



	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN					<small>SC 7384-1</small> <small>SA-CERE 197528</small> <small>OS-CER 197565</small>	
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 23 de Septiembre de 2.021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Jesús Antonio Cubillos Manrique, con C.C. No. 1.075.305.955 de Neiva,

Yimmi Herney Cardozo Flores, con C.C. No.1.075.312.197 de Neiva,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o titulado presentado y aprobado en el año 2021 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.
- Permita 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:






Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

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 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN DE RECORRIDO EN SPINNING EN UN AMBIENTE CONTROLADO

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CARDOZO FLORES	YIMMI HERNEY
CUBILLOS MANRIQUE	JESÚS ANTONIO

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: 2021 NÚMERO DE PÁGINAS: 48

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una 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.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO					<small>SC 7384-1</small> <small>SA-CERIE 597526</small> <small>OS-CER 597555</small>	
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

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_

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

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. SIMULACIÓN	SIMULATION	6. _____	_____
2. PROCESAMIENTO DE VIDEO	VIDEO PROCESSING	7. _____	_____
3. VELOCIDAD	SPEED	8. _____	_____
4. FRENO MAGNÉTICO	MAGNETIC BRAKE	9. _____	_____
5. _____		10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)






Durante el proceso de desarrollo del prototipo, se implementó un sistema de simulación de ciclismo a través de procesamiento de video. Adicionalmente, se desarrolló un sistema de frenado magnético el cual se acciona de acuerdo con la inclinación de la carretera; para la simulación, se utilizó un video de la carretera que de Neiva comunica hacia el Juncal. A través de un ordenador de placa reducida como lo es la Raspberry Pi, se realizó el procesamiento del video de la carretera, el código de inclinación detecta en que sección se encontraba en subida, en plano, y en bajada, de este modo se activa un freno magnético para simular las condiciones del terreno y tener la sensación del recorrido. De igual manera, la reproducción del video estará en función del trabajo que se realice en el prototipo, de esta manera, si la bicicleta se encuentra detenida, el video estará en pausa, si está en funcionamiento, la reproducción del video se encontrará activa, esto ayuda

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				   		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO				<small>SC 7384-1 SA-CERIE 987526 OS-CER 997555</small>		
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

a tener una experiencia de simulación real, la cual puede estar muy a la par de una experiencia de recorrido en bicicleta en una vía intermunicipal o urbana. La detección de la velocidad de la bicicleta se hace a través de una tarjeta de adquisición de datos Arduino (UNO) la cual envía la señal mediante el puerto serial de la Raspberry, este dispositivo estará sincronizado con todo el sistema.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

During the prototype development process, a cycling simulation system was implemented through video processing. Additionally, a magnetic braking system was developed which is activated according to the inclination of the road; for the simulation, a video of the road from Neiva to Juncal was used. Through a single board computer such as the Raspberry Pi, the video of the road was processed, the inclination code detects in which section it was uphill, flat, and downhill, in this way a magnetic brake is activated to simulate the conditions of the terrain and have the feel of the journey. Similarly, the video playback will depend on the work done on the prototype, in this way, if the bicycle is stopped, the video will be paused, if it is running, the video playback will be active, this helps to have a real simulation experience, which can be very similar to a cycling experience on an inter-municipal or urban road. The detection of the speed of the bicycle is done through an Arduino data acquisition card (UNO) which sends the signal through the serial port of the Raspberry, this device will be synchronized with the entire system.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					    <small>SC 7384-1 SA-CERES 587526 OS-CER 587555</small>	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

APROBACION DE LA TESIS

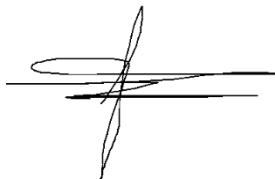
Nombre Jurado: JOSE DE JESÚS SALGADO PATRÓN

Firma:



Nombre Jurado: JESÚS DAVID QUINTERO POLANCO

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.

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN DE RECORRIDO EN
SPINNING EN UN AMBIENTE CONTROLADO**

**JESÚS ANTONIO CUBILLOS MANRIQUE
YIMMI HERNEY CARDOZO FLORES**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN UNITCOM
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA - HUILA
2021**

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN DE RECORRIDO EN
SPINNING EN UN AMBIENTE CONTROLADO**

**JESÚS ANTONIO CUBILLOS MANRIQUE
YIMMI HERNEY CARDOZO FLORES**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero
Electrónico**

Director ING. MARTÍN DIOMEDES BRAVO OBANDO, M. Sc.

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN UNITCOM
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA - HUILA
2021**

Nota de aceptación

Firma del director

Firma de jurado

Firma de jurado

Neiva, Huila, 14 de abril de 2021

DEDICATORIA

El siguiente trabajo lo dedicamos, a Dios por darnos la fortaleza y valor para afrontar cada uno de los retos presentes durante nuestra formación, a nuestras familias por contribuir con su apoyo constante a lo largo de esta experiencia educativa. A todas las personas que nos acompañaron brindando aportes importantes para la construcción de este proyecto desde el ámbito profesional y humano.

AGRADECIMIENTOS

La vida está llena de ilusiones, metas y triunfos, a la vez que de esfuerzos, sacrificios, dificultades y luchas con el fin de cumplir un sueño.

Queremos dar infinitas gracias a Dios por acompañarnos en todo momento y darnos la sabiduría para vivir esta aventura investigativa.

A nuestras familias por su amor, comprensión, paciencia y apoyo incondicional expresado en frases de aliento para continuar creciendo como personas y como profesionales.

Al Ingeniero Martin Diomedes Bravo Obando nuestro director de investigación por su preciada asistencia y excelentes sugerencias.

Al programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana y cada uno de los Ingenieros por sus invaluable orientaciones, valiosos consejos y aportes para culminar nuestra formación profesional y seguir adelante sin desfallecer.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	13
1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO.....	15
1.1 SOFTWARE	15
1.2 HARDWARE	16
2. DISEÑO.....	18
2.1 PROTOTIPO	18
2.1.1 Bicicleta estática.....	18
2.1.2 Freno magnético.....	20
2.2 PROCESAMIENTO DE VIDEO	22
2.2.1 Transformada de Hough.....	22
2.2.2 Ángulo de inclinación.....	24
2.2.3 Selección de nivel.....	24
2.2.4 Sistema de control	25
2.3 SECUENCIA DE TEXTO EN EL VIDEO	28
3. IMPLEMENTACIÓN.....	30
4. PRUEBA Y ANÁLISIS DEL SISTEMA	35
4.1 DETECCIÓN DE NIVEL	35
4.2 MONTAJE	36
4.3 FRENO MAGNÉTICO.....	36
4.4 ANÁLISIS GENERAL DEL PROTOTIPO	39
5. CONCLUSIONES.....	40
6. RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFIA	42
ANEXOS.....	44

TABLA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Gráfico de los componentes de software y hardware del sistema.	15
Ilustración 2. Diagrama de bloques de desarrollo del sistema.	18
Ilustración 3. Bicicleta Korbin.	19
Ilustración 4. Parte trasera del prototipo, en donde se evidencia el rodillo que mantiene estático este.	20
Ilustración 5. Sistema de freno magnético.	21
Ilustración 6. Detección de bordes.	23
Ilustración 7. Resultado del procesamiento del video.	24
Ilustración 8. Funcionamiento del sensor de efecto hall.	26
Ilustración 9. Montaje Circuito, sensor de revoluciones por minuto	27
Ilustración 10. Conexión serial entre una Raspberry y un Arduino UNO.	28
Ilustración 11. Prototipo de sistema de simulación de spinning.	30
Ilustración 12. Sección trasera del prototipo.	31
Ilustración 13. Sistema de frenado magnético en donde se evidencia el freno, parte de la placa en el rin de la bicicleta y la fuente conmutable.	32
Ilustración 14. Sección trasera del prototipo.	32
Ilustración 15. Resultado obtenido de la conversión de RPM a Km/h en la aplicación.	33
Ilustración 16. Diagrama de secuencia del funcionamiento del prototipo.	34
Ilustración 17. Dirección de las corrientes inducidas	37
Ilustración 18. Corriente inducida y fuerza de frenado	38

TABLA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Especificaciones de la bicicleta.....	19
Cuadro 2. Datos adicionales del freno magnético.....	21
Cuadro 3. Costos del prototipo	22
Cuadro 4. Materiales para el desarrollo del tacómetro.	25

TABLA DE GRÁFICAS

Pág.

Grafica 1. Medición de las revoluciones por minuto en función del tiempo.....	33
---	----

TABLA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Fuerza electromotriz inducida	37
Ecuación 2. Intensidad inducida	37
Ecuación 3. Magnitud de fuerza.....	38

RESUMEN

TÍTULO:

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN DE RECORRIDO EN SPINNING EN UN AMBIENTE CONTROLADO.

AUTORES:

YIMMI HERNEY CARDOZO FLORES.
JESÚS ANTONIO CUBILLOS MANRIQUE.

PALABRAS CLAVES:

Simulación, Procesamiento de video, Velocidad, Freno magnético, Comunicación remota.

DESCRIPCIÓN:

Durante el proceso de desarrollo del prototipo, se implementó un sistema de simulación de ciclismo a través de procesamiento de video. Adicionalmente, se desarrolló un sistema de frenado magnético el cual se acciona de acuerdo con la inclinación de la carretera; para la simulación, se utilizó un video de la carretera que de Neiva comunica hacia el Juncal.

A través de un ordenador de placa reducida como lo es la Raspberry Pi, se realizó el procesamiento del video de la carretera, el código de inclinación detecta en que sección se encontraba en subida, en plano, y en bajada, de este modo se activa un freno magnético para simular las condiciones del terreno y tener la sensación del recorrido.

De igual manera, la reproducción del video estará en función del trabajo que se realice en el prototipo, de esta manera, si la bicicleta se encuentra detenida, el video estará en pausa, si está en funcionamiento, la reproducción del video se encontrará activa, esto ayuda a tener una experiencia de simulación real, la cual puede estar muy a la par de una experiencia de recorrido en bicicleta en una vía intermunicipal o urbana. La detección de la velocidad de la bicicleta se hace a través de una tarjeta de adquisición de datos Arduino (UNO) la cual envía la señal mediante el puerto serial de la Raspberry, este dispositivo estará sincronizado con todo el sistema.

ABSTRACT

TITLE:

PROTOTYPE OF A SPINNING TRAVEL SIMULATION SYSTEM IN A CONTROLLED ENVIRONMENT.

AUTHORS:

YIMMI HERNEY CARDOZO FLORES.
JESÚS ANTONIO CUBILLOS MANRIQUE.

KEYWORDS:

Simulation, Video processing, Speed, Magnetic brake, Remote communication.

DESCRIPTION:

During the prototype development process, a cycling simulation system was implemented through video processing. Additionally, a magnetic braking system was developed which is activated according to the inclination of the road; For the simulation, a video of the road from Neiva to Juncal was used.

Through a single board computer such as the Raspberry Pi, the video of the road was processed, the inclination code detects in which section it was uphill, flat, and downhill, in this way a magnetic brake is activated to simulate the conditions of the terrain and have the feel of the journey.

Similarly, the video playback will depend on the work done on the prototype, in this way, if the bicycle is stopped, the video will be paused, if it is running, the video playback will be active, this helps to have a real simulation experience, which can be very similar to a cycling experience on an inter-municipal or urban road. The detection of the speed of the bicycle is done through an Arduino data acquisition card (UNO) which sends the signal through the serial port of the Raspberry, this device will be synchronized with the entire system.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la tecnología avanza a pasos agigantados en busca de encontrar soluciones que aquejan a la humanidad. Es por esto por lo que en cuanto a la visión por computador y temas relacionados a la simulación, realidad aumentada y realidad virtual cada vez toma más fuerza, en busca de optimizar procesos y facilitar ciertas tareas a los seres humanos. Actualmente, se encuentra cualquier cantidad de simuladores de aviación, los cuales han sido creados con el fin de dar una herramienta a los profesionales novatos de la aviación, para que tengan la oportunidad de afrontar riesgos a los que pueden estar expuestos en la vida real y observar de qué manera sortean este tipo de situaciones.

Partiendo de un precedente existente, el cual fue el desarrollo de la tesis DETECCIÓN E INCLINACIÓN EN VÍA INTERURBANA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES PROCESADAS USANDO ALGORITMO EN AMBIENTE CONTROLADO, desarrollada por los ingenieros electrónicos Kevin Hernando Bermeo Sánchez y Camila Andrea Gutiérrez Guerrero¹, nace la idea de desarrollar un dispositivo, que a través de procesamiento de video, recree condiciones normales de un recorrido en bicicleta en vía interurbana, en una primera fase, se desarrolla un prototipo que está compuesto por una bicicleta de ruta, de igual manera, un dispositivo que mantenga la bicicleta estáticamente, en este caso, un rodillo. En la segunda fase se desarrolla una aplicación, la cual, está conectada con el prototipo físico y los sistemas que interactúan en esta, los cuales son, el sistema de frenado, de adquisición de velocidad (mediante sensor de efecto hall) y de procesamiento de video.

Inicialmente se contaba con el código realizado por los ingenieros mencionados antes, posteriormente se consideraron fases, para de esta manera desarrollar soluciones que aportarán a la construcción del proyecto. Se hace uso de sensores para la captación de datos y posteriormente puesta en marcha del simulador.

Este tipo de trabajos aportan significativamente al desarrollo de actividades cotidianas, puesto que, así como hay dispositivos de realidad aumentada para profesionales de aviación, y personas interesadas en este tema, dispositivos de realidad aumentada para profesionales del automovilismo, conductores principiantes y aficionados a esta área, debe haber un simulador profesional para los profesionales en el ciclismo, y ciclistas principiantes para que de esta forma logren entrenar de una manera real.

¹ BERMEO SANCHEZ, Kevin y GUTIERREZ GUERRERO, Camila. Detección e inclinación en vía interurbana mediante el análisis de imágenes procesadas usando algoritmo en ambiente controlado. Trabajo de grado Profesional en Ingeniería Electrónica, Neiva Huila. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Electrónica, 2019.

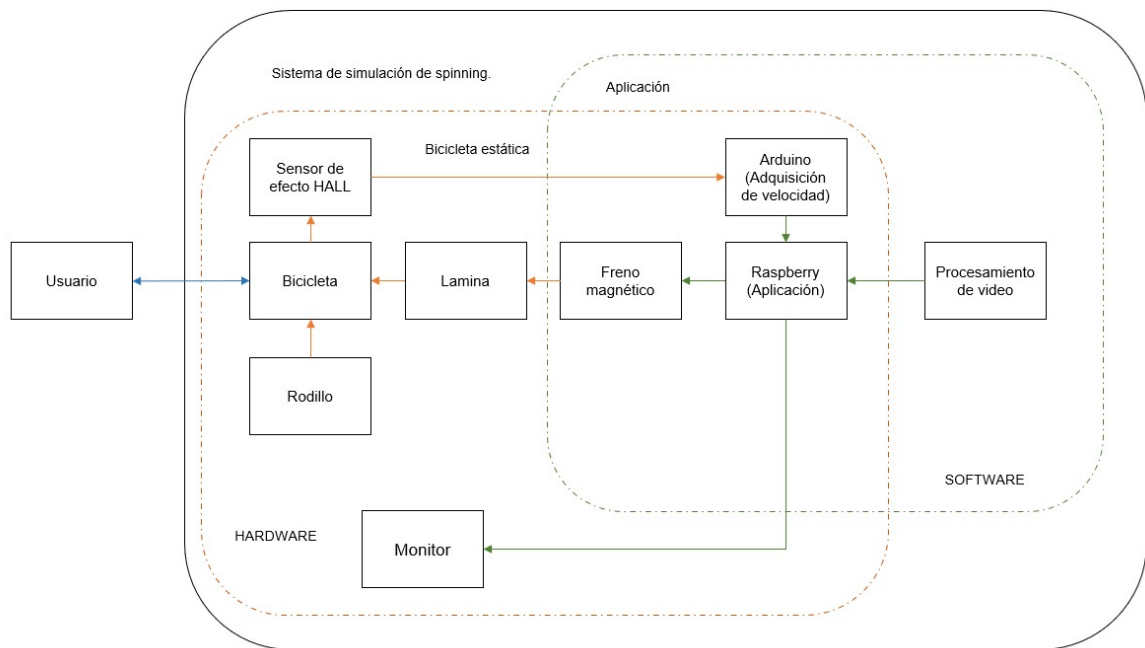
En el desarrollo del proyecto se retoman conceptos básicos de teoría de circuitos de corriente alterna y campos electromagnéticos a la hora de desarrollar el dispositivo de frenado. Un freno magnético que será accionado acorde a la señal que envíe el procesamiento de video, en este caso, se definen 3 fases, las cuales serán en terreno de subida, plano y en pendiente. Se retoman conceptos básicos de procesamiento digital de señales, utilizando una Raspberry Pi 3 Modelo B a la hora de poner en marcha el procesamiento del video, en este caso, un video tomado de la ruta, Neiva – El Juncal, aprovechando la buena condición en la que se encuentra la vía y, además, se retoman conceptos básicos de instrumentación industrial, teniendo en cuenta que se toma una señal de velocidad para la sincronización de la velocidad del video.

Con este proyecto, se está haciendo un sistema con el cual, deportistas de alto nivel y personas aficionadas al deporte se entrenen sin necesidad de afrontar los riesgos que puede acarrear hacer ciclismo de ruta, de esta manera, se merma la accidentalidad en la calles, y los ciclistas aficionados entrenan en un ambiente real para que, en el momento que salgan a realizar actividad física, estén en la capacidad de sortear este tipo de situaciones.

1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO

De acuerdo con los objetivos propuestos para el desarrollo del requerimiento, se inicia una fase de análisis en donde se buscan estrategias viables para el inicio de la implementación de este.

Ilustración 1. Gráfico de los componentes de software y hardware del sistema.



1.1 SOFTWARE

Es muy importante tener en cuenta que, para el desarrollo de la aplicación, se necesita un lenguaje de programación de alto nivel, en este caso, se decidió usar Python debido a que, por su simplicidad, su amplio número de librerías y la licencia GPL, permite encontrar bastantes recursos que harán que se facilite la obtención de un prototipo final de acuerdo con las características del sistema que se propone. Además de esto, es un sistema bastante común en el desarrollo de aplicaciones enfocadas al procesamiento de video, debido a qué, cuenta con una librería que proporciona las herramientas necesarias enfocadas a esta área de la tecnología, esta librería recibe el nombre de OpenCV (OPEN SOURCE COMPUTER VISION LIBRARY). Según la página oficial de OpenCV, “Es una biblioteca de software de visión artificial y aprendizaje automático de código abierto”². Otro aspecto atractivo

² ¿Qué es OpenCV? [blog]. Equipo OpenCV. 2021. [Consultado: 12 de febrero de 2021] Disponible: <https://opencv.org/about/>

de trabajar con esta librería incluida en Python es que cuenta con aproximadamente 2500 algoritmos optimizados de opciones de visión artificial y aprendizaje automático. Estos algoritmos pueden usarse para detectar, reconocer e identificar objetos, parte clave en el requerimiento ya que, se necesita identificar el nivel de inclinación de la carretera para que la aplicación envíe la señal a los respectivos actuadores. Debido a que, se considera utilizar una Raspberry Pi 3 y un Arduino UNO (este último, debido a que, el gran número de tareas puede generar inconvenientes en el funcionamiento de la Raspberry, la placa Arduino puede ser una estrategia para evitar esto, debido a que se emparejan correctamente a través del puerto serial), se requiere un sistema operativo que soporte la tarjeta Raspberry, por lo cual, se propone utilizar el sistema operativo Debian, el cual, cuenta con las herramientas necesarias para la puesta en marcha de la aplicación. Así mismo, se requiere un computador portátil que cuente con la aplicación de programación de Arduino.

En cuanto al desarrollo de la aplicación, esta tiene que estar diseñada para que, a través de un sistema de procesamiento de video, se detecte el nivel del terreno, y, teniendo en cuenta este, se envíe una señal a través de la Raspberry a un actuador, el cual estará controlando la velocidad de la bicicleta estática. La aplicación tiene que ser capaz de obtener datos tales como la velocidad a la que se está haciendo el recorrido y entregar de acuerdo con unos parámetros el nivel del terreno en el que se está haciendo el recorrido.

1.2 HARDWARE

Para el funcionamiento de la aplicación, se requiere de un equipo físico robusto que soporte los requerimientos del desarrollo.

El uso de tarjetas de adquisición de datos y placas computarizadas es necesario, debido a que, por la cantidad de tareas simultáneas que se realizarán habrá que dividirlos en secciones, de esta manera, es conveniente hacer uso de la tarjeta Arduino UNO, la cual, estará tomando mediciones constantes de la velocidad a la que se está desplazando el prototipo, y esta, se conecta a través del puerto serial a la Raspberry Pi 3, en cuanto a la Raspberry, es la tarjeta que va a soportar la aplicación completa desarrollada para el funcionamiento del prototipo, el uso de esta tarjeta es idóneo debido a que cuenta con todas las herramientas y la capacidad necesaria para este trabajo.

A la vez, se requiere el uso de una bicicleta estática, para lo cual se propone incorporar a una bicicleta de ruta, un rodillo en la parte trasera, de esta manera, se mantendrá en un ambiente controlado. Para asegurar que el sistema de frenado funcione correctamente, se requiere de un actuador, Es necesario un freno magnético, el cual, será activado por la Raspberry Pi 3, de acuerdo a las condiciones del terreno, este se accionará y detendrá la rueda trasera que tendrá incorporada

una placa de lámina que estará ajustada al rin de la bicicleta estática. Para el freno magnético será necesario realizar un embobinado que se accionará a través de un flujo eléctrico (electroimán), el cual, al ser mayor, generará una fuerza que detendrá la rueda a través de la lámina.

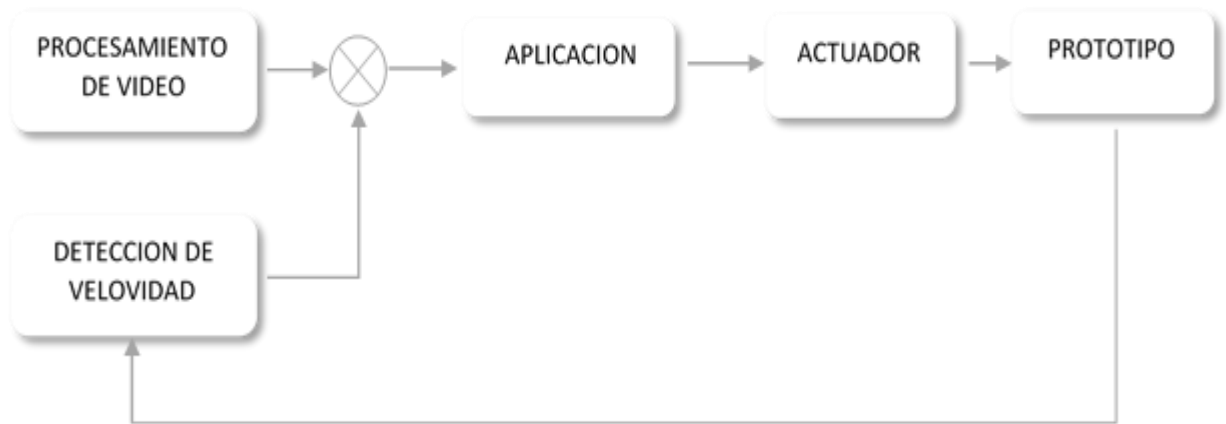
Para la detección de velocidad, se hace uso de un contador, que se realiza con un sensor de efecto hall, que estará detectando el número de vueltas promedio que realiza la rueda de la cicla con ayuda de un imán que estará incorporado en la rueda trasera.

Finalmente, es necesario hacer uso de herramientas tales como, monitor de computador, cableado necesario para hacer conexiones internas y externas a la red eléctrica, fuentes de tensión para alimentar la totalidad del prototipo, protoboard, resistencias y jumpers.

2. DISEÑO.

De acuerdo con el análisis del requerimiento, se realiza un diagrama de bloques para dividir en secciones del proyecto, y de esta manera, avanzar en cada una de estas para posteriormente ensamblar el prototipo en uno solo, a continuación, se expone el diagrama de bloques del proyecto:

Ilustración 2. Diagrama de bloques de desarrollo del sistema.



Como la imagen lo indica, el resultado del procesamiento de video y la detección de velocidad que estará dada en base al prototipo, será enviado a la aplicación, de esta manera, la aplicación va a enviar la señal al actuador para realizar el cambio de estado, el cual dependerá del nivel de inclinación, cabe resaltar que, si no hay una señal de velocidad, el prototipo estará en pausa.

2.1 PROTOTIPO

2.1.1 Bicicleta estática

Hoy en día, la bicicleta es uno de los medios de transportes más utilizados por los jóvenes, de igual manera, en Colombia y el mundo entero, se ha visto el boom de este medio de transporte e instrumento deportivo, debido a la fuerte acogida que han tenido grandes competiciones del ciclismo tales como la vuelta a España, el tour de Francia, el Giro de Italia, etc.

Ilustración 3. Bicicleta Korbin.



Para el desarrollo del proyecto se utilizó una bicicleta con las siguientes características:

Cuadro 1. Especificaciones de la bicicleta

MARCA	Fusion
MODELO	Korbin
GENERO	Sin género
RODADO	29
CANTIDAD DE VELOCIDADES	24
TIPO DE FRENO DELANTERO	Disco Mecánico
TIPO DE FRENO TRASERO	Disco Mecánico

De igual manera, se utilizó un sistema de rodillo para mantener la bicicleta estática y en funcionamiento, el cual va sosteniendo la bicicleta en la parte trasera, esto hace que la bicicleta tenga un agarre, de igual manera, en la parte inferior de este, tiene un rodillo que se encontrara en constante movimiento para recrear la sensación de

la vía, este tipo de dispositivos son muy comunes en el entrenamiento de bicicleta en casa.

Ilustración 4. Parte trasera del prototipo, en donde se evidencia el rodillo que mantiene estático este.



2.1.2 Freno magnético

Aguilar define el freno magnético como:

Un dispositivo usado en la industria como dispositivos de seguridad, realizando la tarea de freno de emergencia, su implementación va desde frenado de trenes, automatización de procesos, o frenado de inducción magnética de automóviles. El funcionamiento se describe por la ley de Faraday-Lenz y las corrientes de fuga o corrientes de Foucault, los cuales enuncian que una fuerza electromotriz es causada ya sea por la variación del campo magnético en el tiempo o por la variación de posición de cuyo objeto recae el campo a través del tiempo. Así mismo al exponer este objeto conductor como lo es el disco de frenado al campo magnético, se producirá el flujo de corrientes parasitas denominadas corrientes de Foucault, que por ley de Lenz esta corriente generada producirá una fuerza electromotriz inversa a la dirección de la corriente, deteniendo el disco y posteriormente frenando³.

³ AGUILAR, Cesar y CHIMBO, José. Descripción de los Discos de Frenado Magnético. Proyecto de curso. Guayaquil Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Facultad de ingeniería y telecomunicaciones, 2009.

Por consiguiente, el movimiento de la llanta sobre el rodillo, el cual, se encuentra acoplado a una placa construida de aluminio, se ve afectado por una fuerza magnética, esto depende del nivel de inclinación detectado en la carretera; esta fuerza se debe a la presencia del freno magnético que se encuentra a un costado de la llanta, lo cual le induce corriente sobre la placa de aluminio y dan origen a una fuerza magnética que se opone al movimiento de la llanta.

Ilustración 5. Sistema de freno magnético.



El montaje se compone principalmente por un electroimán el cual posee 1450 espiras ya que entre mayor número de espiras más campo magnético generado, con una longitud individual aproximada de 8.5 cm, un radio de 0.85 cm con un núcleo ferromagnético de aleación de acero con carbono, además, un medidor de revoluciones por minuto (RPM), dado por un control ejecutado en un Arduino. También, cuenta con un disco conductor engranado a la llanta de la bicicleta, al cual se le aplicará el campo magnético. Adicional, conexiones de switches y demás para el control del sistema.

Cuadro 2. Datos adicionales del freno magnético

Descripción	Valor
# Espiras totales	1450
Longitud total	0.085 m
Radio	0.0085 m
ε_0 (Permitividad en el vacío)	$4\pi * 10^{-7}$

ε_r (Permitividad relativa)	$1.075 \text{ }^s/m$
Resistencia bobina	19Ω
Voltaje inducido	$28V$
Intensidad	1.4737 A

Para formar la estructura funcional del prototipo se tuvo que contar con recursos monetarios propios, como se muestra a continuación.

Cuadro 3. Costos del prototipo

ELEMENTO	\$ COP
BICICLETA	1'200.000
RODILLO	180.000
ELECTROIMAN	10.200
PLACA DE ALUMINIO	32.000
FUENTE CONMUTADA	55.000
RASPBERRY PI	240.000
ARDUINO	50.000
MONITOR	170.000
SENSOR EFECTO HALL	28.000
IMAN DE NIODIMIO	2.000
CABLE HDMI	15.000
TOTAL	1'982.200

2.2 PROCESAMIENTO DE VIDEO

Se realiza el tratamiento del procesamiento de video, donde se detecta el nivel de inclinación y la velocidad de ejecución de la aplicación, haciendo uso de diferentes técnicas como lo es la Transformada de Hough.

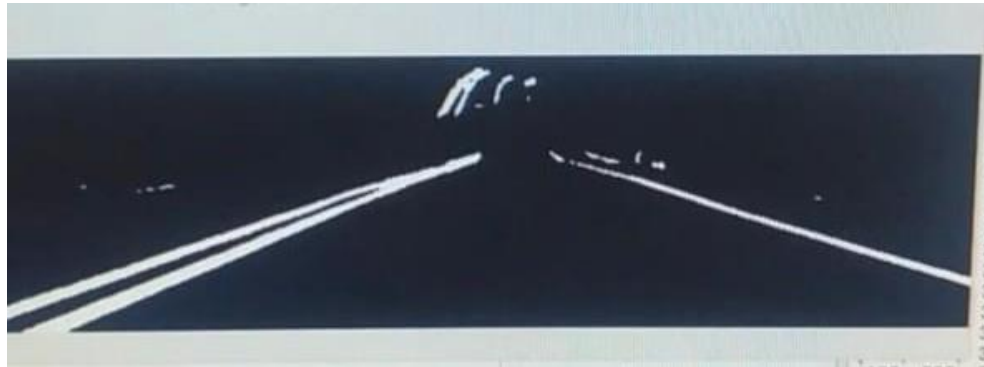
Debido a la posible detección de líneas externas que no hagan parte de la demarcación de la carretera y se genere errores de procesamiento, es de vital importancia crear una región de interés, recortando la imagen observada por el usuario en puntos específicos dejando solo el área de utilidad.

2.2.1 Transformada de Hough

Teniendo la zona de interés se determina la transformada Hough, esta técnica permite detectar rectas y curvas en una imagen. Para esto, es necesario encontrar puntos consecutivos sobre la imagen y por cada uno buscar todas las posibles figuras a las que puede pertenecer dicho punto. Esto se logra creando un acumulador, cuyas dimensiones debe ser igual al número de parámetros

desconocidos del problema, es decir, que si la forma de la recta es $y = m * x + n$, las dimensiones del acumulador serían dos⁴. Luego es necesario discretizar el espacio de parámetros en una serie de celdas que se denominan celdas de acumulación.

Ilustración 6. Detección de bordes.



Como primer paso para encontrar los puntos, se implementa el detector de bordes; este aísla objetos y los separa del fondo para así simplificar el análisis de la imagen y reducir drásticamente la cantidad de datos a procesar, dicho esto, se realiza las líneas de la carretera que se encuentra dentro de la región de interés y así se simplifica el procesamiento. Debido a que es propenso a obtener errores por objetos cercanos captados en la imagen o al detectar bordes se aplica un filtro Gaussiano, este cumple el fundamento básico de un promedio ponderado. Esta ponderación se hace siguiendo la Campana de Gauss. Con esto se consigue dar más importancia a los píxeles que están más cerca del centro de los que están más alejados. Esto es una aproximación de cómo ve el ojo humano, intentando ser lo más natural posible.

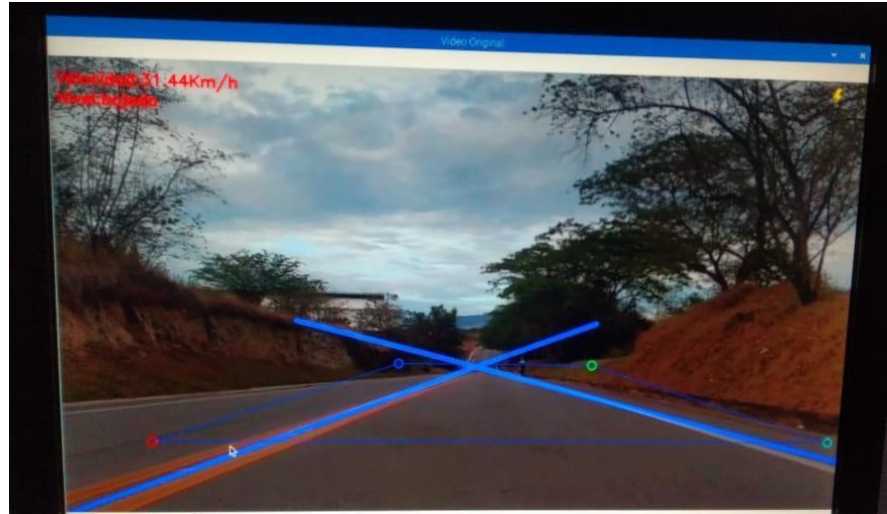
Luego de tener los bordes marcados, es necesaria la dilatación para así obtener una mejor marcación de dichos bordes, es decir, se genera un crecimiento de los píxeles situados alrededor de los bordes. En general, este método marca como '1' todos los píxeles que formen parte del fondo de la imagen, pero que al mismo tiempo estén en contacto directo con el objeto. Esto permite aumentar en uno el nivel de píxeles en el perímetro de cada objeto, que sufre un crecimiento de tamaño, y al mismo tiempo permite rellenar posibles huecos dentro del mismo.

Teniendo los datos establecidos de la imagen previamente tratada, se analiza los posibles puntos correctos para formar la línea, se procede a verificar que línea se

⁴ URREA, Juan Pablo y OSPINA, Emmanuel. Implementación de la transformada Hough para la detección de líneas para un sistema de visión de bajo nivel. Scientia et Technica. Mayo 2004. vol. 1, p. 80-81. [Consultado: 10 de enero del 2020]. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7285>

pueden trazar, haciendo posible efectuar agrupaciones de los puntos que pertenecen a los bordes de la posibilidad final de línea.

Ilustración 7. Resultado del procesamiento del video.



2.2.2 Ángulo de inclinación

Una vez obteniendo la Transformada Hough, es posible saber el ángulo de inclinación de la pendiente generada, para así saber si esta se encuentra en bajada, subida o plano, esto, analizando los resultados del vector θ comparando los valores obtenidos. Respecto a consideraciones prácticas, las funciones de OpenCV HoughLines y HoughLinesP son usadas para detectar líneas en una imagen, ambas funciones usan el método de la Transformada de Hough. Se halla el ángulo de inclinación de dicha recta, se saca el promedio de los puntos arrojados por la transformada y se imprimen las líneas laterales detectadas en la carretera.

2.2.3 Selección de nivel

Se centró en crear tres condicionales, así mediante rangos de inclinación encontrados en la sección anterior se determina en qué nivel se encuentra la vía para así accionar el freno y la fuerza de oposición hacia la llanta.

Para el nivel de bajada si los grados de inclinación están en un rango de 103 a 107 grados, se cambia el ciclo de trabajo del PWM (Modulación por ancho de pulsos) a su valor mínimo, esperando que no se ejerza ninguna fuerza opositora sobre la rueda.

En el caso contrario, para el nivel de inclinación de subida se necesita que el ciclo de trabajo este en su valor máximo y entregue el voltaje necesario para accionar el freno magnético, generar la fuerza que se opondrá al giro de la llanta y simular el estado de la vía. Para ello el condicional se encuentra en un rango de 73 a 80 grados mientras que, en el nivel medio o estado plano, el accionar del freno debe encontrarse en un ciclo de trabajo del 50% con el fin de ocasionar una leve sensación de oposición, dicho esto, si no es subida, ni bajada se mantendrá en el nivel de vía plana.

Una vez se quiera finalizar la ejecución de la aplicación, antes de cerrarse, se crean las ventanas de los videos como el video original, video con los bordes y el video con la detección de las líneas laterales de la vía con el objetivo de visualizar la correcta ejecución de la aplicación. Además, se le indica que al presionar la tecla 's' termine todos los ciclos que se encuentran ejecutando.

2.2.4 Sistema de control

En ingeniería, los tacómetros son una herramienta bastante útil a la hora de realizar el cálculo del movimiento de rotación de las piezas. Los tacómetros leen las revoluciones por minuto, esto da una estimación de la frecuencia giratoria que tiene una rueda, este tipo de aplicaciones son bastante útiles en los campos de automotriz, aeroespacial, de fabricación, etc.⁵ Los materiales para realizar el tacómetro son los siguientes:

Cuadro 4. Materiales para el desarrollo del tacómetro.

Cantidad	Material
1	Arduino UNO
1	Imán de neodimio
1	Sensor de efecto Hall

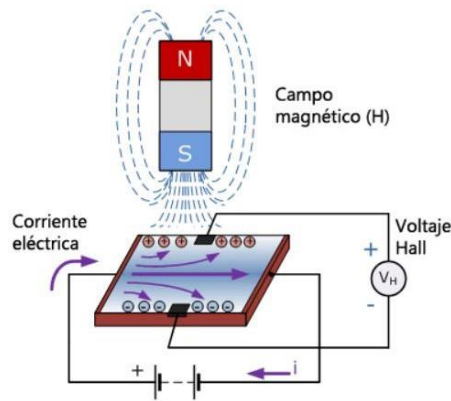
Hoy, los sensores de efecto hall son elementos bastante usados en la electrónica, generalmente para realizar medidas de revoluciones por minuto, de igual manera, tienen otros tipos de funciones, por ejemplo, en la industria automotriz, para el accionamiento de los cinturones de seguridad, para detección de metales, generalmente se evidencia esto en los sistemas que implementan en los aeropuertos para la detección de objetos que puedan ocasionar daños.

El sensor de efecto hall es un dispositivo que funciona sin necesidad de tener contacto físico, sin embargo, el alcance de este no es muy amplio. El dispositivo funciona haciendo circular una corriente eléctrica a través del semiconductor en

⁵ Mundo, Motor. Tacómetro: Funcionamiento, Tipos, Instalación Y Desventajas. [En línea]. 1ed. Ciudad Real España. 2020. [Consultado: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.mundodelmotor.net/tacometro-de-automovil/>

presencia de un campo magnético, como se observa en la Ilustración 8, los electrones posteriormente son desviados por el campo magnético, obteniendo una tensión de manera perpendicular a la corriente del campo magnético.⁶

Ilustración 8. Funcionamiento del sensor de efecto hall.



Fuente: Luis Llamas. DETECTAR CAMPOS MAGNÉTICOS CON ARDUINO Y SENSOR HALL A3144. 2015. [Consultado:20 diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/>

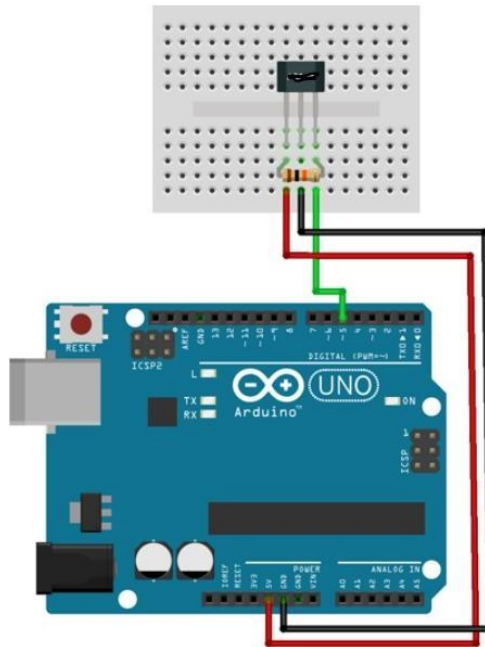
Para hacer la lectura de las revoluciones por minuto, inicialmente se tiene que tomar el cálculo del radio de la rueda de la bicicleta, para el caso de la bicicleta de pruebas que se utilizó para realizar este prototipo, es 2,29 m/giro, teniendo este valor, se tiene el número de recorridos que deberá hacer la rueda para alcanzar el total de rpm necesarias para 1 kilómetro por hora, de acuerdo a que se tiene un Arduino, con una Raspberry, hay que tener en cuenta que se debe realizar una comunicación a través de puerto serial, de igual manera, se debe seleccionar un pin de entrada del sensor de efecto hall, que se debe definir con anterioridad.

Posterior a esto, se realiza un ciclo repetitivo, el cual se activará cada vez que el imán de neodimio pegado a la rueda haga acercamiento con el sensor de efecto hall, de esta manera se asegura tener el conteo de cuantas veces la rueda pasa a través de este por minuto.

El esquema de conexiones para realizar este procedimiento es el siguiente:

⁶ LLAMAS, Luis. Detectar campos magnéticos con Arduino y sensor hall a3144. [En línea]. 4 de junio, 2015. [Consultado: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/>

Ilustración 9. Montaje Circuito, sensor de revoluciones por minuto

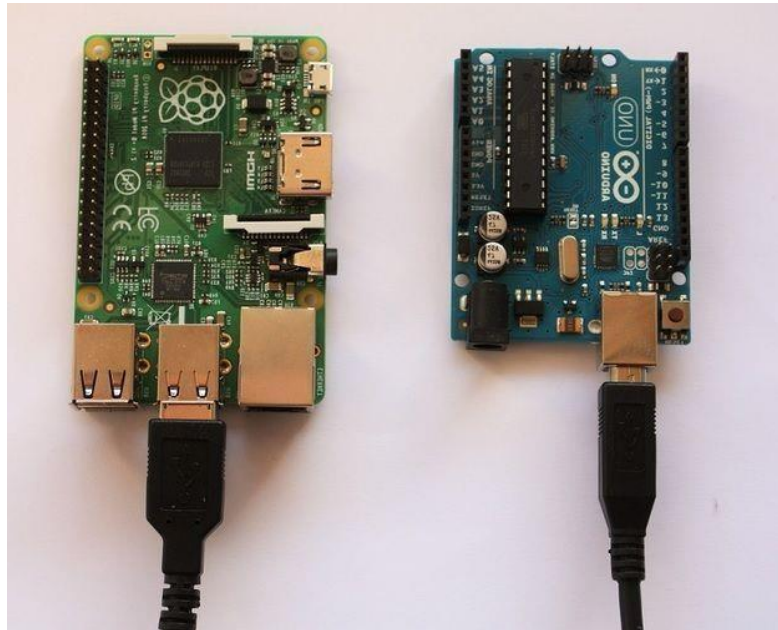


Fuente: Luis Llamas. DETECTAR CAMPOS MAGNÉTICOS CON ARDUINO Y SENSOR HALL A3144. 2015. [Consultado:20 diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/>

Posteriormente, se debe hacer el empalme del dispositivo Arduino UNO, con el dispositivo Raspberry, el cual estará encargado de recibir la señal que envía el sensor de revoluciones por minuto, y además de esto, procesarla para el funcionamiento del sistema.

En la Raspberry Pi, en la parte inicial del código de todo el proceso, se va a llamar las librerías para el puerto serial y para la lectura del tiempo, hay que tener en cuenta, que antes de este proceso se debe instalar la librería serial. Después de declarar estas dos librerías, se procede a declarar el puerto serial con el que se ha configurado el código del Arduino y se observara si el Arduino se comunica con la Raspberry, tomando el pin del Arduino, del cual se necesita los datos de rpm.

Ilustración 10. Conexión serial entre una Raspberry y un Arduino UNO.



Fuente 1. Redacción. Cómo conectar un Arduino a una Raspberry Pi a través de una comunicación serie. 2014. [Consultado: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://descubrearduino.com/comunicacion-serie/>

La razón para usar un Arduino adicional a la Raspberry es que el procesamiento de video requiere una gran capacidad de memoria RAM comparada con otras tareas que pueda ejecutar esta tarjeta, al adicionarle un proceso más a la Raspberry, esta podría no funcionar de la manera correcta, por tal motivo se utiliza un dispositivo adicional, para poder hacer el proceso sin riesgo de sobrecargar la tarjeta.

Teniendo en cuenta que un minuto son 60000 ms, se procede a hacer el cálculo a través del código de Arduino, para hacer el cálculo de km/h.

2.3 SECUENCIA DE TEXTO EN EL VIDEO

Teniendo en cuenta que se posee ciertos valores específicos de velocidad en el procesamiento del código, se plantea una estrategia para evidenciar esto en el video mientras está ejecutando la aplicación. Cada vez que, a través de OpenCV se hace el procesamiento de un video o imagen, esta librería divide las secciones del video

en pequeños recuadros que pueden ser conocidos como coordenadas, las que se encargarán de dar una posición a los elementos que se sobrepongan en el video, esta característica funciona dividiendo los puertos del video para dar paso a los cuadros, y posteriormente retomar nuevamente el flujo.

Por otra parte, se procede a elegir la sección deseada en la cual debe ir el texto que será mostrado, de acuerdo con las coordenadas, de igual forma, OpenCV da la oportunidad de elegir el color del texto, el grosor de este, el tipo de fuente que se desee utilizar, y que texto debe ir incluido en el video.

Cabe destacar que se puede insertar valores que cambian en tiempo real, en el caso del desarrollo propuesto, la velocidad que está en constante cambio de acuerdo con la cadencia que maneja el ciclista, y el nivel de la vía el cual está en constante cambio dependiendo sus características.

3. IMPLEMENTACIÓN

El prototipo final es el mostrado a continuación:

Ilustración 11. Prototipo de sistema de simulación de spinning.



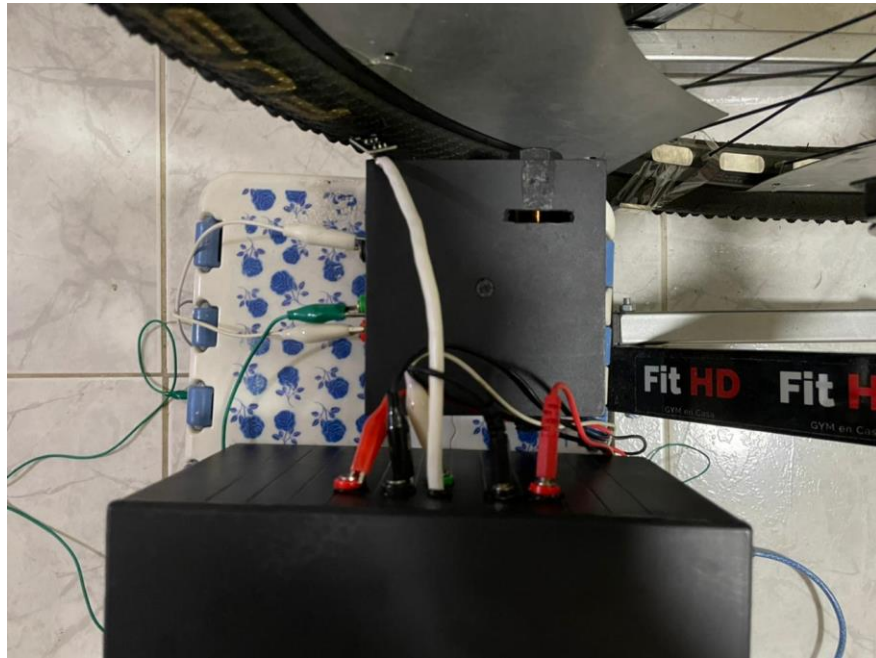
En la parte trasera del sistema, se encuentra ubicada la sección de detección de velocidad, el cual, está conformado por un imán de neodimio y el sensor de efecto hall, se evidenció que para que la detección sea correcta y precisa, el sensor debe estar muy cerca al neumático en donde estará el imán, debido a que el alcance de este no es considerable para alejarlo bastante. De igual manera, en la parte trasera se ubica el freno magnético, con la fuente de tensión la cual estará alimentando esta sección del sistema. El freno debe ir a una distancia corta de la placa para que la fuerza electromagnética que ejerce este al activarse sea suficiente para detener la marcha de la bicicleta, de igual manera, es recomendable no hacer una presión fuerte al sentir que la cicla empieza a frenar.

Ilustración 12. Sección trasera del prototipo.



De igual manera, se evidencia el rodillo, el cual funciona a la altura de las condiciones de la cicla, este iba adherido a los dos ejes principales de la llanta trasera, y sostenía el neumático en él, así aseguraba la bicicleta para el entrenamiento. La lamina que está ubicada en el rin de la bicicleta, tiene una ranura con el fin de encajar con el freno y el sistema de cambios de la bicicleta, esta fue ajustada a través de hilo resistente por medio de unas ranuras que estaban ubicadas en cada una de las partes superiores de la placa.

Ilustración 13. Sistema de frenado magnético en donde se evidencia el freno, parte de la placa en el rin de la bicicleta y la fuente conmutable.



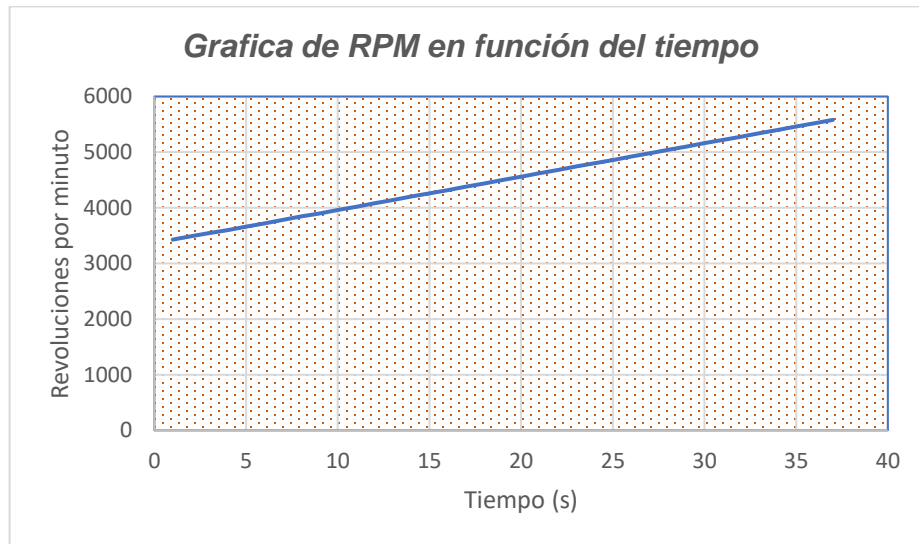
Además de esto, se utilizó una pequeña base para sostener el ensamble del sistema de frenado, el sistema de detección de velocidad y los diferentes equipos electrónicos que se usaron en el transcurso del desarrollo del prototipo.

Ilustración 14. Sección trasera del prototipo.



En la puesta en marcha del prototipo, se observaron resultados positivos. Inicialmente se comprobó la conexión entre la Raspberry y el Arduino, observando los resultados de las revoluciones por minuto que se arrojaban hacia la Raspberry, los resultados obtenidos se exponen a través de la siguiente gráfica:

Grafica 1. Medición de las revoluciones por minuto en función del tiempo.



En el anterior gráfico, se muestra el funcionamiento de la medición de revoluciones por minuto, a medida que va aumentando el tiempo la intensidad de pedaleo del usuario va aumentando, por consiguiente, presenta un comportamiento creciente. El comportamiento de esta gráfica dependerá de la intensidad del pedaleo del deportista que se encuentre haciendo uso del simulador.

Ilustración 15. Resultado obtenido de la conversión de RPM a Km/h en la aplicación.

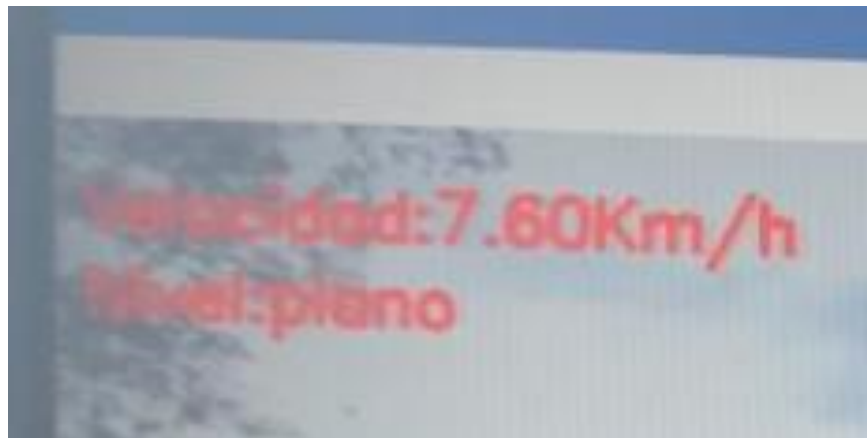


Ilustración 16. Diagrama de secuencia del funcionamiento del prototipo.



4. PRUEBA Y ANÁLISIS DEL SISTEMA

Los resultados obtenidos en el desarrollo del prototipo respecto a cada una de las etapas son los siguientes:

4.1 DETECCIÓN DE NIVEL

La aplicación de detección de nivel funciona correctamente con el video del transcurso del recorrido de Neiva hacia la vía el Juncal, se observa un rendimiento óptimo en el que se comprueba el cambio de nivel constantemente de acuerdo al nivel de la carretera, de igual manera, se observa que la velocidad del video es lenta, a la hora de hacer la comprobación del sistema con otro video (video de la ruta de la Carrera 10 con Calle 6 hacia el éxito tomando la ruta del estadio) se evidenciaba bastantes inconsistencias en el trayecto, esto se atribuye a la cantidad de obstáculos que se grabaron en el recorrido, de este modo, se concluye que debe procurarse realizar los videos en un sector que no tenga constante concurrencia de vehículos, motocicletas, peatones, ciclistas, etc.

En el trayecto realizado hacia la vía el Juncal, en algunas se observan inconsistencias, esto debido a que, al aplicar la transformada de Hough para detectar las líneas de división de la carretera, se encontraron secciones en donde la detección de bordes no fue buena, esto debido a la antigüedad de la carretera y a que, en la señalización, la pintura se ha perdido un poco. Cabe resaltar, que, de hacerse una grabación en un sector urbanizado, las zonas peatonales y los bordes de las viviendas, afectan la detección debido a que estas secciones son obstáculos en el recorrido.

La visualización de la velocidad en la aplicación se observa de manera correcta en la parte superior de la aplicación, el sistema está compuesto por el dispositivo de detección de revoluciones por minuto, en este caso, un sensor de efecto hall, que a través de un electroimán va tomando datos del recorrido de la rueda, el dispositivo Arduino toma la señal correctamente, y de igual manera envía esta señal al dispositivo Raspberry, convirtiendo este dato en Km/h. De acuerdo con la prueba simultánea con un velocímetro SANDING SD563B, se evidencia que el envío de estos datos se realiza con un retardo de aproximadamente 3 segundos, esto sucede debido a que el velocímetro está conectado directamente a la rueda y envía una señal del imán al dispositivo directamente, sin embargo, en el prototipo, el sensor es el encargado de tomar la muestra, enviándola hacia el dispositivo Arduino, y este después reporta este dato a la aplicación, en la Raspberry.

A su vez, se comprueba que, al estar estática la bicicleta, la aplicación no está en funcionamiento, esto debido a que, toda la aplicación se activa gracias a la señal de revoluciones por minuto que envía el Arduino a través del puerto serial hacia la Raspberry, en ese orden de ideas, si no se está haciendo una actividad física, la aplicación automáticamente se pondrá en reposo. El prototipo es susceptible a

errores de sincronización entre el video y la intensidad del pedaleo, esto sucede, al realizar fuerzas considerables o movimientos bruscos en él.

4.2 MONTAJE

Para el montaje del sistema, se utiliza un rodillo, el cual está encargado de mantener la bicicleta estática. El funcionamiento de este dispositivo es bueno, cumple su función de simular la actividad física, este está colocado en la parte trasera de la bicicleta, en donde estará puesto el dispositivo de frenado y el dispositivo encargado de tomar las mediciones de revoluciones por minuto, de igual manera, muy a la par de la rueda trasera, se coloca una base, la cual estará encargada de sostener el circuito que compone el dispositivo de detección de revolución por minuto y dispositivo de frenado. Cabe resaltar que es una de las secciones más críticas del prototipo, esto se debe a que, al realizar una fuerza excesiva, hace que el sistema pierda sincronía, en cuanto a la sección del frenado, del mismo modo, las fuerzas excesivas provocan un desajuste a las secciones que están en la parte posterior del prototipo. Esto se debe a que estas secciones no están lo debidamente ajustadas debido a que se está comprobando el funcionamiento de este, y un ajuste, puede resarcir en futuros errores o gastos mayores en el desarrollo del proyecto.

El electroimán ubicado en un costado de la llanta debe estar a una distancia lo suficientemente cerca al sensor de efecto hall para ser detectado por este, con el fin de detectar los datos de revoluciones por minutos, en un caso determinado en el cual el sensor se aleje, el dispositivo no va a detectar estos datos, por lo que generará pérdida de sincronización ya que, al no detectar el funcionamiento de este dispositivo, la aplicación se encontrará en pausa.

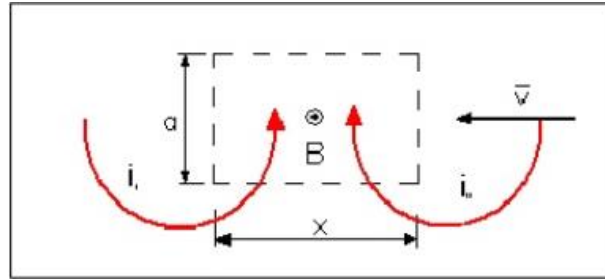
El freno magnético debe estar bastante pegada también a la lámina puesta en la circunferencia de la rueda, con esto, la fuerza magnética que se genera será superior para tener la sensación del frenado. A continuación, se expondrán más resultados sobre el dispositivo de frenado.

4.3 FRENO MAGNÉTICO

El mecanismo del freno magnético funciona de manera irregular debido a la leve sensación de oposición, aunque se pudo comprobar el fenómeno, hallar el campo magnético generado por el electroimán y constatar la corriente de fuga de Foucault para el funcionamiento. Adicional, encontrar una ecuación que presente la desaceleración de la rueda ocasionada por la fuerza de oposición generada en el electroimán.

Se percibe que al activarse el freno se induce una corriente de fuga en sentido contrario a la velocidad angular, el área donde se induce la corriente generada y la fuerza electromotriz se usa para hallar la corriente de fuga.

Ilustración 17. Dirección de las corrientes inducidas



Fuente: AGUILAR, Cesar y CHIMBO, José. Descripción de los Discos de Frenado Magnético. Proyecto de curso. Guayaquil Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Facultad de ingeniería y telecomunicaciones, 2009.

Las corrientes de ambos lados circulan hacia arriba a través de la sección rectangular o sección de interés ya que aquí es donde ocurre la variación del flujo magnético (sección del electroimán donde genera B). Entonces la *fem* inducida sobre el sector rectangular simula una fuente con un circuito cerrado, la cual conociendo el valor de la resistencia del disco R_d , la magnitud de la corriente se puede encontrar mediante los siguientes cálculos:

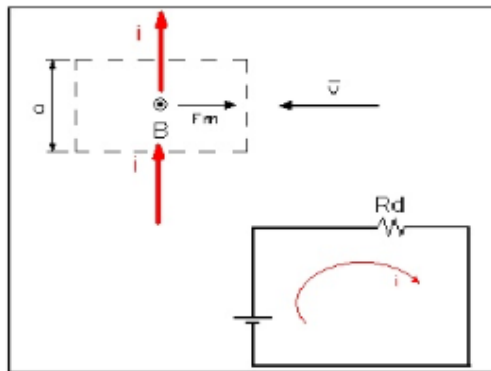
Ecuación 1. Fuerza electromotriz inducida

$$V_{fe} = -\frac{d\Psi}{dt} = \frac{-d\phi B}{dt} = -Ba \frac{dx}{dt} = -Bav$$

Ecuación 2. Intensidad inducida

$$i = \frac{V_{fe}}{R_d} = -\frac{Bav}{R_d}$$

Ilustración 18. Corriente inducida y fuerza de frenado



Fuente: AGUILAR, Cesar y CHIMBO, José. Descripción de los Discos de Frenado Magnético. Proyecto de curso. Guayaquil Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Facultad de ingeniería y telecomunicaciones, 2009.

Al haber una corriente circulando sobre la sección rectangular se encuentra que existe una fuerza magnética cuya dirección está dada por la regla de la mano derecha y además que la fuerza está en contra de la dirección del movimiento. La magnitud de la fuerza es:

Ecuación 3. Magnitud de fuerza

$$F = iaB\text{sen}90 = -\frac{B^2a^2}{Rd}V = -r\frac{B^2a^2}{Rd}w$$

Donde r, es el radio donde se aplica el campo magnético.

Respecto al hardware, el dispositivo de frenado se encuentra en la parte posterior del prototipo, está compuesto por una fuente de voltaje DC la cual está fijada en 18 V, el cual estará conectado a la Raspberry, que a través de la aplicación envía la señal para activar el freno en tres diferentes estados, un estado alto, en donde está ligado a los terrenos de subida, uno medio el cual lo está a los planos, y uno bajo, para cuando se encuentra en bajada, los 3 cambios de nivel se sienten correctamente, sin embargo, debido a la carencia de un dispositivo que genere una corriente lo suficientemente alta, la sensación del cambio no se percibe como debería serlo.

El freno es dócil a cambios bruscos en el pedaleo, además de esto no es recomendable pedalear de pie, esto debido a que se ejerce una mayor fuerza ya que la bicicleta sostiene la totalidad del peso del cuerpo, por lo cual es recomendable tener un pedaleo suave y sentado en el sillín de la bicicleta.

Un pedaleo fuerte generará una desestabilidad en la base ubicada en la parte lateral de la rueda, la cual sostiene todo el dispositivo de frenado y detección de nivel, lo cual ocasiona que todo el sistema quede estacionado al no estar detectando ninguna señal del prototipo. En la sección de recomendaciones para futuros proyectos se plantea una posible solución a esta problemática.

En las pruebas de funcionamiento del prototipo, salvo las cosas mencionadas anteriormente, el freno realizó las funciones requeridas por el prototipo correctamente, sin embargo, la sincronía con la aplicación tenía falencias, debido a que tenía un efecto retardado de aproximadamente dos segundos, esto sucede debido a la cantidad de funciones que está ejecutando a la Raspberry simultáneamente, debido a que, opera el algoritmo de detección de nivel, y recibe las señales del Arduino que se conecta al dispositivo de detección de revoluciones por minuto, y a su vez, este genera pulsos para activar el freno magnético, situaciones que a futuro se pueden mejorar (En la sección de recomendaciones se encuentran las respectivas anotaciones).

En la rueda se ajustó una lámina la cual es encargada de recibir la fuerza para detenerse, esta lámina circular está conectada a través de hilos al rin de la bicicleta, esto hace que se mantenga fija y no haya un desajuste posterior lo cual generaría una falla en el sistema.

4.4 ANÁLISIS GENERAL DEL PROTOTIPO

El desarrollo del proyecto es un primer acercamiento a dispositivos de simulación de ciclismo que funciona a través de procesamiento de video. Para ser el primer prototipo, se llegan a conclusiones precisas para trabajar en mejorar bastantes secciones de este, con el fin de alcanzar un producto óptimo en un futuro. Se parte del algoritmo de procesamiento de video realizado por los ingenieros Kevin Bermeo y Camila Gutiérrez para realizar una aplicación robusta haciendo uso del lenguaje de alto nivel Python, articulando secciones como lo es, el dispositivo de detección de revoluciones por minuto para posteriormente tener el valor de velocidad, el dispositivo de frenado magnético en el cual se aplican conceptos de la teoría de electromagnetismo, etc.

Se hace uso de tarjeta de adquisición de datos y pequeño computador (serie de ordenadores de placa reducida) para el desarrollo y posterior funcionamiento de la aplicación, debido a la alta demanda de memoria que se requiere para el procesamiento de las funciones requeridas y mencionadas a lo largo del documento.

5. CONCLUSIONES

- ❖ La herramienta utilizada para el procesamiento de video (Python) fue bastante útil, debido a que su gran acogida a nivel mundial hace que se encuentre bastante información en foros o libros sobre problemas comunes, además de esto, Python es clave, debido a que es un lenguaje de alto rendimiento, bastante útil a la hora de desarrollar proyectos que requieren un alto nivel de procesamiento.
- ❖ Se logra el funcionamiento del sistema con base al sensor de revoluciones por minuto, es decir, si la cicla no está en movimiento, el dispositivo Raspberry no realiza el procesamiento de video, debido a que, en el puerto serial no está entrando una señal de interrupción, por tal motivo, el sistema de detección de velocidad se sincroniza con el sistema de video.
- ❖ Se requirió el uso de dos dispositivos (Raspberry Pi 3+ Modelo B y Arduino UNO) debido a que el procesamiento de video demanda mucha capacidad de procesamiento, esto hace que otro tipo de procesos se obstruyan, o en su defecto, que todos los procesos se detengan. Igualmente, se evidencia la sincronía que tienen estos dos dispositivos, sin embargo, esto acarrea algunas desventajas, debido a que estos dos dispositivos cuentan con un retraso, y mientras más resistencia parasita se encuentre en la infraestructura del sistema, el funcionamiento tiende a cambiar.
- ❖ De acuerdo con el tamaño del rin de la rueda, es el proceso para capturar la velocidad de la bicicleta, debido a que, las revoluciones por minuto en una rueda de rin 26 será distinta a la de un rin 29, de igual manera, el sensor de efecto hall resulta una herramienta útil y precisa para realizar este proceso de adquisición de señal de velocidad.
- ❖ Con este proyecto, se incursiona en un área deportiva y de transporte a la cual se le ha trabajado muy poco, y los simuladores existentes son poco reales, de esta manera, se crea un precedente para que los desarrolladores trabajen en simuladores de ciclismo y sistemas para que los apasionados al deporte puedan tener una manera adicional de practicarlo con unas sensaciones reales.

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Las grabaciones para el funcionamiento del sistema de simulación deben ser realizadas en vías con una excelente demarcación, de esta manera evitar cualquier tipo de error en el algoritmo de detección de inclinación, aparte de esto, la grabación debe hacerse a una velocidad baja y constante, con una buena iluminación y con la menor cantidad de obstáculos, debido que esto afecta en el proceso de detección de inclinación.
- ❖ El uso sin cuidado del sistema de simulación podría acarrear fallas en el sistema, debido a que no se le puede aplicar una fuerza excesiva al sistema de frenado, ya que posiblemente deje de funcionar de manera correcta, de igual manera, el sistema de soporte podría tener algunas fallas por el uso indiscriminado del dispositivo.
- ❖ El sistema de frenado magnético funciona con un voltaje entre 15V y 20V, es recomendable no colocar un valor inferior o superior, puesto que el funcionamiento del sistema se puede ver afectado.
- ❖ En futuros trabajos referente a este tema, se recomienda la posibilidad de establecer los dispositivos de funcionamiento, a través de una baquelita que tenga los elementos que se necesitan para el funcionamiento del sistema de detección de revoluciones por minutos, así mismo como una base especial para mantener estático el sistema de frenado magnético, de esta manera, evitar inconvenientes a la hora de poner en marcha la aplicación.
- ❖ En desarrollos posteriores a este, evaluar un dispositivo que tenga una mayor capacidad de procesamiento, esto para minimizar el uso de dispositivos en el desarrollo del proyecto, los cuales, agregaran retardos y resistencias parasitas a la aplicación y al prototipo en general.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, C., & CHIMBO, J. (2019). *Descripción del Funcionamiento de los Discos de Frenado*. Guayaquil: ESPOL. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/30694959/Descripcion-del-Funcionamiento-de-los-Discos-de-Frenado-Magnetico>

AGUIRRE DOBERNACK, N. (Abril de 2013). *bibing.us.es/*. Obtenido de PROCESAMIENTO DE IMAGENES: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12112/fichero/Documento_completo%252FProyecto+Fin+de+Carrera-Nicol%C3%A1s+Aguirre+Dobernack.pdf

AUNLP- Fac. de Bellas. (2008). *catedra.ing.unlp.edu.ar*. Obtenido de Electromagnetismo: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys/DI/electromagnetismo.pdf>

BERMEO SANCHEZ, K., & GUTIERREZ GUERRERO, C. (2019). *Detección e inclinación en vía interurbana mediante el análisis de imágenes procesadas usando algoritmo en ambiente controlado*. Neiva Huila.

ESQUEDA ELIZONDO, J. J. (Noviembre de 2002). *Fundamentos de procesamiento de imágenes*. Madero. Obtenido de Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.

FIUBA. (13 de Noviembre de 2020). *Automatización CIM II*. Obtenido de Consultado: <http://materias.fi.uba.ar/7566/Automatizacion.pdf>

KOFMAN, H., & CONCARI, S. (s.f.). *fiq.unl.edu.ar*. Obtenido de DIFICULTADES CONCEPTUALES CON LA LEY DE AMPÈRE: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y SIMULACIÓN COMO PROPUESTA: <http://www.fiq.unl.edu.ar/galileo/download/documentos/ampere.pdf>

LLAMAS, L. (4 de Junio de 2015). *luisllamas.es*. Obtenido de DETECTAR CAMPOS MAGNÉTICOS CON ARDUINO Y SENSOR HALL A3144: <https://www.luisllamas.es/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/>

LOPEZ, L. F. (Junio de 2015). <http://www2.ib.edu.ar/>. Obtenido de Ley de Faraday-Lenz: <http://www2.ib.edu.ar/becaib/bib2007/LopezL.PDF>

MUNDOMOTOR. (2019). *mundodelmotor.net*. Obtenido de Tacómetro: Funcionamiento, Tipos, Instalación Y Desventajas: <https://www.mundodelmotor.net/tacometro-de-automovil/>

OPENCV. (2020). *opencv.org*. Obtenido de OpenCV: <https://opencv.org/about/>

R.LOBERA. (22 de 02 de 2017). *rlobera15.wordpress.com*. Obtenido de Periferico de entrada y salida de Raspberry Pi: <https://rlobera15.wordpress.com/2017/02/22/perifericos-de-entrada-y-salida-de-raspberry-pi/>

REDACCIÓN. (2014). *descubrearduino.com*. Obtenido de Cómo conectar un Arduino a una Raspberry Pi a través de una comunicación serie: <https://descubrearduino.com/comunicacion-serie/>

Robologs. (17 de Febrero de 2020). *robologs.net*. Obtenido de [https://robologs.net/tutoriales/tutoriales-opencv/#:~:text=OpenCV%20\(Open%20Source%20Computer%20Vision,de%20imagen%20y%20aprendizaje%20autom%C3%A1tico.&text=OpenCV%20es%20una%20librer%C3%ADa%20multiplataforma,%2C%20Python%2C%20Java%20y%20Matlab.](https://robologs.net/tutoriales/tutoriales-opencv/#:~:text=OpenCV%20(Open%20Source%20Computer%20Vision,de%20imagen%20y%20aprendizaje%20autom%C3%A1tico.&text=OpenCV%20es%20una%20librer%C3%ADa%20multiplataforma,%2C%20Python%2C%20Java%20y%20Matlab.)

ULABY , F. (2007). *Fundamentos de aplicaciones en electromagnetismo*. Mexico: Pearson Prentice Hall.

URREA, J. P., & OSPINA, E. (2004). *IMPLEMENTACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE HOUGH PARA LA DETECCIÓN* . Pereira: Scientia et Technica. Obtenido de IMPLEMENTACIÓN DE LA TRANSFORMADA DE HOUGH PARA LA DETECCIÓN: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7285>

ANEXOS

```
# -- coding: utf-8 --

#CONFIGURACION DE PERIFERICOS
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
led = 3
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(led, GPIO.OUT)

ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)
ser.flushInput()

#AREA DE UTILIDAD (REGION DE INTERES)
puntos=[(530, 470),(850, 470),(140, 600),(1260, 600)]

p = GPIO.PWM(led,50)
p.start(0) #Inicializa puertos

#Definen parametros para T. Hough
def make_coordinate(imagen,line_parameters):
    try:
        slope, intercept = line_parameters
        y1 = np.int64(imagen.shape[0])
        y2 = np.int64(y1*5/9)
        x1 = np.int64((y1 - intercept)/slope)
        x2 = np.int64((y2 - intercept)/slope)
        return [[x1, y1, x2, y2]]
    except TypeError:
        slope, intercept = 0.001, 0

def average_slope_intercept(image, lines):
    left_fit = []
    right_fit = []
    if lines is None:
        return None
    for line in lines:
        for x1, y1, x2, y2 in line:
            fit = np.polyfit((x1,x2), (y1,y2), 1)
            slope = fit[0]
            intercept = fit[1]
            if slope < 0:
                left_fit.append((slope, intercept))
            else:
                right_fit.append((slope, intercept))
```

```

    left_fit_average = np.average(left_fit, axis=0)
    right_fit_average = np.average(right_fit, axis=0)
    left_line = make_coordinate(image, left_fit_average)
    right_line = make_coordinate(image, right_fit_average)
    averaged_lines = [left_line, right_line]
    return averaged_lines

#Detección de bordes
def Canny (imagen):
    gris = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
    #filtro gaussiano
    filtro_gris = cv2.GaussianBlur(gris, (5,5), 0)
    canny = cv2.Canny(filtro_gris,40,90)
    kernel = np.ones((5,5),np.uint8)
    dilation = cv2.dilate(canny,kernel,iterations = 3)
    return dilation

def region_de_interes (imagen):
    puntos2=[(750, 470),(630, 470),(140, 600),(1260, 600)]
    #triangulo
    np.array([(0,460),(0,720),(1280,720),(1280,590),(750,425)])
    mascara = np.zeros_like(imagen)
    cv2.fillPoly(mascara,np.int32([puntos2]) , ( 255, 255, 255 ))
    mascara_imagen = cv2.bitwise_and(imagen, mascara)
    return mascara_imagen

def display_line (imagen,lines):
    line_image = np.zeros_like(imagen)
    if lines is not None:
        for line in lines:
            for x1, y1, x2, y2 in line or []:
cv2.line(line_image,(x1,y1),(x2,y2),(255,0,0),8)
    return line_image

captura =cv2.VideoCapture('video7.mp4')

#Conversión a RPM
while (captura.isOpened()):

    lineBytes =ser.readline()

```

```

rpm = lineBytes.decode('utf-8').strip()

velocidadms = 0.31*((2*pi)/60)*int(rpm)
velocidadkh = (3600/1000)*velocidadms

velocidadkh = "{:.2f}".format(velocidadkh)

ret,imagen=captura.read()

if ret == True:

    cv2.circle(imagen, puntos[0], 7, (255,0,0), 2)
    cv2.circle(imagen, puntos[1], 7, (0,255,0), 2)
    cv2.circle(imagen, puntos[2], 7, (0,0,255), 2)
    cv2.circle(imagen, puntos[3], 7, (255,255,0), 2)

    cv2.line(imagen,puntos[0],puntos[1],(255,0,0),1)
    cv2.line(imagen,puntos[0],puntos[2],(255,0,0),1)
    cv2.line(imagen,puntos[1],puntos[3],(255,0,0),1)
    cv2.line(imagen,puntos[2],puntos[3],(255,0,0),1)
    #Angulo de inclinación
    copia_imagen = np.copy(imagen)
    canny_image = Canny(copia_imagen)
    cropp_imagen = region_de_interes(canny_image)
    lines
cv2.HoughLinesP(cropp_imagen,2,np.pi/180,100,np.array([]),
minLineLength= 40, maxLineGap=150)
    lines1 = cv2.HoughLines(cropp_imagen,2,np.pi/180,200)

    averaged_lines
average_slope_intercept(copia_imagen,lines)
    line_imagen = display_line(copia_imagen, averaged_lines)
    combo_image = cv2.addWeighted(copia_imagen, 0.8,
line_imagen, 1, 1)
    #Se pasa de radianes a grados
    for [rho, theta] in lines1[0]:
        grados=theta*57.2958
        print(grados)
        #Condicionales para decidir el nivel que está
        if grados>=103 and grados<107:
            global nivel
            nivel = 'bajada'

            cv2.putText(combo_image,"Nivel:"
nivel,(10,70),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.8,(0,0,255),2,cv2.LINE_AA
)
            p.ChangeDutyCycle(0)

        elif grados>=73 and grados<80:

```

```

        nivel = 'subida'
        p.ChangeDutyCycle(100)
        cv2.putText(combo_image,"Nivel:"
nivel, (10,70),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.8, (0,0,255),2,cv2.LINE_AA
)
        else:

        nivel = 'plano'
        p.ChangeDutyCycle(50)
        cv2.putText(combo_image,"Nivel:"
nivel, (10,70),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.8, (0,0,255),2,cv2.LINE_AA
)

cv2.putText(combo_image,"Velocidad:"+str(velocidadkh)+"Km/h", (10,4
0),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.8, (0,0,255),2,cv2.LINE_AA)
    #Visualizacion del procesamiento del video
    cv2.imshow('Video Original',combo_image)
    cv2.imshow('Video Bordes',cropp_imagen)
    #Termia ciclos
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('s'):

        break
#Cierre de captura del video y de la aplicacion
captura.release()
p.stop()
GPIO.cleanup()
cv2.destroyAllWindows()

```

Anexo 1. Código implementado en Raspberry

```

const int  releReedPin = 5;
int vueltas = 0;
int estadoRele = 0;
int ultimoEstadoRele = 0;
long tiempo_anterior = 0;
long tiempo_una_rev = 0;
unsigned long tiempo_ahora;
long rpm;
int led =13;

void setup()

{

    pinMode(releReedPin, INPUT);
    Serial.begin(9600);

}

```

```

void loop() {

    // Lee el estado del rele

    estadoRele = digitalRead(releReedPin);

    // Compara el estado del rele con el estado previo

    if (estadoRele != ultimoEstadoRele) {

        // Si el estado ha cambiado incrementa el contador

        if (estadoRele == HIGH)

        {

            vueltas++;
            tiempo_ahora =millis();
            tiempo_una_rev = tiempo_ahora - tiempo_anterior;
            rpm = 60000 / tiempo_una_rev; // 1 minuto = 60000 ms
            Serial.println(rpm);
            digitalWrite(led,HIGH);

        }

        else {

            tiempo_anterior = tiempo_ahora;

        }

    }

    // Guarda el estado actual como ultimo estado
    ultimoEstadoRele = estadoRele;

}

```

Anexo 2. Código implementado en Arduino