tareas es, la interacción con la estructura de nombre con la que se debe guardar las imágenes con:

- Placa del vehículo, introducida por el usuario.
- Fecha y hora, establecido por el sistema.
- Carpeta a la que se guardará la imagen, donde previamente se crean las carpetas.

Módulo de captura de procesamiento.

Tras el procesamiento de las imágenes, la estructura de los parámetros con que se guardarán en el archivo de Excel tendrá lo siguiente:

- Placa del vehículo, leído desde el nombre del archivo de imagen por el sistema.
- Fecha y hora, leído desde el nombre del archivo de imagen por el sistema.
- Valor del ángulo de convergencia, calculado por el sistema y registrado.

Propósito

Esta etapa también tiene como objetivo mostrar el modelo de casos de uso de la aplicación en cada uno de sus módulos que componen el sistema.

Descripción y uso

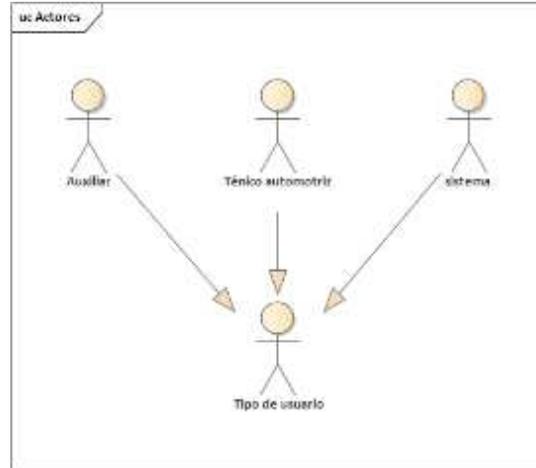
Los modelos de Caso de uso surgen a partir de los requerimientos funcionales identificando Casos de uso y Actores.

Actores

Los actores del Sistema serán tres tipos de Usuarios. En la **Figura 6-3** se clasifican cada uno de estos actores:

Figura 6-3

Descripción de los tipos de actores del sistema.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Dentro del tipo de Usuarios están los que interactúan con el Sistema en áreas de responsabilidad compatibles con alcance del Sistema: Encargados de obtener el ángulo de convergencia.

Usuarios encargados del manejo del vehículo.

Usuarios encargados de entregar los resultados, en este caso sería el sistema.

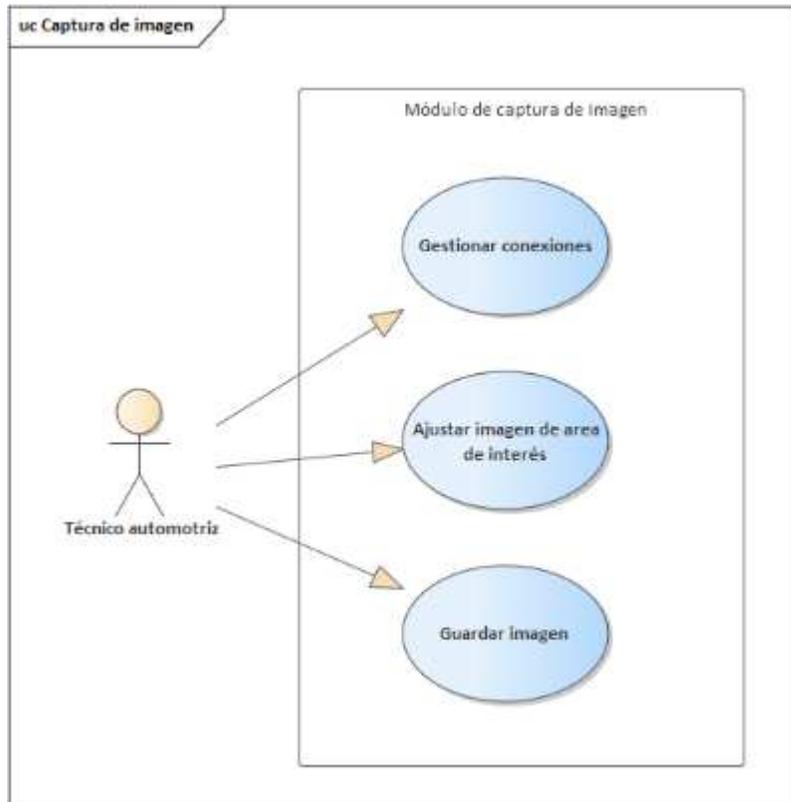
Casos de uso

Los Casos de Uso describen la secuencia de acciones que ejecuta el sistema, de resultado observable y de valor para un actor. Durante el proceso de análisis se identificaron los siguientes casos de uso:

Captura de imagen

Figura 6-4

Descripción del módulo de captura de imagen.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-8

Caso de Uso: Gestionar conexiones.

ID	CU1	
Nombre	Gestionar conexiones entre los dispositivos celular y el computador	
Actores	Técnico automotriz y sistema	
Propósito	Establecer la conexión entre los celulares modo Servidor (modo cámara), y éstos al computador	
Referencia	RF_1	
Precondiciones	Para la conexión se debe cumplir que: Ambos celulares deben estar conectados a la misma red WIFI. Los dos celulares deben tener la aplicación IP Webcam abiertas en modo Cámara.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	Usuario enciende enrutador pre configurado, celulares y computador arrancando el script de Python
	2	Abrir app de Android IP Webcam
	3	Ingresar a preferencias de video e imagen, configurar o verificar salida de video o imagen a una resolución de 1920x1080
	4	Iniciar aplicativo con función cámara servidor con las configuraciones establecidas

	5	Aplicativo genera video y la dirección IP 192.168.0.x:8080
Postcondiciones	Conexión entre celulares y el computador establecido.	
Excepciones	Paso	Acción
	1	Ninguna

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-9

Caso de Uso: Deslizar cámaras para capturar la imagen.

ID	CU2	
Nombre	Deslizar cámaras para capturar la imagen del patrón de huellas	
Actores	Técnico automotriz y auxiliar	
Propósito	Deslizar la imagen obtenida por la cámara del Smartphone, Buscar una región de interés en que correspondiente al objeto a analizar (huella), y su figura principal contenida en ese objeto.	
Referencia	RF_1	
Precondiciones	Ambos celulares deben estar conectados a la misma red WIFI.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Usuario auxiliar verifica la presión nominal de los neumáticos del vehículo
	2	Usuario automotriz ajusta rampas a la par de las ruedas delanteras y usa nivel laser para guiar el vehículo
	3	Usuario auxiliar avanza lentamente hacia las rampas, se verifica si está bien posicionado, si no lo esta se retrocede y vuelve a acomodarse encima de la rampa
	4	El usuario técnico automotriz posiciona las cámaras del celular dentro de las rampas
	5	Se verifica los lentes limpios de las cámaras de celular
	6	Se ajusta la intensidad de luz con planchas metálicas en el rango de 20 a 600 lux
	7	Se desliza las cámaras de izquierda o derecha para obtener la mejor imagen de las ruedas
Postcondiciones	Los Smartphone muestran en pantalla la señal de video del proceso de seleccionar la imagen llevado a cabo. La pantalla del dispositivo mostrará la imagen desde las siguientes perspectivas: Imagen BGR contenida en la región de interés (huella).	
Excepciones	Paso	Acción
	1	Ninguna

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-10

Caso de Uso: Guardar Imagen.

ID	CU3	
Nombre	Guardar imagen	
Actores	Técnico automotriz	

Propósito	Guardar imagen contenida en una región de interés en carpetas del computador, correspondiente a una figura, guardar sus datos descriptores de la figura como la placa, fecha y hora.	
Referencia	RF_1	
Precondiciones	Los Smartphone deben estar habilitados y conectados. La cámara del Smartphone (cámara) debe seguir activada en el caso de guardar una nueva imagen. Para un correcto registro de una figura u objeto deseado, el umbral de intensidad de luz debe encontrarse entre los 20 y 700 lux.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Verificación de las direcciones ip de los celulares
	2	Captura de video desde los celulares
	3	Dibujar líneas en forma de cruz en ambos videos para ajustar el área a capturar en imagen
	4	El usuario introduce la tecla “s” para solicitar el ingreso de datos al sistema
	5	El sistema solicita el ingreso de placa del vehículo
	6	El usuario ingresa la placa y presiona la tecla “Enter”
	7	El sistema genera la fecha y hora en la que se registra la imagen
8	Se concatena la fecha, hora, placa y número de imagen y establecer la imagen en formato png y guardar la imagen en carpetas separadas	
Postcondiciones	Imagen capturada de la región de interés con su figura principal identificada guardada en la memoria del computador, más sus datos descriptores como placa. Fecha y hora.	
Excepciones	Ninguna	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Procesamiento

Tabla 6-11

Caso de Uso: Lectura de imagen.

ID	CU4	
Nombre	leer imagen	
Actores	Técnico automotriz	
Propósito	Leer imágenes en las carpetas “imageL” y “imageR” almacenados en el computador.	
Referencia	RF_2	
Precondiciones	Debe existir imágenes-figuras almacenadas en las carpetas “imageL” e “imageR” del computador. Las imágenes deben tener los mismos parámetros guardados como: Placa, fecha y hora.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	Usuario técnico automotriz Ejecutar script de Python
	2	Sistema arranca script
	3	Importar las librerías de Numpy, cv2, math, os y openpyxl

	4	Cargar archivo Excel, donde se guardarán los valores obtenidos, se lee las direcciones de carpetas, donde se almacenaron las imágenes y se carga dichas imágenes para el procesamiento
	5	Leer cadena de letras de nombres de archivos de imagen como fecha, hora y placa
Postcondiciones	Se ha encontrado el nombre de la figura más sus datos descriptores como placa. Fecha y hora.	
Excepciones	Ninguna.	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-12

Caso de Uso: Procesamiento.

ID	CU5	
Nombre	Analizar imagen-figura	
Actores	Técnico automotriz	
Propósito	Analizar la imagen obtenida por la cámara del Smartphone (aplica a imágenes de las dos cámaras), aplicación de filtros, algoritmos de umbrales de color de región de interés en que correspondiente al objeto a analizar , la aplicación de detectores de contorno y la aplicación de las líneas de Hough.	
Referencia	RF_2	
Precondiciones	Debe existir imágenes-figuras almacenadas en las carpetas “imageL” e “imageR” del computador.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	Recortar imagen con un área de recorte de 740x180 px para ambas imágenes capturas de las ruedas izquierda y derecha
	2	Convertir imagen a escala de grises
	3	Aplicar Filtro Gaussiano
	4	Aplicar umbral adaptativo Gaussiano
	5	Cerrar áreas blancas detectadas
	6	Detectar contornos de patrón de huellas por el método de Canny
	7	Aplicar la transformada de líneas de Hough mediante la detección de puntos y líneas
	8	Dibujar líneas en función a los puntos encontrados y su pendiente
9	Obtener el ángulo mediante una función trigonométrica de arcotangente	
Postcondiciones	El Computador muestra en pantalla las figuras de los procesos y/o etapas de procesamiento para obtener el ángulo de convergencia. La pantalla del computador mostrará la imagen desde las siguientes perspectivas: <ul style="list-style-type: none"> • Imagen original con la región de interés demarcada. • Imagen BGR contenida en la región de interés. • Imagen general en blanco y negro. • Imagen de la detección de contornos de Canny y las líneas de Hough que permiten visualizar el ángulo de convergencia. 	
Excepciones	Ninguna.	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

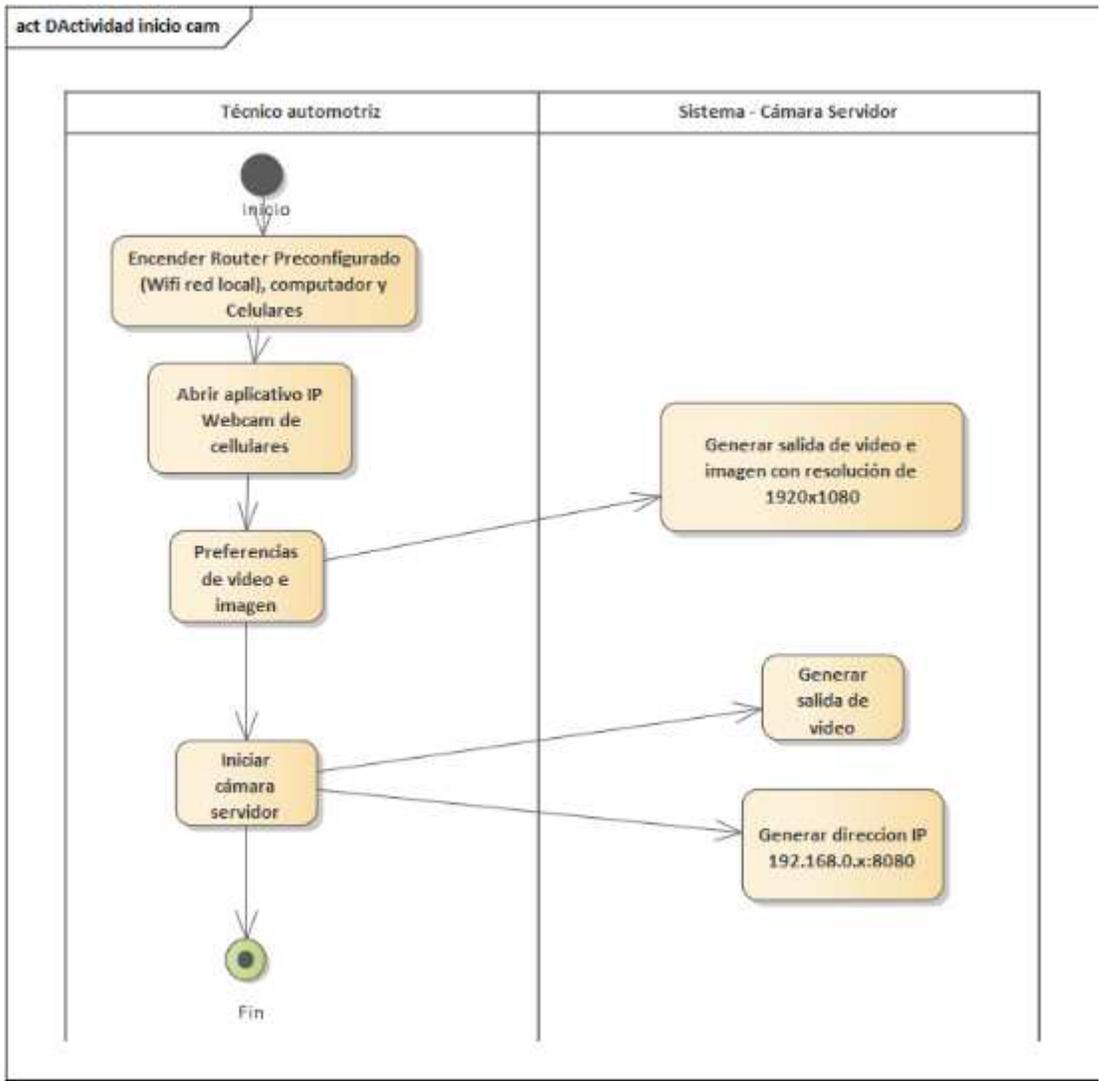
Tabla 6-13*Caso de Uso: Guardar valores obtenidos.*

ID	CU6	
Nombre	Guardar valores obtenidos del ángulo de convergencia	
Actores	Técnico automotriz	
Propósito	Guardar los valores obtenidos en un archivo Excel	
Referencia	RF_2	
Precondiciones	Debe existir procesamiento de imagen previo por el computador.	
Secuencia normal	Paso	Acción
	1	Concatenar valores obtenidos como fecha, hora, placa y ángulo de convergencia en variables
	2	Guardar variables en el archivo de Excel
Postcondiciones	La pantalla del computador guardará los registros obtenidos de las siguientes perspectivas en el archivo Excel: <ul style="list-style-type: none"> • Placa de vehículo. • Fecha. • Hora • Ángulo de convergencia. 	
Excepciones	Ninguna	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

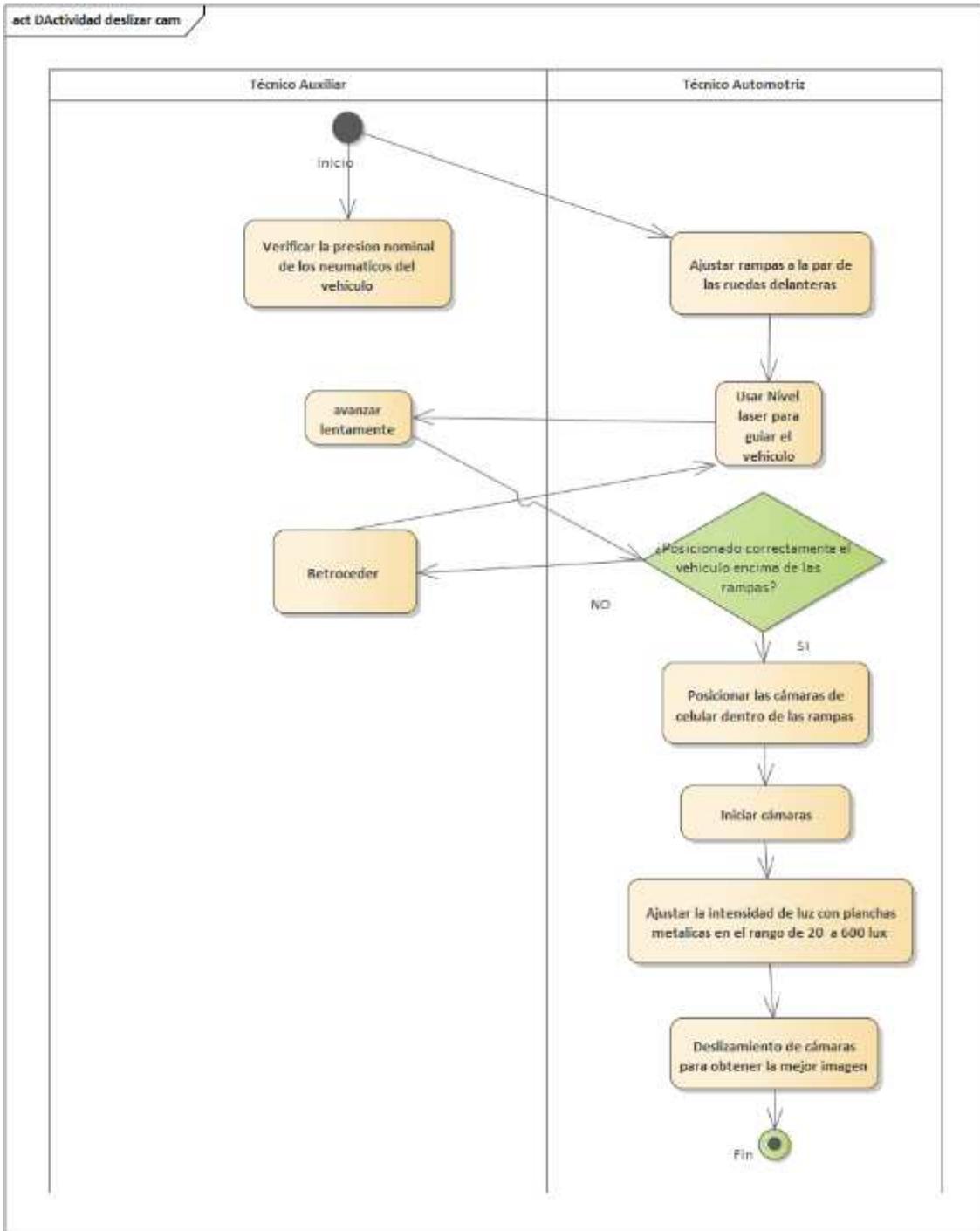
Diagrama de actividades**Módulo de captura de imagen**

Figura 6-5
Diagrama de Actividades de gestión de conexiones.



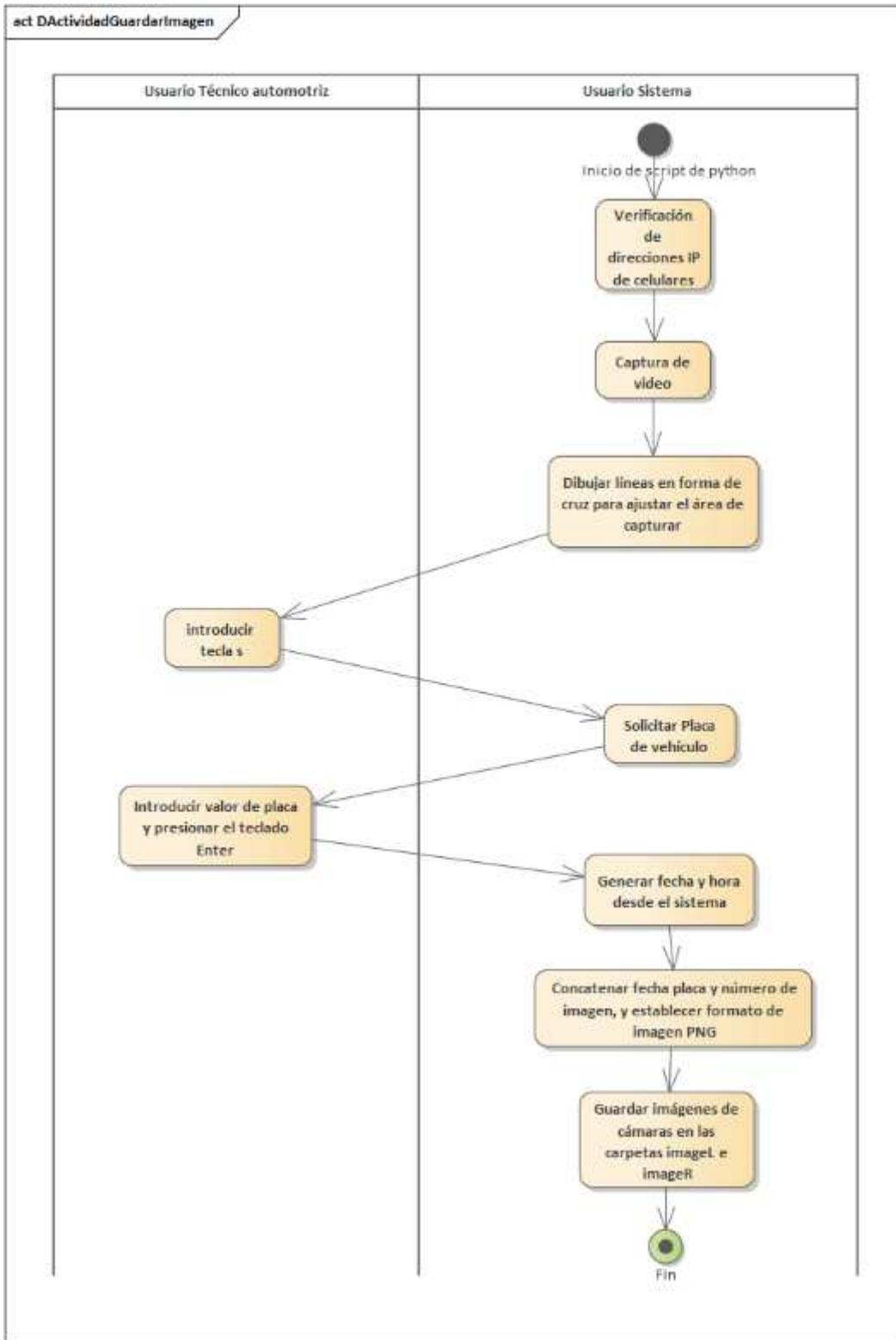
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 6-6
Diagrama de Actividades de ajuste de imagen del área de interés.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 6-7
Diagrama de Actividades de guardar imagen.

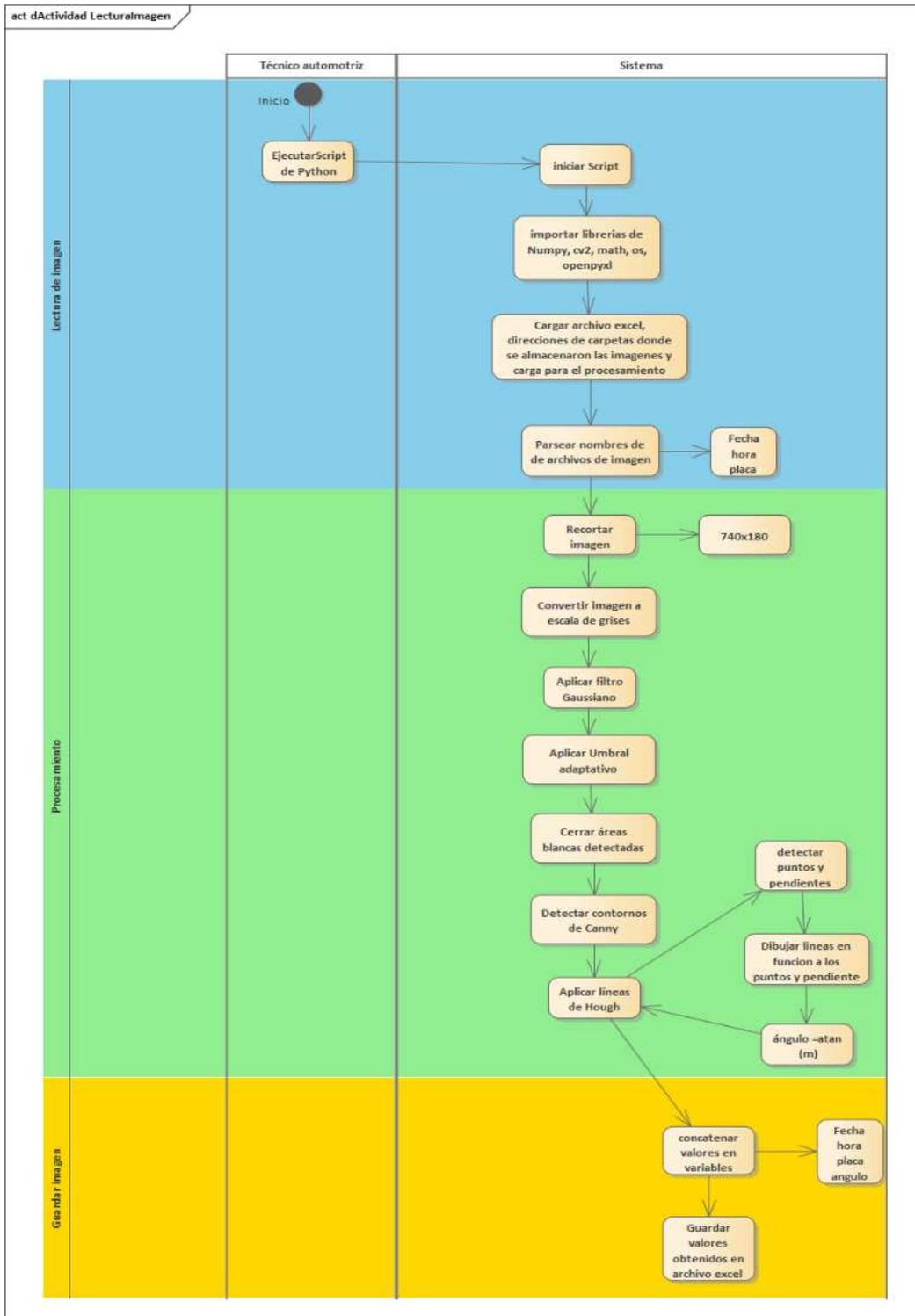


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Módulo de Procesamiento

Figura 6-8

Diagramas de Actividad de lectura de imagen, procesamiento y guardar imagen.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Implementación

Se describe la implementación como consecuencia de los anteriores flujos de trabajo de procesos de la Metodología RUP, Requerimientos, Análisis y Diseño. Además de las librerías utilizadas.

Librerías.

Para la implementación se utilizaron las siguientes librerías tanto en el lenguaje de Python.

Tabla 6-14

Lenguaje y librerías en el desarrollo del sistema.

Lenguaje	Librería	Descripción
Python	Cv2	Es una librería de computación visual para el procesamiento de imágenes en Python.
	Datetime	El módulo datetime proporciona clases para manipular fechas y horas. Su principal objetivo es poder extraer campos de forma eficiente para su posterior manipulación o formateo.
	Numpy	NumPy se utiliza principalmente para realizar cálculos matemáticos y científicos
	Math	La librería math como parte de su "librería estándar" y ofrece funciones matemáticas para uso en el campo de los números reales.
	Os	Este módulo provee una manera versátil de usar funcionalidades dependientes del sistema operativo.
	Openpyxl	Es un módulo que permite leer, crear y modificar ficheros Excel.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-15

Principales funciones de las librerías del procesamiento de imágenes.

Librería	Nombre	Función
Cv2	Imagen de color a blanco y negro	cv2.cvtColor()
	Difuminado de imagen (borrosa)	cv2.GaussianBlur()
	Umbral adaptativo para diferenciar la línea	cv2.adaptiveThreshold()
	Eliminar el ruido	cv2.morphologyEx()
	Detección de bordes	cv2.Canny()
	Transformada de línea Hough	cv.HoughLines(), cv.HoughLinesP()

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Pruebas y resultados de escritorio

Evaluación de los métodos y técnicas aplicadas

En esta sección, se describen las pruebas y resultados de 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.

En la segunda etapa se muestran las pruebas y resultados in situ.

La selección de neumáticos, para realizar las pruebas de medición del ángulo de convergencia, están basados en modelos con características para turismo de la marca Dunlop, ya que dichos neumáticos, cuentan con un patrón de huellas, donde tienen líneas continuas paralelas en su banda de rodadura como se puede observar en la tabla con las siguientes figuras.

Tabla 6-16
Patrón de huellas de neumáticos de la marca Dunlop.

Modelo	Descripción	Imagen
Dunlop ec201	Mejora el rendimiento de seguridad al tiempo que extiende notablemente la vida útil de la banda de rodadura.	
Dunlop sport 10	Compuesto a base de sílice que reduce significativamente la resistencia a la rodadura y, por lo tanto, mejora la economía de combustible.	
Dunlop sport 490	Reducción a la resistencia a la rodadura, ayuda a mejorar la economía de combustible. Seguimiento mejorado y frenado rápido en la limpieza del agua.	

Modelo	Descripción	Imagen
Dunlop hi max	Neumático radial de acero y textiles desarrollado específicamente para turismos. Tiene un alto nivel de confort y muy económico.	

Fuente: Elaboración modificada de: <http://sheehan.com.ph/dunlop-sedan-tires---rim-14-and-below.html>

Los modelos de neumáticos aplican para aros de radio de 12 a 14 pulgadas.

Dentro de estos modelos se trabajará con el modelo EC201 debido a la disponibilidad material cuando se realizará las pruebas de campo, donde en la **Tabla 6-17** se muestran sus características técnicas.

Tabla 6-17

Características técnicas del neumático con las que se trabajará en escritorio y in situ.

Especificaciones del neumático Dunlop Digi-Tyre Eco EC 201 185/65R14 86T	
Marca de neumáticos:	Dunlop
Modelo:	Digi-Neumático Eco EC 201
Especificaciones técnicas generales	
Estación:	Verano
País de origen:	Reino Unido
Tamaño de llanta	
Ancho de la sección:	185 milímetros
Relación de aspecto:	65 %
Diámetro de la rueda:	14 pulgadas
Construcción:	R (Radial)
Índice de carga y velocidad.	
Cargar índice:	86 (hasta 530 kg) por cada llanta
Clasificación de velocidad (SR):	T (hasta 190 km/h)

Fuente: Elaboración modificada de: <http://testingtire.com/tire-dunlop-digi-tyre-eco-ec-201-185-65-r14-86t/>

El neumático de vehículos livianos tiene las características de: Uso de terreno en carretera (asfalto), mejor agarre en superficies secas, ahorro de combustible y reducción de ruido.

Para la realización de las pruebas de escritorio, se hará uso de herramientas de software y la descripción del procedimiento para tomar las medidas.

Herramientas utilizadas: Paint de Windows y Fotos, (disponibles en Windows 10)

Figura 6-9

Manipulación de dirección en vertical de 0° grados a 10° por computador.



a) Sesgo de 10° grados a la derecha

b) Resultado

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se realiza un sesgo de 10 a 1 grados a la derecha mediante el editor de imágenes de Paint para medir el mismo sesgo con el sistema realizado.

Tabla 6-18

Sesgo de ángulos de 10° a 1° grados de dirección hacia la derecha.

Nro.	Dirección de rueda izquierda	Dirección de rueda derecha	Grados
1	Convergencia	Divergencia	10°
2	Convergencia	Divergencia	9°
3	Convergencia	Divergencia	8°
4	Convergencia	Divergencia	7°
5	Convergencia	Divergencia	6°
6	Convergencia	Divergencia	5°
7	Convergencia	Divergencia	4°
8	Convergencia	Divergencia	3°
9	Convergencia	Divergencia	2°
10	Convergencia	Divergencia	1°
11	0 Convergencia	0 Convergencia	0°

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Realizado el sesgo de las ruedas, se procede a recortar del área de interés, mediante la herramienta desarrollada, para medir el ángulo de convergencia.

Figura 6-10

Recorte del área de interés.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6-19

Resultados de la medición de ángulos de convergencia por la herramienta desarrollada.

Sesgo por computadora en grados	Rueda izq. y der. Ángulo medido	Dirección de convergencia	Parámetro de la función Houghline: Threshold	Parámetro o factor de resolución del Angulo Theta	Imagen
10	9.910010008751911	Convergencia , Divergencia	185	0.01	
9.5	9.386920666407846	Convergencia , Divergencia	185	0.01	

Sesgo por computador a en grados	Rueda izq. y der. Ángulo medido	Dirección de convergencia	Parámetro de la función Houghline: Threshold	Parámetro o factor de resolución del Angulo Theta	Imagen
9	9.038196038482042	Convergencia , Divergencia	185	0.01	
8.5	8.5194221574111	Convergencia , Divergencia	185	0.01	
8	7.967906667071716	Convergencia , Divergencia	210	0.01	
7.5	7.6192704172870975	Convergencia , Divergencia	175	0.01	
7	7.068140050906393	Convergencia , Divergencia	195	0.01	
6.5	6.577564495064763	Convergencia , Divergencia	195	0.01	
6	5.944487089906687	Convergencia , Divergencia	225	0.01	

Sesgo por computador a en grados	Rueda izq. y der. Ángulo medido	Dirección de convergencia	Parámetro de la función Houghline: Threshold	Parámetro o factor de resolución del Angulo Theta	Imagen
5.5	5.510976955007806	Convergencia , Divergencia	220	0.01	
5	4.937452323800443	Convergencia , Divergencia	225	0.01	
4.5	4.359151628394244	Convergencia , Divergencia	215	0.01	
4	4.073364492861103	Convergencia , Divergencia	220	0.01	
3.5	3.556665995585064	Convergencia , Divergencia	215	0.01	
3	3.0669963726987532	Convergencia , Divergencia	225	0.01	
2.5	2.5231691646238374	Convergencia , Divergencia	215	0.01	

Sesgo por computador a en grados	Rueda izq. y der. Ángulo medido	Dirección de convergencia	Parámetro de la función Houghline: Threshold	Parámetro o factor de resolución del Angulo Theta	Imagen
2	2.0924585855574236	Convergencia , Divergencia	225	0.01	
1.5	1.461456231588386	Convergencia , Divergencia	225	0.01	
1	0.9457673805703024	Convergencia , Divergencia	245	0.01	
0.5	0.4872460087137398	Convergencia , Divergencia	265	0.01	
0	0.08598659804647468	0 convergencia	225	0.01	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Apéndice B Código de programación

Módulo de captura de imágenes para el ángulo de convergencia.

```
import cv2
from datetime import datetime
#direccion ip de camara 1
url1 = "http://192.168.0.4:8080/video"#IZQUIERDA
#direccion ip de camara 2
url2 = "http://192.168.0.9:8080/video"#DERECHA
#captura de imagen/video de camara 1 en variable
cp = cv2.VideoCapture(url1)
#captura de imagen/video de camara 2 en variable
cp2 = cv2.VideoCapture(url2)
num = 0
#=====bucle de condicion=====
#=====
while cp.isOpened():

    succes, img = cp.read() # (1080, 1920) DIMENSION DEL VIDEO
    ancho = img.shape[1]
    alto = img.shape[0]
    #print(alto,ancho)

    succes2, img2 = cp2.read()
    ancho2 = img2.shape[1]
    alto2 = img2.shape[0]
    #print(alto2, ancho2)

    # Características de línea1 - camara 1
    punto1Linea1 = (int(ancho/2), 0) #(x,y)
    punto2Linea1 = (int(ancho/2), alto)
    colorLinea1 = (0, 0, 255) #BGR
    grosorLinea1 = 3

    # Características de línea2 - camara 1
    punto1Linea2 = (0, int(alto/2)) #(x,y)
    punto2Linea2 = (ancho, int(alto/2))
    colorLinea2 = (0, 0, 255) #BGR
    grosorLinea2 = 3

    # Características de línea1 - camara 2
    punto1Linea1_2 = (int(ancho2/2), 0) #(x,y)
    punto2Linea1_2 = (int(ancho2/2), alto2)
    colorLinea1_2 = (255, 0, 0) #BGR
    grosorLinea1_2 = 3

    # Características de línea2 - camara 2
    punto1Linea2_2 = (0, int(alto2/2)) #(x,y)
    punto2Linea2_2 = (ancho2, int(alto2/2))
    colorLinea2_2 = (255, 0, 0) #BGR
    grosorLinea2_2 = 3

    k = cv2.waitKey(5)
```

```

if k == 27: #Esc - escape CODIGO ASCII 27 para salir del programa
    break
elif k == ord('s'): # s para capturar y guardar imagen
    placa = input("Ingresa la placa de automovil : ")
    # print("Tu placa es: ", placa)
    now = datetime.now()
    # format = now.strftime('Día :%d, Mes: %m, Año: %Y, Hora: %H, Minutos:
%M, Segundos: %S')
    fecha = now.strftime('%Y%m%d_%H%M%S')
    #print(format)
    img_90 = cv2.rotate(img, cv2.ROTATE_90_CLOCKWISE)
    img_902 = cv2.rotate(img2, cv2.ROTATE_90_CLOCKWISE)
    cv2.imwrite("imageR/"+fecha+"_"+placa+"_r" + str(num) + ".png",
img_90) #direccion relativa de carpeta donde se guardaran las imagenes
    cv2.imwrite("imageL/"+fecha+"_"+placa+"_l" + str(num) + ".png",
img_902)
    print("imagenes guardadas L y R!")
    num += 1

# Dibujar lineas de Camara 1
cv2.line(img, punto1Linea1, punto2Linea1, colorLinea1, grosorLinea1)
cv2.line(img, punto1Linea2, punto2Linea2, colorLinea2, grosorLinea2)

# Dibujar lineas de Camara 2
cv2.line(img2, punto1Linea1_2, punto2Linea1_2, colorLinea1_2,
grosorLinea1_2)
cv2.line(img2, punto1Linea2_2, punto2Linea2_2, colorLinea2_2,
grosorLinea2_2)

img_norm = cv2.rotate(img, cv2.ROTATE_90_CLOCKWISE)
imgresize = cv2.resize(img_norm, (432, 762))
cv2.imshow('Img IZQ',imgresize)

img_norm2 = cv2.rotate(img2, cv2.ROTATE_90_CLOCKWISE)
imgresize2 = cv2.resize(img_norm2, (432,762))
cv2.imshow('Img DER', imgresize2)

# abandonar cp 1, 2 y destruir o cerrar todas las ventanas abiertas
cp.release()
cp2.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Código de programación, Módulo de procesamiento de imágenes y cálculo del ángulo de convergencia.

```
import numpy as np
import cv2
import math
import os
from openpyxl import load_workbook
from openpyxl import Workbook
sheet = load_workbook('iterbycols.xlsx')

#sheet = Workbook()
my_sheet = sheet.active

dir_nameR = "imageR/"
dir_nameL = "imageL/"

# Get list of all files only in the given directory
list_of_filesR = filter(lambda x: os.path.isfile(os.path.join(dir_nameR, x)),
os.listdir(dir_nameR))
list_of_filesL = filter(lambda x: os.path.isfile(os.path.join(dir_nameL, x)),
os.listdir(dir_nameL))
# Sort list of files based on last modification time in ascending order
list_of_filesR = sorted(list_of_filesR, key = lambda x:
os.path.getctime(os.path.join(dir_nameR, x)))
list_of_filesL = sorted(list_of_filesL, key = lambda x:
os.path.getctime(os.path.join(dir_nameL, x)))
print(list_of_filesR[-1]) #variable que va a "llanta10.jpg"
print(list_of_filesL[-1]) #variable que va a "llanta10.jpg"

cadenaR = list_of_filesR[-1]
cadenaL = list_of_filesL[-1]
segmentofechaYR = cadenaR[0:4] #año OK
segmentofechaYL = cadenaL[0:4] #año OK
segmentofechaMR = cadenaR[4:6] #mes OK
segmentofechaML = cadenaL[4:6] #mes OK
segmentofechaDR = cadenaR[6:8] #dia OK
segmentofechaDL = cadenaL[6:8] #dia OK

segmentohoraHHR = cadenaR[9:11] #hora oK
segmentohoraHHL = cadenaL[9:11] #hora oK
segmentohorammR = cadenaR[11:13] #minuto ok
segmentohorammL = cadenaL[11:13] #minuto ok
segmentohorassR = cadenaR[13:15] #segundo ok
segmentohorassL = cadenaL[13:15] #segundo ok

segmentoplacaR = cadenaR[16:23] #placa
segmentoplacaL = cadenaL[16:23] #placa
```

```

print(segmentoplacaR)
print(segmentoplacaL)

fecha2ExcelR = segmentofechaYR+"-"+segmentofechaMR+"-"+segmentofechaDR
fecha2ExcelL = segmentofechaYL+"-"+segmentofechaML+"-"+segmentofechaDL
hora2excelR = segmentohoraHHR+":"+segmentohorammR+":"+segmentohorassR
hora2excelL = segmentohoraHHL+":"+segmentohorammL+":"+segmentohorassL
placa2excelR = segmentoplacaR
placa2excelL = segmentoplacaL
print(fecha2ExcelR)
print(fecha2ExcelL)
print(hora2excelR)
print(hora2excelL)
print(placa2excelR)
print(placa2excelL)
dir1 = f'{dir_nameL}{cadenaL}'
print(dir1)
# read image
img0 = cv2.imread(dir1)#'C:/Users/Ronald/Desktop/tesis/fotos
llantas/'+list_of_filesL[-1]) #izq_m01.jpeg, llanta10.jpg, llanta103.jpg
img = cv2.imread(dir_nameR+list_of_filesR[-
1])#'C:/Users/Ronald/Desktop/tesis/fotos llantas/'+list_of_filesR[-1]) #der
#C:/Users/Ronald/PycharmProjects/interfazprueba/imageL/
#print(dir_nameL+list_of_filesL[-1])

img1 = img0[500:1240, 460:640] #filas,columnas 1:460:640: 2:460:640:
3:460:640
img2 = img[500:1240, 450:630] #filas,columnas 1:460:640: 2:550:730:
3:545090:630
# convert to grayscale
gray1 = cv2.cvtColor(img1, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
gray2 = cv2.cvtColor(img2, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
#cv2.imshow("imagen gris L ", gray1)
#cv2.imshow("imagen gris R", gray2)

# Aplicacion del Filtro Gaussiano 1
kernel_size1 = 5 # con 10 se suaviza mas la imagen
blur1 = cv2.GaussianBlur(gray1, (kernel_size1, kernel_size1),
cv2.BORDER_DEFAULT)
#cv2.imshow("imagen blur 1", blur1)

# Aplicacion del Filtro Gaussiano 2
kernel_size2 = 5
blur2 = cv2.GaussianBlur(gray2, (kernel_size2, kernel_size2),
cv2.BORDER_DEFAULT)
#cv2.imshow("imagen blur 2", blur2)

```

```

# threshold
# Umbral adaptativo usando 11 píxeles vecinos más cercanos
#thresh = cv2.threshold(gray,200,255,cv2.THRESH_BINARY)[1]
thresh1 = cv2.adaptiveThreshold(blur1, 255, cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C,
cv2.THRESH_BINARY_INV, 11, 2) #11,2
thresh2 = cv2.adaptiveThreshold(blur2, 255, cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C,
cv2.THRESH_BINARY_INV, 11, 2)
cv2.imshow("adaptiveThreshold 1", thresh1)
cv2.imshow("adaptiveThreshold 2", thresh2)
# apply close to connect the white areas
#La apertura es sólo otro nombre de la erosión seguida de dilatación . Es útil
para eliminar el ruido
kernel1 = np.ones((15,1), np.uint8)
morph1 = cv2.morphologyEx(thresh1, cv2.MORPH_OPEN, kernel1)
kernel1 = np.ones((17,3), np.uint8)
morph1 = cv2.morphologyEx(morph1, cv2.MORPH_CLOSE, kernel1)
cv2.imshow("morphologyEx 1", morph1)
# apply close to connect the white areas
kernel2 = np.ones((15,1), np.uint8)
morph2 = cv2.morphologyEx(thresh2, cv2.MORPH_OPEN, kernel2)
kernel2 = np.ones((17,3), np.uint8)
morph2 = cv2.morphologyEx(morph2, cv2.MORPH_CLOSE, kernel2)
cv2.imshow("morphologyEx 2", morph2)
# apply canny edge detection - se aplica el metodo de Canny para la deteccion
de contornos
#(50,100) primer y segundo umbral para el procedimiento de histéresis.
# 3 Tamaño de apertura para el operador Sobel
edges1 = cv2.Canny(morph1, 50, 150, apertureSize=3)
#cv2.imshow("thresh", thresh)
# apply canny edge detection
edges2 = cv2.Canny(morph2, 50, 150, apertureSize=3)
#cv2.imshow("reeevi IZQ", edges1)

# get hough lines
#https://medium.com/mllearning-ai/road-lane-detection-using-opencv-hough-lines-
transform-explained-a6c8cfc03f68
#https://medium.com/@elvenkim1/how-to-use-houghlines-with-robot-b8ac9d1554b3
result1 = img1.copy()
lines1 = cv2.HoughLines(edges1, 1, 0.01*math.pi/180.0, 165) #1:95,2:255
3:255,
a, b, c = lines1.shape #a:alto, b:ancho
ancho = img1.shape[1]
alto = img1.shape[0]
for i in range(a):
    rho = lines1[i][0][0]
    theta = lines1[i][0][1]
    a = math.cos(theta)
    b = math.sin(theta)
    x0, y0 = a*rho, b*rho
    pt1 = ( int(x0+1000*(-b)), int(y0+1000*(a)) )
    [pt1x,pt1y]=pt1
    pt2 = ( int(x0-1000*(-b)), int(y0-1000*(a)) )
    [pt2x, pt2y] = pt2
    cv2.line(result1, pt1, pt2, (0, 0, 255), 1, cv2.LINE_AA) #BGR lineasRojas

```

```

# get2 hough lines #https://blog.paperspace.com/understanding-hough-transform-
lane-detection/
result2 = img2.copy()
lines2 = cv2.HoughLines(edges2, 1, math.pi/180.0, 200, np.array([], 0, 0)
#1:65,2:22 3:200,
a2, b2, c2 = lines2.shape
ancho2 = img2.shape[1]
alto2 = img2.shape[0]
for j in range(a2):
    rho2 = lines2[j][0][0]
    theta2 = lines2[j][0][1]
    a2 = math.cos(theta2)
    b2 = math.sin(theta2)
    x02, y02 = a2*rho2, b2*rho2
    pt12 = (int(x02+1000*(-b2)), int(y02+1000*(a2)))
    [pt1x2,pt1y2] = pt12
    pt22 = (int(x02-1000*(-b2)), int(y02-1000*(a2)))
    [pt2x2, pt2y2] = pt22
    cv2.line(result2, pt12, pt22, (255, 0, 0), 1, cv2.LINE_AA) #lineasAzules
try:
    m = (pt2y-pt1y)/(pt2x-pt1x)
except ZeroDivisionError:
    m = 0

try:
    m2 = (pt2y2-pt1y2)/(pt2x2-pt1x2)
except ZeroDivisionError:
    m2 = 0
angulo = math.atan(m) #LLANTA IZQUIERDA
#angulo en grados = math.degrees(angulo)
#print(angulo en grados)
angulo en grados1 = (angulo * 180 / np.pi)
print(angulo en grados1)
if angulo en grados1 > 0:
    print('angulo de divergencia IZQ')
    anguloizquierdo1 = 90-angulo en grados1
    sentidoizq1 = "divergencia"
    print(anguloizquierdo1)
elif angulo en grados1 < 0:
    print('angulo de convergencia IZQ')
    anguloizquierdo1 = 90 + angulo en grados1
    sentidoizq1 = "convergencia"
    print(anguloizquierdo1)
elif angulo en grados1 == 0:
    anguloizquierdo1 = 0
    sentidoizq1 = "convergencia 0"

print("el ultimo angulo izq : ", anguloizquierdo1)
print("el ultimo sentido : ", sentidoizq1)

```

```

angulo2 = math.atan(m2) #LLANTA DERECHA
#angulogrados = math.degrees(angulo)
#print(angulogrados)
angulogrados12 = (angulo2 * 180 / np.pi)
print(angulogrados12)
if angulogrados12 > 0:
    print('angulo de convergencia DER')
    anguloderecho2 = 90-angulogrados12
    sentidoder2 = "convergencia"
    print(anguloderecho2)
elif angulogrados12 < 0:
    print('angulo de divergencia DER')
    anguloderecho2 = 90 + angulogrados12
    sentidoder2 = "divergencia"
    print(anguloderecho2)
elif angulogrados12 == 0:
    anguloderecho2 = 0
    sentidoder2 = "convergencia 0"
print("el ultimo angulo DER : ", anguloderecho2)
print("el ultimo sentido : ", sentidoder2)
cv2.imshow("edges IZQ", edges1)
#cv2.line(result1, (Mx, My), (Mx, 960), (0, 255, 0), 1) #lineaVERDE
cv2.imshow("result IZQ", result1)

cv2.imshow("edges2 DER", edges2)
#cv2.line(result2, (Mx2, My2), (Mx2, 960), (0, 255, 0), 1)
cv2.imshow("result2 DER", result2)

ultimafila = my_sheet.max_row
ultimafila1= ultimafila+1
print(ultimafila1)

c1 = my_sheet.cell(row = ultimafila1, column = 1) #fecha y hora
c1.value = fecha2ExcelR+ " +hora2excelR
c2 = my_sheet.cell(row= ultimafila1, column = 2) #placa de identificacion
c2.value = placa2excelR
c3 = my_sheet.cell(row= ultimafila1, column = 3) #angulo IZQ
c3.value = anguloizquierd1
c4 = my_sheet.cell(row = ultimafila1, column = 4) #convergencia o divergencia
(sentido)
c4.value = sentidoizq1
c5 = my_sheet.cell(row= ultimafila1, column = 5) #angulo de DER
c5.value = anguloderecho2
c6 = my_sheet.cell(row= ultimafila1, column = 6) #convergencia o divergencia
(sentido)
c6.value = sentidoder2
sheet.save("iterbycols.xlsx")

cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

```

Apéndice C Informes de alineación de los métodos comerciales.

Informe fotográfico y reporte de alineación de equipo Launch X631.

Especificaciones técnicas:

Tabla 6-20

Descripción de la resolución del equipo Launch X631.

Parámetro	Precisión	Resolución	Rango de medida
TOE	± 2 y principal ($\pm 0.03^\circ$)	0.6 y principal (0.01°)	$\pm 10^\circ$

Fuente: Datos extraídos de (Alibaba spanish, 2023; Launch X631, 2023)

Figura 6-11

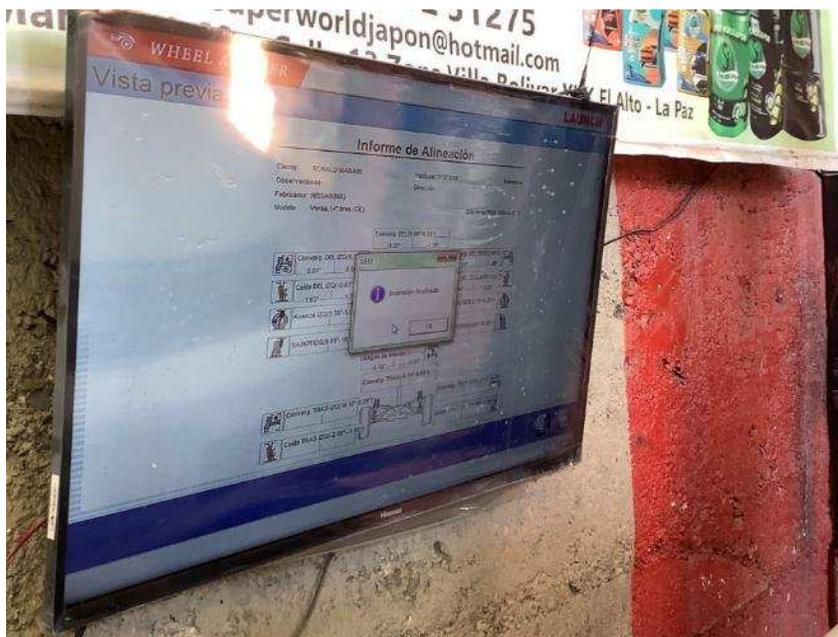
Posición de vehículo Nissan versa, 2010, para el diagnóstico de alineación.



Fuente: Elaboración propia, taller de alineado computarizado Launch X631, 2023.

Figura 6-12

Interfaz de equipo donde se muestra la culminación del diagnóstico de alineado.



Fuente: Elaboración propia, taller de alineado computarizado Launch X631, 2023.

Para este diagnóstico se realiza un resumen de tres muestras o medidas de alineado y su posterior informe escaneado del equipo mencionado.

Tabla 6-21

Resumen de tres medidas tomadas del equipo X631 Launch.

Fecha	Hora	conver IZQ	conver DER
11/7/2023	16:18	-0.03	-1.38
11/7/2023	16:27	0	-1.38
11/7/2023	16:32	-0.01	-1.38

Nota: Elaboración propia, 2023.

1

Informe de Alineación

Cliente: RONALD MAMANI

Matrícula: 3157 CCR

Kilómetros:

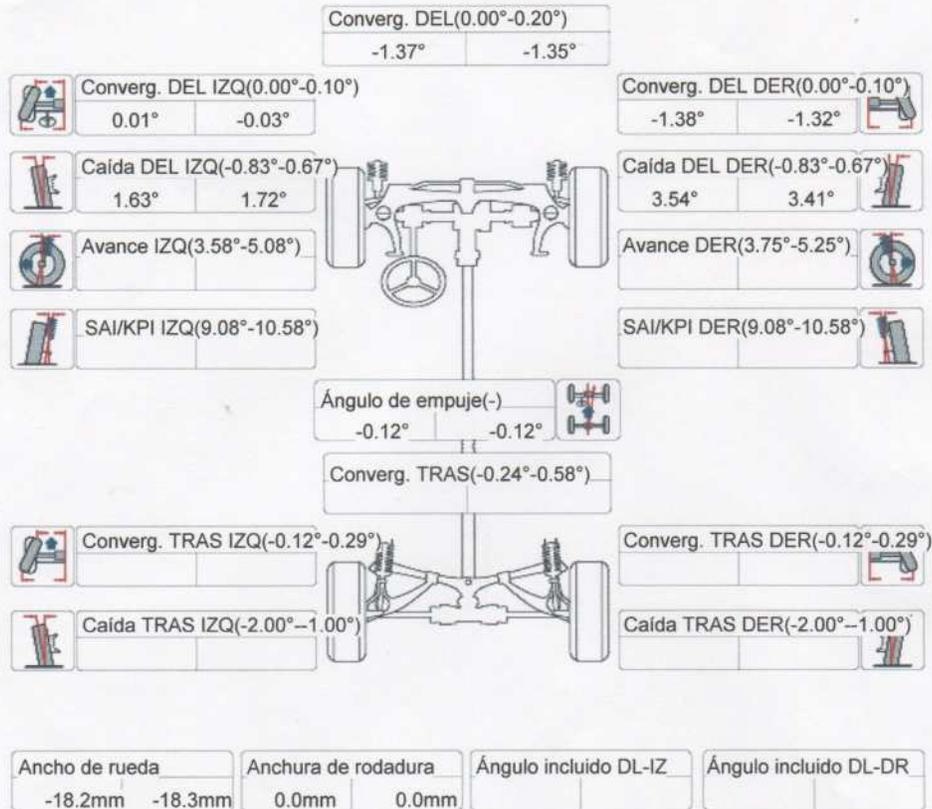
Observaciones:

Dirección:

Fabricante: NISSAN(NA)

Modelo: Versa, 14" tires (OE)

Año inicio:2009 Año fin:2011



Observaciones:

Fecha del test:2023-07-11 16:18

Operario:TEC.Wilfredo Chaparro

Motivo de la Alineación:Ruedas desgastadas

Taller : R.CH

Dirección : Avenida Muñoz Rojas N°9 Cata Cata

2

Informe de Alineación

Cliente: RONALD MAMANI

Matrícula: 3157 CCR

Kilómetros:

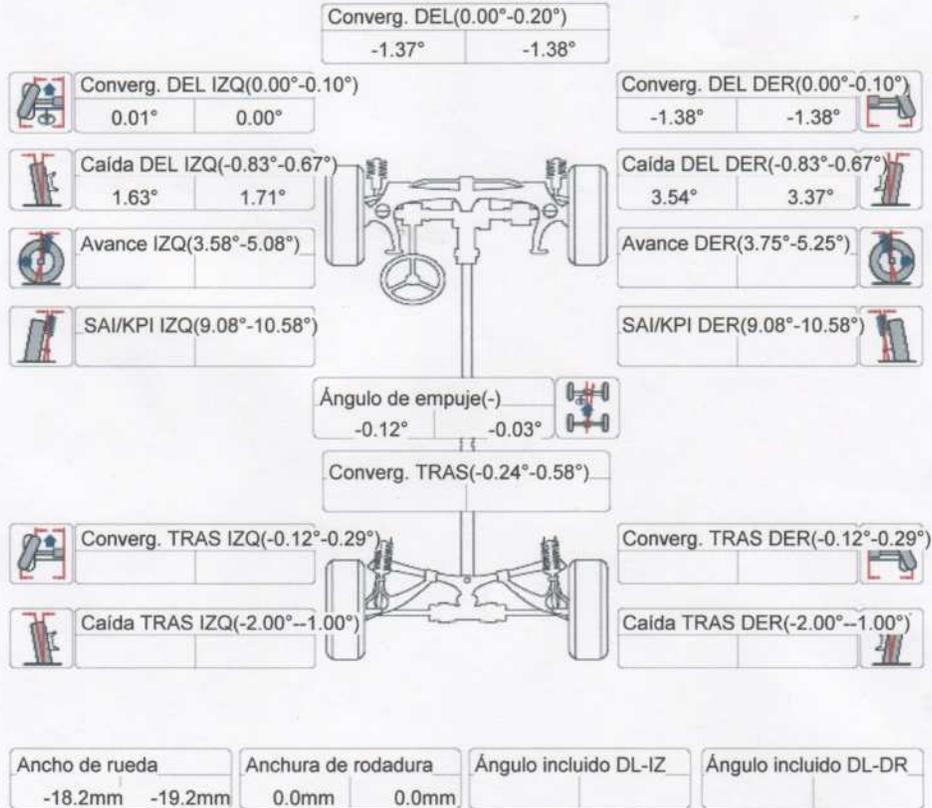
Observaciones:

Dirección:

Fabricante: NISSAN(NA)

Modelo: Versa, 14" tires (OE)

Año inicio:2009 Año fin:2011



Observaciones:

Fecha del test:2023-07-11 16:27

Operario:TEC.Wilfredo Chaparro

Motivo de la Alineación:Ruedas desgastadas

Taller : R.CH

Dirección : Avenida Muñoz Rojas N°9 Cota Cota

3

Informe de Alineación

Cliente: RONALD MAMANI

Matrícula: 3157 CCR

Kilómetros:

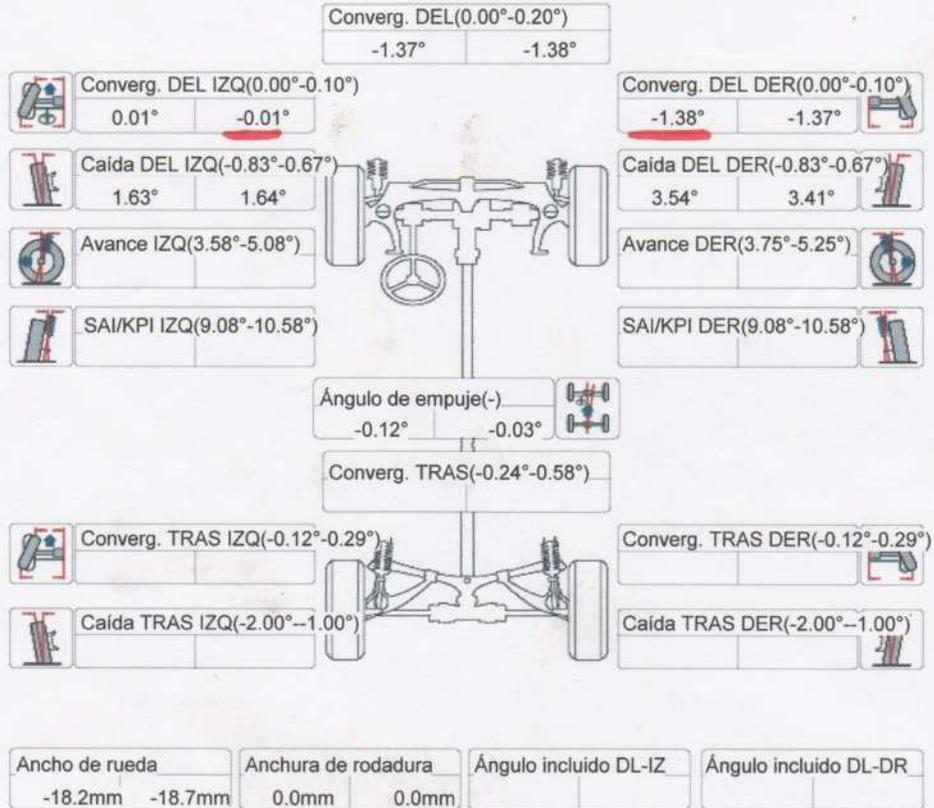
Observaciones:

Dirección:

Fabricante: NISSAN(NA)

Modelo: Versa, 14" tires (OE)

Año inicio:2009 Año fin:2011



Observaciones:

Fecha del test:2023-07-11 16:32

Operario:TEC.Wilfredo Chaparro

Motivo de la Alineación:Ruedas desgastadas

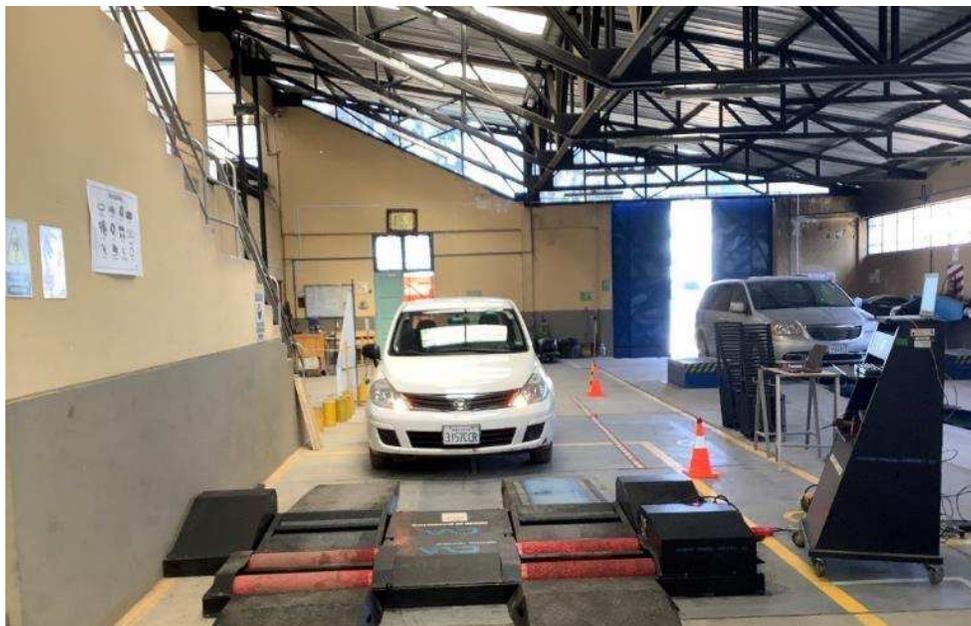
Taller : R.CH

Dirección : Avenida Muñoz Rojas N°9 Cota Cota

Informe de diagnóstico de alineación de equipo CVA.

Figura 6-13

Vehículo de prueba Nissan Versa modelo 2010, y equipo de diagnóstico CVA.



Fuente: Elaboración propia, espacio destinado a equipo CVA, instalaciones IIME, 2023

Figura 6-14

Interfaz de software de CVA.



Fuente: Elaboración propia, interfaz de equipo CVA, instalaciones IIME, 2023

Alineador al paso o Placa de Deriva: Determina la condición de alineación de los vehículos. Determina la convergencia o divergencia de la alineación.

Un vehículo pasa sobre el Alineador al Paso y éste permite un rápido y sencillo diagnóstico sobre la alineación del mismo, generando así la posibilidad de trabajo de alineación y reemplazo de algún componente deteriorado.

Tabla 6-22

Resumen de pruebas de diagnóstico de equipo CVA.

Diagnóstico de alineación	Valor medido	Dirección
Primera medida rueda delantera izquierda	-2.048 m/km	Divergente
Segunda medida rueda delantera izquierda	-1.952 m/km	Divergente
Tercera medida rueda delantera izquierda	-1.952 m/km	Divergente

Fuente: Elaboración propia, 2023

En las siguientes figuras se muestran las medidas de diagnóstico del vehículo liviano Nissan Versa, modelo 2010.

Figura 6-15

Primer registro del valor obtenido por el alineador al paso C.V.A.



Fuente: Captura de imagen del software de Control Vehicular Argentino – CVA, 2023

Figura 6-16
Segundo registro del valor obtenido por el alineador al paso C.V.A.



Fuente: Captura de imagen del software de Control Vehicular Argentino – CVA, 2023

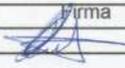
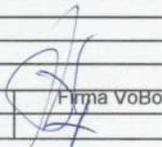
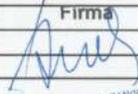
Figura 6-17
Tercer registro del valor obtenido por el alineador al paso C.V.A.



Fuente: Captura de imagen del software de Control Vehicular Argentino – CVA, 2023

Apéndice D Planes de trabajo

Presentación de planes de trabajo para solicitar el uso de equipos e instalaciones del IIME.

		Formulario Plan de Trabajo	Código: F-002 Versión: 00 Vigencia: 2018-04-30 Página 1 de 1
PLAN DE TRABAJO			
DATOS INFORMATIVOS			
Responsables:		Firma	
1	Ronald Mamani Quispe		
2			
3			
Fecha a realizarse:	desde 11/5/2023 al 24/05/2023		
Horarios a Realizarse:	09:00 a 16:00 hrs		
ANTECEDENTES			
Realización de tesis de la materia terminal, comparación de datos obtenidos con cámaras de celular respecto a la línea de diagnóstico del instituto.			
OBJETIVO			
Uso de la línea de diagnóstico para medir convergencia y divergencia de las ruedas de un vehículo			
ACTIVIDADES A REALIZAR:			
1	medidas de TOE (convergencia y divergencia llantas delanteras de vehículos)		
2			
3			
4			
5			
AREA SOLICITADA DEL IIME			
Centro de diagnóstico Automotriz			
EQUIPOS SOLICITADOS			
1	línea de diagnóstico ultrabaja cva a con todos sus accesorios		
2			
3			
4			
5			
DOCENTE Y/O RESPONSABLE			
Nombre: Ing. Febo Flores		Firma VoBo	
1			
Nombre encargados IIME			
Recibido por:		Firma	
Aprobado por:			
Ing. Jose Siñani			
Ing. Jaime Sanchez			
MSc. Ing. Jaime Eduardo SANCHEZ GUZMAN DIRECTOR INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MECANICAS Y ELECTROMECHANICA			

PLAN DE TRABAJO

DATOS INFORMATIVOS

Responsables:		Firma
1	Ing. Ronald Mamani Quispe	
2		
3		
Fecha a realizarse:	desde: 11/7/2023 al 11/8/2023	
Horarios a Realizarse:	09:00 a 16:00 hrs	

ANTECEDENTES

El equipo CVA se encontraba sin funcionar y se reparó las funcionalidades necesarias por el univ. Ruber, coadyuvado por ing. Ronald Mamani, en ese sentido se puede hacer uso de la línea al paso para realizar diagnósticos

OBJETIVO

Uso de la línea de diagnóstico para medir convergencia y divergencia de las ruedas delanteras de un vehículo

ACTIVIDADES A REALIZAR:

1	medidas de TOE (convergencia y divergencia llantas delanteras de vehículos)
2	
3	
4	
5	

DEVUELTO

AREA SOLICITADA DEL IIME

Centro de diagnóstico Automotriz

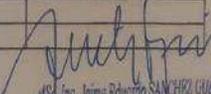
EQUIPOS SOLICITADOS

1	línea de diagnóstico ultrabaja cva con todos sus accesorios
2	
3	
4	
5	

DOCENTE Y/O RESPONSABLE

Nombre: Ing. Febo Flores	Firma VoBo
1	

Nombre encargados IIME

Recibido por:	Ing. Jose Siñani	Firma
Aprobado por:	Ing. Jaime Sanchez	

Jose Antonio Siñani Vilte
INGENIERO ELECTROMECANICO
R.N.I. 34.580

MSA Ing. Jaime Eduardo SANCHEZ CHICANAN
DIRECTOR
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
MECÁNICAS Y ELECTROMECÁNICA

Apéndice E Costos

Se describe el relevamiento de costos en la elaboración de la tesis, se separó en tres tipos de recursos:

- Hardware, que engloba los materiales e instrumentos utilizados.
- Software, se utilizó software de código abierto y gratuito, dentro de ellos también librerías de uso libre para proyectos académicos.
- Finalmente, el costo mano de obra de acuerdo a las horas trabajadas.

Tabla 6-23

Costos de materiales e instrumentos utilizados.

Hardware					
Componente	Fabricante	Modelo	cantidad	Precio unitario	Precio total
Rampa	-	-	2	600.00	1200.00
Policarbonato	-	Polysoin	1	1150.00	1150.00
Celular	Xiaomi	Mi A3	2	700.00	1400.00
Rúter	Mikrotik	HAP Lite Routerboard 941-2nD	1	350.00	350.00
Powerbank	-	-	1	150.00	150.00
Nivel laser	-	-	1	280.00	280.00
Laptop	Apple	Macbook pro	1	6000.00	6000.00
Luxómetro	Uni-T	ut383bt	1	230.00	230.00
Cono de señalización	-	-	2	30.00	60.00
Cuñas para auto	-	-	2	50.00	100.00
Cinta de señalización	-	-	1	45.00	45.00
Manómetro y compresor de aire	Ingco	-	1	450.00	450.00
Total					11415.00

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 6-24
Costos de Software utilizados.

Software					
Componente	Fabricante	Versión	cantidad	Precio unitario	Precio total
Sistema Operativo	Microsoft	Windows 10	1	0.00	0.00
PyCharm	JetBrains	-	1	0.00	0.00
OpenCV Contrib	OpenCV	-	1	0.00	0.00
Librerías OpenCV	OpenCV	-	1	0.00	0.00
IP Webcam	Pavel Khebovich	-	2	0.00	0.00
Total					0.00

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 6-25
Costos de mano de obra.

Recursos Humanos						
Mano de obra	Cargo	Cantidad de personas	de Meses trabajados	Haber básico mensual	Precio total	
Estudio, diseño, programación, y puesta en marcha	Ingeniero	1	2	2362.00	4724.00	
Auxiliar adquisición de datos, pruebas	Técnico automotriz	1	1	2100.00	2100.00	
Total					6824.00	

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 6-26
Resumen costo de elaboración de tesis.

Tipo de costo	Precios expresados en bolivianos
Hardware	11415.00
Software	0.00
Mano de obra	6824.00
Total	18239.00

Fuente: Elaboración propia, 2023

Anexo A Certificado de publicación de artículo científico

Certificado de publicación de artículo y capítulo de libro en la página de Ciencia Latina



CID editorial  **Ciencia Latina**
Internacional

CERTIFICADO 20/12/2023
DE APROBACIÓN:

Por el presente se certifica la publicación del capítulo de libro titulado:

Desarrollo de un sistema de visión artificial para medición del ángulo de convergencia por medio del patrón de huella de neumáticos

Nombre de autor/es:

Ronald Mamani Quispe, Jaime Eduardo Sánchez Guzmán

cumple con los cánones requeridos para su publicación, por lo que se aprueba a propuesta y previa evaluación del Comité Científico.

La edición, y publicación será procesado desde el mes de diciembre del 2023.

Verificable en nuestra plataforma: <https://libros.ciencialatina.org>.


Dr. Francisco Hernández García
Editor en Jefe

Para consultas puede contactar directamente al editor editor@ciencialatina.org

  Crossref  ORCID  ISBN  ALAC  INDEXA

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS



RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2684/2024

La Paz, 02 de septiembre de 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **28 de agosto de 2024**, por **RONALD MAMANI QUISPE** con **C.I. Nº 6799166 LP**, con número de trámite **DA 1554/2024**, señala la pretensión de inscripción de la Tesis de Post-grado titulada: **"MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE CONVERGENCIA A TRAVÉS DE VISIÓN POR COMPUTADORA POR MEDIO DEL PATRÓN DE HUELLA DE NEUMÁTICOS DEL EJE DELANTERO EN VEHÍCULOS"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo Nº 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo Nº 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo Nº 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor Nº 1322, Decreto Reglamentario Nº 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo Nº 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley Nº 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los"*



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, Nº 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, Nº 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, Nº 366
casi esq. Urriolagolitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, Nº 243.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, Nº 5837,
entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas Nº 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72018160

ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Tesis de Post-grado titulada: "**MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE CONVERGENCIA A TRAVÉS DE VISIÓN POR COMPUTADORA POR MEDIO DEL PATRÓN DE HUELLA DE NEUMÁTICOS DEL EJE DELANTERO EN VEHÍCULOS**" a favor del autor y titular: **RONALD MAMANI QUISPE** con **C.I. N° 6799166 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/Im

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI

CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO

DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



5v3Pd7Jf3Bd52F

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, N° 243.
Telf: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, N° 5837,
entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf: 72018160



Registro**Nombre del autor:** Ing. Ronald Mamani Quispe**Correo electrónico:** ronaldmamaniq@gmail.com**Número de Celular:** 68141348