



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Neiva, 23 de julio del 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Camila Andrea Gutiérrez Guerrero, con C.C. No. 1075295150,

Kevin Hernando Bermeo Sanchez, con C.C. No. 1075292590,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado: DETECCIÓN DE INCLINACIÓN EN VÍA INTERURBANA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES PROCESADAS USANDO ALGORITMO EN AMBIENTE CONTROLADO

presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permite la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

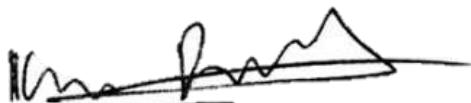
Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
CARTA DE AUTORIZACIÓN							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Kevin Hernando Bermeo Sánchez

Firma:



EL AUTOR/ESTUDIANTE: Camila Andrea Gutiérrez Guerrero

Firma:



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Detección de inclinación en vía interurbana mediante el análisis de imágenes procesadas usando algoritmo en ambiente controlado.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bermeo Sanchez	Kevin Hernando
Gutiérrez Guerrero	Camila Andrea

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bravo Obando	Martin Diomedes

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Electrónico

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Electrónica

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 72

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas_x_ Fotografías_x_ Grabaciones en discos____ Ilustraciones en general_x_ Grabados____
Láminas____ Litografías____ Mapas____ Música impresa____ Planos____ Retratos____ Sin ilustraciones____ Tablas
o Cuadros_x_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Portable Document Format (PDF)

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Vision por computador	Computer Vision	6.	_____
2. Imagenes	Frames	7.	_____
3. Transformada de Hough	Hough transform	8.	_____
4. Ajuste de curvas	Curves adjustment	9.	_____
5. _____	_____	10.	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La tecnología ha avanzado tanto que actualmente el estudio de visión por computador, diseño computarizado, simuladores, la realidad virtual y aumentada está tomando fuerza en todos los ambientes. El procesamiento digital de imágenes es el principio básico de estos temas debido a su amplio conjunto de herramientas que facilitan el manejo y análisis de imágenes del mundo real, así mismo se extrae información necesaria de estas que pueda ser aportada a dispositivos para que sean capaces de realizar acciones sin la intervención del ser humano y tomar decisiones correctas en cada tarea que estos ejecuten, logrando una automatización del entorno. El objetivo principal de este trabajo es el estudio e implementación de un algoritmo para la identificación de la inclinación de las vías interurbanas. Este trabajo ha utilizado una secuencia de imágenes extraídas de un video previamente grabado en un entorno controlado, las cuales han sido sometidas a un arduo procesamiento digital (filtros, segmentación, transformada de Hough) con el fin de obtener datos de interés que ayudaran al reconocimiento automático de las líneas viales y así en la etapa final usar un método de ajuste de curvas para elegir el arreglo más cercano a la realidad y poder diferenciar la inclinación (subida, bajada, plana) de las imágenes de la carretera. Los resultados obtenidos son nuevamente usados para reconstruir el video principal.



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Technology has made huge advancements to the point where currently the vision study through computer, computerized design, simulators, augmented and virtual reality are becoming more common in different environments. The digital process of images is the fundamental of these topics due to its huge tool set that ease to handle and analyze real world images, in the same way required information is extracted from these that can be implemented on devices to make them capable of execution actions without human intervention and allow them to make right decisions on each asked, achieving an environment automation. The main purpose of this degree project is to study and implement an algorithm in a superintend environment for the detection of the interurban roads inclination. Image sequences extracted from pre recorded videos on controlled environments have been used, which have been submitted to an arduous digital processament (filters, segmentation, hough transformation) to obtain relevant information that will help to the interurban roads automatic recognition and so in the final stage use a curves adjustment method to choose the setup closest to reality and this way identify the inclination (climb, descent, flat) of the road images. Obtained results are used yet again to reconstruct the original video.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Julián Adolfo Ramírez

Firma:

Nombre Jurado: José de Jesús Salgado Patrón

Firma:

**DETECCIÓN DE INCLINACIÓN EN VÍA INTERURBANA MEDIANTE
EL ANÁLISIS DE IMÁGENES PROCESADAS USANDO ALGORITMO
EN AMBIENTE CONTROLADO**

**KEVIN HERNANDO BERMEO SANCHEZ
CAMILA ANDREA GUTIÉRREZ GUERRERO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2019**

**DETECCIÓN DE INCLINACIÓN EN VÍA INTERURBANA MEDIANTE
EL ANÁLISIS DE IMÁGENES PROCESADAS USANDO ALGORITMO
EN AMBIENTE CONTROLADO**

**KEVIN HERNANDO BERMEO SANCHEZ
CAMILA ANDREA GUTIÉRREZ GUERRERO**

Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Electrónico

**Director
Martin Diomedes Bravo Obando
Ph.D(c) en Teleinformática**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2019**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Neiva, Marzo 26 de 2019

Dedico este proyecto de grado a mi familia, porque sin la ayuda de ellos no hubiera podido realizar la presente carrera universitaria, en primera instancia a mi abuela, que está en un lugar mejor ahora, viendo como cumplí el deseo de ella de ser profesional, a mis papás, que sin el carácter de mamá y el apoyo incondicional de papá nada de esto hubiera pasado, a ellos les debo todo, incluyendo mi existencia. A mi hermano por ser ese sustento adicional que siempre encuentro, a mi compañera de grado y actual pareja sentimental, con ella pudimos superar muchos obstáculos en el trayecto, y ojalá se vengan más; a mis tíos, primos, y resto de familia que me falta por nombrar, pero no menos importante, cada uno me daba una reflexión que me impulsaba más hacia la superación; al resto de personas que en algún instante se cruzaron hasta el momento por mi camino, ojalá sigan estando ahí y podamos conversar de lo que me pudieron ayudar.

Kevin Hernando Bermeo Sanchez

Agradezco principalmente a Dios, por darme fuerzas y nunca abandonarme en este camino. Quiero dedicar este trabajo a mi hermana Clara Ximena, a quien un día le prometí cumplir este sueño, y sé que se encuentra muy orgullosa, por ti y para ti por siempre. A mi madre Carmen por cada palabra de aliento y por ser esa persona incondicional, a mi padre Leonidas por ser esa figura de exigencia y templanza, a mis hermanas Karol y Stephany, por todo el amor y ánimos brindados, a mi sobrino Gabriel por ser ese ángel en la tierra que me da alegría. A Kevin Hernando Bermeo Sanchez porque además de ser mi compañero en este proyecto, es la persona que me ha acompañado en las buenas y en las malas, a quien quiero manifestarle que contara conmigo siempre y que tiene un lugar muy especial en mi corazón. A mis amigos y demás familiares que de una u otra manera me han apoyado, quiero decirles muchas gracias.

Camila Andrea Gutierrez Guerrero

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana, a nuestros jurados de proyecto de grado José de Jesús Salgado y Julián Ramírez por ayudarnos, al Ingeniero Martin Diomedes Bravo por su paciencia, acompañamiento y consejos a lo largo de nuestra carrera. A todos y cada una de las personas que de una u otra manera aportaron un granito de arena, no habríamos podido superar esta fase de nuestras vidas sin ustedes.

“Utiliza en la vida los talentos que poseas: el bosque estaría muy silencioso si sólo cantasen los pájaros que cantan mejor.”

Henry Van Dike.

“Pregúntese cuál ha sido el secreto de sus éxitos. Escuche con cuidado su respuesta y póngala en práctica todos los días.”

Richard Bach

TABLA DE CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	14
1. JUSTIFICACIÓN	16
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo General	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3. FUNDAMENTACIÓN	18
3.1. IMAGEN DIGITAL	18
3.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA IMAGEN	19
3.2.1. Pixel	19
3.2.2. Resolución	20
3.2.3. Tamaño	20
3.3. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES	20
3.4. CAPTURA DE LA IMAGEN	21
3.4.1. Sistema Monocular	21
3.4.2. Sistema Binocular	22
3.5. PREPROCESADO	22
3.5.1. FILTRADO	22
3.5.2. OTRAS OPERACIONES	25
3.6. TRANSFORMADA DE HOUGH	25
3.7. AJUSTE DE CURVAS	28
3.8. COVARIANZA	29
3.9. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	30
4. IMPLEMENTACIÓN	31
4.1. ADQUISICIÓN DE VIDEO	31
4.1.1. Parámetros De Grabación	31
4.1.2. Información del Video	32

4.2. FRAGMENTACIÓN DE VIDEO	33
4.3. PREPROCESAMIENTO DE FRAMES	34
4.3.1. Región De Interés (ROI)	34
4.3.2. Filtro de Mediana	35
4.3.3. Filtro Sobel	35
4.3.4. Binarización	35
4.3.5. Dilatación	36
4.4. PROCESAMIENTO DE FRAMES	37
4.4.1. Establecimiento de los parámetros	37
4.4.2. Identificación de los puntos	38
4.4.3. Trazado de línea de Hough	39
4.4.4. Extracción de características de la línea	40
4.5. DATOS DE INCLINACIÓN MEDIDOS	40
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
5.1. DESEMPEÑO DEL ALGORITMO	42
5.2. ANÁLISIS DEL AJUSTE DE CURVAS	43
5.3. ANÁLISIS DE MUESTRA DE NIVEL	45
5.3.1. CONVERSIÓN DE DATOS DE NIVEL	46
5.4. RECONSTRUCCIÓN DEL VIDEO	49
6. CONCLUSIONES	51
7. RECOMENDACIONES	52
7.1. TRABAJO A FUTURO	52
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	57

LISTA DE FIGURAS

	pág
1. Tipos de Imagen	18
2. Matriz de Pixeles	19
3. Diagrama de Bloques del Procesamiento Digital de Imágenes.	21
4. Sistemas de Visión para la Adquisición de Imágenes	22
5. Máscara de Filtro	23
6. Filtro de Mediana	24
7. Máscaras del Filtro Sobel	24
8. Dilatación de una Imagen.	25
9. Distribución de Hough en el Plano X-Y	26
10. Conversión de puntos Hough a plano Polar.	27
11. Interpolación Polinomial	28
12. Desviación en Ajuste de Curvas.	29
13. Ubicación del Elemento Sensor.	31
14. Elemento Sensor en el Parachoques del Vehículo.	32
15. Tipos de Distorsión.	32
16. Fragmentación en Frames.	33
17. Diagrama de bloques Preprocesamiento de Frames	34
18. Región de Interés (ROI)	34
19. Pre-procesamiento de Imágenes	36
20. Diagrama de Bloques Transformada de Hough.	37
21. Puntos dispersos en la imagen	38
22. Transformada de Hough	39
23. Trazado de Líneas Hough	40
24. Medidor de Nivel	41
25. Comparación datos reales con los datos de la transformada de Hough . .	42
26. Ajuste de Curvas de los Frames del Video	43
27. Grafica de nivel medido	46
28. Comparación de ajuste de curvas grado 3 con datos de nivel	47

ANEXOS

pág

1. Anexo A. Pruebas del algoritmo en diferentes locaciones	51
2. Anexo B. Cuadro 1. Comparación de inclinación real vs detectada con transformada de Hough	56
3. Anexo C. Algoritmo para la detección de inclinación en vía interurbana. Lenguaje Matlab	57

GLOSARIO

AMBIENTE CONTROLADO: espacio que ha sido cuidado hasta el mínimo detalle mediante métodos no naturales para un fin determinado, en el caso de este proyecto: iluminación, tráfico, distancia, ubicación de la cámara, entre otros.

ALGORITMO: conjunto de instrucciones organizadas de manera lógica y ordenada para lograr un resultado específico.

ELEMENTO ESTRUCTURANTE: elemento de forma conocida en las transformaciones morfológicas creado para extraer estructuras geométricas en los conjuntos sobre los que se opera, el tamaño y la forma de este se escoge de acuerdo a la morfología sobre la que se va a interactuar.

ELEMENTO SENSOR: dispositivo capaz de divisar acciones o estímulos externos, en el caso de las imágenes el sensor está capacitado para detectar la luz. Convierte las señales de luz en eléctricas para almacenarlas y transformarlas en una representación digital.

FRAME: término que se traduce como fotograma, es cada una de las imágenes instantáneas que conforman un video, son mostradas en una pantalla por unidad de tiempo, por lo general en segundos, FPS (Frames Por Segundo).

INTERPOLACIÓN POLINÓMICA: técnica que se usa para encontrar un polinomio que interseque la mayor cantidad de puntos obtenidos por un muestreo.

MÁSCARA: matriz de coeficientes de tamaño $M \times N$ que tiene como propósito recorrer la imagen y realizar operaciones en los valores originales de los pixeles para un objetivo determinado.

RGB: sigla formada por los términos , se refiere a un modelo de color en el cual la representación de las distintas tonalidades de los colores esta dada a partir de la mezcla de estos tres colores primarios.

RUIDO SAL Y PIMIENTA: Caracterizado por la diferencia entre los pixeles de la imagen y los pixeles circundantes ya sea en color o intensidad. Por lo general se cubre de forma dispersa la imagen con una serie de pixeles blancos y negros.

UMBRAL: Valor a partir del cual empiezan a ser perceptibles los efectos de un agente físico.

VARIANZA: Medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos a su medida.

RESUMEN

Un tema de relevancia en los últimos tiempos es satisfacer la comodidad de las personas, la tecnología ha avanzado tanto que actualmente el estudio de visión por computador, diseño computarizado, simuladores, la realidad virtual y aumentada está tomando fuerza en casi todo lo que nos rodea. El procesamiento digital de imágenes es el principio básico de estos temas debido a su amplio conjunto de herramientas que facilitan el manejo y análisis de imágenes del mundo real, así mismo se extrae información necesaria de estas que puede ser aportada a dispositivos para que sean capaces de realizar acciones sin la intervención del ser humano y tomar decisiones correctas en cada tarea que estos ejecuten, logrando una automatización del entorno.

El fin del presente proyecto de grado es el estudio e implementación de un algoritmo en un ambiente controlado para la identificación de la inclinación de las vías interurbanas, su ejecución se ha realizado sobre la herramienta de software matemático MATLAB (MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices").

El algoritmo en mención se encarga en primera instancia de realizar un pre-procesamiento en una secuencia de frames de carreteras obtenidas de un video previamente grabado por un sistema de percepción, para luego por medio de la transformada de Hough extraer características propias del contenido de las imágenes que ayudaran al reconocimiento automático de las líneas viales.

En la etapa final se utilizó el método de ajuste de curvas por aproximación de mínimos cuadrados con los datos extraídos para así elegir el arreglo más cercano a la realidad y poder diferenciar la inclinación (subida, bajada, plana) de las imágenes de la carretera. Los resultados obtenidos son nuevamente usados para reconstruir el vídeo principal. El algoritmo final puede ser un inicio para asistentes de carretera, principios de simulación, reconocimientos viales, entre otros posibles usos o que junto con trabajos futuros puede llevar a patentes que impulsen la sociedad por el camino de la virtualización.

PALABRAS CLAVES: Visión por computador, Algoritmo, Frames, Transformada de Hough, Ajuste de Curvas.

ABSTRACT

A relevant topic in the present is to satisfy people comfort, the technology has progressed so much that at the present the computer visión, computer-aided design, simulators, virtual and augmented reality are being seen more often in all what surround us. The digital images processing is the basic principle of these topics due to their large tools set that make easier the análisis and management of the real world images, same way the required information is extracted from the images itself that could be applied on devices to make them able to make actions without human intervention and make right decisions on each task they're doing, achieving an environment automatization.

The main purpose of this degree project is to study and implement an algorithm in a superintend environment for the detection of the interurban roads inclination, it has been created on the mathematical software tool MATLAB (MATrix LABoratory).

The earlier mentioned algorithm is responsable in first instance of doing a roads pre-processing in a frames sequence gotten from a previously recorded video by a perception system, then by using the Hough transform, extract the images content main features that will help the automatic recognizement of road lines.

In the final stage the curves adjustment method for approximation of minimum squares with the extracted data was used so the configuration closest to reality is chosen and so to differentiate the inclination of the road images (climb, descent, flat). The obtained results are used yet again to reconstruct the original video. The final algorithm can be the beggining of a road assistant, simulation principles, road recognizements and other possible usages or, with additional effort it could push patents that push society into the virtualization road.

Keywords: Computer visión, Algorithm, Frames, Hough transform, Curves adjustment.

INTRODUCCIÓN

A medida que pasa el tiempo la necesidad del mundo de crecer tecnológicamente es evidente; es por ello que en la actualidad la automatización está tomando cada vez más fuerza, se compran y se venden diferentes sistemas capaces de trabajar por si solos, ya sean controlados por voz, señas o botones. Todos estos desarrollos tratan de dar facilidad en la cotidianidad, dar comodidad y ambiente saludable para las personas, en cualquier parte podemos ver avances de este tipo, desde los hogares hasta las industrias, pasando por las carreteras, como es el caso de este proyecto, siendo estas el enfoque en los últimos años debido a que es un campo de acción muy amplio, puesto que de ellas se pueden procrear ambientes de simulación, de realidad aumentada o virtual, o simplemente para análisis de la misma, observando aspectos importantes como el estado, la curvatura o la inclinación, dando también un inicio para asistentes de conducción entre otros usos que se le puede dar al análisis de las vías.

Se han considerado diferentes maneras de analizar la conducción, ya sea siendo totalmente independiente, en el cual el objetivo es una descripción del entorno que permita la navegación autónoma, o simplemente haciendo asistencia a un conductor, en la cual no es necesario tomar el control del vehículo, sino percibir los elementos relevantes del entorno que puedan producir alguna situación peligrosa.

Para el análisis de las vías existen diferentes medios que ayudan a realizar el trabajo como cámaras o sensores, donde este último tiene variaciones como infrarrojos, detección por ultrasonido, por inducción, capacitivos o demás tipos, a su vez, existen referencias de proyectos anteriormente realizados que manejan este campo como detección de obstáculos, detección de carriles¹, junto con alarmas de salida de carril², o detección de objetos dentro de la carretera³ con estabilizadores de imágenes⁴, modelando los carriles⁵ o haciendo una aplicación⁶, o simplemente detectando el espacio libre⁷. Son muchos de los enfoques que se pueden tomar en la parametrización de las carreteras para predecir o actuar sobre ellas. La mayor parte de los sistemas orientados al estudio de las vías trabajan con el procesamiento digital de imágenes manejando un esquema general el cual tiene como inicio la captura de cuadros mediante algún sistema de visión, identificación de características tales como color, forma, bordes,

¹ GOMEZ zurita, José. Detección de líneas de carril en autopista. Depósito digital de documentos de la UAB. Barcelona:UAB; 2016.

² COLLADO, Juan Manuel; HILARIO, Cristina; ESCALERA, Arturo y ARMINGOL, José María. Visión por computador para vehículos inteligentes. Grupo de sistemas inteligentes Carlos III. Leganes: U. Carlos III de Madrid; 2003.

³ TOME, Adrian. Modelado y detección de elementos de interés en secuencias de vídeo de carreteras mediante técnicas de visión artificial. Departamento de tecnología electrónica y de las comunicaciones de la UAM. México: UAM; 2014.

⁴ GONZALES, Alvaro; BERGASA, Luis; ALCANTARILLA, Pablo; y JIMENEZ, Pedro. Estabilización de imágenes obtenidas por una cámara a bordo de un vehículo en movimiento para la mejora de un sistema Light-Beam. IX Workshop en Agentes Físicos; 2008.

⁵ COLLADO, Juan Manuel. Detección y modelado de carriles de vías interurbanas mediante análisis de imágenes para un sistema de ayuda a la conducción. Tesis Doctoral. España: U. Carlos III de Madrid; 2009. 92-102 p.

⁶ GARCIA, Carlos. Aplicación Android para la detección de las líneas de la carretera. Tesis de grado en ingeniería electrónica industrial y automática. España: U. Carlos III de Madrid; 2015.

⁷ LOPEZ, José Escribano. Detección del Espacio Libre Conducible. Ingeniería informática. Escuela de ingeniería EE. Barcelona: U. Autónoma de Barcelona; 2016.

etc., para luego usarlas en alguna aplicación específica, como pueden ser el seguimiento automático de carril, las alertas por salida, asistencia al conductor, o detección de inclinación.⁸

Este proyecto de grado explica el funcionamiento de un algoritmo que se encarga de la detección de la inclinación de una vía interurbana, en el cual se analizan las secuencias de imágenes previamente obtenidas para poder identificar características que determinan el ángulo relacionado a la pendiente de la ruta especificada por medio del método de la transformada de Hough y posteriormente evaluar los resultados obtenidos.

El análisis de la inclinación en una carretera puede convertirse en una guía para futuros desarrollos como simuladores, modelamiento, detección de patrones, activadores de ayudas (conductores) entre otras posibles funciones que no se realizarán en este proyecto.

⁸ COLLADO. Op, cit., p. 20-25.

1. JUSTIFICACIÓN

Los simuladores hoy en día son el resultado del procesamiento de imágenes, que junto con la realidad aumentada el usuario está inmerso en un ambiente natural, enriqueciendo la realidad existente con información útil. El propósito de ellos normalmente es diversión y recreación, en algunos casos es enseñar técnicas y aprender a controlar objetos sin correr ningún tipo de riesgo, adquiriendo destrezas en un entorno controlado sin el estrés que puede resultar realizarlos en ambiente abierto.

Las ayudas en la conducción se presentan en todos los vehículos nuevos de media y alta gama, esta podría ser una posición de arranque para un algoritmo de ayuda en la modificación de la setup de los vehículos, logrando un performance para subida, por ejemplo, asistiendo a los conductores inexpertos.

En la detección de patrones de la vía podría tener un amplio uso, aunque en este proyecto se limita al uso sobre las vías bien demarcadas o delimitadas, adquiriendo las imágenes con una sola cámara para la detección de la inclinación de la vía, podría surgir efecto plantear un análisis de las inclinaciones con dos cámaras para modelamiento de la carretera en tercera dimensión, siendo un punto de partida para más posibles usos del algoritmo. El análisis del estado de las vías podría ser otro aspecto importante en este algoritmo, en vista de que una carretera bien tecnificada y previamente planteada, no debe tener mucha pendiente, las infraestructuras modernas de las grandes ciudades deben estar lo suficientemente bien planteadas para garantizar una buena movilidad dentro de ella.

En la topografía se puede plantear una ayuda con el algoritmo, debido a que el análisis final del estado de la vía requiere datos de inclinación, de entre otras cosas, teniendo otro tipo de fundamento para resultados correctos.

Los proyectos de detección de carriles fueron base para el planteamiento de este, pero en este proyecto se realizará el análisis de una carretera de doble vía, pudiendo obtener la pendiente en las imágenes adquiridas de una ruta donde existen más elementos externos de un video previamente establecido y grabado.

Este trabajo es parte inicial de un proyecto del semillero UNITCOM, donde se implementará el algoritmo para un simulador de spinning en ambiente controlado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Implementar un algoritmo para la identificación de la inclinación de carreteras interurbanas, dentro de un ambiente controlado.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la grabación de video en carretera con especificaciones técnicas necesarias, familiarizando las características del video con una herramienta para procesamiento de imágenes.
- Efectuar el respectivo procesamiento a las imágenes extraídas del video pregrabado, adaptando los diferentes tipos de filtros, detectores de bordes y segmentación.
- Usar las características extraídas para poder identificar finalmente la inclinación de la carretera.
- Evaluar el desempeño del rendimiento del algoritmo y la exactitud de los resultados, escribiendo el documento con los ítems correspondientes para su evaluación final.

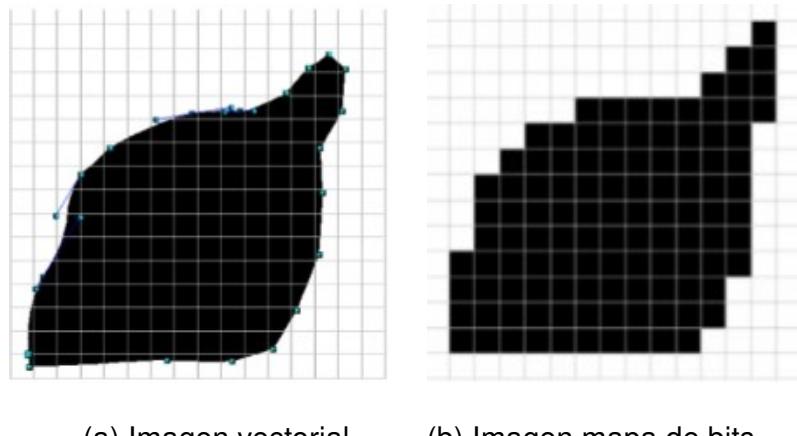
3. FUNDAMENTACIÓN

3.1. IMAGEN DIGITAL

Todo lo que se percibe alrededor de manera visual se puede llamar imagen, pero cuando estas imágenes pasan de ser solo percibidas a ser almacenadas en algún soporte físico y representadas de manera bidimensional a partir de matrices numéricas⁹, se convierte en una imagen digital. Cuando se habla de matrices numéricas se refiere a un grupo de valores agrupados en filas y columnas.

Las imágenes digitales pueden ser vectoriales o de mapa de bits, las primeras están compuestas por entidades geométricas simples ya sean polígonos básicos o segmentos, cada una de estas entidades está definida matemáticamente por un grupo de parámetros. La ventaja de este tipo de imagen es que pueden tener transformaciones geométricas sin alterar su información. Por otro lado, se encuentran las imágenes de mapa de bits, las cuales están compuestas por un grupo de píxeles que llevan un valor que se encarga de describir su color¹⁰ todos estos valores juntos dan como resultado una imagen; este tipo de imagen es óptimo para el procesamiento digital y es el que se usó en este proyecto, que al contrario del anterior, no solo está definido para cambios geométricos. En la figura (1) Se observa un ejemplo de imagen vectorial (a) e imagen en mapa de bits (b).

Figura 1: Tipos de Imagen



(a) Imagen vectorial

(b) Imagen mapa de bits

Fuente: CORTES, T. Imágenes vectoriales e imágenes de mapa de bits. 2017.

En las imágenes de mapa de bits se pueden encontrar diferentes formas de representación, sea en escala de grises las cuales llevan una matriz de $M \times N$ (M hace

⁹ LOBOS, Sigrido. La imagen digital. Cultura Audiovisual; 2014.

¹⁰ SERNA, Nora; CONCEPCIÓN, Luzmila y DURAN, Carlos. Compresión de imágenes: Fundamentos, técnicas y formatos. Revista de ingeniería de sistemas e informática Vol. 6. Peru: U. Nacional Mayor de San Marcos; 2009. p. 26-27.

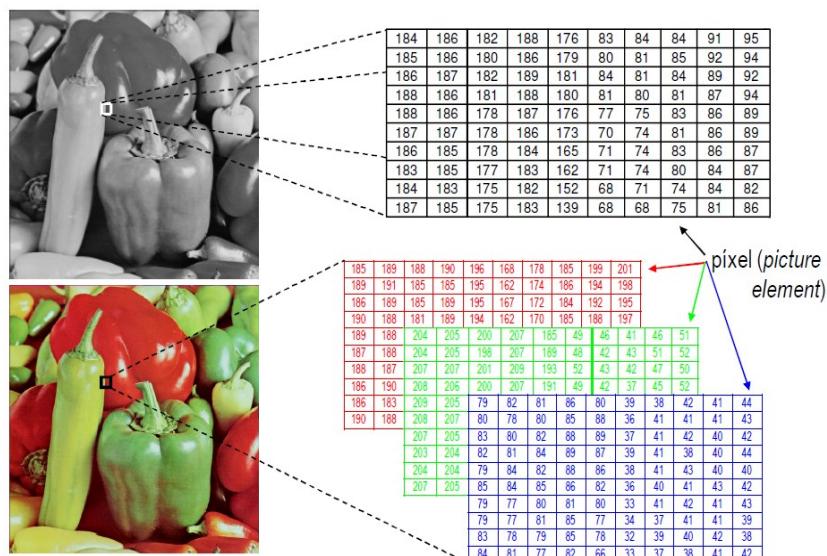
referencia a la cantidad de filas y N a la cantidad de columnas), los valores pueden variar de 0 a 255, en color RGB (Red, Green, Blue) donde los píxeles se encuentran en matrices de $M \times N \times 3$ (3 matrices RGB de M filas y N columnas) y también pueden cambiar su valor de 256 maneras diferentes, y las binarias las cuales tienen una matriz $M \times N$ pero solo definida por valores de 1 y 0.¹¹

3.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA IMAGEN

Dos imágenes pueden tener el mismo contenido de fondo, pero esto no quiere decir que sean exactamente iguales, las dos pueden tener propiedades diferentes que hará que cada una de ellas sea única, estas características serán indispensable al momento de querer hacer un procesamiento digital, debido a que no todas las imágenes se trabajan con el mismo método, se pueden modificar para diversos tipos de trabajos, algunas de estos aspectos se describen a continuación.

3.2.1. Pixel

Figura 2: Matriz de Píxeles



Fuente: GONZALES, Yolanda. Formación de la Imagen. Imágenes Digitales [diapositivas]. Escuela Politécnica Superior. Departamento de ciencias matemáticas e informáticas. España: U. de las islas Baleares. Diapositiva 3.

¹¹ GONZALES, Yolanda. Formación de la Imagen. Imágenes Digitales [diapositivas]. Escuela Politécnica Superior. Departamento de ciencias matemáticas e informáticas. España: U. de las islas Baleares. diapositiva 10.

Las imágenes digitales están constituidas por una sucesión de píxeles que forman una matriz de información.¹² Cada pixel está compuesto por 8 bits (1 Byte), y admite de 0 a 255 variaciones de color es decir 2^8 posibilidades. Es importante aclarar que los píxeles son los elementos encargados de manejar el modelo del color ya sea RGB($M \times N \times 3$), CMYK($M \times N \times 3$), escala de grises($M \times N$), etc.¹³ En la figura (2) se puede apreciar una imagen con su representación en escala de grises (matriz $M \times N$) y en RGB.

3.2.2. Resolución

La resolución está dada por la cantidad de píxeles que contiene una imagen, expresada en píxeles por pulgada o píxeles por centímetro, mientras más grande sea el valor numérico de píxeles que posee la imagen mejor resolución tendrá,¹⁴ es importante tener en cuenta la resolución en las imágenes de mapa de bits, ya que esta es la que va a definir la calidad que se posee, la desventaja de una alta resolución es que tendrá mayor procesamiento computacional a la hora de realizar un tratamiento digital, debido a que se ocupa más espacio que una imagen con una resolución media o baja a causa del aumento de la cantidad de píxeles.

3.2.3. Tamaño

Todas las imágenes son representadas por matrices numéricas de píxeles, la suma de todas las filas y las columnas de la matriz definen el tamaño de la imagen en esta unidad, esta característica viene limitada a la capacidad del elemento sensor con el cual se está capturando la imagen,¹⁵ las dimensiones físicas que adquiere la representación de esta dependen del medio que se use para mostrarse.

3.3. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El avance de la tecnología ha permitido que se creen algoritmos que permitan transformar imágenes ya sean en tiempo real o previamente obtenidas como es el caso de este proyecto, y se encargan de resaltar información que pueda ser de interés o eliminar la que sea irrelevante, todo esto con el fin de poder ser utilizadas para un objetivo fijo.

El tratamiento digital de imágenes lleva un proceso de varias etapas, que se muestran en la figura (3) y que se describen a continuación de esta.

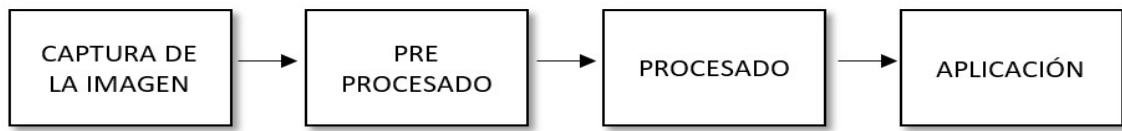
¹² DISEÑO DE MATERIALES MULTIMEDIA. Web 2.0. La imagen. Conceptos básicos de imagen digital. p. 146.

¹³ GRUPO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Color en imágenes digital [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez. diapositiva 32-55.

¹⁴ BLANCH Arona, Mónica. Características de la imagen digital; 2011.

¹⁵ GARCIA, Marcial; BUENO, Gloria; GONZALES, Jesús y CARBAJO, Vicente. Aspectos básicos de la imagen digital vol. 3. p. 72; 2005.

Figura 3: Diagrama de Bloques del Procesamiento Digital de Imágenes.



Fuente: COLLADO, J. Detección y modelado de carriles de vías interurbanas mediante análisis de imágenes para un sistema de ayuda a la conducción. 2009. p. 46.

3.4. CAPTURA DE LA IMAGEN

Existen diferentes elementos sensores para poder adquirir imágenes, ya sea desde una cámara de tubo, hoy en día obsoletas hasta una cámara de estado sólido,¹⁶ cada uno de estos elementos posee ciertas características que los diferencian como lo son la resolución, el tamaño, entre otras.

Estos elementos sensores se pueden organizar de la manera ideal para cada adquisición que se deseé hacer, existen desde la construcción de sistemas monoculars en donde solo se usa un lente, y otros como los sistemas binoculares en los cuales la cantidad de lentes es del doble de un sistema monocular.

Se encuentran otros sistemas de visión con mayor cantidad de lentes pero no son relevantes en este proyecto de grado, por ende no serán explicados.¹⁷

3.4.1. Sistema Monocular

Las imágenes se adquieren por medio de una cámara con un solo lente ubicada en un lugar fijo con el propósito de tener buen enfoque sin distorsión, a la hora de usar un sistema monocular se debe tener en cuenta que la información obtenida será menor ya que solo se tendría una sola percepción de las cosas, pero al mismo tiempo sería menor el costo computacional a la hora de hacer el procesamiento. Los sistemas monoculars no permiten realizar una reconstrucción completa del entorno en 3D, por lo que obligan a recurrir a hipótesis geométricas como las suposiciones de carretera plana o carriles de ancho constante.¹⁷

¹⁶ GRUPO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Adquisición de Imágenes [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez. 83 diapositivas.

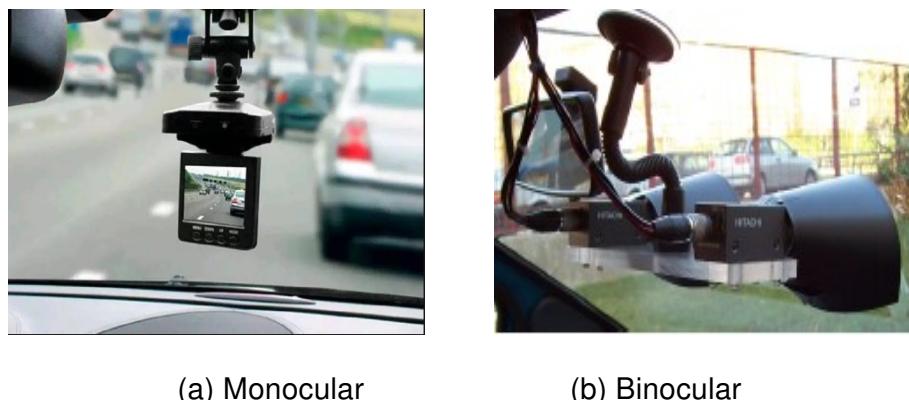
¹⁷ COLLADO. Op. cit., p. 17-19.

3.4.2. Sistema Binocular

El uso de dos lentes permite tener la oportunidad de obtener una misma imagen desde dos puntos diferentes, dando así características como profundidad, distancia, mayor enfoque y mayor capacidad para detectar detalles,¹⁷ también permite la eliminación de objetos sin interés, y la mejora de la imagen por distorsión de alguno de los lentes.

La manera en que se deben organizar los sistemas de adquisición de imágenes son presentados en la figura (4), las cuales corresponden a monocular (a) y binocular(b).

Figura 4: Sistemas de Visión para la Adquisición de Imágenes



(a) Monocular

(b) Binocular

Fuente: COLLADO, J. Detección y modelado de carriles de vías interurbanas mediante análisis de imágenes para un sistema de ayuda a la conducción. 2009. p. 17-19.

3.5. PREPROCESADO

Cuando se adquiere una imagen algunas veces esta puede contener defectos como los son el ruido, el tamaño, alto brillo o bajo contraste, entre otras, de igual manera puede tener objetos específicos siendo difícil extraerlos fácilmente, para esto existen métodos que se realizan en el pre-procesamiento digital, logrando obtener una mejor claridad de lo que se desea de esta captura.

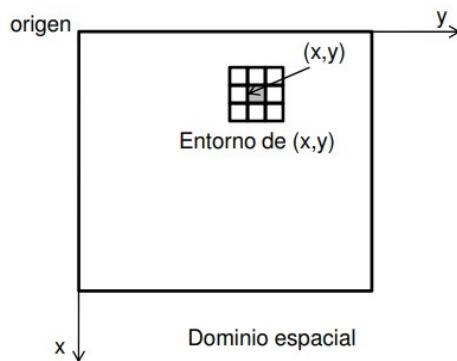
Lo que se realiza en esta etapa es una preparación de la imagen para hacer más fácil su debido procesamiento y así llegar a una aplicación, en el caso de este proyecto lograr obtener la detección de las vías de las carreteras y así mismo lograr identificarlas.

3.5.1. FILTRADO

Las técnicas de filtraje son transformaciones pixel a pixel en la imagen, que no dependen únicamente del nivel de gris de un solo pixel, si no también del valor de niveles de grises de los pixeles vecinos. Este proceso se hace con matrices especiales denominadas

máscaras, que hacen un recorrido sobre la totalidad de la imagen¹⁸ (Figura 5), para así al final obtener una nueva imagen, sin imperfecciones como sucede en el caso del ruido, o con detalles de interés realizados como pueden ser bordes, esquinas, nitidez, cambio de tonalidad, etc.

Figura 5: Máscara de Filtro



Fuente: FILTROS. Filtros digitales. Tema 3. Grupo us.

■ Filtro de Mediana

El principal objetivo del filtro de mediana es reducir el ruido de sal y pimienta y gaussiano, remplazando el pixel analizado en la imagen por la mediana del brillo con respecto a los vecinos más cercanos, la mediana se calcula ordenando los valores de los pixeles vecinos en orden y seleccionando el que queda en el medio.¹⁹ Como se muestra en la figura (6).

Además de reducir el ruido este filtro no empaña demasiado los bordes cuando se usa una máscara pequeña en comparación a otro tipo de filtros,²⁰ la desventaja es que por ser no lineal tiene un desempeño más lento y al encontrarse con el caso de que los pixeles con ruido sean mayores a la mitad del número total de pixeles en la vecindad disminuirá su eficiencia.

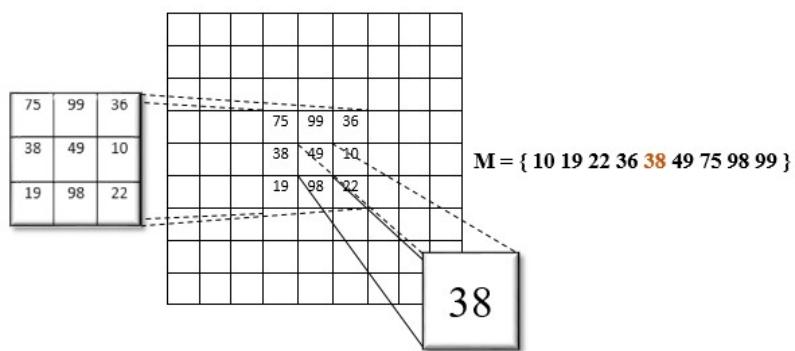
■ Filtro Sobel

Los detectores de bordes se encargan de captar los cambios en la intensidad de luz de una imagen, con el fin de realizar objetos, segmentar, o resaltar características que se pueden necesitar para poder realizar un procesamiento digital²¹, para este tipo de proceso es importante hacer la reducción de ruido adecuado con anterioridad para así lograr tener una correcta extracción de lo que se desea. Los métodos para este proceso utilizan operadores que marcan puntos de acuerdo a las discontinuidades en los niveles de gris, los colores o las texturas,²² el objetivo

es lograr una imagen de salida donde se muestre pixeles de mayor intensidad en los valores que detectan transiciones cercanas.

El filtro de sobel es un detector de bordes sensible a los bordes diagonales, funciona haciendo un recorrido por los pixeles de la imagen, y a los de alto gradiente los asume como bordes.²³ Por lo general usa mascaras de convolución y posee un énfasis especial en los pixeles cercanos al centro de la máscara.²⁴ Posee mascaras horizontales (SX) y verticales (SY) (Figura 7) , las cuales se encargan de hacer el recorrido por la imagen.

Figura 6: Filtro de Mediana



Fuente: TARDOS, J.D. Vision por computador. P. 14

Figura 7: Máscaras del Filtro Sobel

$\begin{array}{ c c c } \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -2 & 0 & 2 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c c c } \hline -1 & -2 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array}$
Sx	Sy

Fuente: GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Detección de Bordes en una Imagen [diapositivas]. España: U. Miguel Hernandez. diapositiva 18.

¹⁸ BIBLIOTECA UDLAP. Procesamiento de imágenes. México: U. de las Américas Puebla; p. 4.

¹⁹ GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Reducción del ruido en una imagen digital [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez. diapositiva 11.

²⁰ BIBLIOTECA UDLAP. Op, cit., p. 6.

²¹ MACIAS, R. y RODRIGUEZ J. Extracción de bordes; operadores sobel, prewitt y roberts. Instituto politécnico nacional. CIDETEC. México: Unidad Profesional Adolfo López Mateos; 2016

²² GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Detección de Bordes en una Imagen [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez. diapositiva 18.

²³ BIBLIOTECA UDLAP. Op, cit., p. 12.

²⁴ DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIÓN Y AUTOMÁTICA. Detección de bordes en una imagen. Área de ingeniería de sistemas y automática. España: U. de Jaén

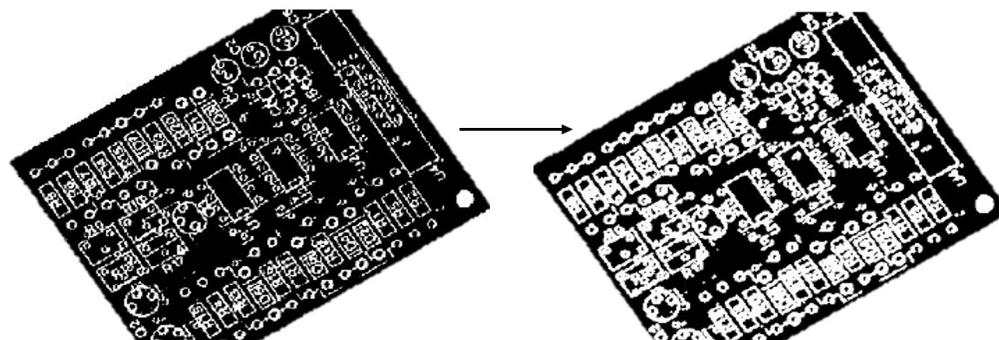
3.5.2. OTRAS OPERACIONES

Existen otro tipo de operaciones que pueden ayudar a un mejor procesamiento, por lo general las imágenes para recibir cualquier intervención es necesario que se encuentre en una matriz binaria es decir unos y ceros como valores, a esto se le llama Binarización,²⁵ lo que da como resultado una imagen solo a blanco y negro.

El principio de la binarización se basa en escoger un umbral en donde se reparten los pixeles pertenecientes a la imagen,²⁶ los pixeles menores al valor del umbral se convertirán en ceros y los pixeles mayores a este se convertirán en unos.

También existen otras operaciones con importancia, en este caso la Dilatación maneja un papel fundamental, gracias a su propiedad de aumentar regiones, para así poder identificar en las imágenes objetos o líneas con mayor facilidad. Se basa en escoger un elemento estructurante como referencia de la cantidad de pixeles que se aumentara la imagen de los bordes originales al exterior.²⁷ (Figura 8).

Figura 8: Dilatación de una Imagen.



Fuente: GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Transformaciones de una imagen [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez. diapositiva 22.

3.6. TRANSFORMADA DE HOUGH

La segmentación es el proceso que se encarga de dividir una imagen en regiones u objetos cuyos píxeles poseen atributos similares. Cada región segmentada suele tener un significado físico dentro de la imagen.²⁸ Es uno de los procesos más importantes en

²⁵ CORTES, Fernando. Binarización de una imagen; 2014.

²⁶ GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Transformaciones de una imagen [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez. diapositiva 3-11.

²⁷ GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Op, cit., diapositiva 19-22.

²⁸ DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIÓN Y AUTOMÁTICA. Segmentación. Transformada de Hough. Área de ingeniería de sistemas y automática. España: U. de Jaén; 2006 p. 2.

el procesamiento de imágenes ya que permite extraer los objetos de la imagen para su posterior descripción y reconocimiento.

La transformada de Hough es un tipo de segmentación que basa su técnica en la detección de frontera mediante la identificación de los límites de cada región es decir en los bordes que la imagen presenta, es una técnica muy robusta frente al ruido y a la existencia de espacios en blanco en la frontera del objeto.²⁹ Es necesario que este proceso se realice luego de que la imagen se encuentre binarizada.

Este método puede identificar tanto círculos como rectas, en este proyecto se trabajó como detección de líneas rectas así que la manera cómo funciona para círculos no será mencionada.

Las rectas poseen una ecuación general (ecuación 1);

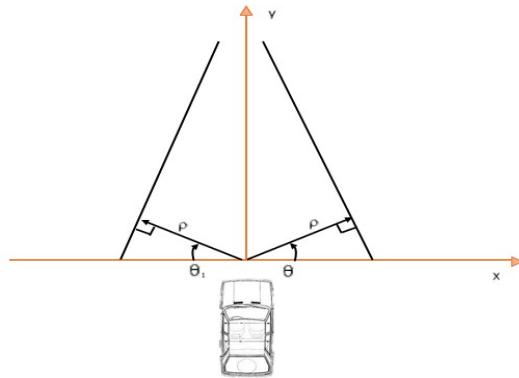
$$y = m * x + c \quad (1)$$

en el plano $X - Y$ pero al convertirla al plano de coordenadas polares θ, ρ se convierte en la ecuación 2:

$$\rho = x * \cos\theta + y * \sin\theta \quad (2)$$

donde ρ es la distancia perpendicular desde el origen a la recta y θ es el ángulo formando entre ρ y el eje horizontal.³⁰ Para el caso específico del manejo de las líneas viales, se tiene de referencia el centro de la carretera como cruce de ejes X-Y, ajustando la línea derecha en el primer cuadrante y la línea izquierda en el segundo cuadrante, en este orden, ésta última tendría un ángulo θ negativo con respecto a un ρ desde el origen. Como se muestra en la figura (9).

Figura 9: Distribución de Hough en el Plano X-Y



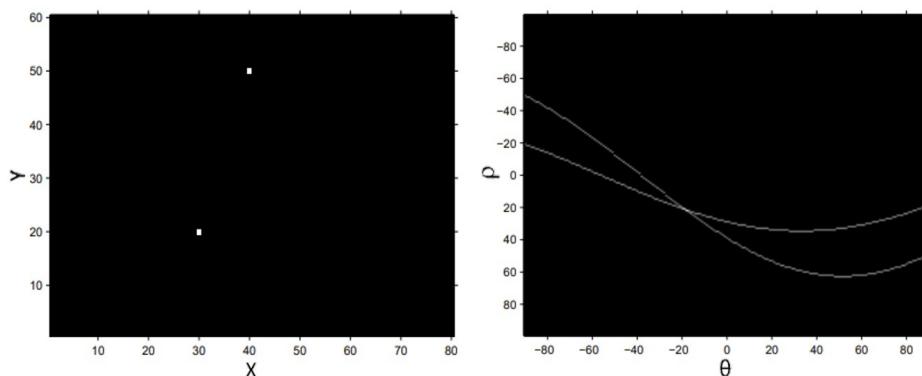
Fuente: COLLADO, Juan Manuel. Detección y modelado de carriles de vías interurbanas mediante análisis de imágenes para un sistema de ayuda a la conducción. Tesis Doctoral. España: U. Carlos III de Madrid; 2009. p. 69.

Para el funcionamiento de la transformada de Hough es necesario tener un acumulador en forma de matriz donde se irán manteniendo los valores de ρ y θ . Este proceso se debe evaluar para cada punto de la imagen, en donde las líneas que pasan por cada punto establecen ecuaciones cartesianas que luego serán convertidas en ecuaciones polares con el fin de tener valores en el espacio (ρ, θ) ,³⁰ esto crea una curva senoidal, que es única para el punto evaluado, si las curvas pertenecientes a dos puntos se intersecan, el punto de intersección en el espacio de Hough corresponde a una línea en el espacio de la imagen que pasa por estos dos puntos.³¹

Cada elemento de la matriz acumuladora creada, tendrá un valor igual a la suma de los pixeles que están posicionados en la línea representada por parámetros cuantificados (ρ, θ) .³¹

De este modo, la casilla (en la posición (ρ, θ) en la matriz)³² con la mayor cantidad de puntos intersecados, indica la línea recta más representativa en la imagen de entrada. En la figura (10) se observa un ejemplo de transformada de Hough de una imagen, pasando del plano X-Y al plano θ y ρ , los dos puntos analizados crean dos líneas senoidales, y el punto de intersección de estas líneas, asegura el paso de una recta por los dos puntos.

Figura 10: Conversión de puntos Hough a plano Polar.



Fuente: Line Detection by Hough transformation (2009). Pág 3.

²⁹ DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIÓN Y AUTOMÁTICA, Op, cit., p. 1

³⁰ MARTINEZ, Tania. La transformada de Hough. Detección de Líneas y círculos [diapositivas]. Investigación documental. 2015. 41 diapositivas.

³¹ GANOKRATANNA, Thittaporn; KETCHAM Mahasak y SATHIENPONG Sasipa. Real-time lane detection for driving system using image processing based on edge detection and hough transform. Dept. of Media Technology (MDT); 2013.

³² ZHAO, Yao; PAN, Haibin; CHANGPING, Du y ZHENG Yao. Principal direction-based Hough transform for line detection. Optical Review. 2015.

³³ GUAMÁN, Luis. Ajuste en la detección de la línea de la carretera a través del método mínimos cuadrados. Docente investigador U. Técnica Particular de Loja; 2018.

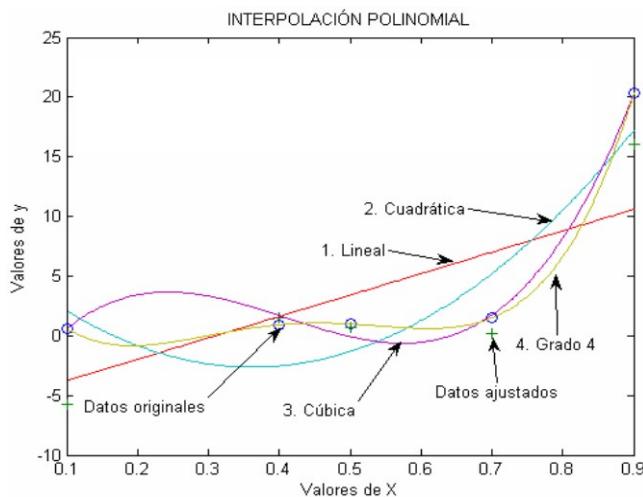
3.7. AJUSTE DE CURVAS

El ajuste de curvas se utiliza cuando se tiene una serie de datos calculados y se desea conocer valores intermedios no conocidos, también en aquellos casos donde se desea una versión simplificada de una función que se ajuste a un número de valores.³³

Para el ajuste de curvas es importante tener en cuenta un conjunto de datos (variable independiente, variable dependiente— y una familia de funciones), estos datos están dados por puntos dispersos en un plano, si estos no son muy exactos o tienen asociado un error, entonces la mejor manera de establecer una sola curva que represente la tendencia general de los datos observados³³ es aplicando el método de mínimos cuadrados.

El proceso de mínimos cuadrados intenta determinar la función continua que mejor se aproxime a los datos (línea o curva de mejor ajuste),³³ cuando se habla de función se refiere a la interpolación polinomial que tenga la mayor posibilidad de intersecar el más alto número de datos sin deteriorar el proceso, proporcionando una demostración visual de la relación entre los puntos de los datos, como se muestra en la figura 11.

Figura 11: Interpolación Polinomial



Fuente: ROMERO, E. (2007).Ajuste de Curvas. Métodos Numéricos. Pág. 13.

Las ecuaciones que responden a la gráfica anterior son las siguientes

(3) *Línea Recta*
$$Y = a_0 + a_1X$$

(4) *Parábola o Curva Cuadrática*
$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$$

(5) *Curva Cúbica*
$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3$$

(6) *Curva Cuartica*

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$$

(7) *Curva de grado n*

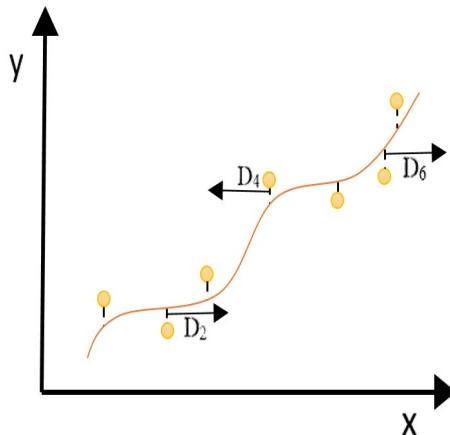
$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_nX^n$$

Donde a_n es el coeficiente en cada valor determinado en X, estando X en función de Y, ($F(x) = Y$), determinado por los valores en el eje de las ordenadas. Se aumenta el ajuste si se incrementa el orden de la ecuación.

3.8. COVARIANZA

Las ecuaciones ajustan de manera distinta, por lo cual para un valor determinado en el eje X , habrá una diferencia entre el valor del eje Y y el valor correspondiente deducido a partir de la curva del ajuste; esta diferencia se denomina error o desviación (D), como se muestra en la Figura 12.³⁴ Los datos de la muestra son analizados para obtener una relación de desigualdad, expresada en las mismas unidades de la relación al cuadrado, a esto se le llama varianza δ^2 . La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media o con respecto a otra función definida como covarianza³⁵, esta última es representada por la ecuación 8.

Figura 12: Desviación en Ajuste de Curvas.



Fuente: Ajuste de Curvas y el Método de Mínimos Cuadrados. Capítulo 13. Pág. 286

$$\delta_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x}) * (y_k - \bar{y}) \quad (8)$$

La ecuación sugiere que \bar{x} y \bar{y} es la media de los datos de la muestra x y y , N es el número total de datos y k va a sugerir una sumatoria en serie desde 1 hasta N , siendo x_k y y_k el dato presente de la serie.³⁶

³⁴ DÍAZ, Tito. Interpolación, ajuste de curvas, integración y derivación numéricas. Material introductorio; 2014.

³⁵ SALINAS, Hugo. Estadística: Conceptos básicos y definiciones. Universidad de Atacama; 2010.

- Si $\delta_{xy} > 0$ hay dependencia directa (positiva), es decir, a grandes valores de X corresponden grandes valores de Y .³⁶
- Si $\delta_{xy} = 0$ Una covarianza 0 se interpreta como la no existencia de una relación lineal entre las dos variables estudiadas.³⁶
- Si $\delta_{xy} < 0$ hay dependencia inversa o negativa, es decir, a grandes valores de X corresponden pequeños valores de Y .³⁶

3.9. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Dispersión se define como el grado de distanciamiento de un conjunto de valores respecto a su valor medio, la correlación se define respecto de otro conjunto de variables, que como su nombre lo indica es capaz de encontrar el valor numérico de la dependencia entre las dos curvas. Con base en el comportamiento que toman las variables de estudio, podemos encontrar 3 tipos de correlación: Positiva, negativa y nula y se usa la letra r para expresarla. En la ecuación 9, se describe la manera de hallar el coeficiente de correlación.³⁷

$$r_{xy} = \frac{\delta_{xy}}{\delta_x * \delta_y} \quad (9)$$

Donde δ_{xy} es la covarianza de (X, Y) , δ_x es la desviación estándar de la variable x y δ_y es la desviación estándar de la variable y .

$r=1$: La correlación es positiva perfecta. Si una variable crece, la otra también lo hace en una proporción constante. Es una relación directa, por eso si trazamos una línea de ajuste esta va pasar por todos y cada uno de los puntos.³⁷

$0 < r < 1$: Es cuando r esta entre 0 y 1 sin llegar a ser 0 y 1. Es una correlación positiva. El grado de cercanía de 1 define qué tan directa y proporcional es la relación entre ambas variables, por ende, entre más cerca esté de 0, más débil será su correlación negativa.³⁷

$r=0$: La correlación es nula, es decir que no existe una relación lineal entre ambas variables. Qué tal si pruebas buscando otro tipo de relación.³⁷

$-1 < r < 0$: Es cuando r esta entre -1 y 0 sin llegar a ser -1 y 0. Es una correlación negativa. El grado de cercanía a -1 define que tan inversa y proporcional es la relación entre ambas variables, por ende, entre más cerca esté de 0, más débil será su correlación negativa.³⁷

$r=-1$: La correlación es negativa perfecta. Si una variable crece, la otra va a disminuir en proporción constante. Es una relación directa e inversa, por lo tanto, una línea de ajuste va a tocar todos los puntos graficados.³⁷

³⁶ CASTILLO, Jorge Osvaldo. Estadística módulo 1. Estadística Aplicada; 2009.

³⁷ DOMENECH ROLDÁN, José. Diagrama de correlación - dispersión. Calidad.

4. IMPLEMENTACIÓN

4.1. ADQUISICIÓN DE VIDEO

4.1.1. Parámetros De Grabación

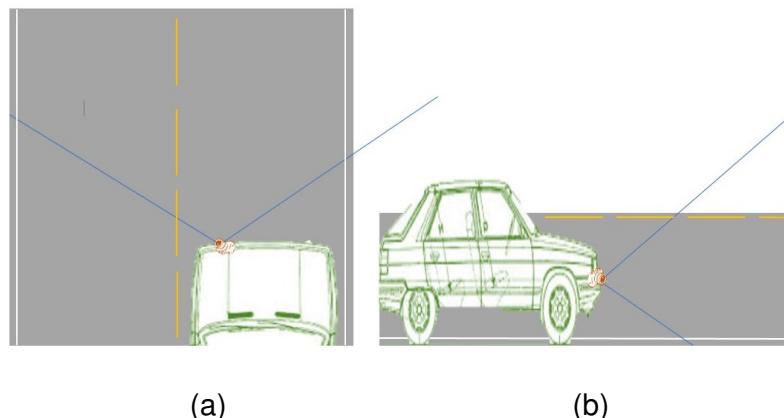
Para la captura de la secuencia de video es necesario tener en cuenta diferentes parámetros como lo son la ubicación, distancia y distorsión del elemento sensor, es decir, la cámara.³⁸

■ Ubicación

En la figura (13) se muestra la ubicación de la cámara, donde las líneas blancas son las delimitantes de la carretera, las amarillas son las divisiones del carril y las azules el campo de visibilidad de la cámara.

La relación entre el ángulo de visión y las dos líneas que demarcان la vía para ubicar la cámara en su posición horizontal se muestra en la figura 13(a) y la relación al ángulo entre el suelo y el eje óptico para detallar la posición vertical en la figura 13(b).

Figura 13: Ubicación del Elemento Sensor.



■ Distancia

La distancia de la línea del elemento sensor fue medida perpendicular al suelo, la que se tomó para este proyecto fue de aproximadamente 50 cm. Teniendo como base de fijación el parachoques frontal del vehículo en el cual está instalado el sistema. Como se muestra en la figura 14.

³⁸ COLLADO. Op. cit., p. 75.

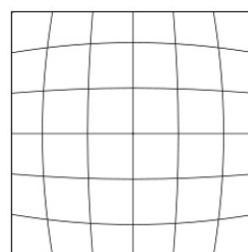
Figura 14: Elemento Sensor en el Parachoques del Vehículo.



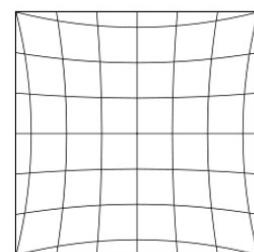
■ **Distorsión**

Es habitual que existan las deformaciones ópticas en las imágenes, causadas por el objeto empleado para realizar la adquisición, logrando que la perspectiva entre lo real y lo capturado cambie, las distorsiones pueden ser de barril o de cojín. La primera se caracteriza por tener las líneas de los extremos aparentando salir al exterior, mientras en la segunda las líneas de los extremos parecen curvarse hacia adentro³⁸, como se muestra en la figura 15. Para corregir este problema se escoge una cámara con estabilizador de imagen digital.

Figura 15: Tipos de Distorsión.



(a)tipo Barril



(b)tipo Cojín

Fuente: Juan Manuel COLLADO (2009). Detección y modelado de carriles de vías interurbanas mediante análisis de imágenes para un sistema de ayuda a la conducción.

4.1.2. Información del Video

Un video es un conjunto de frames(fotogramas) que al visualizarlos en secuencia producen la sensación de movimiento, estos fotogramas se reproducen a una velocidad determinada la cual se conoce como FPS (frames por segundo).

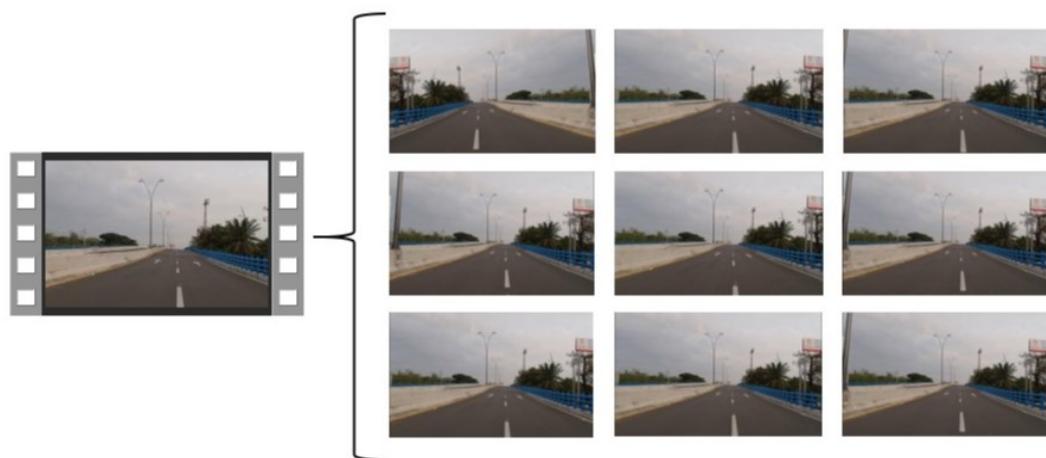
La secuencia de videos usados en este proyecto de grado fueron captados por una cámara digital con conexión directa a puerto USB, de alta definición con características de grabación y fotografía de 1920x720p y 1920x1080p, con posibilidad de alta compresión códec H.264, corrección de iluminación automática, estabilizador de imagen, lente full HD, entre otras opciones como reconocimiento facial y detección de movimiento³⁹ los cuales no son relevantes para este proyecto.

Fueron grabados en diferentes lugares de la ciudad de Neiva, con poca presencia de sombras, con inclinaciones pronunciadas para el énfasis en el objetivo del proyecto, con demarcación definida, registrados a tempranas horas de la mañana para obtener menor flujo vehicular, a una velocidad promedio de 40 km/h, con un tiempo de 2 minutos pero fragmentados en secciones donde se encuentran las pendientes de interés, con aproximadamente 30 segundos de duración, teniendo en cuenta que los videos tienen tasa de 30 FPS (Frames por Segundo).

4.2. FRAGMENTACIÓN DE VIDEO

Con la ayuda de la herramienta MATLAB, se analizaron los videos grabados previamente en un ambiente controlado, donde fueron fragmentados en secuencia de frames a la tasa que el dispositivo sensor la adquiere (30 FPS) para poder realizar un procesamiento de manera independiente a cada imagen, especificándose una nueva ubicación donde se van a archivar todos los cuadros correspondientes al video. (figura 16)

Figura 16: Fragmentación en Frames.



³⁹ LOGITECH (2011) Webcam HD C920.

4.3. PREPROCESAMIENTO DE FRAMES

El análisis de los frames obtenidos luego de la división de la secuencia de videos, sigue el modelo a continuación (Figura 17), el cual empieza con la determinación de la región de interés y finaliza con la dilatación de los bordes detectados.

Figura 17: Diagrama de bloques Preprocesamiento de Frames



4.3.1. Región De Interés (ROI)

Muchas veces las imágenes capturadas poseen información extra la cual no es necesaria, para esto se puede hacer un enfoque. El ROI, abreviado de Region Of Interesting, es el recorte de la imagen a analizar antes de la ejecución del algoritmo, dejando solamente el espacio de utilidad,⁴⁰ disminuyendo posibles errores en los análisis siguientes a este proceso.

Antes de realizar el recorte ROI, se modificó la imagen original a escala de grises $M \times N$, puesto que las imágenes en RGB tienen una matriz $M \times N \times 3$, es decir, en cubo, donde el análisis requiere de mayor procesamiento computacional. En la figura 18(a) se puede ver la imagen perteneciente al video, donde fue recortada de manera que se estableció el enfoque en la carretera y se determinó la sección de interés 18(b).

Figura 18: Región de Interés (ROI)



⁴⁰ GOMEZ, Juan; PRIETO, Flavio y REDARCE Tanneguy. Mouth Segmentation in Images: A Review; 2009. p. 108.

4.3.2. Filtro de Mediana

A las imágenes que contienen la región de interés se les aplicó el filtro de mediana para eliminar el ruido de sal y pimienta que posiblemente pueda aparecer en ellas, se utiliza vecindad 5x5, es decir una máscara de 5 filas y 5 columnas que hará un barrido por la imagen; al realizar pruebas con vecindades de menor valor el ruido no desapareció totalmente, y al probarse con vecindades de mayor valor en los bordes de la imagen se presentaron distorsiones puesto que se hace un cálculo de valor medio con una máscara de gran tamaño, por lo que no se puede elevar demasiado o se perdería información para aplicar posteriormente la detección de bordes, por esta razón se escogió el valor de 5x5.

4.3.3. Filtro Sobel

El filtro sobel es una medida para detectar los cambios bruscos de escala de grises, donde en este caso fueron tomados en dirección horizontal para poder determinar las líneas de la carretera retirando en su mayoría los objetos que no se van a determinar, colocando a su vez un factor umbral de sensibilización para desechar ciertos bordes en los que el cambio no es definido.

Se procedió a la identificación por medio del filtro sobel horizontal, por lo que la perspectiva en la imagen de la carretera es vertical, siendo que si se toma el cambio brusco perpendicular a esta verticalidad, daríamos con el borde de la misma. El factor de umbral para la sensibilidad de detección del borde se determinó usando la primera vez el filtro, para luego observar en argumentos de salida el umbral más alto, ajustando así el parámetro a un cierto rango donde de manera heurística se encontrará el objeto de interés. Véase máscara horizontal en la sección de fundamentación, Filtros, Filtro Sobel.

4.3.4. Binarización

La binarización se hizo como proceso paralelo al filtrado de cada una de las imágenes, este paso permite remplazar los valores por encima de un umbral determinado con unos (1) y todos los demás con ceros (0), con esto se pudo mejorar y facilitar la detección de la línea de la carretera anteriormente filtrada. El algoritmo se encarga de analizar la totalidad de los pixeles para luego adaptar el valor del umbral. Es importante tener en cuenta que el filtro sobel realizado con anterioridad da como resultado una imagen con los bordes detectados, pero para el procesamiento solo son necesarios los bordes de las líneas de la carretera y no los de toda la imagen, es por esto que se realiza la binarización con el fin de eliminar los bordes de los objetos que no son de interés.

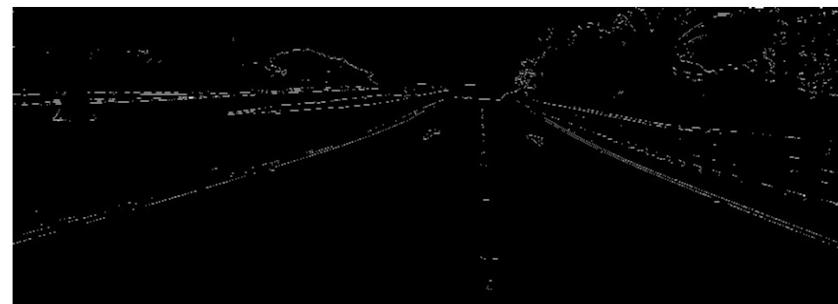
4.3.5. Dilatación

Es necesario luego de tener los bordes de la carretera, marcarlos de una mejor manera es decir, aumentarlos para su buena visualización y manejo, para esto se utilizó el método de la dilatación, en el cual un elemento estructurante cuadrado de 10x10 pasa por todos los píxeles de la imagen principal logrando unas líneas más pronunciadas, también, hace subir las posibilidades de identificación en el siguiente procesamiento que se realizará (Hough). El proceso del algoritmo se puede ver en los anexos y los resultados en la figura 19, Filtro de Mediana 19(a), Filtro Sobel 19(b) y Dilatación 19(c).

Figura 19: Pre-procesamiento de Imágenes



(a)



(b)



(c)

4.4. PROCESAMIENTO DE FRAMES

Con el fin de poder extraer características específicas de las imágenes, en este caso las líneas viales de la carretera, se procedió a realizar la aplicación de la transformada de Hough, la cual resalta pixeles que pertenecen a una marca vial en la imagen previamente binarizada, el algoritmo para detectar las líneas viales se compone de tres fases, como se aprecia en la figura 20.

Figura 20: Diagrama de Bloques Transformada de Hough.



4.4.1. Establecimiento de los parámetros

El principal propósito de la Transformada de Hough es obtener los valores de los posibles θ y ρ , que resultan de la evaluación de cada punto en el plano X - Y de la imagen (ver apartado de fundamentación de transformada de Hough), estos valores que representan las curvas senosoidales en el plano polar, son la clave para la identificación de las líneas de interés.

En este proyecto de grado se trató cada una de las líneas de la carretera de manera independiente aplicando los parámetros por separado, debido a que no todos los videos se procesan de igual manera por la posición en que fueron grabados, teniendo en cuenta que la línea de la sección izquierda debe tener un ángulo negativo diferente al de la línea de la sección derecha que es positivo.

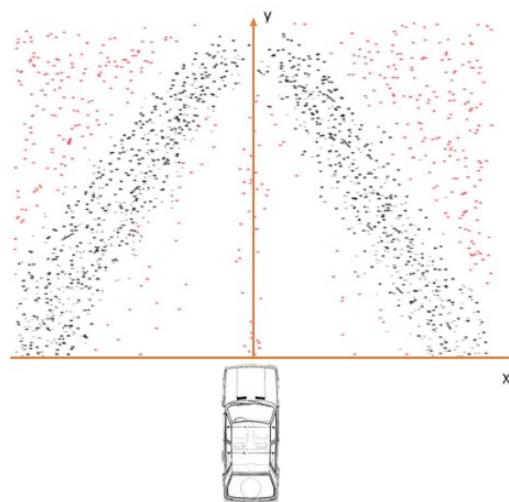
A pesar del tratamiento de las imágenes con filtros, dilatación y umbralización anteriores, la identificación de las líneas puede tener errores a causa de objetos que aún se encuentran en la imagen y no son relevantes, por ejemplo, vehículos, sombras, barandas delimitadoras de carretera, marcas de horizonte o montañas.

Para no tener inconvenientes con una cantidad excesiva de datos que no serán de importancia, se reduce la posibilidad de procesamiento de ángulos definiendo un rango de θ , la evaluación dentro del rango se realizó con margen de búsqueda de 0.1, lo que significa 100 números entre décadas de grados ; por ejemplo si el rango se ajusta entre [70, 80] la búsqueda se realizara en [70.0, 70.1, 70.2, ..., 79.9, 80.0]. En la variable ρ se aumenta de igual manera la evaluación, pero no posee un rango de valores, ya que no es posible limitarlo dentro de los alcances del proyecto.

4.4.2. Identificación de los puntos

Pueden existir muchos puntos en una imagen, la figura (21) corresponde a una representación de un cuadro del primer video analizado, se observan unos puntos de color negro que son los pixeles previamente filtrados que pertenecen al rango que se parametrizó de θ y el resto de los pixeles marcados en puntos de color rojo son los que no se tienen en cuenta, siendo esencial que solamente se identifiquen los puntos que pertenecen a las líneas de las vías de la carretera. En algunos casos ocurre que los puntos no están tan seguidos, por ende se especifican ciertas características explicadas en secciones siguientes.

Figura 21: Puntos dispersos en la imagen



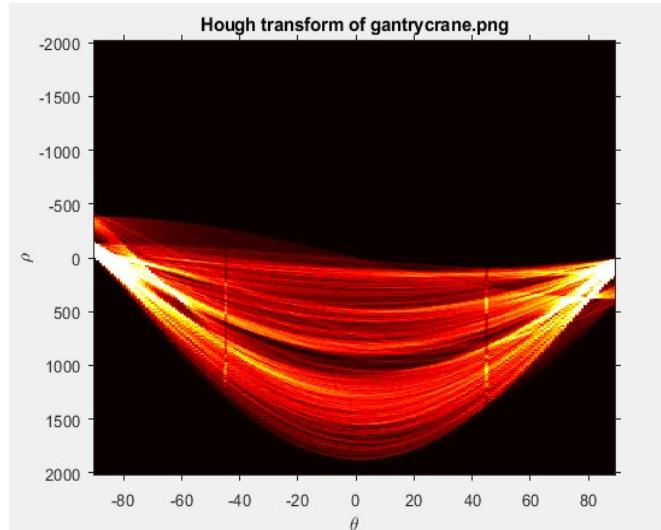
La figura 22 muestra la transformada de Hough de todos los puntos en una de las imágenes correspondiente al video, creando las curvas senosoidales con los valores de las variables (ρ, θ) , en un rango de $\theta [-80, 80]$, y un $\rho [-2000, 2000]$.

Las variables ρ y θ serán extraídas en forma de vectores del tamaño $1xA$ (donde A es la cantidad de ρ identificado para cada punto en la imagen) y del tamaño $1xB$ (donde B es la cantidad de θ que se va a analizar dentro del rango específico), estos vectores formarán la matriz acumuladora AxB , en la cual se irán ubicando, en la fila y columna correspondiente, la cantidad de líneas senosoidales intersecadas en un mismo punto en el plano polar, formadas por los parámetros ρ y θ extraídos del análisis de cada punto de la imagen.

El algoritmo tiene como propiedad autónoma de escoger la celda con la cantidad más alta de curvas senosoidales que se intersecaron en el plano (ρ, θ) , por lo tanto elige el mayor valor numérico de puntos Hough que coinciden en una línea recta. Se adecúa a su vez un factor de aproximación de unidades donde si hay dos casillas con el mismo máximo se escoge la del decimal más significativo.

Ya teniendo el ρ y el θ de la línea de Hough, las coordenadas de esta en el plano X-Y serán aportadas por el algoritmo y con esto queda identificada las rectas de la imagen correspondiente a los bordes de la vía.

Figura 22: Transformada de Hough



4.4.3. Trazado de línea de Hough

Teniendo los rangos de θ y ρ establecidos extraídos de la imagen previamente filtrada y binarizada, analizando los posibles puntos de esas coordenadas (ρ vs θ) se procedió a identificar las líneas que se pueden trazar por esas características, parametrizándolas con un valor de tamaño mínimo y un llenado de brecha entre los puntos para su acoplamiento y unión de una sola línea Hough.

Luego de que se determinaron las líneas de Hough, son graficadas sobre la imagen principal, que en primera instancia resultaba diferente de lo que se necesitaba, ajustando los valores, hasta obtener los menores errores posibles. Como se puede observar en la Figura (23).

A la imagen con el trazo de las líneas de Hough, se le agregó etiquetas donde se observan detalles de la misma, tales como el ángulo adquirido de las dos líneas de Hough, los puntos clave de cada línea y la numeración respectiva de cada uno de los puntos, para así poder determinar con claridad el resultado.

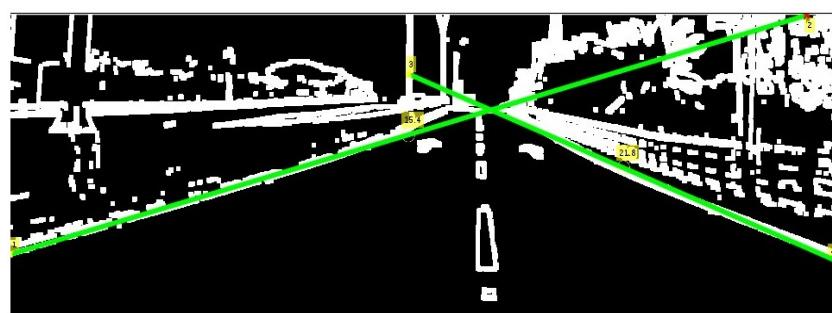
Para su manejo práctico, se analizáron los ángulos de la línea en positivo, puesto que una de las líneas, debido a su dirección e inclinación, resulta negativa (Observe Transformada de Hough en el apartado de fundamentación), poniendo en valor absoluto las dos, sabiendo cómo funciona y su debido resultado.

4.4.4. Extracción de características de la línea

Se crea un vector de ceros con el mismo tamaño de la cantidad de Frames a analizar, ocupandolos con los valores que resultan de graficar cada línea de los bordes de la carretera, de los cuales solamente se usó el θ como valor de inclinación de la carretera, puesto que dependiendo de este patrón se ira a identificar si es subida, (mayor valor de θ), bajada (menor valor de θ) y plano (valor constante de θ).

Para poder denominar a la pendiente analizada subida, bajada o plano, se debe observar los resultados del vector de θ comparando los valores obtenidos en cada frame, ajustándolos posteriormente para mejor determinación.

Figura 23: Trazado de Líneas Hough



4.5. DATOS DE INCLINACIÓN MEDIDOS

Para acercar el algoritmo a la realidad y hacer un correcto análisis de resultados, se tomaron datos reales de la inclinación de la carretera con un medidor de nivel, el cual se encarga de determinar el grado de inclinación con respecto a un parámetro escogido horizontal o vertical, en el caso de este proyecto la carretera, se encuentra instalado en un dispositivo celular, este se sobrepone en una superficie dentro del vehículo usado como medio de transporte para grabación, el principio de la aplicación se basa en una burbuja donde su movimiento vertical indica una diferencia de pendiente en donde se encuentra. (Figura 24) Con esto, se puede comparar la curvatura real de la vía con el video original.

La validación del video es almacenada, para ser adjuntada posteriormente al video reconstruido y lograr visualizar los resultados con su debida verificación.

Figura 24: Medidor de Nivel



Fuente: “Medidor de Nivel de Burbuja”. AppStore IOS.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

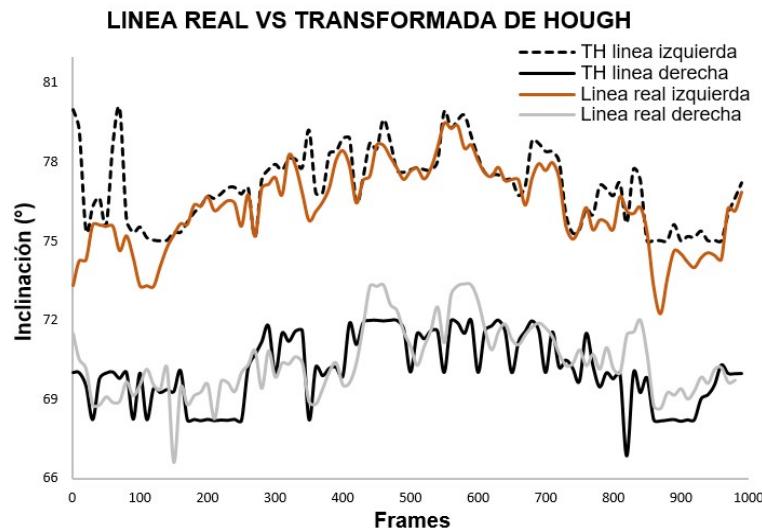
5.1. DESEMPEÑO DEL ALGORITMO

Los datos recolectados de la transformada de Hough en cada uno de los frames, se concentran en un vector; en el caso del video principal, se realiza una comparación entre la línea de carretera detectada por el algoritmo y la línea real de la carretera.

El algoritmo, a causa de diferentes factores y características de la carretera misma, que al ser procesada gráficamente, en algunos casos especiales, identifica ciertas líneas que no debieron haber sido detectadas, pero que contienen las mismas propiedades de la línea real, entendiéndose por error de identificación.

En la figura 25, se observan los datos de los ángulos de la transformada de Hough determinada por el algoritmo, y los valores de los ángulos de inclinación de las líneas reales de la carretera tomados manualmente en cada frame.

Figura 25: Comparación datos reales con los datos de la transformada de Hough



La comparación de los ángulos estimados por la Transformada de Hough y los ángulos reales se realizó para determinar la confiabilidad del algoritmo, y prueba de su robustez, obteniendo un error de 1,0910 % para la línea izquierda y 1,2374 % para la línea derecha; de igual manera se realizó el análisis de covarianza, teniendo en cuenta que a mayor unidad de covarianza, la relación entre las líneas es mayor lo que da a comprender que hay una dependencia directa, es decir, grandes valores de ángulos identificados por la transformada de Hough corresponden a grandes valores de ángulos en las líneas reales, teniendo como resultado una covarianza de 1,6377 para la línea izquierda y 1,1587 para la línea derecha, con esos resultados se logró observar el comportamiento real de las

líneas de Hough, los cuales, se pueden observar con más detalle en el cuadro 1 del anexo B.

5.2. ANÁLISIS DEL AJUSTE DE CURVAS

El ajuste de curvas en este proyecto se utilizó para arreglar los posibles desaciertos al momento de realizar la transformada de Hough, puesto que aún después del preprocesado, puede llegarse a reconocer líneas que no son correspondientes a los bordes de vía, las cuales no son de utilidad, es un método final para la corrección de errores, no se recomienda ser utilizado por sí solo como sistema para identificar la inclinación de la carretera.

Figura 26: Ajuste de Curvas de los Frames del Video

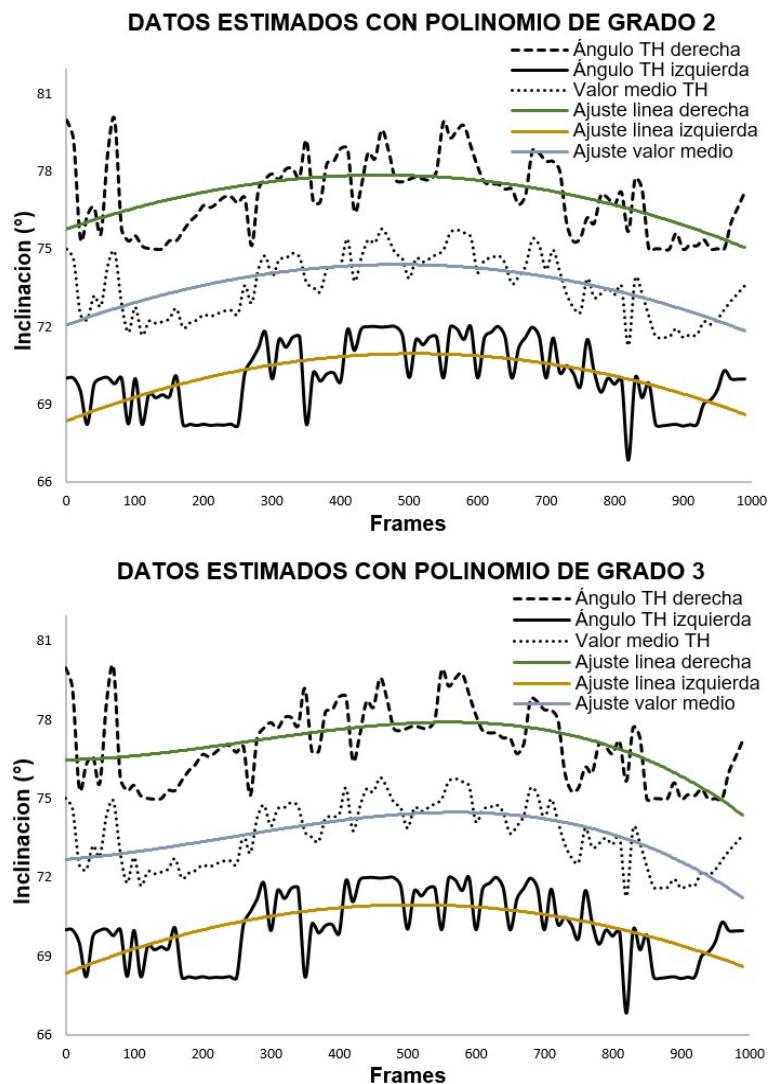
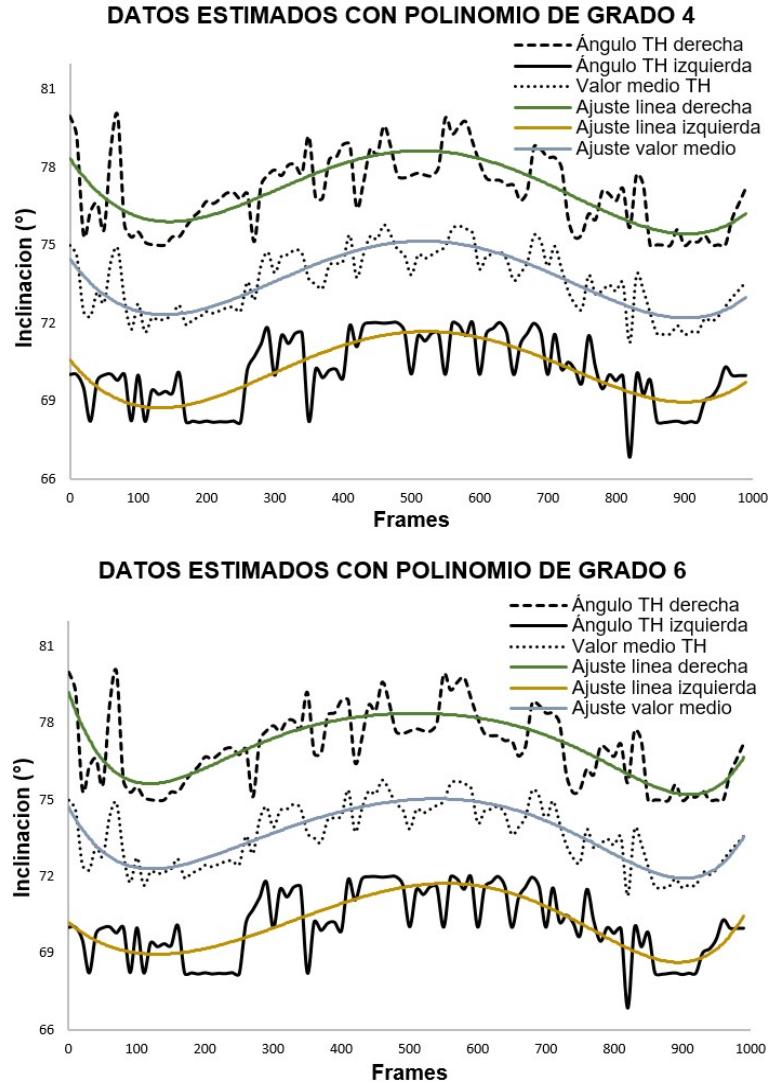


Figura 26: (Continuación) Ajuste de Curvas de los Frames del Video



La mayoría de fallos pueden desaparecer con anterioridad en el preprocesamiento ya sea efectuando un buen ROI, filtrando el ruido, definiendo mejor los bordes, o analizando mejor la transformada de Hough, realizando mejores limitaciones, ajustando el código en múltiples iteraciones y demás posibles soluciones.

Luego de que se adquirió el vector con los valores de los ángulos correspondientes a las dos líneas de Hough, se observa la relación de cada par de frames en todo el vector, obteniendo la diferencia del frame siguiente contra el anterior (ecuación 9), suponiendo que si el resultado es positivo la pendiente lograda va a ser de igual manera positiva, es decir subida, contrario a esto, si se consigue una pendiente negativa, será bajada.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (9)$$

La relación anterior por si sola no obtiene la parametrización correcta para denominar la pendiente, puesto que, en algunos casos, en la identificación de la transformada de Hough, en el frame siguiente puede resultar un ángulo menor que el ángulo del frame anterior cuando se tiene realmente subida, causado por vibraciones o alteraciones mínimas, dando lugar a error en la etapa donde se define la pendiente. Para solucionar este problema se resolvió realizar un ajuste de los datos de los valores de θ .

En la figura 26 se muestra el ajuste de curvas con diferentes grados de aproximación, donde la curva negra punteada corresponde a los valores de los grados y la línea verde al ajuste de curvas de la transformada de Hough de la línea derecha, a su vez la curva negra continua correspondiente a la línea izquierda con su respectivo ajuste de curvas en color amarillo; en el centro en color azul se encuentra el ajuste del valor medio entre las dos líneas. Se muestra de igual manera la aproximación en grado 2, 3, 4, 6.

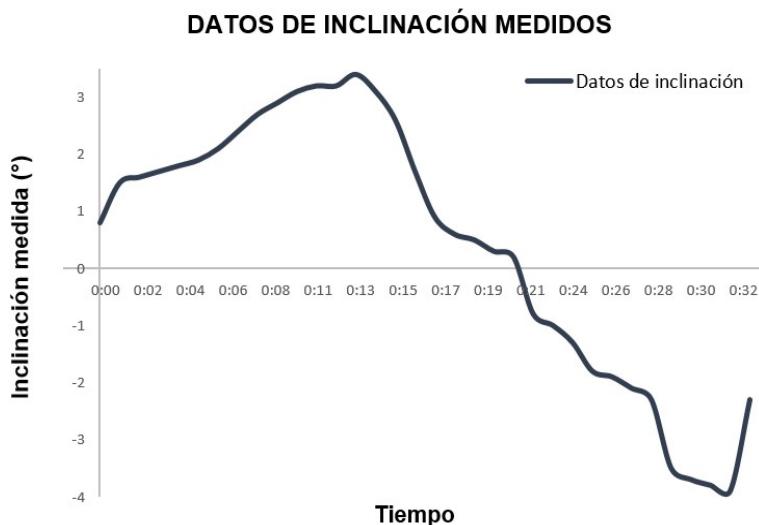
Se observa que a mayor grado de aproximación en el ajuste de curvas, más determinación de los errores correspondientes a la identificación de las transformadas de Hough izquierda y derecha, por lo que a su vez, a menor grado de aproximación, se genera una recta que no representa el valor de inclinación real, donde no se determina la pendiente requerida y se pierden características importantes.

5.3. ANÁLISIS DE MUESTRA DE NIVEL

Los datos medidos que fueron adquiridos por medio de una aplicación móvil que estima el nivel instantáneo en la vía (sección 4.5), verificando su inclinación con la horizontal que se tome como referencia (calibración manual/automática), esta medición cuenta con el mismo tiempo de duración del video principal para poder realizar el análisis con las mismas características, la gráfica de los datos se muestra en la figura 27.

Se muestran los datos de nivel en relación con la posición instantánea horizontal del vehículo, es decir, cómo se comporta la inclinación en todo el trayecto. Los resultados del análisis de la transformada de Hough son medidas de posicionamiento predictivo del nivel debido a que en la cámara veremos algunos metros más adelante de donde se encuentra realmente el vehículo, dando una medida por adelantado de lo que será la inclinación de la vía. La gráfica de los datos dio como resultado la trayectoria que toma la vía en cuestión, debido a la posición relativa de la cámara en el vehículo y a la naturaleza misma del análisis que se hace con la inclinación de las líneas de Hough, por esto, se observó con detenimiento el comportamiento de la curva de los datos de nivel, analizando su comportamiento en subida, el lapso que demuestra su posición en neutro, es decir, plano, y el rango de valores negativos, que demuestran que el nivel se encuentra en posición bajada.

Figura 27: Grafica de nivel medido



Analizando la composición de la figura 27; inicia con un rango positivo directamente relacionados con la subida en cuestión, comienza en un valor que determina el plano, pero a medida que transcurre el tiempo va aumentando hasta el valor máximo alcanzado; aproximadamente al segundo 0:13, se observa rápidamente un decremento de la medida, lo que dará a entender la tendencia a la posición 0, o posición neutra del sensor, es decir, se encuentra en el plano de la parte superior de la vía. El sensor continúa en posición cercana a 0 unos segundos hasta que en 0:21 segundos caerá la medición hasta el rango mínimo, la caída es más prominente que en el lado positivo (subida), a su vez, se observa que tiene un valor más alto, entendiéndose que la bajada es más pronunciada; en el segundo 0:30 aproximadamente, se observa la vuelta de la medida a 0, a lo que se asimila como el final del trayecto en bajada y vuelta a nivel de suelo inicial.

5.3.1. CONVERSIÓN DE DATOS DE NIVEL

La muestra de nivel en el trayecto de la vía, determina la inclinación horizontal del sensor en su posición instantánea, a diferencia de el análisis de la transformada de hough, que se realiza sobre una vista de profundidad panorámica, por ende, no se pueden comparar directamente, pero será un gráfico determinante en la elección del ajuste de curvas que se deberá tomar para realizar el análisis e identificación de la pendiente.

Siendo los datos de nivel la posición instantánea del vehículo, y los valores ajustados de la transformada de Hough la trayectoria, se realiza una integración a la ecuación que represente la curva de nivel, para que proporcione la gráfica de trayectoria total del vehículo, partiendo del nivel, teniendo en medidas de posicionamiento $x-y$ en las dos dispersiones de datos. La ecuación 10 representa la línea de los datos de nivel.

$$y = 4833*x^4 - 2374*x^3 + 151*x^2 + 23,75*x + 0,9178 \quad (10)$$

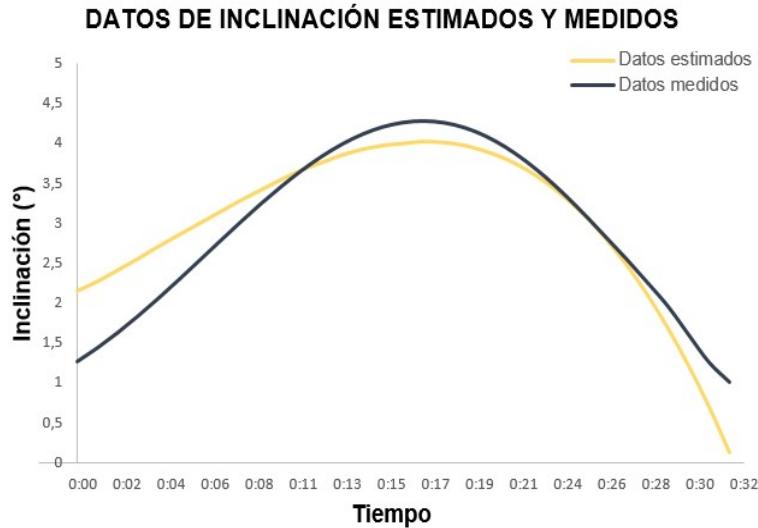
La ecuación 11 a continuación representa la integración de la gráfica de nivel con respecto a x de manera indefinida

$$y = \frac{4833*x^5}{5} - \frac{1187*x^4}{2} + \frac{151*x^3}{3} + \frac{95*x^2}{8} + \frac{4589*x}{500} \quad (11)$$

Teniendo la ecuación, se procede a modificar los rangos en que se trabaja, en vista de que los rangos en el eje Y tomaban secciones negativas, se elige, en primera instancia, ajustar los valores de análisis a positivos. Con respecto a los valores de la transformada de Hough, se normaliza para trabajar con rango de valores en Y semejantes a los de nivel, en virtud de que puedan ser debidamente comparados, para así visualizar datos de rangos similares y hallar posibles errores.

La comparación se realiza con cada uno de los valores del ajuste de curvas de la transformada de Hough, y los valores de la inclinación medida, por lo que luego, se elige el ajuste que tenga mayor unidad de covarianza con respecto a los datos de nivel, a su vez, el menor error relativo posible.

Figura 28: Comparación de ajuste de curvas grado 3 con datos de nivel



La selección del mejor ajuste se realizó teniendo en cuenta el resultado de la covarianza entre los dos conjuntos de datos, nivel de inclinación y ajuste de curvas, en este caso, el ajuste de curvas de grado 3 nos proporciona unidades de covarianza de 0,9434 con respecto a los datos de nivel debidamente normalizados, junto con un error de 0,1677. La parametrización para elegir el ajuste de curvas es por las unidades de covarianza que resulten, a causa de que, a mayor unidad de covarianza, la relación será directa, lo que da a comprender, que hay una dependencia positiva entre los valores de la integración

de la muestra de nivel y el ajuste de curvas, en otras palabras, es un ajuste de curvas acorde con los datos del muestreo de nivel. La figura 28 representa la comparación de los datos estimados con el ajuste de curvas de grado 3 y los datos medidos.

Para lograr establecer la dependencia entre la inclinación real obtenida con la aplicación del nivel y la estimada con el ajuste de curvas realizado a las líneas de la transformada de Hough, se procedió a usar el valor de coeficiente de correlación.

Esto se realizó para lograr escoger el ajuste más cercado a la realidad, teniendo en cuenta el que posea mayor relación con los datos del medidor de nivel, de acuerdo a la dependencia que exista entre las variables se podrá definir su correlación, esta puede ser positiva, negativa o nula en el caso de que no tengan relación alguna.

La correlación positiva será la única admitida en este proyecto, debido a que lo que se necesita es encontrar el ajuste más real de las opciones que se poseen, sabiendo que si la inclinación aumenta en el nivel debe hacerlo en el ajuste de curvas, se procedió a encontrar el coeficiente de correlación entre los datos del nivel y cada uno de los datos del ajuste, teniendo en cuenta que este tendrá valor entre 0 y 1, donde el grado de cercanía a 1 define que tan directa y proporcional es la relación entre las variables, con esto resuelve escoger el mejor ajuste para usarlo como inclinación final.

En el video principal, se comparan directamente los valores de los ajustes en grado 2,3,4,6; con respecto a los valores del medidor de nivel, obteniendo en grado 2 0,6657, grado 3 0,7302, grado 4 0,6262, y grado 6 0,5906; por lo que, además de observación, se define como mejor ajuste el grado 3 para el objetivo del proyecto.

Por ende, debido a la comparación correspondiente con los datos de nivel, se elige el grado 3 como ajuste de curvas predeterminado en el algoritmo.

Luego de la aproximación, se determina con mayor veracidad la pendiente, analizando como anteriormente estaba propuesto, la imagen siguiente y la imagen actual. Para el caso del plano, puesto que no solamente se identifican bajadas y subidas, se instauró un rango de variación en el resultante de la pendiente, donde si la diferencia de ángulo de un par de frames tiende a ser igual a la aproximación de la pendiente del par de frames anterior, se acercará a una pendiente nula. El etiquetado y denominación de cada frame en todo el video se hace por análisis de dos cuadros en secuencia, guardando la variable del frame anterior y realizando el procesamiento con la pendiente del ajuste de curvas de los datos de θ .

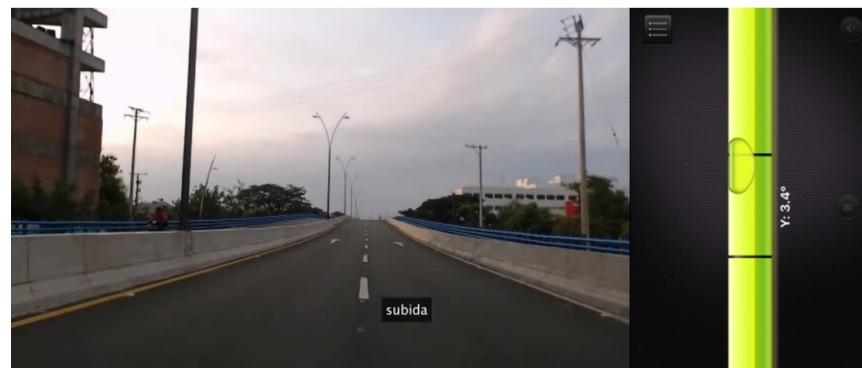
5.4. RECONSTRUCCIÓN DEL VIDEO

Luego de identificado cada frame con el análisis de la pendiente de la línea junto con el ajuste de curvas determinado, se etiqueta cada frame con plano, subida y bajada según sea el caso, donde se graban como imágenes correspondientes a un video para su posterior agrupamiento.

La reconstrucción de la secuencia de video se realiza grabando en primera instancia cada frame anteriormente denominado en las tres etiquetas posibles, para su posterior lectura y escritura completa.

La figura 29 corresponde al etiquetado en subida (a), bajada (b) y plano(c) en el video escogido, donde se determinan los tres casos relevantes en los resultados. Las etiquetas pertenecen a la inclinación en cada uno de los casos, junto a ellos se aprecia que la aplicación usada como método para validación acierta en los tres casos, la burbuja del medidor va cambiando de posición al mismo tiempo que el algoritmo identifica diferente inclinación.

Figura 29: Resultados y Validación del Video.

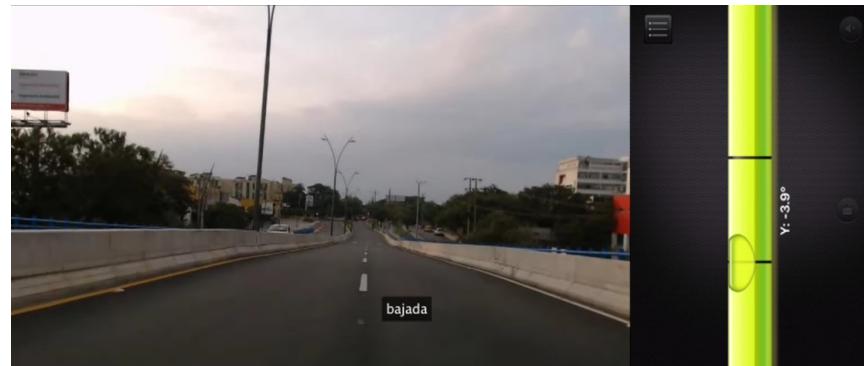


(a)



(b)

Figura 29: (Continuación) Resultados y Validación del Video.



(c)

6. CONCLUSIONES

Las grabaciones del presente proyecto de grado se propician en una vía interurbana con buena visibilidad, iluminación y tratando de conseguir los casos de pendiente que pueden resultar, es decir, subida, bajada y plano. Se trata de realizar la adquisición en horas donde haya poca presencia de tráfico, buena demarcación y a una velocidad constante para que la fragmentación del video sea pareja.

Se analizó el video con una herramienta útil para el manejo de sistemas de visión por computador, MATLAB, la cual propone soluciones manejables, encontrando a su vez todo en sus librerías; cabe aclarar que se trabajó en este sistema programador, aunque existen muchas otras aplicaciones programadoras que generan cierta familiaridad, todo depende del grupo de trabajo esté generando el código.

El filtrado, detección de bordes, determinación de transformada de Hough e identificación de la pendiente de la vía se realiza siguiendo un procedimiento estricto con base en trabajos anteriores que se enfocan en otras características de la vía, pero se familiarizan con el proyecto, identificando en tiempo real con la transformada de Hough la curvatura horizontal de la carretera.

La inclinación de la carretera se puede identificar inicialmente con los parámetros establecidos en el presente proyecto, dando resultados concluyentes al identificar la pendiente de la vía por medio de visión por computador, siendo base para trabajos futuros de identificación de características viales, proponiendo un camino que se ha explorado poco.

El algoritmo se comprueba con el sistema de validación propuesto, utilizando el método de conversión de datos de nivel, comparando gráficamente los datos medidos con los estimados, haciendo mas sencillo la visualización de errores o aciertos, a su vez, utilizando índices para la medición de relación entre dos variables como lo son el coeficiente de correlación y la covarianza, del cual se pudo obtener un análisis numérico, por ende el método utilizado permitió escoger el mejor ajuste, mientras que las herramientas para la medición de relación permitieron verificar la elección.

Al realizar el proceso de validación con otros videos realizados en distintas zonas con diferentes características de la carretera, se llegó a la conclusión de que el grado 2 y 3 son los mas acertados, descartando el grado 4 y 6 debido a que a mayor grado se podrán evidenciar mas errores.

El trabajo realizado da resultados concluyentes en el tema de visión por computador en el análisis de vías, puede ser a futuro un campo de acción para identificación de características viales, asistencias de manejo, o realizar un tipo de simulador para ciclistas, como inicialmente se propuso.

7. RECOMENDACIONES

El video deberá ser grabado con buena iluminación, buena demarcación y en lo posible con poca presencia de tráfico, puesto que son causas que pueden provocar fallos en la identificación, sin embargo, el algoritmo presenta una buena robustez cuando existen algunos fallos, mencionado a lo largo del proyecto.

La grabación deberá hacerse a una velocidad de 40 Km/h, con la cámara preferiblemente a la mitad de la vía, puesto que a diferente ángulo puede provocar desviación en el proceso de análisis, para luego dar etiquetado erróneo.

El algoritmo presenta algunas líneas comentadas, debido a que fueron usadas en algún momento pero al final no se encontraron relevantes para el objetivo del proyecto, se puede dar uso de estas en trabajos futuros, por ende se decidió que permanecieran en él. Estas líneas son diferentes maneras de realizar el procedimiento de la sección en donde se encuentran.

La grabación original hecha en la vía deberá recortarse a secciones que contengan solamente las pendientes de interés, debido a que el algoritmo solamente detecta inclinación en la carretera, pero no curvatura, por ende, se debe evitar el análisis con videos de este tipo de características.

El algoritmo detecta cambios de pendiente en la vía, por ende, en carreteras con inclinaciones permanentes, posiblemente se determine inicialmente la inclinación natural, luego de denominará plano debido al análisis del mismo.

La grabación la fragmentará el algoritmo en frames, a la tasa de FPS a la que fue obtenida, puesto que no se modifica la tasa de FPS dentro del sistema, solamente se identifica la tasa de la secuencia y con este valor se adquieren los cuadros para su posterior análisis

7.1. TRABAJO A FUTURO

En la grabación, a futuro se propone realizarse con sistemas binoculares, donde la relación de las dos visualizaciones de distintas cámaras en ángulos distintos puede dar referencia de profundidad, y a su vez algún tipo de ayuda al analizar la pendiente de las vías.

El trabajo presente se realiza con grabación previa , pero análisis se hace en un lugar distinto, por lo que se propone un sistema a futuro donde se realice el análisis instantáneo, es decir, un sistema embebido que contenga el algoritmo y analice en tiempo real la inclinación de la carretera, y que a su vez presente el etiquetado de la misma.

Se pueden realizar cambio a otros lenguajes de programación, modificando el sistema para poder realizar análisis en tiempo real o en su defecto disminuyendo el costo computacional, a su vez, el desarrollo de un sistema de predicción de estado futuro para la identificación de las líneas puede ser de ayuda en trabajos posteriores, el filtro de Kalman o trabajar con redes neuronales podría ser punto inicial.

Para no recortar el video en secciones que contengan las pendientes de interés, pueden realizarse modificaciones para la identificación de la curvatura de la vía en el mismo algoritmo, y así, poder analizar secuencias de video prolongadas y completas.

BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTER, Á. y MESEGUER, X. Detección de líneas y Sistema de Estabilidad de Carril basado en cámara frontal. Visión por computador. Universidad de las Islas Baleares; 2009.
- BIBLIOTECA UDLAP. Procesamiento de imágenes. México: U. de las Américas Puebla.
- BLANCH, A. Resolución de la Imagen. Características de la Imagen Digital; 2011.
- CASTILLO, Jorge Osvaldo. Estadística módulo 1. Estadística Aplicada; 2009.
- COLLADO, J. Detección y modelado de carriles de vías interurbanas mediante análisis de imágenes para un sistema de ayuda a la conducción. Tesis Doctoral. España: U. Carlos III de Madrid; 2009.
- COLLADO, J.; HILARIO, C.; ESCALERA, A. y ARMINGOL, J. Visión por computador para vehículos inteligentes. Grupo de sistemas inteligentes Carlos III. Leganes: U. Carlos III de Madrid; 2003.
- CORTES, F. Binarización de una imagen; 2014.
- DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIÓN Y AUTOMÁTICA. Detección de bordes en una imagen. Área de ingeniería de sistemas y automática. España: U. de Jaén
- DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIÓN Y AUTOMÁTICA. Segmentación. Transformada de Hough. Área de ingeniería de sistemas y automática. España: U. de Jaén; 2006.
- DÍAZ, T. Interpolación, ajuste de curvas, integración y derivación numéricas. Material introductorio; 2014.
- DISEÑO DE MATERIALES MULTIMEDIA. Web 2.0. La imagen. Conceptos básicos de imagen digital.
- DOMENECH ROLDÁN, J. Diagrama de correlación - dispersión. Calidad.
- GANOKRATANNA, T.; KETCHAM M. y SATHIENPONG S. Real-time lane detection for driving system using image processing based on edge detection and hough transform. Dept. of Media Technology (MDT); 2013.
- GARCIA, C. Aplicación Android para la detección de las líneas de la carretera. Tesis de grado en ingeniería electrónica industrial y automática. España: U. Carlos III de Madrid; 2015.
- GARCIA, M.; BUENO, G.; GONZALES, J. y CARBAJO, V. Aspectos básicos de la imagen digital vol. 3; 2005.
- GOMEZ, J. Detección de líneas de carril en autopista. Deposito digital de documentos de la UAB. Barcelona:UAB; 2016.

- GOMEZ, J; PRIETO, F. y REDARCE T. Mouth Segmentation in Images: A Review; 2009.
- GONZALES, A.; BERGASA, L.; ALCANTARILLA, Pa. y JIMENEZ, P. Estabilización de imágenes obtenidas por una cámara a bordo de un vehículo en movimiento para la mejora de un sistema Light-Beam. IX Workshop en Agentes Físicos; 2008.
- GONZALES, Y. Formación de la Imagen. Imágenes Digitales [diapositivas]. Escuela Politécnica Superior. Departamento de ciencias matemáticas e informáticas. España: U. de las islas Baleares.
- GRUPO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Adquisición de Imágenes [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez.
- GRUPO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Color en imágenes digital [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez.
- GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Detección de Bordes en una Imagen [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez.
- GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Transformaciones de una imagen [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez.
- GRUPO TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Reducción del ruido en una imagen digital [diapositivas]. División de ingeniería de Sistemas y Automática. España: U. Miguel Hernandez.
- GUAMÁN, L. Ajuste en la detección de la línea de la carretera a través del método mínimos cuadrados. Docente investigador U. Técnica Particular de Loja; 2018.
- IPARRAGUIRRE, J. y DELRIEUX C. Procesamiento de Reconocimiento de Patrones en Video Digital. Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Universidad Nacional del Sur; 2010.
- LIU M.; CHEN C.; MENG F. y LIU H. Reconocimiento De Acción 3d Usando Visualización Multi - Temporal De Esqueleto. Laboratorio clave de percepción de máquinas. Escuela de posgrado de Shenzhen. Universidad de Pekín. China; 2017.
- LOBOS, S. La imagen digital. Cultura Audiovisual; 2014.
- LOPEZ, J. Detección del Espacio Libre Conducible. Ingeniería informática. Escuela de ingeniería EE. Barcelona: U. Autónoma de Barcelona; 2016.
- LOGITECH (2011) Webcam HD C920.
- MACIAS, R. y RODRÍGUEZ J. Extracción de bordes; operadores sobel, prewitt y roberts. Instituto politécnico nacional. CIDETEC. México: Unidad Profesional Adolfo López Mateos; 2016.
- MARTINEZ, T. La transformada de Hough. Detección de Líneas y círculos [diapostivas]. Investigación documental. 2015.

- MATLAB (R2018a) [Programa de computador]. (1984). Estados Unidos: Mathworks y Cleve Moler.
- SELVAKUMAR P. y HARIGANESH S. El análisis de rendimiento de los algoritmos de detección de bordes para el procesamiento de imágenes. Departamento de Ciencias de la Computación, Centro de Investigación y Desarrollo. Universidad Bharathiar Coimbatore.
- SALINAS, H. Estadística: Conceptos básicos y definiciones. Universidad de Atacama; 2010.
- SERNA, N.; CONCEPCIO, L. y DURAN, C. Compresión de imágenes: Fundamentos, técnicas y formatos. Revista de ingeniería de sistemas e informática Vol. 6. Peru: U. Nacional Mayor de San Marcos; 2009.
- TIAN, B.; LI, L.; QU, Y. y YAN L. Detección de objetos de video para la capacidad de tracción con método de aprendizaje profundo. Quinta Conferencia Internacional sobre Nube Avanzada y Big Data; 2017.
- TOME, A. Modelado y detección de elementos de interés en secuencias de vídeo de carreteras mediante técnicas de visión artificial. Departamento de tecnología electrónica y de las comunicaciones de la UAM. México: UAM; 2014.
- WONGTA P.; KOBCHAISAWAT, T. y CHALIDABHONGSE T. Un reconocimiento automático del número de ruta de autobús. Departamento de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería. Universidad de Chulalongkorn, Bangkok, Tailandia; 2016.
- ZHAO, Y.; PAN, H.; CHANGPING, D. y ZHENG Y. Principal direction-based Hough transform for line detection. Optical Review. 2015.

ANEXOS

ANEXO A.

Pruebas del algoritmo en diferentes locaciones.

En los siguientes anexos se encuentra una muestra de frames pertenecientes a diferentes videos, los cuales fueron grabados en distintos sitios de la ciudad, dentro de los que se observa, en algunos, una diferencia comparándolos con el medidor de nivel que se toma por validación. Los frames (a), (b), pertenecen a una secuencia grabada en la zona oriente de la ciudad, en una zona plana para verificación de la misma, donde se presenta un etiquetado de bajada inicial, debido a que el algoritmo detecta la presencia de pendiente negativa. También se presentan diferentes identificaciones a causa de una vía alterna derecha que se observa en el video, no obstante, el sistema detecta de manera robusta la característica de plano en frames siguientes, puesto que la pendiente se mantiene constante.

Las muestras (c), (d) fueron obtenidas en la misma zona, con alta presencia de ciclistas, donde predomina la bajada suave y permanente, por lo que el sistema identifica el cambio de pendiente inicial, pero luego obteniendo plano, debido a que la inclinación identificada se mantiene constante, por lo que se encontrará dentro del rango para determinarlo de esta manera sin pendiente o plano. Los cuadros (e), (f) fueron una prueba corta en la zona de la entrada a la ciudad, con pendiente negativa pronunciada identificada por el algoritmo sin inconvenientes.

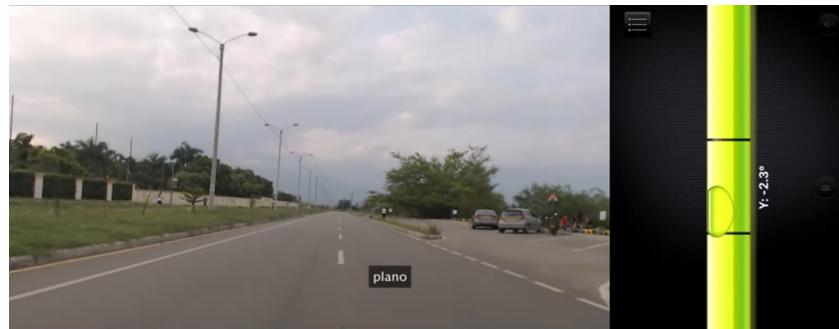
Los frames (g), (h), (i), (j), pertenecen a la vía que conduce al municipio de Palermo, teniendo una buena demarcación y visibilidad, se observa una buena identificación, validándola a su vez con la pendiente del medidor de nivel, la que corrobora su buen funcionamiento.

Los cuadros (k), (l), (m), pertenecen a la última prueba realizada en la zona oriente de la ciudad, con alta presencia de tráfico y ciclistas, donde inicialmente algoritmo identifica pendiente positiva o subida, posteriormente, se genera un etiquetado de plano, las dos posibilidades corroboradas con la validación de nivel.

El anexo (n), (o), (p), es una prueba realizada en sentido sur-norte de la vía perteneciente al video representativo del proyecto, pero el cual presenta fallas en la identificación debido a la baranda lateral del puente que se observa en toda la grabación, que en las demás secuencias no se tienen, por lo que presenta error en comparación con la validación en nivel.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)



(p)

ANEXO B.

Tabla 1: Comparación de inclinación real vs detectada con transformada de Hough.

Inclinación linea derecha (°)	Inclinación linea izquierda (°)	Inclinación TH derecha (°)	Inclinación TH izquierda (°)
71,5137	73,3053	70,0315	79,9997
68,79483	75,6186	68,2407	76,3008
68,8864	75,5628	70,0474	78,7295
69,1497	74,3600	68,2537	75,3194
69,5605	73,2717	69,4172	75,0266
66,6167	75,2381	69,3107	75,3261
69,1455	76,3749	68,2460	76,0764
68,2729	76,1628	68,1985	76,6160
69,3009	76,4490	68,2515	77,0340
70,8607	75,1844	70,7099	75,1393
69,8482	77,4245	70,0003	77,9150
70,6276	77,8664	71,6083	78,1095
68,8227	76,1288	70,2379	76,8325
70,3959	78,0872	70,2279	78,4078
70,3984	76,4595	71,0981	76,4709
73,2928	78,6565	72,0218	78,4994
72,3719	77,7860	72,0147	77,6925
70,2971	77,7777	71,5150	77,7933
72,5120	78,5521	71,6143	78,0133
73,3200	79,3964	71,9199	79,6058
72,7341	78,0690	70,0371	78,1971
71,5650	77,8139	72,0242	77,5131
71,0835	77,3283	71,1992	76,7265
71,9017	77,9516	71,6242	78,7077
70,7247	77,3998	70,2334	78,0256
70,8841	75,4889	69,7018	75,4265
70,1531	75,8027	69,4809	77,0991
70,0302	76,6872	69,9770	77,1992
72,0083	76,2901	69,2690	77,3243
68,6630	72,2329	68,1882	75,0075
69,4068	74,5213	68,1764	75,0011
69,8495	74,3664	69,0248	75,3700
70,2011	74,3087	70,3196	75,0057
Error (%)		1,0910	1,2374
Covarianza		1,6377	1,1587

ANEXO C.

Algoritmo para la detección de inclinación en vía interurbana. Lenguaje Matlab.

```
% El siguiente algoritmo es para la generación de frames, análisis, identificación de
% inclinación de una vía, y composición de frames en video con etiquetado de
% resultados.
% Antes de iniciar el código debemos tener el video recortado a las inclinaciones que se
% quieren identificar, sin curvas.
% Luego de iniciado debemos especificar la carpeta donde queremos guardar los frames
% como también especificar el ajuste de curva.
% Especificaciones iniciales
clc;clear; close all;
video='vid##'; % Se especifica el nombre del video original, debe ser mp4
nombre='Frames'; % Se debe especificar el nombre de los frames a obtener
                 % (no poner digitos)
inicio=1; % Se debe especificar el primer frame a analizar
pasos=10; % Saltos entre cada frame (Disminuye gasto computacional 10-20)
cd('C:'); % Se especifica la carpeta donde se encuentra el video
factor=0.002; % Factor de aproximación 0.002
anguloderecho=70:0.1:80; % Especificación de rango de angulo TH derecha (entre
60-80
                 % se puede especificar rango mas pequeño)
anguloizquierdo=-75:0.1:-70; %Especificación de rango de angulo TH izquierda
%% Creación de frames
a=VideoReader([video,'.mp4']); % Lectura del video (formato mp4)
carp=uigetdir(); % Creación de la carpeta donde se van a guardar los frames
cd(carp); % Apertura de carpeta creada
for numero = 1:a.NumberOfFrames % #ok<VIDREAD> Se observa la tasa de FPS
que
    % se encuentra el video
    filename=([nombre,num2str(numero),'.jpg']); % Concatenación del nombre
    b = read(a, numero); %# ok<VIDREAD> % Se lee el numero de frame e indice
    imwrite(b,[carp,';filename]); % Se crea el frame con nombre
end
%% Análisis TH
% Especificar inicio, fin y saltos
fin=numero; % Ultimo frame a analizar
dif=zeros(2,length(inicio:fin)); % Creación del vector de ceros %(grados de inclinacion)
% Rho=zeros(2,length(inicio:pasos:numero));
%%
```

```

for indice=inicio:pasos:fin %% Ciclo de análisis
    n=[char(nombre),int2str(indice)]; % Creación de cadena de caract y núm
    Ig = imread([n,'.jpg']); % Lectura de imagen
    Ig = rgb2gray(Ig); %Cambio a escala de grises
    %% ROI (Region of interesting)
    [M,N]=size(Ig);
    M2=(5*M)/10; %Ajuste de recorte (corregir si es necesario)
    crop = Ig(M2:M,1:N); %Recorte final
    % imshow(Ig)
    % recorte=impoly;
    %% Filtrado de la imagen
    imgssobel = medfilt2(crop,[5,5]); %Filtro de mediana con vecindad 5x5
    % figure;imshow(imgssobel);pause();
    imgssobel = edge(imgssobel,'sobel',0.04,'horizontal'); % Aplicación filtro sobel, con
    % umbral de sensibilidad y dirección
    % imgssobel=imfilter(imgssobel,[-1 -2 -1;0 0 0;1 2 1]);
    % Filtro sobel horizontal
    % imgssobel=abs(imgssobel);
    % Binarización de la imagen
    imgssobel=uint8(imgssobel);
    % T=adaptthresh(imgssobel,0.9);
    imgssobel = imbinarize(imgssobel,'adaptive'); %Binarización adaptativa
    rect = strel('rectangle',[10 10]); % Dilatación con 10x10 de vecindad
    BW=imdilate(imgssobel,rect); %Aplicación de dilatación
    BW = bwareaopen(BW, 50); %QUitar objetos de menos de 50 pixeles
    % figure;imshow(BW);pause();
    % BW = imbinarize(imgssobel,'adaptive'); %Imagen binarizada
    % imshow(BW);pause();
    % BW = ~BW; %Imagen binarizada invertida
    % BW=uint8(BW); %Cambio a imagen de 8bits
    %% Transformada de Hough
    % Transfomada derecha
    [H1,T1,R1] = hough(BW,'RhoResolution',0.5,'Theta',anguloderecho);
    % Aplicación de TH con resolución de rho y límites de ángulos
    % figure('Color','white'); imshow(imadjust(rescale(H1)),...
    % 'XData', -90:90, 'YData', -2000:2000, 'InitialMagnification','fit');
    % title('Hough transform of gantrycrane.png');
    % xlabel('\theta'), ylabel('\rho'); axis on, axis normal, hold on;
    % colormap(gca,hot);
    % pause();
    Peaks1 = houghpeaks(H1,1,'threshold',ceil(0.9*max(H1(:))));
    % Una sola posibilidad de linea eligiendo el valor en matriz H máximo
    % con un valor mínimo que considera un pico (ceil-aproximación)

```

```

linde = houghlines(BW,T1,R1,Peaks1,'FillGap',800,'MinLength',10);
% Aplicación de lineas TH con propiedades de llenado de brecha 800
% y tamaño de linea mínimo 10
% Transformada izquierda
[H2,T2,R2] = hough(BW,'RhoResolution',0.5,'Theta',anguloizquierdo);
% figure('Color', 'White'); imshow(imadjust (rescale(H2)), 'XData',T2,..
% 'YData',R2,'InitialMagnification','fit');
% title('Hough transform of gantrycrane.png');
% xlabel('\theta'), ylabel('\rho'); axis on, axis normal,
% hold on; colormap(gca,hot);
% pause();
Peaks2 = houghpeaks(H2,1,'threshold',ceil(0.9*max(H2(:))));
liniz = houghlines(BW,T2,R2,Peaks2,'FillGap',800,'MinLength',10);
%% Ubicación de etiquetas
imgsobel=double(BW); %Conversión a 16bits
p1=[liniz.point1 4]; %Extracción de puntos de TH
p2=[liniz.point2 4];
p3=[linde.point1 4];
p4=[linde.point2 4];
dif(1,indice)=abs(linde.theta); %Extracción de ángulos de TH
% y llenado de vector de ceros
% Rho(1,indice)=linde.rho;
a1=[mean([p1(1) p2(1)]) mean([p1(2) p2(2)]) 15];
%Ubicación de etiquetas y creación de líneas
dif(2,indice)=abs(liniz.theta);
%Extracción de ángulos de TH y llenado de vector de ceros
% Rho(2,indice)=liniz.rho;
a2=[mean([p3(1) p4(1)]) mean([p3(2) p4(2)]) 15];
%Ubicación de etiquetas y creación de líneas
angulos=insertObjectAnnotation(imgsobel,'circle',[a1;a2;p1;p2;p3;p4],...
[dif(1,indice) dif(2,indice) 1 2 3 4], 'FontSize',18);
%Insertar etiquetas Propiedades de etiquetas
% figure;imshow(angulos);
hold on
%% Grafica de lineas TH
%Linea TH derecha
for k = 1:length(linde)
    xy = [linde(k).point1; linde(k).point2]; %Gráfica de línea TH
    plot(xy(:,1),xy(:,2),'LineWidth',4,'Color','green');
    %%Propiedades de linea TH
    plot(xy(1,1),xy(1,2),'x','LineWidth',2,'Color','yellow');
    %%Propiedades del punto inicial TH
    plot(xy(2,1),xy(2,2),'x','LineWidth',2,'Color','red');

```

```

%Propiedades del punto final TH
len = norm(linde(k).point1 - linde(k).point2);
%Longitud de la línea (extra)
end
%Linea TH izquierda
for k = 1:length(liniz)
    xy = [liniz(k).point1; liniz(k).point2];
    plot(xy(:,1),xy(:,2),'LineWidth',4,'Color','green');
    plot(xy(1,1),xy(1,2),'x','LineWidth',2,'Color','yellow');
    plot(xy(2,1),xy(2,2),'x','LineWidth',2,'Color','red');
    len = norm(liniz(k).point1 - liniz(k).point2);
end
% pause(2); %Pausa, se requiere su uso para visualizar las líneas TH
close all;
end
%% Análisis Ajuste de linea
%%
dif1=dif(1,:);dif2=dif(2,:); %%Creación de nuevos vectores de ángulos
%% Graficas con diferentes ajustes de curva
figure('Name','Ajuste de curvas','NumberTitle','off','Color','white');
% Ventana nueva con propiedades
%%
%% Ajuste con polinomio de grado 1
% P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),1);
% C1=polyval(P1,1:1:indice); %Identificación y evaluación
% P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),1);
% C2=polyval(P2,1:1:indice);
% C=[C1(1,:);C2(1,:)];
% D=mean(C,1);
%% Gráficas con propiedades
% subplot(2,3,1);hold on
% plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),'k')
% plot(1:1:indice,C1,'linewidth',2)
% plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),'k')
% plot(1:1:indice,C2,'linewidth',2)
% plot(inicio:pasos:indice,D(inicio:pasos:indice),'b','linewidth',3)
% xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title('Grado 1')
% text(indice/2, dif(1,indice)-1,'Derecha');
% text(indice/2, dif(2,indice)+1,'Izquierda')
% ylim([60 80]);
%%
%Ajuste con polinomio de grado 2
P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),2);

```

```

C1=polyval(P1,1:1:indice);
P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),2);
C2=polyval(P2,1:1:indice);
C=[C1(1,:);C2(1,:)];
D=mean(C,1);
subplot(2,2,1);hold on
plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2,'LineStyle','-')
plot(1:1:indice,C1,'Color',[0.8 0.3 0.1],'LineWidth',2,...
    'Marker','>','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2)
plot(1:1:indice,C2,'Color',[0.6 0.2 0.2],'LineWidth',2,...
    'Marker','<','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(1:indice,D,'Color',[0.3 0.7 0.3],'LineWidth',2,...
    'Marker','o','MarkerIndices',inicio:50:indice)
legend('Ángulo TH derecha','Ajuste Línea derecha','Ángulo TH izquierda',...
    'Ajuste Línea izquierda','Valor medio','NumColumns',2)
%#ok<LEGINTPAR>
xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title('Grado 2');
ylim([(abs(min([C1,C2])))-5,abs(max([C1,C2]))+5]);xlim([0 indice]);box on;
%
% Ajuste con polinomio de grado 3
P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),3);
C1=polyval(P1,1:1:indice);
P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),3);
C2=polyval(P2,1:1:indice);
C=[C1(1,:);C2(1,:)];
D=mean(C,1);
subplot(2,2,2);hold on
plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2,'LineStyle','-')
plot(1:1:indice,C1,'Color',[0.8 0.3 0.1],'LineWidth',2,...
    'Marker','>','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2)
plot(1:1:indice,C2,'Color',[0.6 0.2 0.2],'LineWidth',2,...
    'Marker','<','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(1:indice,D,'Color',[0.3 0.7 0.3],'LineWidth',2,...
    'Marker','o','MarkerIndices',inicio:50:indice)
legend('Ángulo TH derecha','Ajuste Línea derecha','Ángulo TH izquierda',...
    'Ajuste Línea izquierda','Valor medio','NumColumns',2)
%#ok<LEGINTPAR>
xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title('Grado 3')

```

```

ylim([(abs(min([C1,C2])))-5,abs(max([C1,C2]))+5]);xlim([0 indice]);box on;
%%%
%Ajuste con polinomio de grado 4
P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),4);
C1=polyval(P1,1:1:indice);
P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),4);
C2=polyval(P2,1:1:indice);
C=[C1(1,:);C2(1,:)];
D=mean(C,1);
subplot(2,2,3);hold on
plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2,'LineStyle','-')
plot(1:1:indice,C1,'Color',[0.8 0.3 0.1],'LineWidth',2,...
    'Marker','>','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2)
plot(1:1:indice,C2,'Color',[0.6 0.2 0.2], 'LineWidth',2,...
    'Marker','<','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(1:indice,D,'Color',[0.3 0.7 0.3], 'LineWidth',2,...
    'Marker','o','MarkerIndices',inicio:50:indice)
legend('Ángulo TH derecha','Ajuste Línea derecha','Ángulo TH izquierda',...
    'Ajuste Línea izquierda','Valor medio','NumColumns',2)
%#ok<LEGINTPAR>
xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title('Grado 4')
ylim([(abs(min([C1,C2])))-5,abs(max([C1,C2]))+5]);xlim([0 indice]);box on;
%%%
%Ajuste con polinomio de grado 6
P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),6);
C1=polyval(P1,1:1:indice);
P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),6);
C2=polyval(P2,1:1:indice);
C=[C1(1,:);C2(1,:)];
D=mean(C,1);
subplot(2,2,4);hold on
plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2,'LineStyle','-')
plot(1:1:indice,C1,'Color',[0.8 0.3 0.1],'LineWidth',2,...
    'Marker','>','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','LineWidth',2)
plot(1:1:indice,C2,'Color',[0.6 0.2 0.2], 'LineWidth',2,...
    'Marker','<','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(1:indice,D,'Color',[0.3 0.7 0.3], 'LineWidth',2,...
```

```

'Marker','o','MarkerIndices',inicio:50:indice)
legend('Ángulo TH derecha','Ajuste Línea derecha','Ángulo TH izquierda',...
    'Ajuste Línea izquierda','Valor medio','NumColumns',2)
%#ok<LEGINTPAR>
xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title('Grado 6')
ylim([(abs(min([C1,C2])))-5,abs(max([C1,C2]))+5]);xlim([0 indice]);box on;
%
%Ajuste con polinomio de grado 8
% P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),8);
% C1=polyval(P1,1:1:indice);
% P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),8);
% C2=polyval(P2,1:1:indice);
% C=[C1(1,:);C2(1,:)];
% D=mean(C,1);
%
% subplot(2,3,6);hold on
% plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),'k')
% plot(1:1:indice,C1,'linewidth',2)
% plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),'k')
% plot(1:1:indice,C2,'linewidth',2)
% plot(inicio:pasos:indice,D(inicio:pasos:indice),'b','linewidth',3)
% xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title('Grado 8')
% text(indice/2, dif1(indice)-1,'Derecha');
% text(indice/2, dif2(indice)+1,'Izquierda')
% ylim([60 80]);
pause();
%
% Identificación
%
g=input('ingrese valor de aproximacion de minimos cuadrados deseado: ');
P1=polyfit(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice) ,g);
C1=polyval(P1,1:1:indice); %Identificación y evaluación
P2=polyfit(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),g);
C2=polyval(P2,1:1:indice);
%
% Covarianza de los datos con respecto al ajuste
covar1=cov(C1(1:1:indice),dif1(1:1:indice));
varDatvsAj1=covar1(2,1); % Varianza datos vs ajuste realizado
varAjsAj1=covar1(1,1); % Varianza ajuste vs mediana
varDatvsDat1=covar1(2,2); % Varianza datos vs mediana
covar2=cov(C2(1:1:indice),dif2(1:1:indice));
varDatvsAj2=covar2(2,1);
varAjsAj2=covar2(1,1);
varDatvsDat2=covar2(2,2);
C=[C1(1,:);C2(1,:)];

```

```

% Creación de vector con la evaluación de ese ajuste de curva
D=mean(C,1);
% Creación de linea promedio entre las dos curvas (izquierda-derecha)
figure('Name','Ajuste de curvas','NumberTitle','off','Color','white');
% Nombre de la figura resultante
subplot(1,2,1);hold on
plot(1:indice,D,'Color',[0.3 0.7 0.3],'linewidth',2,...
    'Marker','o','MarkerIndices',inicio:50:indice)
% Graficado con características del ajuste especificado
legend('Ajuste especificado')
xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');
title(['Grado',num2str(g)]) % Resolución de ejes y nombre de la ventana
ylim([(abs(min([C1,C2])))-5,abs(max([C1,C2]))+5]);xlim([0 indice]);box on;
subplot(1,2,2);hold on
plot(inicio:pasos:indice,dif1(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','linewidth',2,'LineStyle','—')
plot(1:1:indice,C1,'Color',[0.8 0.3 0.1],'linewidth',2,...
    'Marker','>','MarkerIndices',inicio:50:indice);
plot(inicio:pasos:indice,dif2(inicio:pasos:indice),...
    'Color','k','linewidth',2)
plot(1:1:indice,C2,'Color',[0.6 0.2 0.2],'linewidth',2,...
    'Marker','<','MarkerIndices',inicio:50:indice);
legend('Ángulo TH derecha','Ajuste Línea derecha','Ángulo TH izquierda',...
    'Ajuste Línea izquierda','NumColumns',2) %#ok<LEGINTPAR>
xlabel('Frames');ylabel('Inclinacion (°)');title(['Grado',num2str(g)])
ylim([(abs(min([C1,C2])))-5,abs(max([C1,C2]))+5]);xlim([0 indice]);box on;
pause();
d=zeros(1,length(inicio:pasos:indice));
% Creación del vector ceros para etiquetado
d=string(d); % Conversión a vector string (caracteres)
% limsup=(1/6*(max(D)-mean(D)))+mean(D);
% liminf=mean(D)-(1/6*(mean(D)-min(D)));
for f=inicio:indice-1 % Ciclo útil de análisis de grados de inclinación
M=D(1,f+1)-D(1,f); % Calculo de pendiente con los vectores que la contienen
    % (M=y2-y1/x2-x1)
if M>factor % Condición del factor para subida
    d(1,f)= 'subida';
elseif M<-factor % Condición del factor para bajada
    d(1,f)= 'bajada';
elseif M<=factor && M>=-factor % Rango condicional del factor para plano
    d(1,f)= 'plano';
end
% %

```

```

% % Otra forma de identificación
% limsup1=(1/4*(max(C1)-mean(C1))+mean(C1);
% liminf1=mean(C1)-(1/4*(mean(C1)-min(C1)));
% limsup2=(1/4*(max(C2)-mean(C2))+mean(C2);
% liminf2=mean(C2)-(1/4*(mean(C2)-min(C2)));
% for f=inicio:indice
%
% if C1(1,f)>limsup1
%   d(1,f)= 'subida';
%
% elseif C1(1,f)<=limsup1 && C1(1,f)>=liminf1
%   d(1,f)= 'plano';
%
% else
%   d(1,f)= 'bajada';
% end
%
% %
% if C2(1,f)>limsup2
%   d(2,f)= 'subida';
%
% elseif C2(1,f)<=limsup2 && C2(1,f)>=liminf2
%   d(2,f)= 'plano'; %
%
% else
%   d(2,f)= 'bajada';
% end
%
r=zeros(1,length(inicio:pasos:indice));
r=string(r);
for f=inicio:indice
%
if d(1,f) =d(2,f)
  r(1,f)='plano';
%
else
  r(1,f)=mode(d(:,f),1);
%
end
%
end
end
% % Ciclo de etiquetado de frames
for indice=inicio:fin-pasos
n=[char(nombre),int2str(indice)]; % Creación de cadena de caract y num
I = imread([n,'.jpg']); % Lectura de imagen
[M,N,O]=size(I); % Tamaño imagen para insertar etiqueta
IF=insertText(I,[abs(6*N/10) abs(8*M/10)],cellstr(d(1,indice)), ...
'FontSize',40,'BoxColor','black', 'TextColor','white');

```

```

% Insertar etiqueta correspondiente a resultado
% figure('Name',n,'NumberTitle','off');
% imshow(IF);
imwrite(IF,['R',nombre,int2str(indice),'.jpg'],'jpg','Quality',80)
% Escritura frames resultantes con prefijo R
% pause(0.5);
% close;
end
%% Creación de video
%%
v = VideoWriter([video,'final'],'MPEG-4'); % Función de escritura del video
open(v)
for ii = inicio:fin-pasos
    [X,map] = imread(['R',nombre,int2str(ii),'.jpg']);
    % Lectura frames resultantes con prefijo R
    writeVideo(v,X) %Escribir video
end
close(v)

```