



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD PARA VEHÍCULOS
UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL IMPLEMENTANDO
TECNOLOGÍA RASPBERRY PI.”**

AUTORES: VICENTE PAUL BORJA GUERRA

MARCO VINICIO DE LA CRUZ GUERRERO

DIRECTOR: ING. EDDIE GALARZA

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA


CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD PARA VEHÍCULOS UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL IMPLEMENTANDO TECNOLOGÍA RASPBERRY PI**” realizado por los señor **VICENTE PAUL BORJA GUERRA** y **MARCO VINICIO DE LA CRUZ GUERRERO** , ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **VICENTE PAUL BORJA GUERRA** y **MARCO VINICIO DE LA CRUZ GUERRERO** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 08 de Febrero del 2017

Atentamente,



Eddie Galarza Zambrano
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **VICENTE PAUL BORJA GUERRA**, con cédula de identidad N° **0502279185**, y **MARCO VINICIO DE LA CRUZ GUERRERO**, con cédula de identidad N° **1804607750**, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD PARA VEHÍCULOS UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL IMPLEMENTANDO TECNOLOGÍA RASPBERRY PI**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 08 de Febrero del 2017

VICENTE BORJA

C.I.: 0502279185

MARCO DE LA CRUZ

C.I.: 1804607750



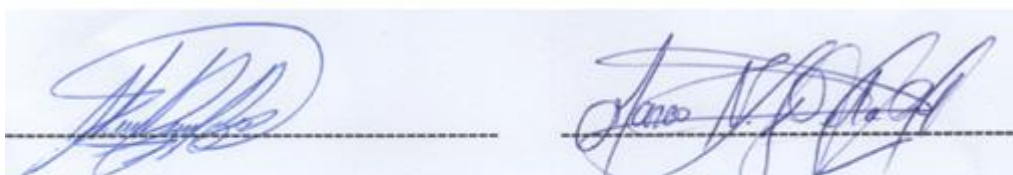
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN PÚBLICA

Nosotros, **VICENTE PAUL BORJA GUERRA** y **MARCO VINICIO DE LA CRUZ GUERRERO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD PARA VEHÍCULOS UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL IMPLEMENTADO TECNOLOGÍA RASPBERRY PI**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 08 de Febrero del 2017



VICENTE BORJA

C.I.: 0502279185

MARCO DE LA CRUZ

C.I.: 1804607750

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios, mi familia y amigos, por ser personas muy especiales en mi vida, No podría sentirme más ameno con la confianza puesta sobre mi persona, especialmente cuando he contado con su mejor apoyo desde que siquiera tengo memoria.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer tarea titánica e interminable. Quisiera dedicar mi proyecto de titulación a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor, bienestar, y los finos deleites de la vida.

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.

Borja Vicente

Gracias a todos los que hicieron posible que terminara mis estudios en tan prestigiosa universidad aquí he conocido a grandes amistades que trascenderán en mi memoria con buenos recuerdos.

Agradezco especialmente a mis queridos padres quien con su ayuda logre mis objetivos y me ayudaron a seguir adelante en mis estudios.

Markiño Cruz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón a Dios, en primer lugar por brindarme la fuerza y perseverancia para cumplir con uno de mis más anhelados sueños en la vida.

A mis padres y hermanos, los cuales fueron un pilar fundamental en mi vida, ya que con sus consejos y apoyo incondicional en las buenas y en las malas, siempre me daban solución a los problemas que se presentaban en la vida.

A mis verdaderos amigos en los cuales pasamos situaciones buenas y malas en el transcurso de la vida universitaria, muchas gracias amigos.

Borja Vicente

Agradezco a toda mi familia y especialmente a Dios por darme la oportunidad de la vida y seguir cumpliendo mis metas termino una etapa más que me abre las puertas hacia el mundo laboral, agradezco a mis abuelitos de parte de mi madre y mi padre quien tengo la oportunidad de seguir compartiendo mis alegrías.

Markiño Cruz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN PÚBLICA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 Visión artificial.....	1
1.1.1. Métodos de captación de las imágenes	1
1.1.2. Color de una imagen digital	2
1.1.3. Componentes de un sistema de visión artificial.....	5
1.2. Sistema de medición de velocidad	11
1.2.1. Medidores de velocidad según el tipo de sensores	11
1.2.2. Medidores de velocidad según su ubicación	14
1.2.3. Según su colocación	16
1.2.4. Tipos de medidores Falsos.....	17
1.3. Componentes Mecánicos de la estructura del medidor de velocidad...	18
1.3.1. Acero Estructural	18
1.3.2. Perfiles estructurales	19
1.3.3. Soldadura	21
A. Soldadura ordinaria o de aleación	21
B. Soldadura por fusión	22
1.4. Componentes eléctricos y electrónicos	24
1.4.1. Sistema Fotovoltaico	24

1.4.2.	Matriz de Leds	25
1.4.3.	Raspberry PI.....	26
1.4.4.	OpenCV	27
1.4.5.	Python	28

CAPÍTULO II

2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	30
2.1.	Diseño de la Estructura Mecánica	30
2.1.1.	Parámetros de diseño	30
2.1.2.	Esquema de la estructura del medidor de velocidad	31
A.	Columna Principal	31
B.	Diseño del perno de sujeción de la columna principal y soporte del panel solar	37
C.	Perno de sujeción del soporte de la cámara y Raspberry pi	42
2.2.	Diseño eléctrico y electrónico	47
2.2.1.	Recurso energético	47
2.2.2.	Determinación de la demanda energética	49
2.2.3.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	50
2.2.4.	Elementos constitutivos	51
2.2.5.	Cálculo y selección del conductor	55
2.2.6.	Instalación y consideraciones de los sistemas solares fotovoltaicos	57
2.2.7.	Instrucciones de seguridad	58
2.3.	Implementación	58
2.3.1.	Algoritmo de reconocimiento para vehículos	58
2.3.2.	Implementación del programa y utilización de Raspberry PI	58
2.3.3.	Instalación y configuración de Raspbian	59
2.3.4.	Implantación del programa de la tarjeta Arduino.	61
A.	Inicialización de variables.....	62
B.	Configuración serial.....	62
C.	Programa principal	63

CAPÍTULO III

3.	PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS	70
3.1.	Pruebas de funcionamiento del sistema de detección.....	70

3.1.1.	Resultados de detección	72
3.2.	Pruebas y resultados de la operación de los sistemas electrónicos.....	77
3.3.	Hipótesis planteada y cumplimiento de la misma	80
3.3.1.	Análisis de costos	81

CAPÍTULO IV

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
4.1.	Conclusiones	83
4.2.	Recomendaciones	85

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	87
--------------------------------------	-----------

ANEXOS.....	89
--------------------	-----------

Anexo A: Guía rápida de Raspberry Pi

ANEXO B: Guía rápida de Pi Camera

Anexo C: guía rápida software Raspbian

Anexo D: Instalación de OpenCV y Python en su Raspberry Pi

Anexo E: Guía rápida de Arduino uno

Anexo F: Propiedades del acero estructural A36

Anexo G: Perfil estructural en L

Anexo H: Tubo Estructural Cuadrado hueco

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Aceros estructurales.....	19
Tabla 2.	Designaciones de perfiles de acero y aluminio	20
Tabla 3.	Peso de componentes del medidor de velocidad	32
Tabla 4.	Perfil estructural cuadrado.....	32
Tabla 5.	Propiedades de los aceros estructurales	33
Tabla 6.	Peso de componentes del medidor de velocidad	38
Tabla 7.	Especificaciones SAE para pernos de acero	41
Tabla 8.	Peso de los componentes	42
Tabla 9.	Diámetros y áreas unificadas del tornillo UNC y UNF	43
Tabla 10.	Dimensiones Básicas de las arandelas.....	45
Tabla 11.	Especificaciones SAE para pernos de acero	46
Tabla 12.	Niveles de irradiación Solar.....	48
Tabla 13.	Datos de Equipo.....	49
Tabla 14.	Cálculo de la carga pico	50
Tabla 15.	Modelos de paneles solares.....	52
Tabla 16.	Equivalencias AWG a milímetros	57
Tabla 17.	Error de detección por luminosidad a diferentes horas.	74
Tabla 18.	Error de detección por luminosidad baja.	75
Tabla 19.	Consumo de amperios hora en las baterías del sistema de acuerdo al encendido de dígitos.....	79
Tabla 20.	Abastecimiento de panel solar al sistema.	80
Tabla 21.	Estudio económico.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Imagen Binaria	2
Figura 2.	Imagen de 1 bit de color por pixel. Blanco o negro	3
Figura 3.	Imagen de 8 bit por pixel por lo que se puede emplear 256 niveles de gris.	3
Figura 4.	Un solo canal con 8 bits por pixel, permitiendo una tabla de 256 colores.....	4
Figura 5.	Imagen que tiene contiene color real RVA.	4
Figura 6.	Imagen que tiene contiene color real CMAN.	5
Figura 7.	Componentes de un sistema de visión artificial.....	5
Figura 8.	Sistema de iluminación	6
Figura 9.	Tipos de esquemas de iluminación	7
Figura 10.	Diferencia de imágenes con distintos lentes.	7
Figura 11.	Cámara de alta resolución marca Stingray	8
Figura 12.	Cámara lineal	8
Figura 13.	Software que permite la identificación de objetos	10
Figura 14.	Medidor De velocidad de lazo inducido	11
Figura 15.	Medidor de velocidad con visión artificial	12
Figura 16.	Medidor de velocidad de microondas.....	13
Figura 17.	Medidor de velocidad por microondas.....	14
Figura 18.	Medidor de velocidad por ultrasonido.....	14
Figura 19.	Clasificación de un sistema fotovoltaico.....	24
Figura 20.	Matriz de Led.....	26
Figura 21.	Raspberry Pi.....	26
Figura 22.	Hardware de Raspberry pi	27
Figura 23.	Compilación de programa de programación Python a código binario	29
Figura 24.	Cargas sobre la columna principal del medidor de velocidad	31
Figura 25.	Constante K para diferentes conexiones de extremos.	33
Figura 26.	Asignación de fuerza y sujeciones en el eje Y	36
Figura 27.	Tensión de Von Mises generado en el eje Y	36
Figura 28.	Desplazamiento resultante en el eje Y	37
Figura 29.	Diagrama del cuerpo libre del perno de sujeción	39

Figura 30.	Diagrama de fuerza cortante del perno de sujeción	40
Figura 31.	Diagrama de momentos flectores del perno de sujeción.....	40
Figura 32.	Dimensiones del perno de sujeción.....	42
Figura 33.	Mapa de irradiación solar en la Latacunga.....	47
Figura 34.	Curva de irradiación diaria en Latacunga en octubre	49
Figura 35.	Regulador de voltaje	55
Figura 36.	Logotipo de software Python	59
Figura 37.	Logo Raspbian	60
Figura 38.	Inicio Raspbian instalado.	61
Figura 39.	Logotipo software Arduino.....	61
Figura 40.	Inicialización software Arduino	62
Figura 41.	Inicio programa letrero led.....	62
Figura 42.	Comunicación serial.....	63
Figura 43.	Programa Void Loop.	63
Figura 44.	Diagrama flujo de algoritmo de detección.	64
Figura 45.	Programación inicialización pi cámara	65
Figura 46.	Secuencia de imágenes capturas mediante la pi cámara	65
Figura 47.	La línea amarilla muestra la parametrización	66
Figura 48.	Detección de Autos	66
Figura 49.	Código Velocidad	67
Figura 50.	Librerías para manejo de matriz led	67
Figura 51.	Especificación de orden en la matriz.....	67
Figura 52.	Posiciones de dígitos numéricos.....	68
Figura 53.	Comparaciones 1.	68
Figura 54.	Comparaciones 2.	69
Figura 55.	Comparaciones 3.	69
Figura 56.	Funcionamiento de letrero led.	69
Figura 57.	a) Detección del vehículo a 34km b) Marcación de velocímetro de auto 37km.....	71
Figura 58.	a) Vehículos Detectados	71
Figura 59.	b) Detección de vehículos en zona de parametrización	72
Figura 60.	Zona parametrizada	72
Figura 61.	Inclinación de cámara	73
Figura 62.	Comparación de resultados con baja y alta luminosidad.	76

Figura 63. a) Batería kenda 12V 9Ah inicial b) Batería extra BnK 12V 7.2Ah se implementó para aumentar su duración del sistema	77
Figura 64. Fallo de encendido a) Raspberry, b) Matriz de leds	77
Figura 65. a) Encendido de Raspberry Pi.....	78
Figura 66. b) Encendido Matriz de leds.....	78
Figura 67: Panel montado en estructura	79

RESUMEN

El presente proyecto describe el diseño y construcción de un sistema de medición de velocidad para vehículos utilizando visión artificial el cual fue implementado con tecnología Raspberry Pi. Para el desarrollo del sistema se utilizó software libre y una tarjeta Raspberry Pi 2, en conjunto con un cámara de 5Mp. Al inicio se realizó un estudio de software libre para el procesamiento de imágenes en movimiento y los métodos más adecuados para el reconocimiento de objetos en movimiento existentes en OpenCV, además se puso en claro sobre el correcto manejo de la tarjeta embebida Raspberry Pi2 y su Pi camera. Fue diseñado etapa por etapa todos los componentes que conforman el sistema de reconocimiento de objetos en movimiento. El diseño del sistema se realizó directamente sobre la Raspberry Pi, con ayuda de Python y sus respectivas librerías, cuya eficiencia fue evaluada sobre una base de datos de 4 vehículos en movimiento. También podemos mencionar que este sistema de medición de velocidad, es autónomo por que fue diseñado con un sistema fotovoltaico, ya que la situación geográfica es factible emplear un sistema fotovoltaico, el cual puede ser instalado en lugares que no existe energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE:

- **TECNOLOGÍA RASPBERRY PI**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **SISTEMA FOTOVOLTAICO**
- **VEHÍCULOS - CONTROL DE VELOCIDAD**

ABSTRACT

The present project describes the design and construction of a vehicle speed measurement system using artificial vision which was implemented with Raspberry Pi technology. For the development of the system, free software and a Raspberry Pi 2 card were used, together with a 5Mp camera. At the beginning of this project we make a study of the free software that is available for the processing of moving images and at the same time we study many methods for the recognition of moving objects using OpenCV and the correct handling of the embedded Raspberry Pi2 card and its Pi camera. The system was designed considering a step by step design and taking into account all the components that constitute the system for recognition of moving cars. The design of the system was performed directly on Raspberry Pi, with the help of Python software and its respective libraries, whose efficiency was evaluated testings its functionality in highways. We can also mention that this speed measurement system is autonomous because it was designed with a photovoltaic system. The geographical situation where the Project is located let the system to be installed in places where there is no electric energy.

KEYWORDS:

- **RASPBERRY PI TECHNOLOGY**
- **ARTIFICIAL VISION**
- **PHOTOVOLTAIC SYSTEM**
- **VEHICLES - SPEED CONTROL**

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Visión artificial

La visión artificial se la puede definir como un anexo que envuelve a la especialidad de “inteligencia artificial”; la cual por medio de utilización de técnicas adecuadas, permite la adquisición, procesamiento y estudio de cualquier tipo de información a través de imágenes digitales (Etitudela, 2013).

La visión artificial está compuesta por varios componentes los cuales están destinados a realizar el estudio de imágenes los cuales son:

- Captación de imágenes.
- Memorización de la información.
- Procesado e interpretación de los resultados.

1.1.1. Métodos de captación de las imágenes

Los métodos para la captación de imágenes son los siguientes: (formacion en Red, 2014)

a) Digital

Es el resultado de los muestreos realizados en un intervalo de tiempo espaciados regularmente, siendo el valor una función un número positivo y entero. Este valor depende del brillo que representa en esos puntos la imagen original.

b) Pixel

Una imagen digital se considera como una cuadrícula, cada componente de esa cuadrícula es un pixel y su resolución estándar es 512x484 pixel.

c) Nivel de grises

Es la intensidad del brillo de una imagen digital la cual corresponde a cada punto cuantificado dando lugar a un número.

d) Imagen Binaria

Se le denomina aquella que solo tiene dos tipos de grises los cuales son el negro y blanco, cada pixel se convierte en negro o blanco como se observa en la figura 1

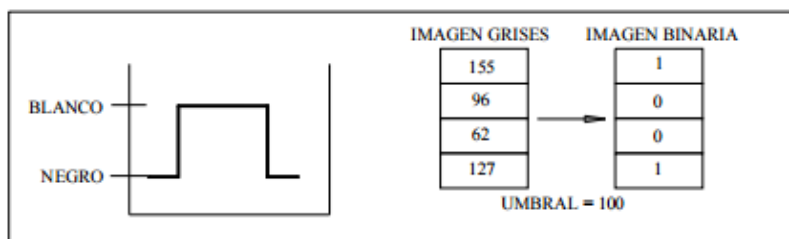


Figura 1. Imagen Binaria

Fuente: (Etitudela, 2013)

1.1.2. Color de una imagen digital

La imagen digital está representada en un valor de brillo en ese punto, pero cuando existe una imagen a color, la interpretación puede cambiar. En la división de colores en un cubo RGB, se puede descomponer toda imagen en tres bandas representado el brillo de rojo, de azul y de verde (Editorial Vertice, 2008)

El color que se observa en un punto en concreto es el resultado de combinar los valores de ese punto en las tres bandas, en la proporción indicada por esos valores.

a) Imagen en blanco y negro

Cada pixel de una imagen tiene color blanco y negro. Los tonos intermedios (grises) se conceptúan ordenando los pixeles blancos y negros para simular el gris y a esta técnica se lo conoce como dithering como se observa en la figura 2 un ejemplo de imagen blanco y negro



Figura 2. Imagen de 1 bit de color por pixel. Blanco o negro

Fuente: (formacion en Red, 2014)

b) Imagen en escala de grises

Cada pixel de una imagen en escala de gris puede contener uno de los 256 valores distintos de gris, que va desde negro (0) a blanco (255). Este tipo de datos muestra suaves cambios de tonos, manejando tonos intermedios de gris. Como se muestra en la figura 3.



Figura 3 Imagen de 8 bit por pixel por lo que se puede emplear 256 niveles de gris.

Fuente: (Pepoflex, 2012)

c) Imagen de color indexado 16 x 256

En una imagen indexada, el pixel puede ser uno de 16 o de 256 colores, los cuales vienen estandarizados en una tabla de colores de imagen. Como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Un solo canal con 8 bits por pixel, permitiendo una tabla de 256 colores.

Fuente: (Pepoflex, 2012)

d) Imagen color real RVA

En este tipo de imagen un pixel puede ser unos de los 16.6 millones de colores disponibles. Por lo tanto es el mejor tipo de imagen, en la cual se puede editar imágenes en color ya que contiene mayor cantidad de información, como se observa en la figura 5.



Figura 5. Imagen que tiene contiene color real RVA.

Fuente: (Pepoflex, 2012)

e) Imagen de color real CMAN

Se lo emplea el mismo modelo de color que la impresión industrial, todos los colores se representan en los cuatro colores bases de cian, magenta, amarillo y negro. Las imágenes de color real CMAN se les conoce como imagen de 32 bits como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Imagen que tiene contiene color real CMAN.

Fuente: (Silva, 2013)

1.1.3. Componentes de un sistema de visión artificial

Un sistema moderno de visión artificial está compuesto de varios componentes como se muestra en la figura 7. Las cuales van a ser detallados más adelante: (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)

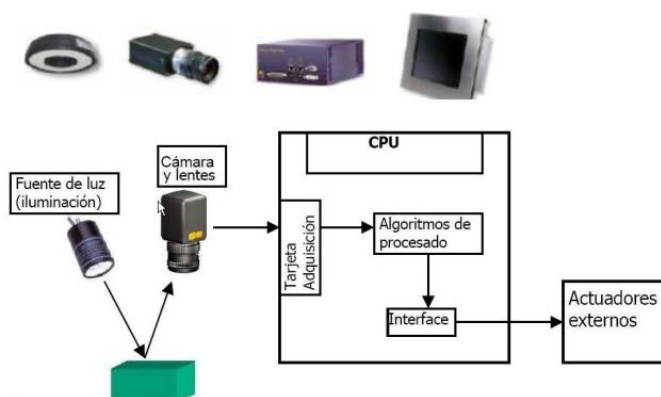


Figura 7. Componentes de un sistema de visión artificial

Fuente: (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)

a) Sistema de Iluminación

Este aspecto muy importante en la cual se debe proporcionar una condición de iluminación independiente y uniforme en el entorno que se va a realizar la aplicación.

Las variaciones en la iluminación son percibidas por el sistema como variaciones de los objetos, ya que si tiene iluminación estable, se podrá detectar el objeto y evitar las sombras y reflejos. Y con ello resolver las tareas de alta precisión mediante una imagen de baja calidad; ya que es un problema en el cual se compensa con complejos algoritmos.

Una iluminación clara y estable es apropiada para la captura de imágenes de los productos en una línea de producción rápida, en la figura 8 se muestra un sistema de iluminación que se emplea un video cámara.



Figura 8. Sistema de iluminación

Fuente: (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)

Para el caso de la iluminación se debe tomar en cuenta el esquema de iluminación los cuales son cuatro; el cual se muestra en la figura 9:

- Iluminación posterior difusa
- Iluminación difusa direccional
- Iluminación omnidireccional
- Iluminación direccional lateral

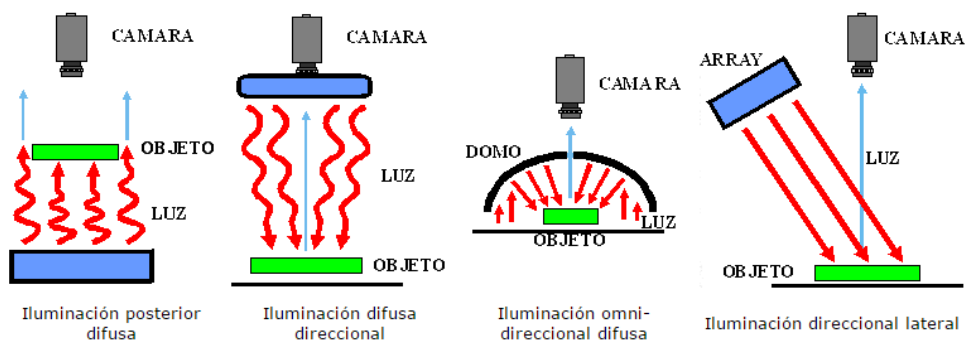


Figura 9. Tipos de esquemas de iluminación

Fuente: (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)

b) Lente de la Cámara

La utilización de los filtros ópticos, nos permite una mejor tarea. La correcta selección de un lente permite obtener una solución óptima. En la figura 10 podemos observar que la imagen de la izquierda es una imagen opaca mientras la imagen de la derecha es nítida.



Figura 10. Diferencia de imágenes con distintos lentes.

c) Cámaras para adquirir las imágenes

Las cámaras son las encargadas de adquirir las características del objeto en estudio el cual va a ser procesado por medio de una imagen digital. Dependiendo del proceso, se puede escoger el tipo de sensor, su tamaño y la resolución. En el mercado existen cámaras analógicas y digitales como podemos observar en la figura 11. (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)



Figura 11. Cámara de alta resolución marca Stingray

Fuente: (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)

En otros tipos de procesos se utilizan cámaras bidimensionales; en su lugar se emplea una cámara lineal la cual produce una sola fila de píxeles. La imagen bidimensional se la puede generar cuando un objeto pasa por debajo de una cámara lineal, aprovechando el movimiento generado por una banda transportadora, como se observa en la figura 12.



Figura 12. Cámara lineal

Fuente: (Vision artificial e interacción sin mandos , 2010)

d) Computador Personal

Es la parte esencial del sistema de visión artificial, ya que es la encargada de recoger, mostrar las imágenes y después procesarlas.

Las tareas encargadas de realizar el Pc son:

- Captura la imagen
- Lee la imagen
- Procesa los datos proporcionados por la cámara el cual realiza un análisis de la imagen
- Realiza la interfaz con los usuarios

- Comunica a los diferentes sistemas del correcto funcionamiento del proceso y si existe alguna aparición de algún defecto, hacerlo detener
- Controla el buen funcionamiento de los elementos del sistema.

e) Tarjeta de Adquisición

En las aplicaciones de visión industrial y de análisis de imagen es necesario tomar las imágenes con la mejor calidad posible y enviarlas a la memoria del ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas y /o visualizarlas. Las cámaras que se utilizan en estos entornos presentan una serie de requisitos que en la mayoría de ocasiones no son estándar. (Etitudela, 2013)

Las especificaciones y precios de las placas de captura de imagen (Frame Grabbers) varían enormemente y por tanto se deben tener en cuenta los requisitos técnicos de cada frame grabber para su elección. Las tarjetas se dividen en tres categorías distintas en función de sus características:

- Frame Grabbers estándar de bajo coste
- Frame Grabbers avanzados de altas prestaciones y con características multicanal
- Frame Grabbers "inteligentes" con procesadores abordo.

f) Procesamiento de la imagen

- **Software** En el pasado más reciente no era posible hacer los procesos en tiempo real debido a que los ordenadores no eran lo suficientemente rápidos para realizar los cálculos con las imágenes. Con la llegada del bus PCI y con la rápida evolución de los procesadores de los PC se ha conseguido visualizar las imágenes en tiempo real y realizar la mayoría de procesos en tiempos suficientemente cortos, como para que puedan resolver aplicaciones de visión en entornos científicos e industriales, con los resultados esperados en su justo tiempo. (Etitudela, 2013)

Esta evolución del hardware ha comportado el desarrollo de librerías de visión que puedan funcionar en entornos estándar de todo tipo de sistemas operativos como de procesadores.



Figura 13 Software que permite la identificación de objetos

Fuente: (Etitudela, 2013)

La base del software de un sistema de visión es la interpretación y análisis de los píxeles. El resultado final puede ser, desde la medida de una partícula, a la determinación o lectura de una serie de caracteres (OCR), pasando por cualquier otro proceso que podamos imaginar sobre las imágenes.

- **Interface** Una interfaz para notificar el resultado del análisis a un operador.
- **Actuadores externos** Sincronía con el proceso, para adquirir la imagen en el momento adecuado y para actuar con el proceso o separar unidades defectuosas.

1.2. Sistema de medición de velocidad

Los sistemas de medición de velocidad son los enemigos más temidos en las vías, por los conductores que conducen a altas velocidades poniendo en riesgo la vida de ellos y de las demás personas. (Moto y Casco, 2010)

1.2.1. Medidores de velocidad según el tipo de sensores

En la actualidad la humanidad ha hecho grandes avances tecnológicos en la prevención de accidentes de tránsito con la construcción de diversos tipos de medidores de velocidad para vehículos para reducir el alto porcentaje de accidentes en las vías, número de vehículos, la ocupación de la vía (el porcentaje de tiempo en la vía que está presente)

a) Medidor de lazo inductivo

En el caso de medidores de velocidad de lazo inductivo se basan en el principio de inducción electromagnética, En el pavimento se realizan unos cortes en forma de cuadrados de 2 m. de lado con una hoja de sierra de dientes diamantados de 7 mm, se crea una bobina enterrando el cable en esos cortes y luego se rellena con resina epoxi o similar Como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Medidor De velocidad de lazo inducido

Fuente: (Moto y Casco, 2010)

Al pasar un vehículo, su masa metálica induce una corriente que es interpretada como el paso de un vehículo. El tiempo de duración de la corriente sirve para medir el porcentaje de ocupación de la vía. Para el cálculo de la velocidad del vehículo se colocan dos espiras próximas a una distancia conocida

(p.ej. 2 metros), y mediante el registro de inicio de la corriente inducida en ambas (t_f y t_i); por lo tanto el cálculo de la velocidad sería:

$$V = \frac{\text{Distancia}}{t_f - t_i} \quad (1)$$

Este tipo de medidores de velocidad son muy frecuentes en algunos países por su bajo costo de instalación y debido a que son muy amigables con el medio ambiente. Sin embargo la parte negativa es que en caso de alguna fragmentación y la carencia de calibración regular puede generar una falsa lectura de la velocidad de los vehículos al momento de pasar por él.

b) Medidores de visión artificial

En el caso de los medidores de visión artificial, el principio se basa en capturar las imágenes por medio de una video cámara de alta velocidad, la cual digitaliza y procesa la imagen por medio de un algoritmo, el cual identifica los cambios en el fondo que se produce en la imagen. Cuando se realiza el análisis en imágenes continuas se puede establecer la velocidad del vehículo y su tamaño. En la figura 15 muestra una aplicación de un medidor de visión artificial.

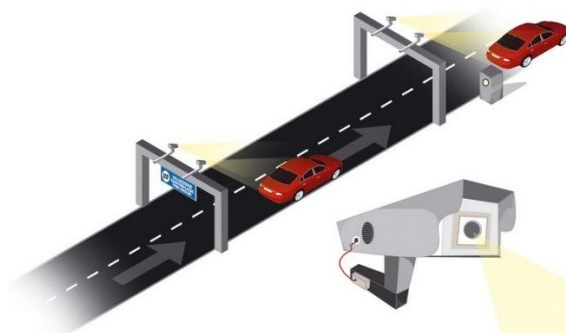


Figura 15. Medidor de velocidad con visión artificial

Fuente: (Moto y Casco, 2010)

Las ventajas de este sistema es su alto grado de confiabilidad al momento de medir la velocidad de los vehículos. Pero las desventajas son el alto costo en la construcción del sistema y su funcionamiento puede variar debido a factores climáticos por ejemplo la neblina y la noche. (Moto y Casco, 2010)

c) Medidores de velocidad de Microondas

Los sistemas de medición de velocidad por microondas emplean la energía de alta frecuencia en dirección del vehículo en movimiento. Con esto se puede proporcionar la velocidad por la variación de la frecuencia que se refleja por el efecto Doppler que es correspondiente a la velocidad. En la figura 16 se observa una aplicación de un medidor de velocidad de microondas. (Moto y Casco, 2010)

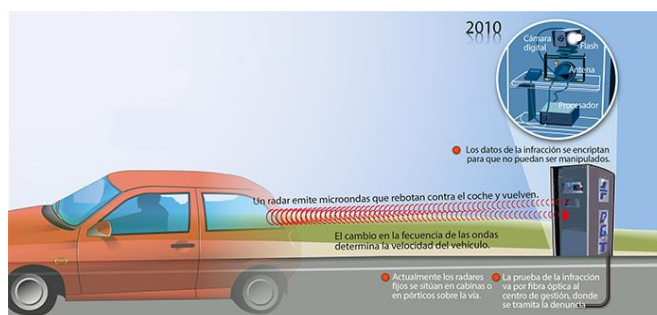


Figura 16. Medidor de velocidad de microondas

Fuente: (Moto y Casco, 2010)

Las ventajas de este sistema en su gran precisión y un correcto funcionamiento en variaciones climáticas hostiles, pero su desventaja es que cuando un vehículo viaja a una velocidad menor a los 10 km/h este sistema no le detecta es como que ningún vehículo transitara por ese tramo de la carretera.

d) Medidores de velocidad de sensores infrarrojos

Otro de los sistemas disponibles para la medición de velocidad es el infrarrojo, el cual se fundamenta en la utilización de un sensor de fotones el cual se lo instala en un poste o puente a lado del carril en donde se desea hacer la medición de velocidad, el vehículo ingresa a la zona y emite un cambio de energía radiada. En este caso estamos ante un detector pasivo que únicamente mide la intensidad. Si además el detector emite energía en el espectro infrarrojo (aproximadamente 0,9 micras de longitud de onda), una porción de esta energía se reflejará al paso de los vehículos y así mediremos también la velocidad, estamos ante un detector activo. En la figura 17 se observa el funcionamiento de un medidor de velocidad por

microondas. Este sistema no es muy popular ya que no detecta vehículos que van a baja velocidad y no son muy exactos. (Moto y Casco, 2010)

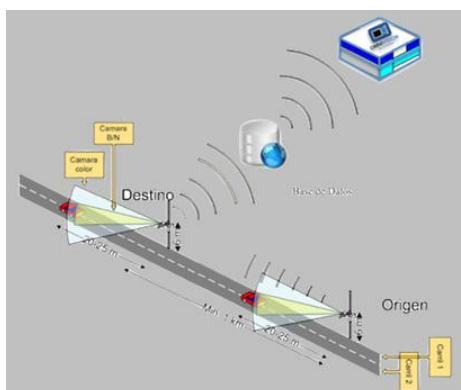


Figura 17. Medidor de velocidad por microondas

Fuente: (Moto y Casco, 2010)

e) De ultrasonido

Este sistema se basa en la emisión de ondas de sonido los cuales deber ser perpendicular sobre la carretera. La presencia del vehículo se lo determina por la diferencia del tiempo en adquirir la onda reflejada en el caso que lo realice sobre el vehículo o en la carretera. La frecuencia de onda que emite este sistema está en el rango del 25 a 50 KHz que es un rango por encima de la frecuencia audible. En la figura 18 se observa el funcionamiento de un medidor de velocidad por ultrasonido. La ventaja de este sistema es la fácil instalación pero su desventaja es su sensibilidad al viento y temperatura. (Moto y Casco, 2010)

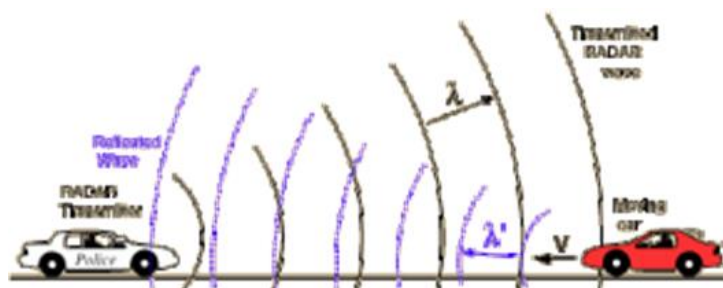


Figura 18. Medidor de velocidad por ultrasonido

Fuente: (Moto y Casco, 2010)

1.2.2. Medidores de velocidad según su ubicación

Los medidores de velocidad se los puede clasificar en:

- Fijos
- Móviles

a) Fijos

Son aquellos dispositivos que se encuentran ubicados en cabinas y pueden ser ubicados en postes, pórticos, márgenes de la carretera o incluso en vehículos y helicópteros. Los medidores de velocidad fija que se dispone en la actualidad son los siguientes. (Moto y Casco, 2010)

- **De pórtico:** Son aquellos que están ubicados en los paneles informativos de las autopistas. Los cuales en su mayoría controlan la velocidad de los vehículos que se encuentran en el carril izquierdo.
- **De tramo:** Son los últimos que han entrado en funcionamiento y mediante un par de cámaras, son los encargados de medir la velocidad de los vehículos entre dos puntos, en la actualidad se encuentran ubicados en los túneles.
- **De cabina:** Son fijos y los encontrará al borde de la calzada, en la mediana o, incluso, junto a paneles o pórticos -en el lado derecho de la carretera-. Los hay en autovías y autopistas, pero también en carreteras secundarias.
- **De Poste:** Hay muy pocos, los cuales son instalados casi en su mayoría en las ciudades – carreteras. Los cuales están ubicadas en el lado derecho de la calzada y su aspecto característico es con forma de poste y encima una caja
- **De Semáforo:** Son colocados en los semáforos y su función principal es captar a los vehículos que se cruzan los semáforos en luz roja.

b) Móviles

En carretera, los encontrará en arcenes o detrás de carteles, pasos a nivel o encima de puentes. Los Multanova y los Autovelox pueden colocarse en vehículos, tanto policiales como camuflados. El modelo Autovelox no puede multar desde coches en marcha. (Moto y Casco, 2010)

1.2.3. Según su colocación

Con el avance de la tecnología se están utilizando radares DGT (Dirección General de Transito) los cuales se utilizan para sancionar a los conductores que excedan los límites de velocidad. (Moto y Casco, 2010)

a) Helicóptero

Estos tipos de radares son desarrollados con tecnología militar la cual se lo adapta para que funcione con el helicóptero de la DGT, el cual mide la velocidad de cada vehículo desde el aire. Para ello cuenta con dos cámaras: una panorámica que graba el vehículo en movimiento y la otra cámara que es la encargada de tomar una fotografía de la placa.

Siempre desde el aire, a una altura que puede oscilar entre los 300 m y más de un kilómetro. Pegasus es capaz de medir velocidades de hasta 360 km/h -los demás radares, no suelen ´ver´ coches por encima de los 300 km/h-, pero necesita seguir al vehículo durante un mínimo de nueve segundos para calcular su velocidad media.

b) Pistola Láser

Su funcionamiento se basa en disparar un rayo láser hacia el vehículo el cual calcula la velocidad mediante el tiempo que tarde en volver el haz del láser hasta la pistola.

c) Trípode

Su funcionamiento se basa en la emisión de dos haces de luz en paralelo y miden el tiempo que tardan en atravesarlos. Este tipo de medidor de velocidad también funciona como fijo.

1.2.4. Tipos de medidores Falsos

Estos dispositivos se asemejan a los medidores de velocidad, pero ellos no tienen la función de fotografiar y captar la infracción de tráfico ya que tienen otra función distinta, el problema que acarrea es en su diseño y su colocación, los cuales pueden inducir al error por su semejanza a los medidores de velocidad. A continuación se incluyen los tipos más comunes de medidores falsos. (Moto y Casco, 2010)

a) Avisadores de Velocidad

Son aquellos dispositivos que se encuentran ubicados en las entradas de las ciudades y zonas residenciales. En estos casos, el límite de velocidad suele ser de 50, 30 o 20 km/h, según los casos, por lo que el captar la velocidad de un vehículo es un preaviso de que pueda estar circulando por encima del límite establecido.

b) Cabinas en los lados de una carretera

Este tipo de medidor falso se asemeja a las cabinas en las cuales guarda en su interior un radar. La manera más común de identificar un radar falso con un radar verdadero es el orificio que se encuentra a contra luz, el cual capta la infracción.

c) Cámara sobre farolas, pasarelas, pórticos

Estas cámaras son las que más inducen a la confusión. Para ver realmente donde están colocados los radares fijos, la propia web de la DGT facilita un listado de radares (Dónde están todos los radares), por lo que muchas de estas cámaras de las que te hablamos no se corresponden con los radares reales, sino que son cámaras captadoras/contadoras del tráfico, es decir, registran el número de

vehículos que pasan por una determinada carretera en un determinado punto kilométrico.

d) Células fotovoltaicas

Son aquellos equipos que están provistos de pequeñas células fotovoltaicas, la cual tiene como función principal la de suministrar energía para que los faroles iluminen cuando desaparece la luz diurna.

e) Lectores de Matrículas

Los lectores de matrícula se asemejan a la infraestructura de muchas carreteras. Este tipo de medidores falsos se los encuentra en las entradas de los peajes los cuales están instalados a pocos metros, también lo podemos encontrar en centros comerciales y aeropuertos que tienen sistema de parking, los cuales registran la hora de ingreso y salida del vehículo de las instalaciones

1.3. Componentes Mecánicos de la estructura del medidor de velocidad

A continuación se realiza una descripción de los materiales que se utiliza en la construcción de la estructura de medidor de velocidad.

1.3.1. Acero Estructural

La mayor parte de los aceros estructurales reciben la designación de los números ASTM (**American Society for Testing Materials**). Un grado frecuente es el ASTM 36, que tiene un punto de fluencia mínimo de 36000 psi (248MPa) y es muy dúctil. En resumen es un acero con bajo carbón y laminado en caliente, disponible en láminas, placas, barras y perfiles estructurales; por ejemplo, algunas vigas en I, vigas estándar estadounidenses, canales y ángulos. (Mott, 2006)

Los perfiles W se fabrican en la actualidad con aceros estructural ASTM A992, cuyo punto de fluencia es de 50 a 65ksi (345 a 448 MPa), con resistencia mínima a la tensión de 65ksi (448MPa). Una especificación adicional es que la relación máxima de punto de fluencia a resistencia a la tensión sea 0,85. Es un acero muy dúctil, que tiene un alargamiento mínimo de 21% en 2.00 pulgadas de longitud

calibrada. Al usar este acero en lugar del ASTM A36, de menor resistencia, se pueden emplear miembros estructurales más ligeros, a un costo adicional mínimo o sin costo alguno.

Los perfiles estructurales huecos HSS (Hollow Structural Sections) se fabrican con acero ASTM A500, que se forma en frío y se suelda, o está sin costura. Están comprendidos los tubos redondos y cuadrados, así como los perfiles rectangulares. También se puede especificar varios grados de resistencia. Algunos de los productos HSS se fabrican con acero ASTM A501 moldeados en caliente, cuyas propiedades son parecidas a la de los perfiles de acero ASTM A36 laminado en caliente

Muchos de los grados de acero estructural con mayor resistencia se emplean para la construcción, para vehículos y para máquinas. Tiene puntos de fluencia en el intervalo de 42000 a 100000 psi (290 a 700 MPa). Alguno de estos grados, que se llaman *aceros de alta resistencia y baja*, son ASTM A242, A440, A514 y A588, los cuales se puede observar en la tabla 1 que se encuentra las especificaciones y designación

Tabla 1

Aceros estructurales

Tipo de Acero	Designación NTC	Designación ASTM	F _y (MPa)	Espesor (mm)		
Al Carbón	NTC 1920	A-36	250	≤ 200		
			220	> 200		
+ manganeso	NTC 4007	A-529	290	≤ 13		
			350	≤ 38		
Alta resistencia baja aleación	NTC 1985 G42	A-572 Gr 42	290	≤ 150		
			G50	Gr 50	350	≤ 100
			G 60	Gr 60	415	≤ 32
			G 65	Gr 65	450	≤ 32
+ Resistente a la corrosión	NTC 1950	A-242	290	38 – 125		
			320	19 – 38		
			350	< 19		
	NTC 2012	A-588	290	125-200		
			320	100-125		
			350	≤ 100		
Aleac. templadas y revenidas	NTC 4014	A-514	625	64 – 150		
			695	≤ 64		

Fuente: (Clement, 2006)

1.3.2. Perfiles estructurales











Muchos grados de acero estructural con mayor resistencia se emplean para la construcción, para vehículos y máquina. Tienen puntos de fluencia en el intervalo de 42000 a 100000 psi (290 a 700 MPa). Algunos de estos aceros se los conoce

como aceros de alta resistencia y baja aleación entre los que se encuentran ASTM A242, A440, A514 y A588 (Mott, 2006)

Los fabricantes de acero suministran un gran conjunto de perfiles estructurales estandarizados, eficientes en el uso del material y fáciles de especificar e instalar en estructuras de construcción o de armazones de maquinaria.

Comprende, cómo se puede observar en la tabla 2, los ángulos estándar (perfiles en L), canales (perfiles en C), vigas de patín ancho (perfiles en W) vigas estándar estadounidense (perfiles en S) tubo estructural y tubería. Los perfiles W y S son nombrados cotidianamente en las conversaciones generales como vigas en I por que la forma del corte transversal se asemeja a la I mayúscula.

Tabla 2
Designaciones de perfiles de acero y aluminio

Tipo	Sección Transversal	Ejemplo de designación	Observaciones
Doble T		HEA 320	Perfil europeo, $b = d = 320$ mm
Perfil I		W 14 x 426	Perfil USA con Peralte nominal = 14 pg Peso = 426 lb/pie
Perfil W (en USA)		IPE 450 W 24 x 76	Perfil europeo, $b < d$ Perfil USA con Peralte nominal = 24 pg Peso = 76 lb/pie
Canal		C 12 x 30	Perfil canal de 12 pg de peralte y 30 lb/pie de peso.
Ángulo o angular		L 4 x 3 x 1/8 L 100 x 75 x 6	$a = 4$ pg, $b = 3$ pg, $t = 1/8$ pg. t, el espesor, es constante Usualmente las dimensiones en pg, pero en Colombia a veces se dan en mm.
Tubo		ϕ 4 Sch 40 ϕ 75 x 3.5	Díámetro nominal = 4 pg (el Dext es mayor de 4 pg); Sch (Schedule) es ref comercial Dext = 75 mm, t = 3.5 mm
Tubular		150 x 50 x 4	Sección rectangular hueca de 150 x 50 mm de lados y 4 mm de espesor.
Perfiles de lámina doblada en frío		C a x b x t Z a x b x t Ω a x b x c x t	En donde: a, b, c son las dimensiones de las caras y t el espesor.
Perfiles ensamblados		(Soldadura) (Remache o Pernos)	
Barra		Redondos Cuadrados Platinas	

Fuente: (Clement, 2006)

En el apéndice A se presentan las propiedades geométricas de algunos perfiles estructurales de acero, las cuales tienen una gran variedad de tamaños, en la cual proporcionan datos como el área de sección transversal, el peso por pie, la ubicación del centroide de la sección transversal, momento de inercia (I) su módulo de sección (S) y su radio de giro (r). Los valores de I y de S son importantes para

analizar y diseñar vigas ya que para el análisis de columnas es importante tener los valores de I y r .

1.3.3. Soldadura

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos. Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y una ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. Para que el metal de aportación pueda realizar correctamente la soldadura es necesario que «moje» a los metales que se van a unir, lo cual se verificará siempre que las fuerzas de adherencia entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido. (Rincon del Vago, 1998)

En la actualidad existen tres tipos de proceso de soldadura como:

- Soldadura ordinaria o de aleación
- Soldadura por fusión
- Soldadura por presión

A. Soldadura ordinaria o de aleación

Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación: o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser blanda o fuerte

a) Soldadura blanda

Esta soldadura de tipo ordinaria se realiza a temperaturas por debajo de los 400 °C. El material metálico de aportación más empleado es una aleación de estaño y plomo, que funde a 230 °C aproximadamente.

b) Soldadura Fuerte

También se llama dura o amarilla. Es similar a la blanda, pero se alcanzan temperaturas de hasta 800 °C. Como metal de aportación se suelen usar aleaciones de plata, y estaño (conocida como soldadura de plata); o de cobre y zinc. Como material fundente para cubrir las superficies, desoxidándolas, se emplea el bórax. Un soplete de gas aporta el calor necesario para la unión. La soldadura se efectúa generalmente a tope, pero también se suelda a solape y en ángulo.

B. Soldadura por fusión

En este tipo de soldadura tiene lugar una fusión entre metales a unir con o sin material de aporte, para los cuales hay técnicas como la de unión a presión y a temperaturas superiores a las que se trabaja en las soldaduras ordinarias. Existen varios procedimientos de soldadura entre las cuales se destacan:

a) Soldadura por gas

Este tipo de soldadura está compuesto de un soplete el cual utiliza calor de la combustión de un gas o una mezcla gaseosa, la cual se aplica en una pieza y la varilla de aportación. La ventaja de este tipo de soldadura es que no utiliza corriente eléctrica.

b) Soldadura por arco

Los procedimientos de soldadura por arco son los más utilizados, sobre todo para soldar acero, y requieren el uso de corriente eléctrica. Esta corriente se utiliza para crear un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, lo que genera el calor suficiente para fundir el metal y crear la unión.

La soldadura por arco tiene ciertas ventajas con respecto a otros métodos. Es más rápida debido a la alta concentración de calor que se genera y por lo tanto produce menos distorsión en la unión

c) Soldadura por arco con electrodo recubierto

En este tipo de soldadura el electrodo metálico, que es conductor de electricidad, está recubierto de fundente y conectado a la fuente de corriente. El metal a soldar está conectado al otro borne de la fuente eléctrica. Al tocar con la punta del electrodo la pieza de metal se forma el arco eléctrico. El intenso calor del arco funde las dos partes a unir y la punta del electrodo, que constituye el metal de aportación.

d) Soldadura por arco con protección gaseosa

Es la que utiliza un gas para proteger la fusión del aire de la atmósfera. Según la naturaleza del gas utilizado se distingue entre soldadura MIG, si utiliza gas inerte, y soldadura MAG, si utiliza un gas activo. Los gases inertes utilizados como protección suelen ser argón y helio; los gases activos suelen ser mezclas con dióxido de carbono. En ambos casos el electrodo, una varilla desnuda o recubierta con fundente, se funde para rellenar la unión.

Otro tipo de soldadura con protección gaseosa es la soldadura TIG, que utiliza un gas inerte para proteger los metales del oxígeno, como la MIG, pero se diferencia en que el electrodo no es fusible; se utiliza una varilla refractaria de wolframio. El metal de aportación se puede suministrar acercando una varilla desnuda al electrodo.

e) Soldadura por arco con fundente en polvo

Este procedimiento, en vez de utilizar un gas o el recubrimiento fundente del electrodo para proteger la unión del aire, usa un baño de material fundente en polvo donde se sumergen las piezas a soldar. Se pueden emplear varios electrodos de alambre desnudo y el polvo sobrante se utiliza de nuevo, por lo que es un procedimiento muy eficaz.

f) Soldadura aluminotérmica

El calor necesario para este tipo de soldadura se obtiene de la reacción química de una mezcla de óxido de hierro con partículas de aluminio muy finas. El metal líquido resultante constituye el metal de aportación. Se emplea para soldar roturas y cortes en piezas pesadas de hierro y acero, y es el método utilizado para soldar los raíles o rieles de los trenes.

1.4. Componentes eléctricos y electrónicos

En los componentes eléctricos y electrónicos, también debemos tomar en cuenta el software en el cual vamos a utilizar en la construcción de medidor de velocidad.

1.4.1. Sistema Fotovoltaico

Es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica. (García, 2007). Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se lo puede clasificar como se muestra en la figura 18.

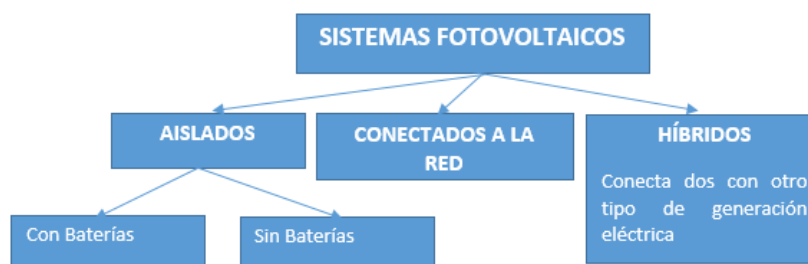


Figura 19. Clasificación de un sistema fotovoltaico

Hay diferentes opciones para construir un sistema fotovoltaico, pero esencialmente hay los siguientes componentes:

a) Generador fotovoltaico

Es el encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.

b) Baterías o acumuladores

Son los encargados de almacenar la energía eléctrica la cual es producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en periodos en la cual demande su consumo.

c) Regulador de Carga

Es el encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobre tensiones que puedan destruirla.

d) Inversor o acondicionador

Es el dispositivo que se encarga de transformar la corriente continua que es producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna.

e) Elementos de protección del circuito

Hay elementos como interruptores de conexión, diodos de bloqueo, los cuales son los encargados de proteger las descargas y derivación de elementos en caso de cualquier falla que se produzca.

1.4.2. Matriz de Leds

La matriz de leds es un conjunto de Leds que pueden ser encendidos o apagados individualmente por medio de un microcontrolador. En los cuales se puede representar: textos, gráficos en forma estática o en movimiento como se observa en la figura 19. (monografía, 2007)

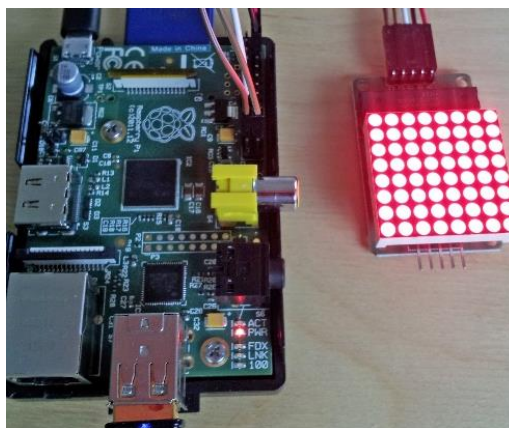


Figura 20. Matriz de Led

Fuente (Alex, 2013)

1.4.3. Raspberry Pi

El Raspberry Pi es un micro ordenador o una placa de computadora SBC de bajo costo desarrollada en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, de manera que pueda fomentar la enseñanza de la computación y programación en las escuelas y colocarla al alcance de todos, como fue en un pasado cercano, por ejemplo en los años 80 cuando los niños creaban programas y juegos en sus computadoras personales. En la figura 20 se observa una Raspberry pi (Wikipedia, 2012)



Figura 21. Raspberry Pi

Fuente: (electrotec, 2017)

En esencia, el **Raspberry Pi** es una placa de un tamaño minúsculo (cercano al de una tarjeta de crédito). Pero que su diminuto tamaño no te engañe, ya que posee un micro procesador ARM con potencia de hasta 1GHz, integrado en un chip

Broadcom BCM2835. Además cuenta con 512 MB de RAM, un GPU Video Core IV, todo lo necesario para poder ejecutar programas básicos, navegar por internet y por supuesto programar.

Para trabajar con un **Raspberry Pi** se requiere almacenamiento que en este caso específico debe ser una tarjeta de memoria SD o microSD. Al contar con todos estos elementos, sólo debe conectarse a la corriente eléctrica. Las placas más modernas cuentan con hasta 4 puertos USB para conectar teclado y mouse, un conector HDMI con capacidad de reproducir vídeo en 1080p y hasta una conexión Ethernet para poder tener internet vía cable. En la figura 21 se observa en donde están ubicados los componentes de la Raspberry pi 2 Modelo B

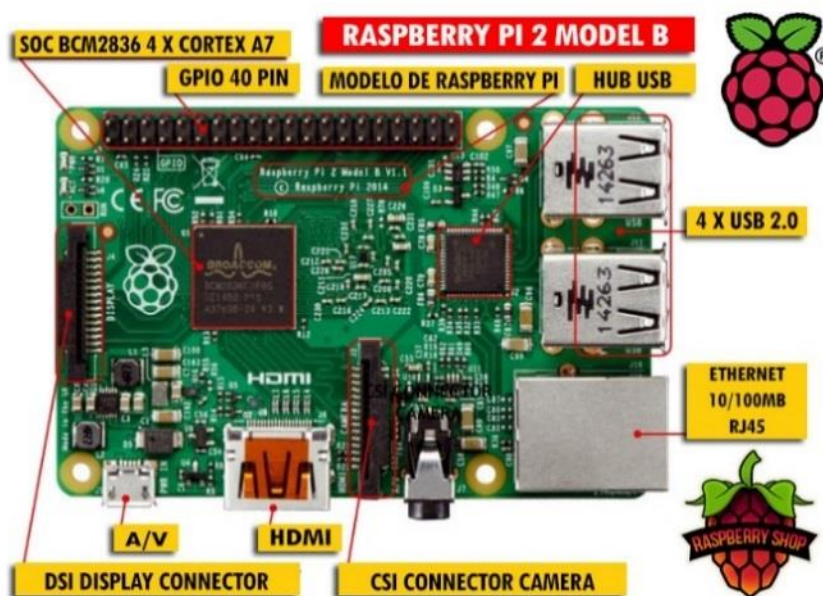


Figura 22. Hardware de Raspberry pi

Fuente (Raspberrishop, 2017)

Entre los sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi se encuentran: Raspbian, Arch Linux, RaspBMC, Pidora u Open ELEC e incluso, se dispone de Windows 10 según la página web de Microsoft.

1.4.4. OpenCV

OpenCV es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Desde que apareció su primera versión alfa en el mes de enero de 1999, se

ha utilizado en infinidad de aplicaciones. Desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicativos de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos. Esto se debe a que su publicación se da bajo licencia BSD, que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas. (wikipedia, 2016)

OpenCV es multiplataforma, existiendo versiones para GNU/Linux, Mac OS X y Windows. Contiene más de 500 funciones que abarcan una gran gama de áreas en el proceso de visión, como reconocimiento de objetos (reconocimiento facial), calibración de cámaras, visión estéreo y visión robótica.

El proyecto pretende proporcionar un entorno de desarrollo fácil de utilizar y altamente eficiente. Esto se ha logrado, realizando su programación en código C y C++ optimizados, aprovechando además las capacidades que proveen los procesadores multi núcleo. OpenCV puede además utilizar el sistema de primitivas de rendimiento integradas de Intel, un conjunto de rutinas de bajo nivel específicas para procesadores Intel.

1.4.5. Python

Python es un lenguaje de programación que fue desarrollado por expertos programadores en C++, para disponer todo su potencial y que no exista ningún inconveniente, este lenguaje de programación está orientada a objetos, los cuales se puede incluir las librerías más típicas de C++, para la gestión de listas y strings, para mejorar la aritmética y caculo, se opera con objetos como arrays ser ligero, con capacidad para utilizar las librerías de C++ y otros lenguajes como Fortran.(www.prometec.net)

El lenguaje de programación de Python se asemeja al lenguaje de programación de arduino, por su programa en C, al momento de compilar la programación con la flecha amarilla, y si no existe ningún problema observamos que el IDE va cargado el programa a la placa como se muestra en la figura 22

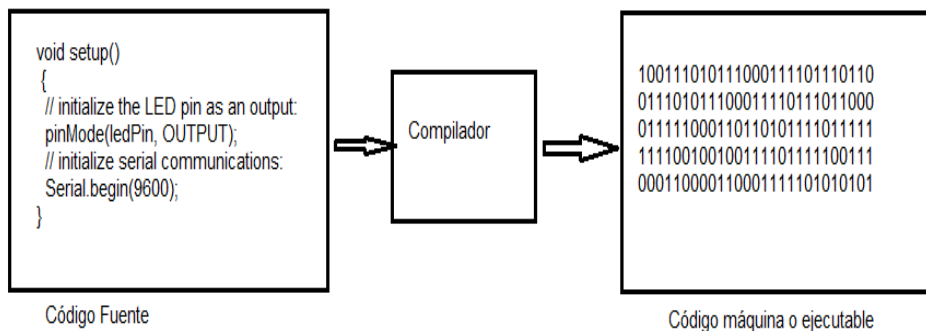


Figura 23. Compilación de programa de programación Python a código binario

Esto significa que el compilador lee lo escrito en una primera revisión y luego compila, lo que traduce a un lenguaje propio del micro del arduino, eso quiere decir que compila y ejecuta la placa que usemos. Python es un lenguaje de alto nivel simbólico el cual se asemeja como: Fortran, Pascal, C y muchos, los cuales son compilados, el cual permite generar un código ejecutable muy eficiente por ser pequeño y de gran velocidad con que se ejecuta; el cual tiene un pequeño inconveniente, necesita el código fuente que generó el ejecutable para poder entenderlo y modificarlo; al ejecutable también se le llama código máquina. Python es un lenguaje de programación con un fin didáctico, organizado, potente y auto documentado, este lenguaje de programación se lo recomienda por ser sencillo de entender, gratis y open source desde su concepción

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El capítulo recopila toda la información necesaria acerca del diseño estructural para ser montado en el puente en el sector del Niágara en la ciudad de Latacunga el cual se utilizó la tecnología Raspberry PI para el reconocimiento de vehículos en carretera.

2.1. Diseño de la Estructura Mecánica

Es el proceso de concepción de un sistema para satisfacer necesidades. El proceso de toma de decisiones, es a menudo iterativo, en la cual las ciencias básicas, las matemáticas y el conocimiento en ingeniería, son aplicados para: innovar, optimizar los recursos y satisfacer los objetivos (Mott, 2006)

Para el diseño y selección de las diferentes piezas, accesorios y uniones que conforma el medidor de velocidad se toma en cuenta la funcionalidad de cada elemento, orientado a utilizar materiales, equipos y herramientas que se encuentren disponible en el mercado nacional.

2.1.1. Parámetros de diseño

Partiendo de los requerimientos funcionales del medidor de velocidad, así como de las especificaciones técnicas que tienen las estructuras semejantes existentes en el mercado, tomando en cuenta los recursos económicos disponibles para su construcción, los cuales se describen a continuación; los principales parámetros que influyen directamente en el diseño mecánico del medidor de velocidad serán:

- Peso del panel solar = 49 N
- Peso del soporte del panel solar = 98 N
- Soporte para la cámara y Raspberry pi = 19.6 N
- Expectativa de vida útil = 10 años

- Factor de seguridad mínimo requerido = 3.0 (Mott, 2006)

Se procede con el diseño y la selección de los componentes mecánicos para la estructura del medidor de velocidad

2.1.2. Esquema de la estructura del medidor de velocidad

En base a los parámetros de diseño y los requerimientos de la estructura del medidor de velocidad, los componentes principales son:

- Columna principal
- Perno de Sujeción de la columna principal y soporte del panel solar
- Perno de sujeción del soporte de la cámara y Raspberry pi

A. Columna Principal

La columna principal del medidor de velocidad tendrá las dimensiones de la figura 23. Para el diseño de la columna principal se emplea acero estructural ASTM A36, por tener buenas propiedades mecánicas, su bajo costo, facilidad para la soldadura y resistencia a la tensión. (Pablo, 2012)

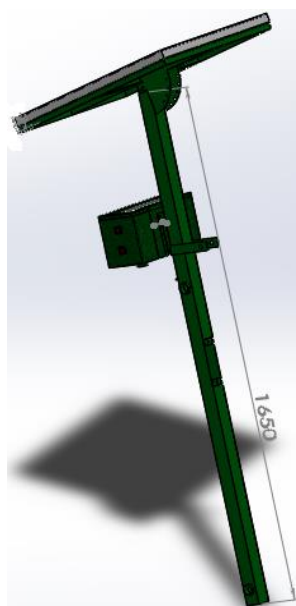


Figura 24. Cargas sobre la columna principal del medidor de velocidad

Debido a que la columna principal debe soportar el peso de cada uno de los componentes como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Peso de componentes del medidor de velocidad

COMPONENTES	PESO (N)
Panel Solar	49
Soporte del Panel Solar	98
Soporte de la cámara y Raspberry pi	19.8
TOTAL	166.8

Por seguridad se trabaja con un factor de carga de 1.5

$$W_T = 1.5 * 166.8N$$

$$W_T = 250.2 N$$

Donde:

$$W_T = \text{Peso Total}$$

a) Diseño de cargas

El peso total del soporte se calcula con la siguiente expresión:

Datos

$$W_T = 250.2 N$$

$$A_{\text{Sección Transversal}} = 3.74 \text{ cm}^2$$

$$I = 14.13 \text{ cm}^4 (\text{Inercia})$$

El área de la sección transversal y la inercia se escoge de la tabla 4

Tabla 4

Perfil estructural cuadrado

A (mm)	Espesor (mm)	Peso (Kg/m)	Área (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	i (cm ²)
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94

Fuente: (DIPAC, 2016)

$S_y = 250 \text{ MPa}$ (Resistencia a la fluencia)

La resistencia a la fluencia se escoge de la tabla 5

Tabla 5

Propiedades de los aceros estructurales

Designación del material (Número ASTM)	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia a la Fluencia		Ductilidad
		(kpsi)	(MPa)	(kpsi)	(MPa)	
A 36	$e \leq 8$ pulg	58	400	36	250	21
A 242	$e \leq 3/4$ pulg	70	480	50	345	21
A 242	$e \leq 1^{1/2}$ pulg	67	460	46	315	21
A 242	$e \leq 4$ pulg	63	435	42	290	21

Fuente: (Robert, 2006)

El módulo de elasticidad del acero A 36, es una propiedad mecánica la cual es igual para todos los aceros.

$E = 200 \text{ GPa}$ (módulo de Elasticidad)

La constante K se obtiene dependiendo del extremo fijo como se muestra en la figura 24

$K = 2$ Adimensional

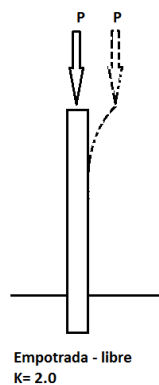


Figura 25. Constante K para diferentes conexiones de extremos.

Elaborado: (Mott, 2006)

Para calcular la carga segura permisible (P_a), se debe seguir los siguientes pasos:

- Calcular la longitud efectiva (L_e), mediante la ecuación 2

$$L_e = K * L \quad (2)$$

$$L_e = 2 * 1.650$$

$$L_e = 3.3m$$

- Calcular el radio giro (r), mediante ecuación 3

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{\frac{1.413 * 10^{-7} m^4}{3.74 * 10^{-4} m^2}}$$

$$r = 0.0194 m$$

- Determinar la relación de esbeltez (SR), mediante la ecuación 4

$$SR = \frac{L_e}{r} \quad (4)$$

$$SR = \frac{3.3m}{0.0194m}$$

$$SR = 170.103$$

- Se calcula la constante de la columna (C_c), mediante la ecuación 5

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi\epsilon}{S_y}} \quad (5)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 200 * 10^9 Pa}{250 * 10^6 Pa}}$$

$$C_c = 125.663$$

- Se Compara C_c con $\frac{L_e}{r}$, decidir si la columna es larga, intermedia o corta, para emplear la fórmula más adecuada para el cálculo de pandeo crítica, mediante la ecuación 6

$$C_c < \frac{L_e}{r} \quad (6)$$

$$125.663 < \frac{3.3}{0.0194}$$

$$125.663 < 170.103$$

- Como $C_c < \frac{L_e}{r}$ se aplica la fórmula de Euler, se calcula la carga crítica (**P_{cr}**), mediante la ecuación 7

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * \epsilon * A}{\left(\frac{L_e}{r}\right)^2} \quad (7)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200 * 10^9 Pa * 3.74 * 10^{-4} m^2}{\left(\frac{3.3}{0.0194}\right)^2}$$

$$P_{cr} = 25.513 \text{ KN}$$

- Para el cálculo de Carga permisible (**P_a**) se calcula mediante ecuación 8, con un factor de seguridad $N = 3$.

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} \quad (8)$$

$$P_a = \frac{25.513 * 10^3}{3}$$

$$P_a = 8.504 \text{ KN}$$

Por lo tanto la estructura soporta una carga de 8.504 KN, en nuestra estructura tiene una carga de 250.16 N.

b) Diseño de esfuerzos

En el estudio estático se determina de una manera más próxima a la realidad si la columna principal puede soportar la fuerza a la cual va estar expuesta y con eso asumir la seguridad que es confiable para esta aplicación. Por lo tanto, existe una fuerza de compresión, la cual está sometida en la columna principal y debe ser analizada en la parte superior de la columna como se muestra en la figura 25

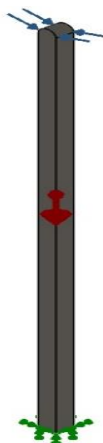


Figura 26. Asignación de fuerza y sujeciones en el eje Y

De acuerdo con el estudio estático, que se realiza en el software de diseño Solid Work, se observa la compresión, el desplazamiento, las deformaciones y el factor de seguridad en diferentes lugares de la columna principal, que se muestra en la figura 26

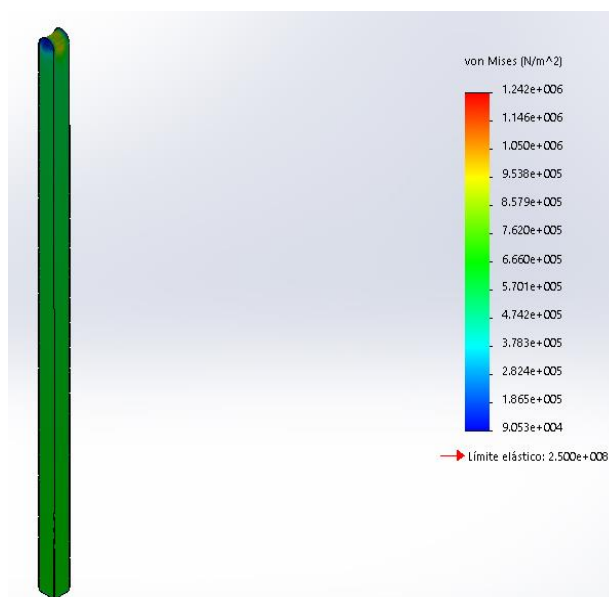


Figura 27. Tensión de Von Mises generado en el eje Y

La figura 26 muestra el resultado del esfuerzo máximo desarrollado en algún punto del soporte, el cual se muestra de color rojo e indica que en ese lugar se encuentra el esfuerzo más crítico, por lo que tiende a deformarse. El soporte tiene un esfuerzo máximo de 1.2415 MPa. El cual se encuentra ubicado en la unión de los soportes de la base principal de la estructura del medidor de velocidad.

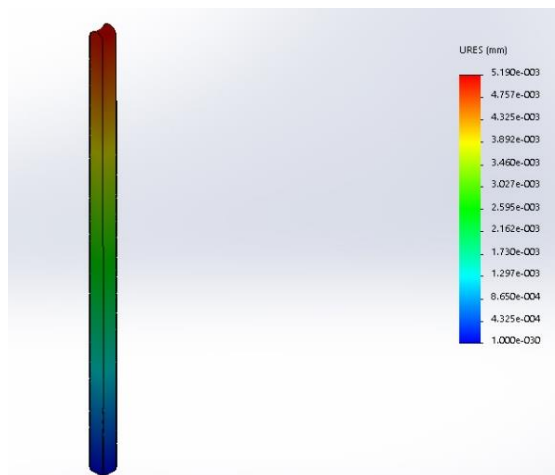


Figura 28. Desplazamiento resultante en el eje Y

En la figura 27 se muestra la cantidad de deformación que sufre la columna principal, por efecto de la compresión ejercida al momento que se aplica una carga; la sección de color rojo es donde se presenta la mayor deformación. La distancia máxima resultante en este elemento es de 0.005189 mm, debido que este valor no es muy alto podrá ser despreciable el cual no afectará el funcionamiento de la columna cuando está trabajando.

B. Diseño del perno de sujeción de la columna principal y soporte del panel solar

En el diseño del perno de sujeción, el cual sujeta al soporte del panel solar con la columna principal del medidor de velocidad, se ha considerado utilizar un perno SAE de grado 8 de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro y 3 pulgadas de largo, como se observa en la figura 28, se utiliza por tener buenas propiedades mecánicas, de fácil adquisición en el mercado local, costo es bajo.

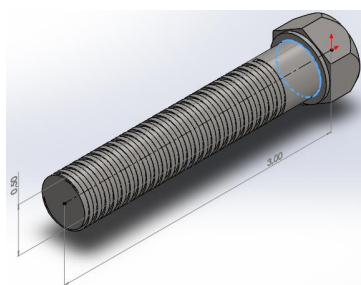


Figura 29. Dimensiones del Perno de sujeción

El perno de sujeción, debe soportar el peso de cada uno de los componentes como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Peso de componentes del medidor de velocidad

COMPONENTES	PESO (N)
Panel Solar	49
Soporte del Panel Solar	98
TOTAL	147

Por seguridad se trabaja con un factor de carga de 1.5

$$W_T = 1.5 * 147N$$

$$W_T = 220.5N$$

Donde:

$$W_T = \text{Peso Total}$$

a) Diseño de cargas

El peso total del soporte se calcula con la siguiente expresión:

$$F = W_{Total}$$

Donde:

$$W_{Total} = 220.5N$$

Entonces:

$$F = 220.5 N$$

Se procede a calcular el momento flector máximo para el soporte de la bandeja, mediante la sumatoria de momentos flectores y la sumatoria de fuerzas en el eje Y, mediante la ecuación 9 y ecuación 10.

$$\Sigma M_A = 0 \quad (9)$$

$$-\left(F1 * \frac{L}{2}\right) + (R2 * L) = 0$$

$$-(220.5 * 0.025) + (R2 * 0.050) = 0$$

$$R2 = 110.25 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (10)$$

$$R1 - F1 + R2 = 0$$

$$R1 = F1 - R2$$

$$R1 = 110.25 \text{ N}$$

El cálculo de las áreas siguientes, se utilizan para la obtención del momento flector máximo.

$$A1 = R1 * \frac{L}{2} = 110.5 \text{ N} * 0.025 = 2.762 \text{ Nm}$$

$$A2 = -(R2) * \frac{L}{2} = -110.5 \text{ N} * 0.025 = -2.765 \text{ Nm}$$

Para el análisis estático se considera al perno de sujeción como una viga con apoyos simples, como se detalla en el diagrama de cuerpo libre de la figura 29. A continuación en la figura 30 y 31 se muestran las fuerzas cortantes y momentos flectores, a la que está sometido el perno de sujeción por efecto de la carga.

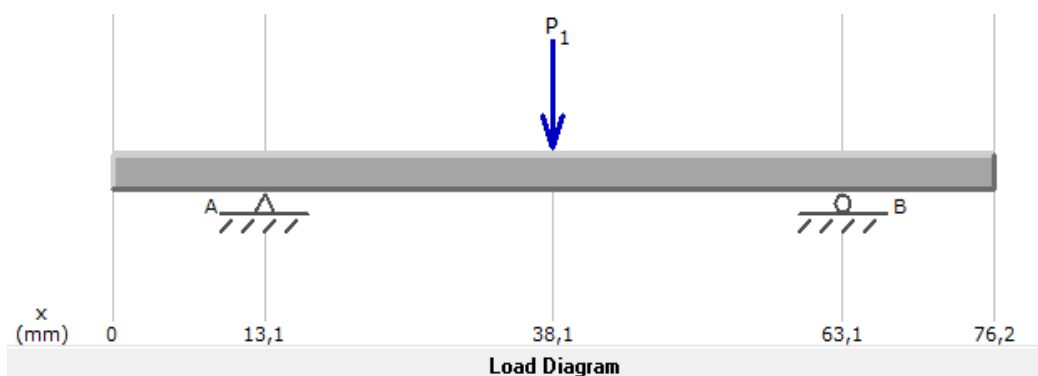


Figura 29. Diagrama del cuerpo libre del perno de sujeción

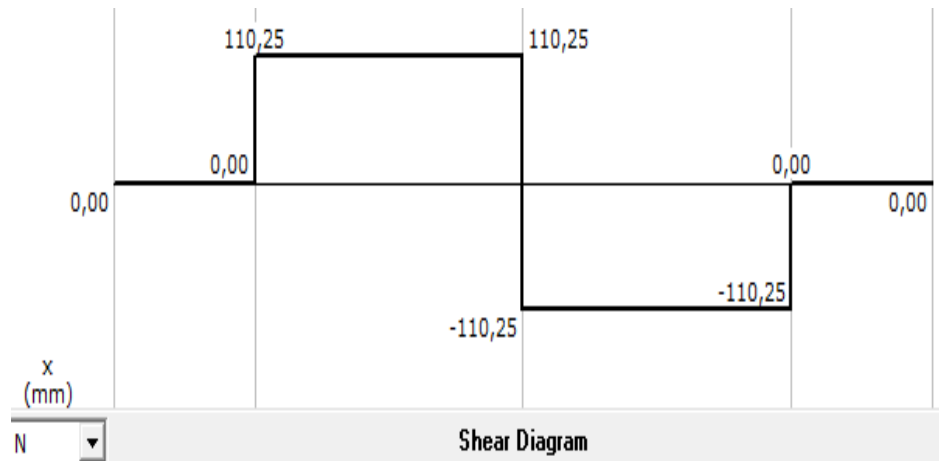


Figura 30. Diagrama de fuerza cortante del perno de sujeción

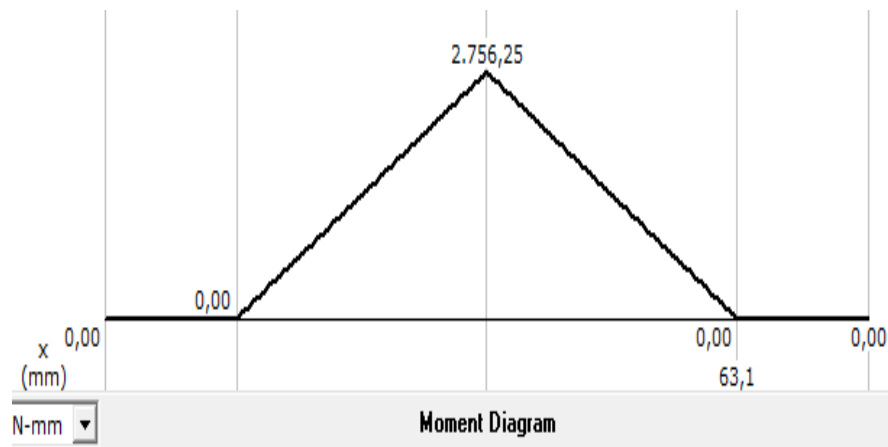


Figura 31. Diagrama de momentos flectores del perno de sujeción

Como se puede observar en la figura 31 el momento crítico es de $2.765 \cdot 10^3$ N*mm. Para el diseño se usa un perno de grado 8 de $S_y = 130$ Kpsi y se establece un factor de seguridad de 3 (Mott, 2006)

b) Cálculo de esfuerzo máximo

Datos

$M = 2.215$ Nm (Momento Flector Maximo)

$S_y = 130$ Kpsi = 896.318 MPa (Resistencia a la fluencia)

$F.S = 3$ (factor de seguridad)

Tabla 7

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE	Gama de tamaños exclusivos en pulgadas	Resistencia de prueba, mínima, Kpsi	Resistencia mínima a la tensión Kpsi	Resistencia mínima a la fluencia, Kpsi	Material
1	¼ - 1½	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono
2	¼ - ¾ 7/8 - 1 ½	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono
4	¼ - 1 ¼	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío
7	¼ - 1 ½	105	133	115	Acero de aleación de bajo carbono, T y R
8	¼ - 1 ½	120	150	130	Acero de aleación medio carbono T y R

Fuente: (Keith, 2008)

- El esfuerzo máximo se determina mediante la ecuación 9:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max}}{Z} \quad (9)$$

$$\sigma_{flex} = \frac{32(2.2125)}{\pi\phi^3}$$

- El diámetro se determina mediante la ecuación 10.

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma_{flex}} \quad (10)$$

$$3 = \frac{896.314 * 10^6}{\frac{22.536}{\phi^3}} \phi = 4.225 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro del perno que se utilizó para sujetar la base y la columna del medidor de velocidad tiene un diámetro de 12.7mm, así que puede soportar la carga de 177 N.

C. Perno de sujeción del soporte de la cámara y Raspberry pi

En el diseño del perno de sujeción del soporte de la cámara y la Raspberry pi, se ha considerado utilizar un perno SAE de grado 1 de ½ pulgada de diámetro y 3 pulgadas de largo, como se muestra en la figura 32.

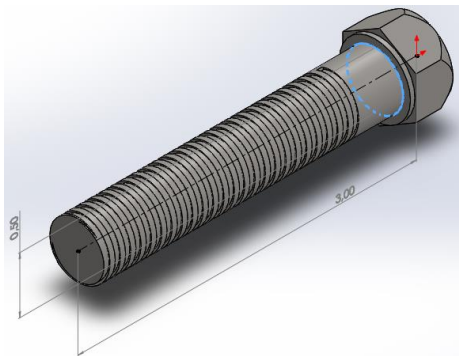


Figura 32. Dimensiones del perno de sujeción

El perno de sujeción, debe soportar el peso de cada uno de los componentes como se muestra en la tabla 6.

Tabla 8

Peso de los componentes

COMPONENTES	PESO (N)
Panel Solar	49
Soporte del Panel Solar	98
Columna principal	98
TOTAL	245

Por seguridad se trabaja con un factor de carga de 1.5, como se muestra en la ecuación 11

$$W_T = 1.5 * W \quad (11)$$

$$W_T = 1.5 * 245N$$

$$W_T = 367.5N$$

Donde:

$$W_T = \text{Peso Total}$$

a) Diseño de cargas

El peso total del soporte se calcula con la ecuación 12:

$$W_{Total} = 367.5 \text{ (12)}$$

Se procede a calcular el factor de carga (**n**) el cual debe ser mayor de 1 lo cual es excelente para nuestro diseño.

Donde

$$A_t = 0.1419 \text{ pulg}^2$$

Tabla 9

Diámetros y áreas unificadas del tornillo UNC y UNF

Designación de tamaño	Serie Gruesa UNC				Serie Fina UNF		
	Diámetro mayor nominal pulg	Rosca por pulgada N	Área de esfuerzo de tensión A_t pulg ²	Área del diámetro menor A_{r1} pulg ²	Rosca por pulgada N	Área de esfuerzo de tensión A_t pulg ²	Área del diámetro menor A_{r1} pulg ²
¼	0.2500	20	0.0318	0.0269	28	0.0364	0.0326
5/16	0.3125	18	0.0524	0.0454	24	0.0580	0.0524
3/8	0.3750	16	0.0775	0.0678	24	0.0878	0.0809
7/16	0.4375	14	0.1063	0.0933	20	0.1187	0.1090
½	0.500	13	0.1419	0.1257	20	0.1599	0.1486

Fuente: (Keith, 2008)

- Para el cálculo de la longitud de la porción roscada de agarre, se emplea la ecuación 13.

$$L_T = \begin{cases} 2d + \frac{1}{4} \text{ pulg} & L \leq 6 \text{ pulg} \\ 2d + \frac{1}{2} \text{ pulg} & L > 6 \text{ pulg} \end{cases}$$

$$L_T = 2d + \frac{1}{4}$$

$$L_T = 2(0.5) + \frac{1}{4}$$

$$L_T = 1.25 \text{ pulg}$$

- Para el calcular el área transversal del diámetro mayor del sujetador se aplica la ecuación. 14.

$$A_D = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (14)$$

$$A_D = \pi * \frac{0.5^2}{4}$$

$$A_D = 0.196 \text{ pulg}^2$$

- Para calcular la longitud de la porción no roscado del sujetador se aplica la ecuación 15:

$$l_d = L - L_T \quad (15)$$

$$l_d = 2.75 - 1.25$$

$$l_d = 1.5 \text{ pulg}$$

- Para calcular la rigidez efectiva del perno se aplica la ecuación 16:

$$K_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * L_T + A_t * l_d} \quad (16)$$

$$K_b = \frac{0.196 * 0.1419 * 30 * 10^6}{0.196 * 1.25 + 0.1419 * 1.5}$$

$$K_b = 1.822 * 10^6$$

- Después de realizar el cálculo de la rigidez efectiva (**K_b**), se procede a calcular la rigidez del material (**K_m**), se aplica la ecuación (17).

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \quad (17)$$

Para el cálculo del $K_1 = K_2$

Datos

$$d = 0.5 \text{ pulg}$$

$$D = 1.5d$$

$$D = 0.75 \text{ pulg}$$

$$E = 3 * 10^6$$

$$t = 0.196 \text{ pulg}$$

$$K_1 = \frac{0.5774 * \pi * 0.5 * 30 * 10^6}{\ln\left(\frac{1.155 * 0.19 + 0.75 - 0.5}{1.155 * 0.19 + 0.75 + 0.5}\right) \frac{(0.75 + 0.5)}{(0.75 - 0.5)}}$$

$$K_1 = 58.170 * 10^6$$

- Para el cálculo de la capa K_3 se toma en cuenta el espesor de la arandela (**t**), se lo determina mediante la tabla 8

$$t = 0.095$$

Tabla 10.

Dimensiones Básicas de las arandelas

Tamaño del sujetador	Tamaño de la arandela	Diámetro		Espesor
		DI	DE	
7/16N	0.438	0.469	0.922	0.065
7/16W	0.438	0.500	1.25	0.083
½N	0.500	0.531	1.062	0.095

Fuente: (Keith, 2008)

Datos

$$d = 0.5 \text{ pulg}$$

$$D = 1.5d$$

$$D = 0.75 \text{ pulg}$$

$$E = 3 * 10^6$$

$$t = 0.095 \text{ pulg}$$

$$K_3 = \frac{0.5774 * \pi * 0.5 * 30 * 10^6}{\ln\left(\frac{1.155 * 0.095 + 0.75 - 0.5}{1.155 * 0.095 + 0.75 + 0.5}\right) \frac{(0.75 + 0.5)}{(0.75 - 0.5)}}$$

$$K_3 = 97.308 * 10^6$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}$$

$$K_m = 22.393 * 10^6$$

- Calcular la fracción de la carga externa F_T , soportada por el perno (C), mediante la ecuación. 18

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad (18)$$

$$C = \frac{1.822 * 10^6}{1.822 * 10^6 + 22.393 * 10^6}$$

$$C = 0.075$$

Posteriormente se determina la resistencia de prueba mínima (**Sp**) como se muestra en la tabla 9

Sp= 120Kpsi (Resistencia de prueba mínima)

Tabla 11

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE	Gama de tamaños exclusivos en pulgadas	Resistencia de prueba, mínima, Kpsi	Resistencia mínima a la tensión kpsi	Resistencia mínima a la fluencia, Kpsi	Material
1	¼ - 1½	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono
2	¼ - ¾ 7/8 - 1 ½	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono
5	¼ - 1 1 1/8 - 1 ½	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono T y R
5,2	¼ - 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono T y R
8	¼ - 1 ½	120	150	130	Acero de aleación medio carbono T y R
8.2	¼ - 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono

Fuente: (Keith, 2008)

- Calcular la carga limite (**F_p**), mediante la ecuación 19

$$F_p = A_T * S_p \quad (19)$$

$$F_p = 0.1419 * 33 * 10^3$$

$$F_p = 4.82 * 10^3$$

- Calcular la fuerza de pre carga (**F_i**), mediante la ecuación 20

$$F_i = 0.90 * F_p \quad (20)$$

$$F_i = 4.214 * 10^3$$

- Calcular el factor de carga (**n**), mediante la ecuación 21

$$n = \frac{S_p * A_T - F_i}{C * P} \quad (21)$$

$$n = \frac{4.82 * 10^3 - 4.214 * 10^3}{0.075 * 10.726}$$

$$n = 753$$

Si $n > 1$ es excelente

Por lo tanto la selección del perno puede soportar la carga, debido a que se encuentra en los rangos permisibles de diseño.

2.2. Diseño eléctrico y electrónico

2.2.1. Recurso energético

El lugar determinado donde se va a realizar el estudio del recurso energético es en la ciudad de Latacunga, como se muestra en la figura 33, donde frecuentemente los vehículos exceden los límites de velocidad, el objetivo es instalar un medidor de velocidad que funcione con energía solar (INER, 2014)

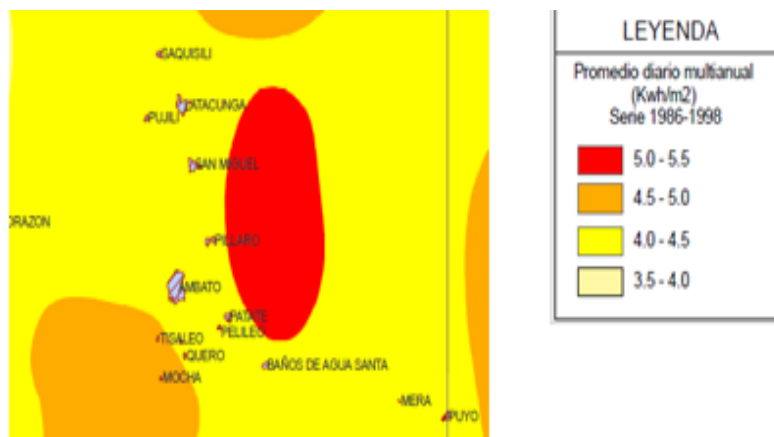


Figura 33. Mapa de irradiación solar en la Latacunga

Fuente: (CONELEC, 2011)

La tabla 12 indica el valor promedio de irradiación mensual, este puede ser un valor de sobre estimación en lugares de topografía abruptas, la duración es mayor por estar ubicado en el llano de la serranía del Ecuador, a la longitud y latitud y elevación correspondientes. En la tabla 12 se observa que el nivel de irradiación solar varía de un mínimo de 4.01 KWh/m², en el mes de abril, hasta un máximo de

4.53 KWh/m² en el mes de agosto, entre los meses de agosto hasta diciembre existe los niveles de irradiación más altos. (CONELEC, 2011)

Tabla 12

Niveles de irradiación Solar

TABLA DE IRRADIACIÓN MENSUAL KWH/M²	
MES	LATACUNGA
ENERO	4.47
FEBRERO	4.38
MARZO	4.21
ABRIL	4.01
MAYO	4.07
JUNIO	4.09
JULIO	4.32
AGOSTO	4.53
SEPTIEMBRE	4.44
OCTUBRE	4.51
NOVIEMBRE	4.44
DICIEMBRE	4.37
PROMEDIO	4.32

Fuente: (CONELEC, 2011)

Los datos de la irradiación de la ciudad de Latacunga se los encuentran en la página del Ministerio del Medio Ambiente, de esta manera se determina la curva característica de radiación de la zona que se muestra en la figura 34 correspondiente al mes de octubre, en el cual se observa que puede alcanzar una radiación máxima de 1100 W/m² al medio e integrando su curva característica de radiación se obtiene la energía total de 4.51 KWh/m² (CONELEC, 2011)

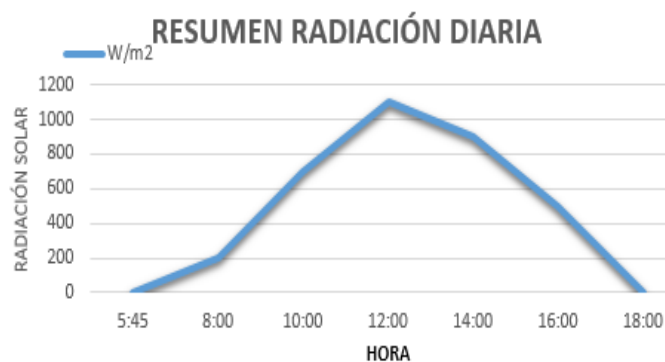


Figura 34. Curva de irradiación diaria en Latacunga en octubre

2.2.2. Determinación de la demanda energética

El sistema fotovoltaico adecuado para la generación eléctrica del medidor de velocidad, debe considerar los siguientes requerimientos: (Monica, 2013|)

- Matriz de leds
- Arduino
- Sistema

Se realiza el cálculo para determinar los diferentes componentes del sistema fotovoltaico, como se indica en la tabla 13.

Tabla 13

Datos de Equipo

ELEMENTOS	CANTIDAD	POTENCIA (W)	USO DIARIO (H/DÍA)	ENERGÍA (WH/DÍA)
Matriz de led	1	100	12	600
Sistema	1	20	18	108
Arduino	1	0.2	18	3.6
Carga Total Diaria				1563.6

2.2.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Inicialmente se debe determinar la carga total en corriente continua, como se indica en la ecuación 22:

$$Carga_{Total\ Diaria} = 1563.6 \frac{Wh}{día}$$

$$Factor\ de\ seguridad = 1.2.$$

$$Carga_{Total} = Carga_{Total\ Diaria} * Factor\ seguridad \quad (22)$$

$$Carga_{Total} = 1563.6 \frac{Wh}{día} * 1.2$$

$$Carga_{Total} = 1876.32 \frac{Wh}{día}$$

Tabla 14

Cálculo de la carga pico

ELEMENTOS	CANTIDAD	POTENCIA	TOTAL
Matriz de Led	1	100	100
Sistema	1	20	20
Arduino	1	0.2	0.2
Carga Total Pico			120.2

La carga de corriente diaria se calcula mediante la ecuación 23.

$$Carga\ Diaria\ de\ corriente = \frac{Carga\ Total}{(Tensión\ del\ sistema)} \quad (23)$$

$$Carga\ Diaria\ de\ corriente = \frac{1876.32}{12}$$

$$Carga\ Diaria\ de\ corriente = 156.32\ Ah$$

En el sistema eléctrico del medidor de velocidad, se tiene pérdidas, para ello se emplea un factor de corrección de 1.2, a esto se lo conoce como corriente corregida, y se calcula mediante la ecuación 24:

$$Corriente\ corregida = Carga\ diaria\ de\ corriente * 1.2 \quad (24)$$

$$\text{Corriente corregida} = 156.326 * 1.2$$

$$\text{Corriente corregida} = 187.63 \text{ Ah}$$

Con los datos de (CONELEC, 2011), se tiene que la radiación solar promedio para la ciudad de Latacunga es de 4000 a 4750 Wh/m²/día.

Con estos datos se procede a determinar la corriente pico del sistema eléctrico del medidor de velocidad, además se considera que el total de horas de irradiación solar en la región sierra es de 6 a 8 horas entonces:

Determinar la radiación solar total mediante la ecuación 25

$$\text{Radiación}_{\text{solar total}} = \text{Radiación solar} * \text{horas por día de irradiación} \quad (25)$$

$$\text{Radiación solar total} = 4.50 * 8$$

$$\text{Radiación solar total} = 36$$

Para el cálculo de la corriente pico del sistema eléctrico del medidor de velocidad, se realiza mediante la ecuación 26:

$$\text{Corriente pico del sistema} = \frac{\text{Carga de corriente corregida}}{\text{Radiación solar total}} \quad (26)$$

$$\text{Corriente pico del sistema} = \frac{187.63}{36}$$

$$\text{Corriente pico del sistema} = 5.21 \text{ A}$$

2.2.4. Elementos constitutivos



a. Cálculo y selección del módulo solar fotovoltaico

Para determinar el tamaño y número de módulos solar fotovoltaicos se toma en cuenta las pérdidas que se presentan en el módulo solar fotovoltaico, debido a que se fija una demanda energética y se utiliza un valor de irradiación fijo, lo cual no va ser el 100% confiable, por ello se debe tomar en cuenta varias características técnicas por ejemplo: la corriente máxima, voltaje máximo, el material con que está fabricado, como se muestra en la tabla 15.

Se toma el valor de la corriente pico 5.21 A, con este dato se hace uso del catálogo para fijar los valores máximos de la corriente que generan los diferentes paneles solares como podemos ver en la tabla 15.

Tabla 15

Modelos de paneles solares

Especificaciones	1	2	3
			
Tipo	5Wp 12V	25Wp 12V	50Wp 12V
Material	Poli- cristalino	Mono Cristalino	Poli- cristalino
Medidas (mm)	290*280*28	550*400*28	540*670*30
Voltaje Max	22V	22V	22V
Voltaje MPP	17.5V (+/- 0.5V)	17.5V (+/- 0.5V)	17.5V (+/- 0.5V)
Corriente Max	0.32A (+/-0.1A)	1,54A (+/-0.1A)	3.52A (+/-0.1A)

Elaborado: (Provierto, 2001)

Para el cálculo del número de módulos fotovoltaicos, se emplea la ecuación 27:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Corriente pico del sistema}}{\text{Corriente pico de los módulos}} \quad (27)$$

$$\text{Número de módulos} = \frac{5.21}{3.52}$$

$$\text{Número de módulos} = 1.48$$

Número de módulos = 1 módulo fotovoltaico.

b. Batería

En el mercado nacional e internacional hay una gran variedad de baterías, que se puede implementar en nuestro medidor de velocidad, por ello se debe considerar algunas características: el precio, los valores de corriente y voltaje. Para el medidor de velocidad se emplearán dos baterías de 12 voltios de 9 amperios (Luis, 2015). Para los cálculos de corriente y voltaje de la batería se toma en cuenta dos parámetros, para el dimensionamiento que son:

- Profundidad de descarga máxima estacional

$$PD_{max_e} = 70\% = 0.7$$

- Profundidad de descarga máxima diaria

$$PD_{max_p} = 70\% = 0.15$$

Se utilizan dos baterías de 12 voltios y 9Ah, para la alimentación eléctrica de la matriz de leds, Raspberry pi, arduino y pantalla de la Raspberry, se determina la capacidad de energía en la batería, mediante la ecuación 28

$$\textit{Capacidad de energía de la batería} = V * Ah \quad (28)$$

$$\textit{Capacidad de energía de la batería} = 12 * 18 = 216Wh$$

Los componentes del medidor de velocidad, tienen una potencia de 120.2W y una alimentación de 12 V, se calcula la corriente requerida, mediante la **ecuación (29)**.

$$\textit{Potencia} = 120.2W$$

$$\textit{Voltaje} = 12V$$

$$I = \frac{W}{V} \quad (29)$$

$$I = \frac{120.2W}{12V} = 10.016A$$

- Para el tiempo de descarga aproximado (**t**), se determina mediante la ecuación 30.

$$t = \frac{\textit{Capacidad nominal de carga}}{\textit{Corriente requerida del sistema}} \quad (30)$$

$$t = \frac{18Ah}{10.016A} = 1.79h * 60 \textit{ min} = 107.82 \textit{ min} = 108 \textit{ min}$$

Con este resultado, se llega a la conclusión de que el tiempo de descarga será aproximadamente de 108 minutos.

La cantidad de energía que necesitan los elementos electrónicos en una hora es de 120.2Wh. La cantidad de amperios hora (**Q**), que necesita para su correcto funcionamiento se determina mediante la ecuación (31):

$$Q = \frac{\textit{Corriente hora}}{\textit{Voltaje}} \quad (31)$$

$$Q = \frac{120.2Ah}{12V} = 10.01Ah$$

Uno de los criterios para la selección de baterías, es la profundidad de descarga, se debe considerar que la descarga de las baterías es alta en condiciones extremas, donde no se puede realizar ninguna carga, por ese motivo se utiliza un factor de profundidad de descarga de un 80%, para evitar una reducción brusca de la vida útil de la batería. Se realiza el cálculo de la cantidad de energía (**Q₁**), como se indica en la ecuación 32.

$$Q_1 = \frac{Q}{0.8} \quad (32)$$

$$Q_1 = \frac{10.01Ah}{0.8} = 12.5Ah$$

c. Cálculo y selección de la unidad de control de voltaje

Para la selección de la unidad de control de voltaje se determina la corriente máxima que puede suministrar el sistema fotovoltaico, la cual determina la corriente pico del sistema que se distribuye a partir de la corriente de los módulos fotovoltaicos a la batería y la corriente de la batería hasta elementos electrónicos

del medidor de velocidad. Ambas corrientes máximas determinan la capacidad de la unidad de control. La unidad de control de voltaje se decidió en función de la corriente pico del sistema:

$$\text{Corriente pico del sistema} = 5.21 \text{ A}$$

Para el medidor de velocidad se diseñó una unidad de control de voltaje con entradas de 12 voltios para el módulo fotovoltaico y la batería, las salidas de 5 voltios para la alimentación de la matriz de leds y del sistema de la Raspberry pi, como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Regulador de voltaje

2.2.5. Cálculo y selección del conductor

La selección del conductor a utilizar en la instalación de un sistema fotovoltaico es muy importante, debido a que se trabaja con voltaje continuo de bajo valor (12 voltios) y por consecuencia el número de amperios aumenta, haciendo notoria la pérdida en los conductores eléctricos por motivo de un mal dimensionamiento del conductor (Monica, 2013|).

La resistencia del conductor se determina mediante la ecuación 33:

$$R = \frac{L}{\sigma S} \quad (33)$$

Donde

R = resistencia en ohmios

L = longitud (m)

S = sección del conductor en (mm^2)

σ = conductibilidad

La resistencia del conductor se calcula, mediante la ecuación 34:

$$R = \frac{Va - Vb}{I} \quad (34)$$

Donde

$(Va - Vb)$ = Diferencia de potencial entre los puntos a y b

I = Intensidad de corriente

- Sustituyendo la ecuación 33 con la ecuación 34, resulta que:

$$\frac{Va - Vb}{I} = \frac{L}{\sigma S}$$

- El valor constante de la resistividad para el conductor del cobre es 0.01786

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0.01786} = 56$$

- Se calcula la sección del conductor (S):

$$S = \frac{2LI}{56(Va - Vb)}$$

La caída de tensión se determina para un porcentaje de la tensión nominal, el cual variará entre los equipos que se interconectan.

- Caída de tensión entre el panel y el regulador: 1.5%, lo recomendado 1%
- Caída de tensión entre el regulador y acumulador: 1%, lo recomendado 0.5%
- Caída de tensión entre regulador y cargas: máxima y recomendada 3%

Los elementos del sistema fotovoltaico se encuentran a la siguiente distancia:

- Longitud panel – regulador: 2.5 m
- Longitud regulador – acumulador: 0.5m
- Longitud regulador – carga: 1 m

La corriente que soporta el sistema fotovoltaico, es la corriente pico del sistema 5.21 A.

- Donde $(Va - Vb)$ se define como:

$$(Va - Vb) = 12V * 1.5\% = 0.18V$$

$$S = \frac{2 * 2.5 * 5.21}{56 * 0.18} = 2.58 \text{ mm}^2$$

- Se despeja el diámetro del conductor de la **EC. 35** y se obtiene:

$$S = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (35)$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 1.11}{\pi}} \quad \phi = 1.81 \text{ mm}$$

Realizado el cálculo del diámetro del conductor igual a 1.81 mm, se selecciona del conductor a partir de la tabla 16.

Tabla 16.

Equivalencias AWG a milímetros

AWG	DIÁMETRO (MM)	ÁREA (MM ²)
13	1.83	2.63
14	1.63	2.08
15	1.45	1.65
16	1.29	1.31
17	1.15	1.04
18	1.024	0.823

Fuente: (comunidadelectronico, 2009)

El diámetro del conductor, para las conexiones de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico con los elementos electrónicos es 14.

2.2.6. Instalación y consideraciones de los sistemas solares fotovoltaicos

A falta de una normativa nacional respecto a los sistemas fotovoltaicos, son evaluados con los procedimientos y especificación establecidos en el Reglamento Técnico “Especificaciones y procedimientos de evaluación de sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural”, RD N° 003-2007-EM-DGE. (ITER, 2008).

2.2.7. Instrucciones de seguridad

El personal que está encargado de la instalación del sistema fotovoltaico, debe estar provisto de los implementos de seguridad y equipos de protección personal básica, y también debe tener conocimiento de las normas básicas de seguridad el cual establece el Reglamento de Seguridad y salud en el trabajo (Monica, 2013|)

2.3. Implementación

2.3.1. Algoritmo de reconocimiento para vehículos

El desarrollo de líneas de código para la detección de automóviles obliga a crear este tipo de programas para poder aplicar a la seguridad de usuarios, control de tráfico, zonas de prohibición de automóviles, semaforización automática etc.

Basado en tiempo real, la detección del objeto se realiza mediante una imagen tomada por la cámara al detectar el vehículo, donde las coordenadas tomadas son las que intervienen en la morfología del sitio, de igual manera variaría el ángulo de posición de la cámara elegida para la implementación, en nuestro caso, la carretera tomará una forma poligonal de acuerdo a la parametrización trazada mediante coordenadas, la misma que es llamada zona de visión en donde continuamente se realiza una actualización de coordenadas para una mejor detección y mostrar la velocidad de auto.

En el desarrollo de la programación, se utilizaron librerías de código abierto de OpenCV y Phyton que están basadas en lenguaje de programación de C++, todos orientados al tratamiento de imágenes con visión artificial.

2.3.2. Implementación del programa y utilización de Raspberry PI.

La Utilización de la plataforma Ubuntu en la PC es necesaria para realizar las programaciones previas, siendo OpenCV y Phyton las herramientas principales ya que incluyen una biblioteca de código abierto para una programación rápida.

Existen varios tipos de algoritmos de programación para visión artificial. Para el desarrollo del algoritmo de programación del medidor de velocidad, se utilizó el software libre mencionado anteriormente, el cual permite utilizar las librerías de manera libre para realizar actividades académicas o comerciales, existen versiones para Windows, Linux, Mac OSX, iOS y Android, e interfaces para C, C++, Java y Python.

Para realizar la implementación en la tarjeta Raspberry pi es necesario tener instalado en computador:

- Ubuntu.
- Open CV
- Python.

Python sirve para la comunicación que es utilizado como lenguaje estándar para Raspberry PI y librerías de comunicación de visión artificial incluidas en el lenguaje a continuación su logo en la fig. 36



Figura 36. Logotipo de software Python

Fuente: (Python, 2001)

2.3.3. Instalación y configuración de Raspbian

Para el funcionamiento de la tarjeta Raspberry Pi es necesario incluir su sistema operativo, adicional a esto necesita de componentes tales como:

- Tarjeta SD 8 GB
- Cable HMI
- Pantalla LCD para tarjetas Raspberry(Monitor)
- Ratón
- Cable de Red

- Cargador de celular 700 mA ó 5V DC.

Al igual que cualquier ordenador, primeramente se debe elegir el sistema operativo a utilizar, en nuestro caso es Raspbian, la cual es una distribución de Linux basada en debían dando nacimiento a este sistema operativo.



Figura 37. Logo Raspbian

Fuente (Raspbian, 2013)

a) Instalación de Raspbian mediante el archivo de imagen.

Para realizar la instalación de Raspbian, inicialmente se debe descargar la imagen ISO de la página oficial de Raspberry pi, posteriormente la copiamos en la tarjeta SD. Para realizar desde Ubuntu se ejecutar el comando, que copiará a la tarjeta SD.

```
Sudo dd if <=dirección-de-la-imagen><nombre-de-la-
imagen>of=/dev/dispositivo-sd>
```

b) Ejecutar la imagen

Reconocemos la dirección de la imagen y en que dispositivo se encuentra la tarjeta SD. Para ello se ejecuta <blkid> que es un terminal que montará los dispositivos conectados para saber cuál es la tarjeta SD.

El comando que se utilizar es el siguiente:

```
sudo dd if=/home/user/2016-05-05-wheezy-raspbian.zip of=/dev/sdc
```

De esta forma, se espera que se copie la imagen y en un momento se presenta Raspbian en la tarjeta y se mostrará la lectura de archivos.

c) Inserción de la tarjeta micro SD.

Después de la inserción de la micro SD se conectan todos los elementos y se seleccionan la opciones del menú de instalación, de esta manera al siguiente reinicio ya se dispone de la instalación de Raspbian en la tarjeta y nos montará la pantalla para configurar el inicio.

Con el reinicio se mostrará ya Raspbian instalado en Raspberry pi. Con el comando rpi-config de Raspbian se configura de manera rápida las opciones principales y aparecerá el inicio como se muestra en la imagen siguiente de la figura 38.

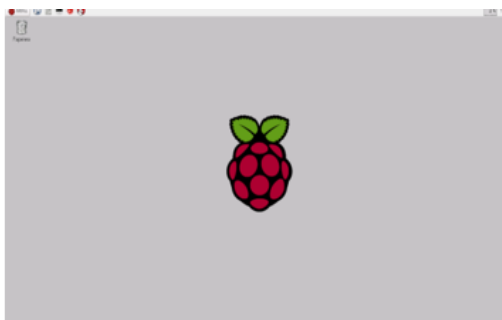


Figura 38. Inicio Raspbian instalado.

2.3.4. Implantación del programa de la tarjeta Arduino.

Para la realización del programa previamente se debe tener instalado el software Arduino, su respectivo logo se muestra en la siguiente figura 39.



Figura 39. Logotipo software Arduino.

A continuación se muestra en la imagen la inicialización de la pantalla principal de software Arduino.



Figura 40. Inicialización software Arduino

a. Inicialización de variables

Como primer paso se inicializan las variables y librerías a utilizar, para realizar el programa de letrero led. La librería DMD de Arduino es especial para este tipo de letreros led, a continuación el inicio de la programación en la figura 41.

 A screenshot of the Arduino IDE editor showing the start of a program named 'LETRERO3'. The code includes several headers and variable declarations:


```

#include <SPI.h>           //SPI.h m
#include <DMD.h>          //
#include <TimerOne.h>     //
//#include "SystemFont5x7.h"
//#include "Arial_black_16.h"
#include "letra.h"

//const int buttonPin = A0;
//int buttonState = 0;
char a0=48;
char a1=48;
char a2=48;
long b=0;
long valSer = 0;
String inString = "";
  
```

Figura 41. Inicio programa letrero led

b. Configuración serial

Configuramos los parámetros de comunicación serial con respecto a Raspberry Pi La misma que es unidireccional a una velocidad de 9600 baudios. Esta configuración permitió el envío de datos entre las tarjetas Raspberry pi con Arduino, a continuación la imagen capturada del programa en la figura 42.

```

void setup(void)
{
  b = 0;
  //pinMode(buttonPin, INPUT);
  //digitalWrite(buttonPin, HIGH);
  Serial.begin(9600);
}

```

Figura 42. Comunicación serial.

Los datos numéricos son enviados por comunicación serial y almacenados datos por dato en una variable tipo char. Luego de cual son añadidos a un string para su visualización en la matriz de leds como se muestra en la figura 43.



```

void loop(void)
{
  while (Serial.available() > 0) {
    int inChar = Serial.read();
    if (isdigit(inChar)) {
      inString += (char)inChar;
    }
    if(inChar == '\n') {
      //Serial.println("asd");
      valSer = inString.toInt();
      if((valSer>0)&&(valSer<1000)){
        if(valSer>b){
          b = valSer;
          modificarV();
          Tmillis=millis();
        }
      }
      inString = "";
    }
  }
}

```

Figura 43. Programa Void Loop.

c. Programa principal

Diagrama de flujo Raspberry Pi

El flujo diagrama de la figura 44, presenta el proceso de algoritmo para la detección, posteriormente se describe cada sección del mismo.

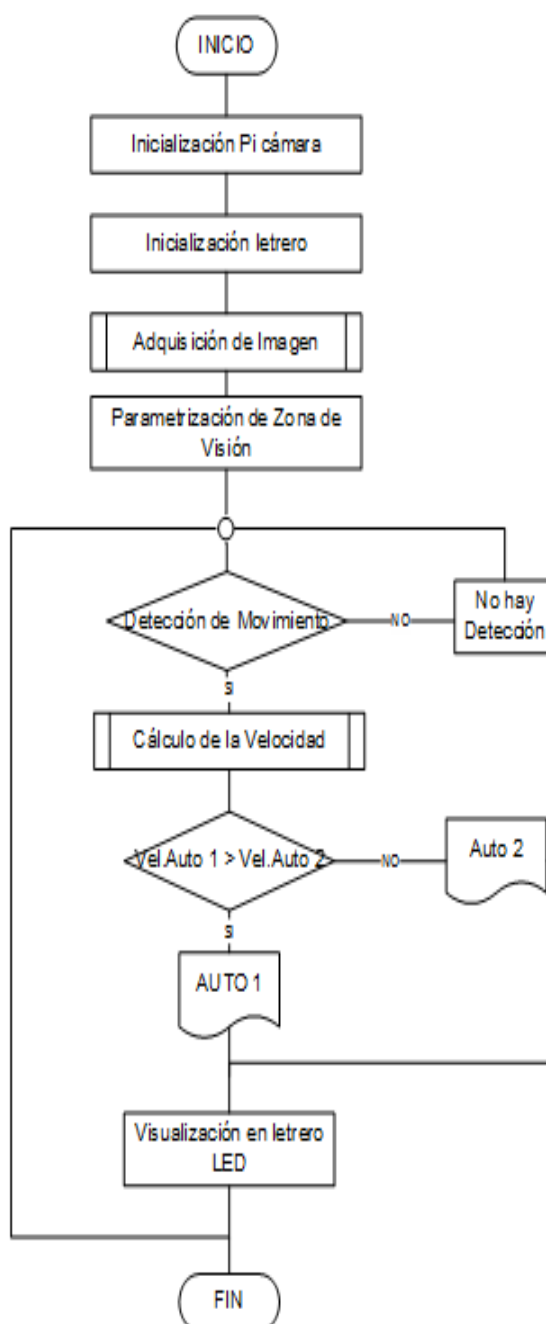


Figura 44. Diagrama flujo de algoritmo de detección.

A. Inicialización de pi cámara.

La inicialización de la pi cámara corresponde a verificar que exista la correcta comunicación entre la tarjeta Raspberry pi y la pi cámara. La pi cámara es el dispositivo para la adquisición de video para el procesamiento, se muestra en la figura 45.

```

global Mpx,y8,y9,coor1,pas1,coor2,pas2,image,FA1,FA2, ser
# inicializacion pi camara
camera = PiCamera()
camera.resolution = (320, 240)
#camera.resolution = (640, 480)
camera.framerate = 32
rawCapture = PiRGBArray(camera, size=(320, 240))
#rawCapture = PiRGBArray(camera, size=(640, 480))

```

Figura 45. Programación inicialización pi cámara

B. Inicialización de letrero led.

Al encendido del sistema la tarjeta Arduino enviará el dato cero para verificación de la comunicación entre la matriz de led y Arduino.

C. Adquisición de imagen.

La adquisición de las imágenes en video de entrada se realiza mediante la cámara propia de la tarjeta Raspberry pi la cual toma la secuencia de imágenes y procede al respectivo análisis mediante el algoritmo, se muestra en la figura 46.

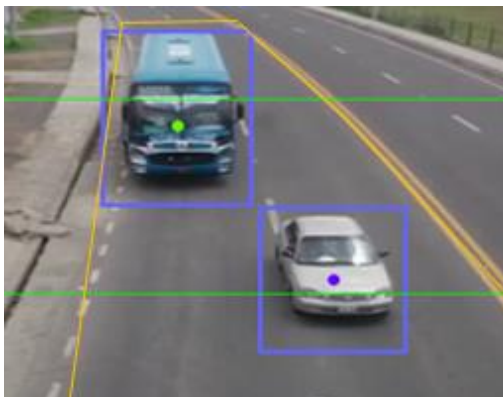


Figura 46. Secuencia de imágenes capturas mediante la pi cámara

D. Parametrización de zona de visión.

En el algoritmo se realizó la parametrización para analizar una sección específica lo que se muestra en la figura 47.

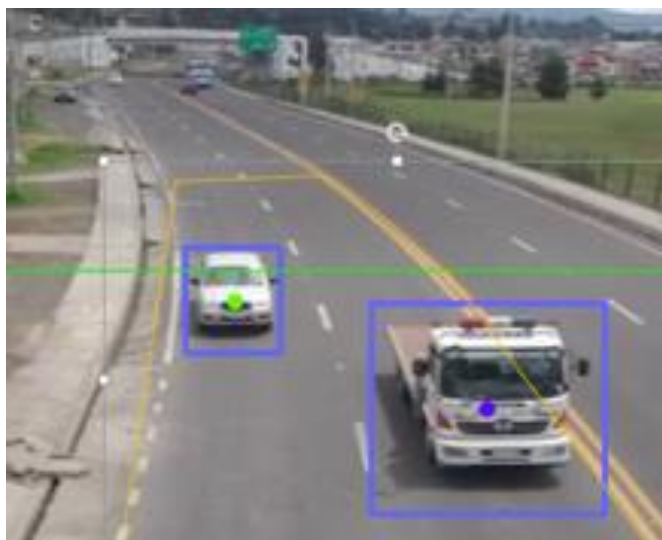


Figura 47. La línea amarilla muestra la parametrización

E. Detección de movimiento.

En la detección de movimiento se observa en la imagen a) el escalamiento en escala de grises para facilitar la detección de vehículos, en la imagen b) se observa el cuadro azul que determina el vehículo cuya velocidad será calculada, como se indica en la figura 48.

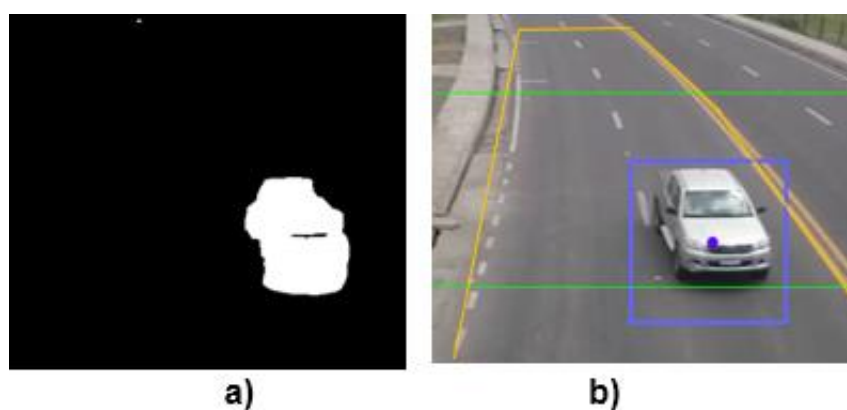


Figura 48. Detección de Autos

F. Cálculo de velocidad.

Para determinar la velocidad se utilizó un vector de coordenadas con el cual se obtuvo la distancia y la variación del tiempo. Con los datos mencionados, se obtiene la velocidad instantánea en pixeles sobre segundo, cálculo al que se realiza un

escalamiento para obtenerla en kilómetros por hora, la figura 49 muestra el programa de los cálculos realizados.

```
V=round((pow(pow((coor1[0][0]-coor1[eU][0]),2)+pow((coor1[0][1]-
coor1[eU][1]),2),0.5))/(coor1[eU][2]-coor1[0][2]),2)
V = round(V*Mpx*3.6,2)
ser.write(str(int(V))+'\n')
print "V1: " + str(int(V)) + " Km/h"
```

Figura 49. Código Velocidad

Si la velocidad del auto uno es mayor que la velocidad del auto dos se muestra la velocidad de auto uno caso contrario se muestra la velocidad del auto dos.

G. Visualización de números

Para visualizar números en la matriz de leds se implementó un algoritmo en Arduino para el cual se utilizó la librería SPI (Serial Peripheral Interface) que es un protocolo de datos en serie síncrono, propio del Arduino para la comunicación con dispositivos periféricos, permitiendo una mayor velocidad en distancias cortas.

La librería DMD.h (Dot Matriz Display) es una biblioteca para el manejo de matrices de Leds de un diseño de 32 x 16, la cual se obtuvo de la web (<https://github.com/freetronics/DMD>), la misma permite controlar directamente las matrices de leds con comandos pre-programados. En la figura 50 se muestran las librerías utilizadas.

```
LETRERO3$
#include <SPI.h> //SPI.h :
#include <DMD.h> //
#include <TimerOne.h> //
//#include "SystemFont5x7.h"
//#include "Arial_black_16.h"
#include "letra.h"
```

Figura 50. Librerías para manejo de matriz led

Las siguientes líneas de código mostradas en la figura 51, se indican cada una de las posiciones donde los números se visualizan en la matriz de leds.

```
void modificarV() {
  a0 = int((b%10)+48);
  a1 = int(((b%100)/10)+48);
  a2 = int(((b%1000)/100)+48);
```

Figura 51. Especificación de orden en la matriz

Se van presentando los números de derecha a izquierda en las posiciones especificadas, donde a0 corresponde al primer dígito, a1 al segundo y a2 al tercero, como se muestra en la figura 52.



Figura 52. Posiciones de dígitos numéricos

Utilizamos los comandos de la librería `dmd.drawchar`. Este comando dibuja el carácter en la matriz de leds, para mostrar los números utilizamos las siguientes condiciones `if` en la programación:

- Donde `b` es la variable en la que almacena el dato recibido por la comunicación serial.
- Si `b` es mayor que diez se imprime el dato en la posición `a0` como se muestra en las siguientes líneas de código.

```
if(b<10)
{
  dmd.clearScreen( true ); //true is normal (all pixels off), false is negative (all pixels on)
  dmd.drawChar(23,1, a0, GRAPHICS_NORMAL );
}
```

Figura 53. Comparaciones 1.

- Si `b` mayor que nueve y menor que cien, en este caso se obtiene dos dígitos del 0 al 99 donde se imprime un dígito en cada posición `a0` y `a1`, como se muestra en la figura 46.

```

if(b>9&b<100)
{
  dmd.clearScreen( true ); //true is normal (all pixels off), false is negative (all pixels on)
  dmd.drawChar(11,1, a1, GRAPHICS_NORMAL );
  dmd.drawChar(23,1, a0, GRAPHICS_NORMAL );
}

```

Figura 54. Comparaciones 2.

- Si b mayor que 99 y menor a 1000, obtiene tres dígitos de 100 a 999 donde se imprimirán en las posiciones a0, a1, a2 como se indica en la figura 47

```

if(b>99&b<1000)
{
  dmd.clearScreen( true ); //true is normal (all pixels off), false is negative (all pixels on)
  dmd.drawChar( 1,1, a2, GRAPHICS_NORMAL );
  dmd.drawChar(11,1, a1, GRAPHICS_NORMAL );
  dmd.drawChar(23,1, a0, GRAPHICS_NORMAL );
}

```

Figura 55. Comparaciones 3.

Cada una de las comparaciones realizadas sirve para mostrar cada uno de los dígitos en el letrero led, posicionándose en su respectiva posición. En la figura 47 se muestra el encendido del letrero en la imagen.

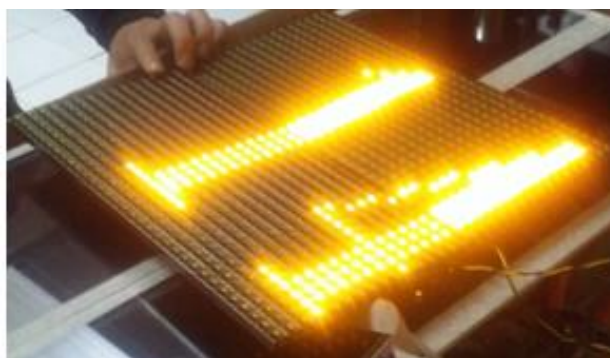


Figura 56. Funcionamiento de letrero led.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS

Las pruebas de campo que se realizaron fueron en base a los siguientes tres aspectos:

- Análisis de detección.
- Análisis de tiempos de procesado en detección.
- Análisis de rendimiento de tarjeta y software.

Los datos se obtuvieron del sistema desarrollado y descrito en el anterior capítulo.

3.1. Pruebas de funcionamiento del sistema de detección.

En el presente proyecto se ejecutaron pruebas experimentales de detección y rendimiento, donde la capacidad de rendimiento está ligada directamente al procesamiento de la tarjeta Raspberry Pi y su capacidad de tiempo de respuesta con respecto al algoritmo de detección de velocidad de vehículos.

Rendimiento de detección de vehículos. Como parte de las pruebas experimentales se realizó la detección de vehículos por imágenes en video utilizando un programa desarrollado en Open CV y la plataforma de Raspbian se observa de la figura 48 el radar presenta una velocidad de 34 km/h, mientras que en el tablero del automóvil se presenta una velocidad de 37km/h. los errores que presentan las mediciones muestran una diferencia en velocidades marcando un margen de error que es aceptable para el presente proyecto, todos los valores medidos sufrirán errores debido a la limitada precisión de los aparatos, cabe mencionar que otros sistemas comerciales tienen un margen de error similar.

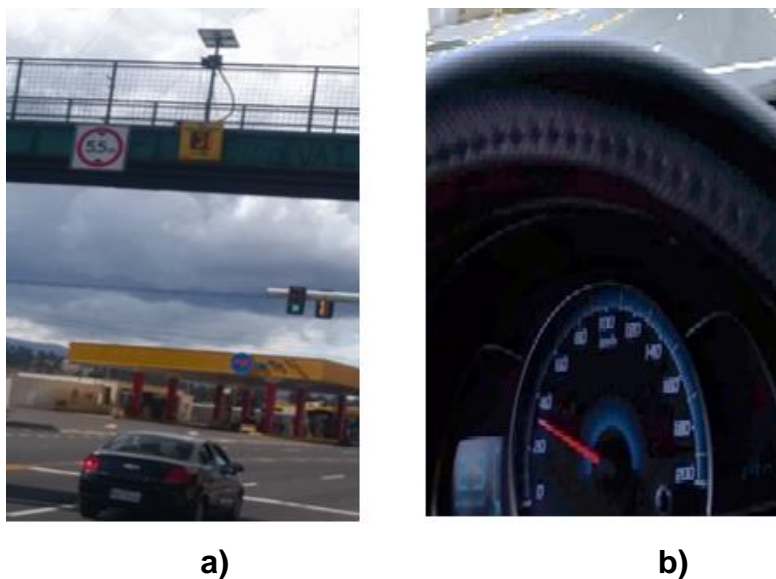


Figura 57 a) Detección del vehículo a 34km b) Marcación de velocímetro de auto 37km

Rendimiento de detección y procesado. Se realizaron varios ensayos del algoritmo implementado para verificar la funcionalidad y confiabilidad del mismo, además se observó que el tiempo de detección varía cuando existe mayor cantidad de vehículos en la zona de parametrización. Se observa en la figura 49 a) el registro de todos los vehículos en pleno funcionamiento del sistema y la imagen registrada b) no muestra la detección de cada uno de los vehículos que son detectados los cuales se marcan en un recuadro azul.

```

markino@markino-Dell-System-Inspiron-15-5515:~$
AUTO 1
AUTO 2
VELOCIDAD AUTO 1: 0.0 Km/h
AUTO 1
VELOCIDAD AUTO 1: 34.53 Km/h
VELOCIDAD AUTO 2: 33.13 Km/h
AUTO 1
AUTO 2
VELOCIDAD AUTO 1: 0.0 Km/h
VELOCIDAD AUTO 2: 0.0 Km/h
AUTO 1
VELOCIDAD AUTO 1: 55.15 Km/h
AUTO 1
AUTO 2
VELOCIDAD AUTO 1: 49.25 Km/h
VELOCIDAD AUTO 2: 21.8 Km/h
AUTO 1
VELOCIDAD AUTO 1: 30.71 Km/h
AUTO 1
VELOCIDAD AUTO 1: 37.85 Km/h
AUTO 1
AUTO 2
VELOCIDAD AUTO 1: 43.44 Km/h

```

Figura 58. a) Vehículos Detectados

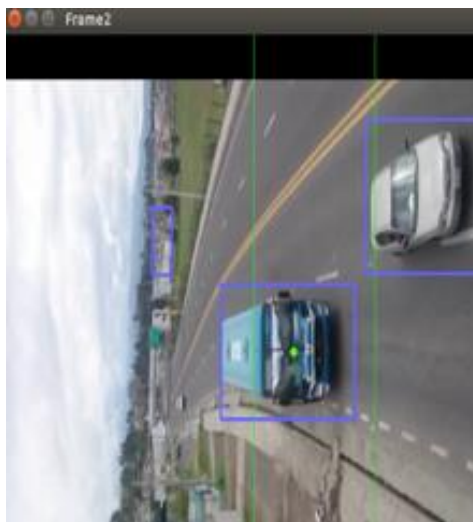


Figura 59. b) Detección de vehículos en zona de parametrización

3.1.1. Resultados de detección

Para la detección de velocidad nos basaremos en la figura 50, se observa la zona de detección de velocidad la cual se presenta con líneas verdes y la zona de parametrización en líneas amarillas.



Figura 60. Zona parametrizada

Es muy importante considerar la ubicación correcta de los equipos principalmente la cámara para nuestro caso ya que la calibración adecuada permite la captura de imágenes.

Se realizaron varias calibraciones y después de algunas pruebas se consideró ubicar la cámara de forma inclinada hacia la carretera con un ángulo aproximado de 30 grados con lo cual se mejoró notablemente la detección de vehículos. Se observa en la figura 51 el ángulo de posición de la cámara que se debería tomar en cuenta.



Figura 61. Inclinación de cámara

A continuación se presentan los resultados obtenidos de diferentes pruebas realizadas en el transcurso del día con luminosidad variada durante el día hasta llegar a la noche con ausencia de sol.

Los errores en las mediciones se deben a la calibración de instrumentos y a la luminosidad del ambiente en nuestro caso. Se debe recalcar que el error de calibrado es frecuente y está ligado a cualquier instrumento de medición para ello se tendría configurar correctamente, no tomando en cuenta esto las medidas tendrán un error de calibración.

Para el cálculo de error absoluto realizamos la diferencia del valor medido (V_e) en el radar y el valor exacto (V_a) del auto, obtenido el valor promedio del error general en las mediciones.

Tabla17

Error de detección por luminosidad a diferentes horas.

DETECCIÓN DURANTE EL DÍA (8:00 am-18:00pm)		
VELOCIDAD (km/h)		
RADAR (Ve)	AUTO (Va)	$Ea= Ve - Va $
33	37	4
39	44	5
47	55	8
34	29	5
41	39	2
43	48	5
38	44	6
40	44	4
54	60	6
64	58	6
34	38	4
42	45	3
40	47	7
58	64	6
55	45	10
42	39	3
71	64	7
68	75	7
28	33	5
59	55	4
Promedio Error Absoluto (Ea)		5,2857 km/h

Tabla 18

Error de detección por luminosidad baja.

DETECCIÓN BAJO NIVELES DE INTENSIDAD LUMINOSA		
(6:00 am-8:00pm)		
VELOCIDAD km/h		
RADAR (Ve)	AUTO (Va)	Ea= Ve - Va
31	20	11
38	25	13
55	39	16
36	46	10
41	39	2
43	49	6
32	48	16
55	82	27
26	43	17
64	21	43
66	34	32
42	37	5
39	23	16
46	35	11
67	26	41
42	39	3
32	64	32
90	30	60
42	28	14
Promedio Error Absoluto (Ea)		19,35 km/h

Se puede observar en la tabla 17, que los mejores resultados se obtienen con nivel de luminosidad alta durante el día siendo para este caso recomendado trabajar con el sistema de detección de velocidad vehicular.

El rango de error promedio es de 5.285 km/h en comparación a sistemas comerciales que tienen un margen de error máximo de 5km/h para velocidades de hasta 100km/h, tomado de: (El Directorio de la comisión nacional de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, Resolución N: 146-DIR-2010-CNTTTSV), el sistema tiene un margen de error dentro de los parámetros aceptables.

En baja luminosidad, se especifica un error absoluto de 19km/h de falla en detección ya que a partir de la caída del sol la luminosidad es escasa en el sector y el sistema falla es decir la detección varía al porcentaje mencionado. En la tabla 18 se observa el porcentaje de error debido a falta de luminosidad.

En la figura 52 se muestra la comparación de forma clara las gráficas de error, cabe mencionar que se garantiza una mejor detección y bajo error cuando existe alta luminosidad en el ambiente.

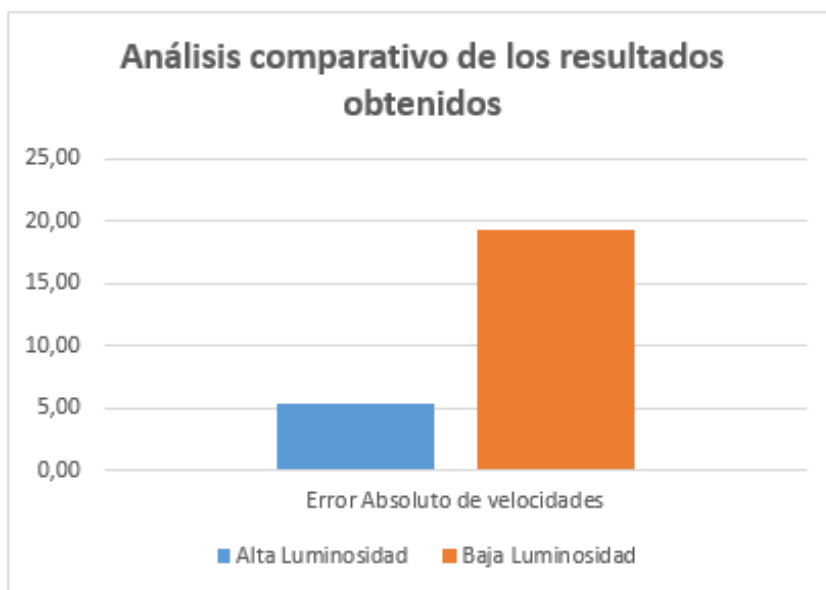


Figura 62. Comparación de resultados con baja y alta luminosidad.

La luminosidad es necesaria para tener una excelente detección de vehículos, y obtener un margen de error dentro de los parámetros establecidos en radares.

3.2. Pruebas y resultados de la operación de los sistemas electrónicos.

Las pruebas experimentales en baterías y panel solar en su duración son las siguientes



Figura 63. a) Batería kenda 12V 9Ah inicial b) Batería extra BnK 12V 7.2Ah se implementó para aumentar su duración del sistema

Baterías.

En la figura 53 a) y b) se muestran las baterías utilizadas en el proyecto, cabe mencionar que su conexión se la realizó en paralelo para aumentar el tiempo de funcionamiento del sistema.

La utilización de una sola batería de 12V 7.2Ah, permitió determinar que no era suficiente la energía de carga fallo continuamente en el encendido de la tarjeta Raspberry y en el encendido de la matriz de leds. Se muestra en la figura 54 la falta de corriente para el funcionamiento del sistema

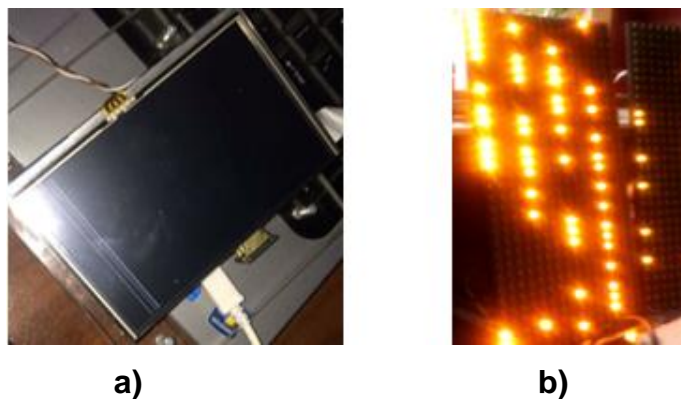


Figura 64. Fallo de encendido a) Raspberry, b) Matriz de leds

Las baterías proporcionan energía suficiente al sistema, su conexión en paralelo proporcionó 16 Amperios lo cual permitió trabajar de forma continua 8 horas sin aporte del panel solar como se muestra en la figura 55 a) el encendido e inicialización de la tarjeta Raspberry.



Figura 65. a) Encendido de Raspberry Pi



Figura 66. b) Encendido Matriz de leds.

En la figura 55 b) se indica el encendido de la matriz de leds, la misma que va de uno a tres dígitos, se muestra en tabla 19 el consumo en amperios de los mismos.

Tabla 19

Consumo de amperios hora en las baterías del sistema de acuerdo al encendido de dígitos.

CONSUMO DE AMPERIOS BATERÍAS	
Número de dígitos mostrados en pantalla led	Consumo en A
1 dígito	1.5 Amperios
2 dígitos	2.5 Amperios
3 dígitos	3.5 Amperios

Panel solar.

El panel solar se ubicó en la parte superior de la viga vertical que forma la estructura del proyecto como muestra en la figura 56 el cual abastece de energía al sistema el cual mantiene una posición horizontal perpendicular al sol. El panel aporta con 3 amperios al sistema en condiciones ideales y carga en forma continua las baterías mientras esté en uso.



Figura 67: Panel montado en estructura

En la tabla 20 se indica el aporte del panel solar al sistema de acuerdo a las horas del día, el cual su funcionamiento es más óptimo como ya se había mencionado.

Tabla 20**Abastecimiento de panel solar al sistema.**

AMPERIOS DEL PANEL SOLAR	
Abastecimiento en condiciones ideales	Consumo en Amperes
11h00 am a 13h00pm	3 Amperios
8h00am a 11h00am	1 Amperios
14h00pm a 18h00pm	1 Amperios
19h00pm a 20h00pm	0,49 Amperios

3.3. Hipótesis planteada y cumplimiento de la misma

El presente proyecto de investigación planteó como hipótesis “Es posible diseñar y construir un sistema de medición de velocidad para vehículos utilizando visión artificial implementado tecnología Raspberry Pi” .Con el uso de plataformas de software libre, en nuestro caso Python y Open CV, se logró crear un algoritmo de detección viable; de igual manera se realizaron varias pruebas de campo con el mencionado sistema de medición de velocidad, la cual demostró que el proyecto es factible.

Los aspectos principales que establecen el cumplimiento de la hipótesis son los siguientes:

- La tarjeta Raspberry PI cuenta con su propio sistema operativo Raspbian el cual está basado en Linux y es una plataforma de software libre, también cabe recalcar que la tarjeta es muy económica y de fácil adquisición.
- Los errores de detección de velocidad vehicular oscila 5.29 km/h que se encuentran dentro del margen que es avalado por instituciones del país como la agencia nacional de tránsito, tomando en cuenta que la detección debe hacerse con luminosidad media y alta.

- La baja luminosidad no permite una buena detección se recalca que en primeras horas de la noche existe inconvenientes dando como resultado un error de 19.35 km/h en la detección con lo cual no es aceptado bajo normas para cumplimiento de radares de velocidad comerciales.
- Se integró fácilmente la Pi cámara al proyecto debido a su fácil configuración con la tarjeta Raspberry pi la misma brinda una de velocidad de transferencia ideal para que trabaje el sistema de la manera más óptima.
- Las características técnicas de la Raspberry Pi permiten trabajar en el procesamiento de imágenes bajo la plataforma de Python para el desarrollo del sistema de detección de velocidad vehicular.
- OpenCV cuenta con librerías especializadas que ayudan a la implementación del algoritmo de detección de velocidad vehicular.
- Existe compatibilidad entre Python y OpenCV, facilitando el diseño del algoritmo de detección vehicular.
- Ya que el sistema Raspbian trabaja bajo Python existe una compatibilidad del 100% entre los software que permite diseñar el algoritmo con mayor factibilidad y obtener el máximo rendimiento de la tarjeta.
- Las pruebas de detección de velocidad vehicular arrojaron resultados positivos teniendo en cuenta que el sistema es de bajo costo en comparación a uno comercial.

3.3.1. Análisis de costos

La construcción del presente proyecto exigió componentes que fueron accesibles en su compra, a continuación se detalla el costo de los componentes electrónicos como materiales mecánicos y la mano de obra, tanto de construcción y su ensamblaje.

Tabla 21

Estudio económico.

Descripción	Cant.	Costo Unitario	Costo total
Tarjeta Raspberry PI 2	1	80	80
Tarjeta SD 8GB	1	8	8
Pi cámara	1	75	75
Tarjeta Arduino mega R1	1	60	60
Matrices de led + modulo	2	100	200
Pantalla de Raspberry	1	50	50
Teclado	1	15	15
Mouse	1	5	5
Baterías	2	15	30
Cargador de baterías	1	40	40
Panel solar	1	300	300
Tarjeta electrónica	1	80	80
Varios	1	50	50
Perfil estructural cuadrado 50X50X3 mm	1	15	15
Lamina de acero 1X2.44 m	1	40	40
Pinturas	2	10	10
Tornillos	25	0.15	3.75
tiempo de ingeniería	500	5	2500
TOTAL			3.571.75

El costo real del proyecto asciende a 3.571.75 dólares, siendo relativamente bajo en comparación a otros sistemas como sistemtraffic o wellscm para los cuales el costo es elevado debido a la importación de equipos.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El sistema de detección de velocidad vehicular está basado en un algoritmo realizado con OpenCV bajo la plataforma Phyton el mismo permite un desarrollo eficiente, sencillo y de bajo costo en comparación de otros lenguajes de programación.
- El cambio constante en la luminosidad da lugar a que se produzcan detecciones y mediciones erróneas, no obstante, la tasa de error en este aspecto es lo suficientemente pequeña entre 5 km/h lo cual se encuentra dentro de los parámetros aceptables de error.
- Para disminuir los errores por el cambio de luminosidad se debe realizar un mayor nivel de procesamiento de las imágenes con lo cual aumenta el costo computacional y encarecería el proyecto.
- La eficacia del sistema de alimentación disminuye cuando existe menor intensidad lumínica del sol ya que se reduce la aportación del panel sol al sistema de baterías.
- La Pi Cámara con la Raspberry Pi 2 brinda una mayor velocidad de procesamiento lo cual permite optimizar el algoritmo y consumir menos recursos de la tarjeta.
- El sistema de detección de velocidad tiene un funcionamiento ideal bajo condiciones de luminosidad alta y media.

- Para trabajar con imágenes en movimiento es conveniente convertirlas a escalas de grises ya que resulta menos complejo y más óptimo, ya que se minimiza el ruido provocado por la cámara y la iluminación del entorno.
- Diseñar un sistema de detección vehicular con una Raspberry PI 2, Python y software libre es posible gracias a la gran cantidad de información existente en la web sobre el manejo de una Raspberry PI y la utilización de OpenCV con Python.
- El tiempo para detectar la velocidad de un automóvil depende de la cantidad de vehículos que se encuentren en la zona de parametrización.
- Para la detección de movimiento se utilizó el método de la substracción de fondo el cual consiste en tomar una imagen de la escena sin movimiento y restar los sucesivos fotogramas del vídeo, de manera que es un fondo donde se restan los diferentes fotogramas para la detección del movimiento del auto.

4.2. Recomendaciones

- Es necesario estudiar previamente la plataforma de programación Python y su integración con OpenCV.
- Instalar correctamente todos los paquetes de OpenCV necesarios para su correcto funcionamiento con Python.
- Estudiar todo lo referente a conexiones y funcionamiento de la tarjeta Raspberry PI 2 y su Pi camera para evitar daños por mala conexión y evitar su mal funcionamiento.
- Aislar las baterías de la superficie metálicas para evitar su descarga por contacto.
- Verificar que la Pi cámara funcione correctamente con OpenCV realizar pruebas de funcionamiento.
- La capacidad mínima de la tarjeta micro SD debe ser de 8gb, puesto que el sistema operativo y las librerías de OpenCV con la plataforma de Python necesita alrededor de 6GB con lo cual la tarjeta queda con una capacidad limitada para futuras aplicaciones.
- Se debe colocar la Pi cámara en el ángulo correcto para evitar errores de detección por un mal enfoque de la misma.
- El mantenimiento del equipo necesita frecuentemente de la limpieza de tarjetas, ajuste de cables y calibración de la pi cámara debido a la vibración del sitio.
- El equipo es desmontable permitiendo ser ubicado en otro sitio, con su adecuada calibración y configuración.
- El presente proyecto puede mejorar remplazando la pi cámara por una cámara de mayor pixelaj teniendo mejores características como visión nocturna los

cuales son aspectos que pueden ayudar a disminuir el error de detección en baja luminosidad.

- Como ampliación del proyecto se podría contemplar incorporar una base de datos web donde sean almacenadas las placas de vehículos que exceden el límite de velocidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mott. (2006). *Diseño de elemento de máquinas*. México: Pearson.

Clement, G. (2006). *Estructuras de Acero introducción al Acero*. Bogotá: Universidad Nacional de Bogotá.

Nisbett, R. b. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw-Hill.

Editorial Vértice. (2008). *Tratamiento de la fotografía digital*. Málaga: Vértice.

García, J. M. (2007). *Energía Solar fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.

Luis, R. (Mayo de 2015). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de <http://repositorio.espe.edu.ec/>: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9915>

Mónica, C. (08 de julio de 2013). Recuperado el 17 de Octubre de 2016, de <http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/2478>

CONELEC. (Septiembre de 2011). *SCRIB*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de www.scrib.com: <https://es.scribd.com/doc/65653836/Atlas-Solar-Ecuador>

DIPAC. (2016). *DIPACMANTA*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de www.dipacmanta.com: <http://www.dipacmanta.com/tubos/tubos-estructurales>

Eitudela. (2013). *Visión Artificial*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2016, de Eitudela: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

INER. (Diciembre de 2014). *INER*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2016, de www.serviciometeorologico.gob.ec: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/MapasBiblioteca/3%20Irradiacion%20global_A0.pdf

Moto y Casco. (2010). *Moto y Casco*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2016, de [Motoycasco.com](http://motoycasco.com): <http://motoycasco.com/radares-traffic>

Pablo, C. (2012). *Scrib*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016, de Scrib: <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

Pepoflex. (5 de Abril de 2012). *Cristalab*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de www.cristalab.com: <http://www.cristalab.com/tutoriales/los-modos-de-color-en-photoshop-c105006/>

Proviento. (2001). *Proviento*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2016, de [Proviento](http://www.proviento.com.ec): <http://www.proviento.com.ec/proviento.html>

Python. (2001). *Python*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2016, de www.python.org: <https://www.python.org/community/logos/>

Raspberryshop. (2017). *Raspberry Shop*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2016, de www.raspberryshow.es: <http://www.raspberryshop.es/hardware-raspberry-pi.php>

Silva, A. (13 de septiembre de 2013). <http://analiasilva98.blogspot.com>. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016, de Analia Silva: <http://analiasilva98.blogspot.com>

Wikipedia. (2012). *Wikipedia*. Recuperado el 8 de Agosto de 2016, de www.wikipedia.com: http://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi

Wikipedia. (2016). *Wikipedia*. Obtenido de www.wikipedia.com: <https://es.wikipedia.org/wiki/OpenCV>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

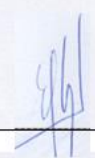
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**


CERTIFICACIÓN


Se certifica que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por los señores
Vicente Paul Borja Guerra – Marco Vinicio de la Cruz Guerrera

En la ciudad de Latacunga el 09 del mes de febrero del 2017

Aprobado por:


Ing. Eddie Galarza
DIRECTOR DEL PROYECTO


Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE CARRERA


Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO