

REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

Sensor de terrenos por láser

Autor: Juan Carlos Alonso Hernández

**Tesis presentada para obtener el título de:
Ingeniero en Sistemas Computacionales**

**Nombre del asesor:
Karina Figueroa Mora**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación "Dr. Silvio Zavala" que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo "Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada", se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





UVAQ

M.R.

**UNIVERSIDAD
VASCO DE QUIROGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

Sensor de Terrenos por Láser

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

PRESENTA

JUAN CARLOS ALONSO HERNÁNDEZ

ASESOR

Karina Figueroa Mora

CLAVE: 16PSU0049F

ACUERDO: LIC100846

MORELIA, MICHOACÁN

ABRIL DE 2013

A mis padres, por nunca perder su fe en mí y por su apoyo incondicional. A mi esposa Lucero, por su apoyo en la realización de esta tesis, y por estar conmigo en los momentos difíciles. A mis hermanos, por su apoyo en el desarrollo de esta investigación. A mi asesora, la Doctora Karina Figueroa Mora, a quien debo agradecer de manera especial por su compromiso con el desarrollo de esta tesis, así como por su dirección en el desarrollo de la misma.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Aplicaciones	2
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Objetivos	5
1.4. Justificación	5
1.5. Alcance	6
1.6. Organización del documento	6
2. Marco Teórico	8
2.1. Estado del arte	8
2.1.1. Sistemas actuales	8
2.2. Procesamiento Digital de Imágenes	12
2.2.1. Filtros aplicados mediante operaciones con matrices	15
2.2.2. Etapas del procesamiento de imágenes	18
2.3. Software	20
2.3.1. Lectura y escritura de imágenes a través de archivo	20
2.3.2. Acceso a un pixel y a distintos planos en las imágenes	21
2.4. Sensores CCD y CMOS	23
2.4.1. Sensor CCD: Tecnología CCD	23

2.4.2.	Sensor CMOS: Tecnología CMOS	24
2.4.3.	Filtrado de color	25
2.5.	Lentes Ópticos como Filtros	26
2.5.1.	Clases de filtros fotográficos	27
2.5.2.	Filtro amarillo	27
2.5.3.	Filtro naranja	27
2.5.4.	Filtro rojo	28
2.5.5.	Filtro verde	28
2.5.6.	Filtro neutro	28
2.6.	Láser	29
2.6.1.	Tipos de Laser	29
2.6.2.	Monturas de los Láser de Diodo	31
2.7.	Locomoción	33
2.7.1.	Sistema de locomoción Ackerman	33
2.7.2.	Sistema de locomoción diferencial	33
2.7.3.	Sistema de locomoción en triciclo	35
2.7.4.	Sistema por cintas de desplazamiento	35
2.7.5.	Robots con patas	36
2.8.	Seguidor Solar	38
3.	Hipótesis	40
4.	Material y metodos	42
4.1.	Fabricación del Sensor	42
4.2.	Módulo de Hardware	42
4.2.1.	Proceso de selección del láser	42
4.2.2.	Proceso de selección de la cámara	44

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	III
4.2.3. Proceso de selección del Filtro	46
4.2.4. Proceso de construcción de la plataforma	47
4.3. Módulo de Software	58
4.3.1. Software usado: Matlab	58
4.3.2. Función del software	58
4.3.3. Código Fuente	60
5. Experimentación	65
5.1. Experimentación. Fase 1.	65
5.2. Experimentación: Fase 2.	66
5.3. Experimentación: Fase 3.	68
5.4. Experimentación: Fase 4.	69
5.5. Experimentación: Fase 5	70
5.6. Experimentación: Fase 6	71
6. Resultados y discusión	73
6.1. Discusión	75
7. Conclusiones	77
A. Código Fuente	79
Bibliografía	83

Índice de Tablas

4.1. Tabla Comparativa de distintas cámaras.	45
4.2. Tabla Comparativa de los sistemas de locomoción.	48

Índice de figuras

1.1. Comparación de los componentes RGB de las señales de luz de láser y luz blanca.	4
2.1. Estas figuras muestran que se puede obtener la reconstrucción de un objeto a partir de fotogramas. Observe que en la figura del lado derecho se aprecia la figura de la misma persona parada en la imagen del lado izquierdo.	9
2.2. Método de triangulación usado para conocer la distancia d entre el objeto y la cámara. Se sabe que la cámara está a distancia D del piso. La cámara se encuentra en la esquina con el ángulo α	11
2.3. Sistema de triangulación usado en la vida real.	12
2.4. Representación RGB de una imagen	14
2.5. Imagen a color de 3×3 píxeles	15
2.6. Comparación de la misma imagen en distintos canales.	16
2.7. Ajuste de brillo de una imagen	17
2.8. Montura de un láser de diodo comercial.	32
2.9. Sección perpendicular de un diodo láser.	32
2.10. Sistema Ackerman.	34
2.11. Sistema Diferencial.	34

2.12. Sistema Triciclo.	35
2.13. Sistema de cintas de desplazamiento.	35
2.14. Desplazamiento con patas.	36
3.1. Filtro Rojo	40
4.1. Primer tiralíneas.	43
4.2. Tiralíneas Truper.	44
4.3. Simulación de un seguidor solar.	46
4.4. Chasis del sistema.	49
4.5. Comparación de una chumacera artesanal con respecto a una comercial.	50
4.6. Eje de la plataforma	50
4.7. Transmisión	51
4.8. Motor y eje principal	52
4.9. Rueda y engrane	52
4.10. Modelo de engrane	53
4.11. Nylamid con el patron de corte y perforación.	55
4.12. Transmisión	55
4.13. Terminación de un engrane	56
4.14. Plataforma con llantas instaladas	57
4.15. Derecha: Engrane con Spokets. Izquierda: Engrane Simple	57
4.16. Diagrama de flujo	59
5.1. Desfase de línea láser	66
5.2. Procesamiento de la imagen 5.1	66
5.3. Captura en ambiente controlado	67
5.4. Captura en ambiente externo con puntos iluminados por luz solar	68

5.5. Efecto del filtro rojo sobre una captura	69
5.6. SVL cobertura del sensor y resultado de la captura	71
6.1. Luz láser proyectada debajo de un seguidor solar en un día nublado . .	74

Resumen

En este trabajo de tesis se presenta el desarrollo de un sistema de visión capaz de proveer a un robot la capacidad de observar los terrenos de una forma detallada a un muy bajo costo comparado con otros sistemas de visión. El robot básicamente está compuesto por una cámara y un sistema de dispersión láser. Con la cámara le permite capturar el terreno por donde el robot pasará y con el láser se orientará. A este sistema lo denominaremos SLV o Sistema de Visión Láser.

Este trabajo está dividido en tres etapas, la de hardware, software y el montaje final, aunque primero se muestra una investigación sobre las tecnologías actuales y las cuales fueron tomadas como bases para lograr la construcción tanto del software como del hardware. Una vez que se obtuvieron las bases necesarias para la construcción del sensor se inició el diseño del hardware donde se eligieron entre diversos tipos de cámaras, y distintos tipos de láser buscando apegarse a las normas de seguridad establecidas en la investigación.

En la segunda parte de este trabajo se muestra el software que se desarrolló en el programa Matlab ya que posee todas las herramientas necesarias con Image Processing Toolbox. Esta herramienta de Matlab da acceso al canal de video y a su vez da la posibilidad de obtener los fotogramas de video generados por la cámara, una vez que el fotograma se encuentra en la memoria y se puede acceder a su matriz tridimensional se comienza a hacer el análisis que permite obtener los datos de medición necesarios para

la movilidad del robot.

Una vez que el software y el montaje de prueba están listos, se muestran algunas pruebas de medición en luz solar y su retroalimentación para perfeccionar el método original. Ya superada esta fase se definió una forma mas práctica para fijar ciertos parámetros que son necesarios para lograr que los datos arrojados por el SVL sean consistentes. Esto se solucionó con la construcción de una plataforma móvil la cual permite que la altura de la cámara al piso sea constante, con el fin de que los resultados de las pruebas sean en igualdad de condiciones y a su vez ofrece la oportunidad de que el sensor pueda analizar un área determinada. Una vez montado el sistema en el chasis de la plataforma móvil resulta imperativo aislar de los rayos solares directos tanto en el SVL como el área que habrá de ser medida, con esto se logra una captura sin ruido que pudiera alterar los resultados emitidos por el sensor.

Finalmente se muestra un sensor correctamente montado y armado del cual se obtuvieron las conclusiones presentadas como resultado de este trabajo.

Abstract

This thesis work presents the development of a vision system capable of providing a robot the ability to observe the grounds of a detail at a very low cost compared to other vision systems. The robot essentially consists of a camera with a laser scattering system, that camera captures the ground under robot was pass and then the laser inside gives a fluctuation of the ground, and then the robot have a direction to follow up. This system we call SLV or Laser Vision System.

This work is divided into three stages, the hardware, software and finally the assembly of SVL.

The first stage Shows an investigation into current technologies and which were taken as a basis to achieve the construction of both software and hardware, sensor build, research and design between various kinds of cameras and lasers that can satisfy the safety's standards

The second stage contains the software development on Matlab language wich contains all the functions and tools like Image Processing ToolBox. This Functionality of Matlab give us access to Video channel and bring us the capability to catch all video frames recording received from the camera, with this info we can start to realize the analysis for the robot's measurement and mobility

Stage Finnaly shows the SVL which presented conclusions were obtained as a result of this work.

Once the software and the test set are ready, show the evidence sunlight measurement and feedback to improve the original method. Since this phase has a more defined practice to set certain parameters that are necessary to ensure that the data produced by the SVL are consistent. This was solved by the construction of a movable platform which allows the height of the flat chamber is constant, so that the test results are equal, and also offers the opportunity that the sensor can analyze a given area. Once the system mounted on the chassis of the mobile platform is imperative isolated from direct sunlight in both the SVL as the area will be measured with a catch this is achieved without the noise that could alter the results issued by the sensor.

Capítulo 1

Introducción

El desarrollo de sistemas de visión por medio de sensores es un tema importante dentro del ámbito de la robótica debido a que, durante la construcción de cualquier máquina es necesario dotarla de un medio por el cual pueda obtener información acerca del ambiente que lo rodea. Un sensor es un dispositivo mediante el cual se detectan estados u objetos de un proceso y que sirven como entrada a los sistemas de control. De este modo surge la necesidad de usar sensores para retroalimentarse en un ambiente determinado.

En la actualidad, los sensores basados en luz láser no funcionan en un ambiente exterior, esto es debido a que son diseñados para funcionar en ambientes controlados, con porcentajes de luz previamente calculados. El objetivo principal de esta investigación es el desarrollo de un sistema de visión capaz de proveer a un robot de la capacidad de observar los terrenos de una forma más detallada a la que le podría ofrecer un sistema de visión ultrasónica, es decir, el sensor ultrasónico permite realizar la medición de distancia en un punto determinado, mientras que el sensor propuesto tendrá la capacidad de medir múltiples distancias en una misma lectura.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizará una cámara como medio para la adquisición de información, una línea láser que permite trazar un parámetro de me-

dición, un sistema de locomoción basado en orugas, un sistema de reducción de luz mediante sombras dirigidas y el Image Processing Toolbox de Matlab para el procesamiento de imágenes. Con esto se obtiene una solución relativamente simple y práctica a un problema que resulta muy común y difícil de resolver cuando se construye un sistema de visión de este tipo.

1.1. Aplicaciones

La principal aplicación de esta investigación es la utilización de un sensor láser en condiciones de intensa luz, como es la luz diurna del exterior. Con esto se pueden tener varias aplicaciones por ejemplo, permitir transportar cosas entre dos lugares de manera remota, o enviar robots a reconocer zonas de manera automática, por mencionar algunos.

1.2. Planteamiento del Problema

En la actualidad son pocos los sistemas que utilizan un sistema de visión láser en exteriores, en parte porque resulta muy difícil medir en condiciones fuera del laboratorio, principalmente esto es debido a la intensidad de la luz natural, y cualquier cosa que se acondicione ocasiona un costo sumamente elevado.

La razón de que sea tan difícil medir la luz láser, en luz de día y que a su vez motiva esta investigación es que la luz de día tiene un flujo luminoso¹ de 2,800 lúmenes en un día soleado común, mientras que el flujo luminoso de un láser es menor a los 10lm (lumen) [Sistems, 2007]. La orientación que se le dió a este problema fue tratar de acondicionar los elementos para que pese a la luz del día fuera posible tener un sistema de visión láser en exteriores que permitiera el desplazamiento de un robot en cualquier

¹ El flujo luminoso mide la energía global emitida por una fuente luminosa

terreno.

Por otro lado, basándose en la siguiente fórmula, que presenta Boscarol en 2007, se puede apreciar que tan difícil es el problema que introduce la luz diurna:

$$lm = W * \eta * 683 \quad lm/W$$

Dando como resultado

$$0,025W * 0,032 * 683 \quad lm/W = 0,5464 \quad \text{lúmenes}$$

Donde se multiplican los Watts de potencia del láser, por la eficiencia luminosa(η), la cual se obtiene:

$$\eta = lm/Volt$$

y posteriormente se multiplica por la constante 683 lm/W

por tanto se deduce que la luz de día contamina a tal grado la línea del láser, que aparte de hacerla desaparecer a la vista del ojo humano, la hace imposible de reconocer para una cámara convencional, este fenómeno es mas fácil de comprender si separamos la luz blanca en sus tres componentes primarios o colores RGB la luz blanca es la suma de los componentes RGB a su máximo valor, en términos de procesamiento de imágenes la luz de día es igual a los componentes a un valor de 255^2

- Red = 255
- Green = 255
- Blue = 255

Por otro lado, la luz roja emitida por el láser puede tener un valor de 240 a 250, la cual desaparece prácticamente ante la luz diurna.

² Cada color primario se codifica con un byte (8 bits). Por tanto, la intensidad de cada uno de los canales(R, G, B) se mide en una escala que va del 0 al 255 [López Ovando, 2010]

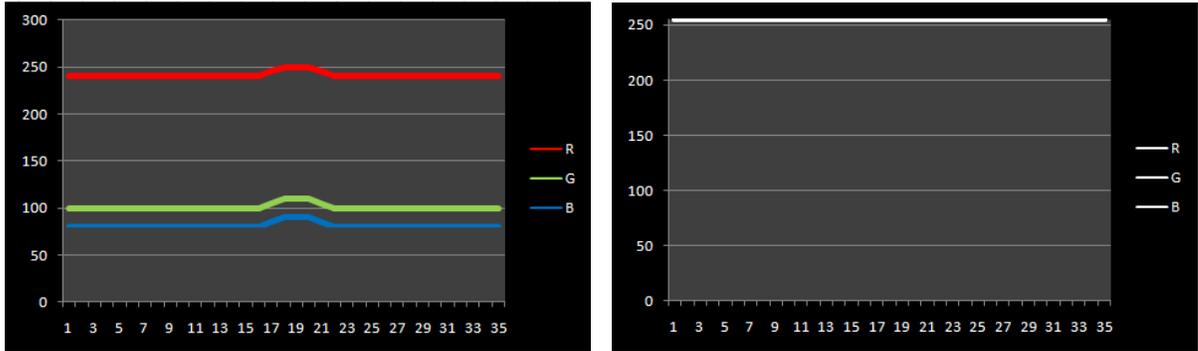
(a) Componentes RGB de la luz láser.(b) Componentes RGB de la luz blanca.

Figura 1.1: Comparación de los componentes RGB de las señales de luz de láser y luz blanca.

Las gráficas 1.1(a) y 1.1(b) permiten observar como es que la luz blanca con mas valor, esta por encima de los valores RGB producidos por la señal roja del láser, mostrando en la pantalla un solo un resplandor blanco. Por las situaciones anteriormente mencionadas se debe encontrar la manera de evitar que la luz solar opaque o destruya la ubicación de la luz láser, las posibles soluciones son:

Filtros Fotográficos Podrían ser de utilidad al disminuir los componentes GB , Utilizar filtros fotográficos, en un ambiente poco soleado donde la línea del láser es poco visible, permitiendo únicamente el paso del componente R (red) y mejorando por tanto la medición de la línea láser.

Sombras Las sombras se proyectarán sobre la superficie a medir, dando como resultado un área menos soleada donde los filtros de fotografía podrán realzar la tenue línea roja.

1.3. Objetivos

Esta investigación tiene por propósito el desarrollo de un sistema de visión capaz de proveer a un robot la capacidad de observar los terrenos de una forma detallada a un muy bajo costo comparado con otros sistemas de visión. Los objetivos que se fijaron para el trabajo realizado en esta tesis son:

- Desarrollar un Sistema de Visión Láser que pueda ser operativo en ambientes exteriores.
- Proveer de un nuevo sistema de Visión para robots de bajo costo.
- Montar ese sistema de visión en un dispositivo que pueda transportarlo.

1.4. Justificación

Como justificación de este trabajo de tesis, se puede decir que el Sistema de Visión aquí presentado está pensado para formar parte de un robot agrícola, el cual será construido en futuros trabajos, por tanto este sensor se está diseñando de acuerdo a las necesidades que dicho robot pudiera llegar a tener, tales como desplazarse por carreteras rurales, evitar el paso por encima de objetos que superen el tamaño de sus ruedas o puedan inmovilizar el robot, de ahí la importancia de construir un sistema de visión que sea capaz de identificar desde una enorme roca o una vara delgada. El sensor propuesto será la base que permitirá en un principio el sensado de distancias y podrá aumentar sus capacidades únicamente modificando el módulo de programación.

1.5. Alcance

Se debe analizar, diseñar, desarrollar, implementar y probar el sistema de visión; el cual debe:

- Capturar el video proveniente de una webcam en tiempo real. Lo que simularía los ojos del robot.
- Analizar los fotogramas en un intervalo de tiempo corto. Esto básicamente es el reconocimiento del suelo.
- Analizar la matriz correspondiente al fotograma en sus componentes *RGB*. Con la finalidad de tener retroalimentación y manipular el robot.

1.6. Organización del documento

Este documento esta organizado de la siguiente manera:

Capítulo 1, Se explica el contexto y planteamiento del problema sobre el cual se desarrolla esta investigación, los objetivos planteados para este proyecto así como la justificación y el alcance del mismo.

Capítulo 2, Se presenta el marco teórico con los conocimientos básicos que se requieren para entender los conceptos de visión por computadora, el procesamiento digital de imágenes y la calibración de una cámara.

Capítulo 3, en este capítulo se plantean con detalle las hipótesis en las que se basó el estudio, según las cuales se podría aislar una luz láser de la luz solar por medio de un seguidor solar o de un filtro. A partir de éstas hipótesis se planteó el diseño de la investigación tanto teórica como de manera práctica.

Capítulo 4, en este capítulo se describen los procesos de selección y construcción del hardware, basados en modelos descritos en otras investigaciones y modificados de acuerdo a lo que se buscaba obtener. En el mismo capítulo, se detalla la programación del software en el programa Matlab y las razones por las que éste fue utilizado.

El **Capítulo 5**, comprende la fase de experimentación donde se describe paso a paso de cada una de las pruebas generadas para lograr la comprobación de las hipótesis, así como los inconvenientes que se apreciaron durante las mismas y que llevaron a modificar el sensor hasta obtener un resultado.

El **Capítulo 6** describe los resultados obtenidos durante la investigación, al tiempo que los compara contra investigaciones similares para generar una discusión, la cual defiende el potencial que el sensor construido y programado en el presente estudio puede tener en base a los resultados descritos.

Capítulo 7, finalmente en este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas de este trabajo.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Estado del arte

En este capítulo se mencionarán los trabajos previos y actuales que se han desarrollado en el ámbito de sensores por imagen y láser relevantes a esta investigación. Se dará una breve descripción de dichas investigaciones para sentar un precedente de como fue que se lograron realizar los proyectos, y como se desarrollo su construcción. Después se continuará con una descripción del sistema de locomoción, en el cual se montara el sensor, y por ultimo se abordará el seguidor de luz solar, que se pretende implementar como sistema reductor de luz.

2.1.1. Sistemas actuales

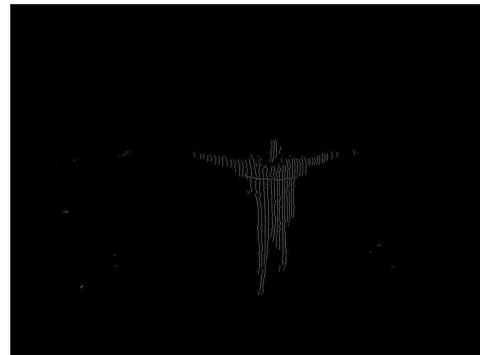
Dinamic Scene Modeling

En la actualidad existen sistemas de visión como el Dinamic Scene Modeling diseñado en la EECS (Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales por sus siglas en ingles) de la Universidad de Berkeley. El objetivo de este proyecto es capturar contenido 4D, es decir, la geometría 3D de un objeto determinado, y ya que evoluciona con el tiempo esencialmente se obtienen 4D por ejemplo grabar un película que puede ser

htb



(a) Fotograma de una persona usando líneas verticales [Frueh, 2005].



(b) Reconstrucción de la imagen de la persona [Frueh, 2005].

Figura 2.1: Estas figuras muestran que se puede obtener la reconstrucción de un objeto a partir de fotogramas. Observe que en la figura del lado derecho se aprecia la figura de la misma persona parada en la imagen del lado izquierdo.

interactiva desde puntos de vista arbitrarios. Para la implementación de este sistema se utiliza una cámara de video infrarroja, un patrón de líneas verticales de luz infrarroja, y una línea láser infrarroja 2D con un espejo giratorio en una configuración como se muestra en la figura 2.1(a). Se utiliza la luz infrarroja con la finalidad de evitar interferir o perturbar el desplazamiento de personas u objetos. Se proyecta sobre la escena el patrón de líneas equidistantes y la línea del proyector láser, y este patrón de línea es grabado de una posición diferente a 15 Hz, la velocidad de la cámara infrarroja. Los resultados en este trabajo son preliminares, pero prometedores. La figura 2.1(a) muestra un fotograma capturado, donde se muestra las líneas infrarrojas proyectadas por este sistema de adquisición, y la figura 2.1(b), la reconstrucción a fondo de los elementos móviles de la persona [Frueh, 2005].

Luz estructurada

Otro proyecto semejante es el titulado de luz estructurada, este tipo de sistema se caracteriza por ser un método directo y activo. Este método directo se caracteriza porque se pueden obtener conclusiones estudiando los datos obtenidos directamente de las imágenes. Los sistemas de luz estructurada se basan en estudiar la deformación que sufre un patrón de luz al ser interseccionado por cualquier objeto. Este es el problema principal de estas herramientas, ya que se necesita un tipo de luz concentrada en un punto. Por otro lado no valdría como sistema de iluminación, cualquiera de los sistemas normales que se emplean actualmente, como bombillas, fluorescentes, etc, ya que, están compuestos por ondas de diferentes frecuencias provocando que el haz se difumine por todo el entorno.

Haz Láser

Una de las mejores soluciones es emplear un haz láser. Debido a sus características de coherencia, divergencia, y direccionalidad, y junto a su poca divergencia y alta direccionalidad permiten que se pueda dirigir un haz láser a cualquier punto que se quiera. Solo será necesario elegir un patrón adecuado. El emplear puntos implica tener que recorrer el objeto por toda su superficie tomando una gran cantidad de puntos y pudiendo perder algunas zonas de éste. El empleo de un plano parece una mejor solución que la anterior. El plano iluminará un conjunto de puntos con las mismas características y que cumplen con la condición de un plano en el espacio. El uso de una rejilla con diferentes puntos de colores implica el tener toda la superficie del objeto iluminada de una vez y el problema consistiría en encontrar los diferentes puntos y su situación. Por supuesto, además del patrón de luz, es necesario tener una cámara que recoja todas las imágenes de la deformación del plano láser.

La posición de la cámara en el conjunto deberá ser aquella que permita obtener tanto la mejor resolución como evitar que existan zonas oscuras, es decir, que no existan zonas del objeto que no sean iluminadas por el láser.

Una vez que se ha decidido por uno u otro patrón y la correspondiente cámara, será necesario calibrar los diferentes parámetros. Este paso es el más importante, ya que para obtener las coordenadas de diferentes puntos en el objeto se va a emplear el método de triangulación.

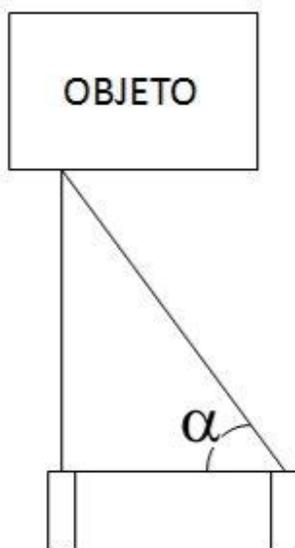


Figura 2.2: Método de triangulación usado para conocer la distancia d entre el objeto y la cámara. Se sabe que la cámara está a distancia D del piso. La cámara se encuentra en la esquina con el ángulo α .

La triangulación consiste en obtener la situación de un punto en relación a la situación de la cámara y el plano. La figura 2.2 explica el método de la triangulación: Si se conoce la distancia de la cámara a un punto del objeto, que será la base del triángulo, la distancia entre la cámara y el láser, uno de los lados, y el ángulo del plano del láser,

se puede conocer las coordenadas tridimensionales de dicho punto. Pero para ello, es necesario conocer las posiciones en el espacio tanto de la cámara como del plano láser, por lo que será necesario, un proceso de calibración de ambos sistemas.



Figura 2.3: Sistema de triangulación usado en la vida real.

Una vez realizado un análisis de las investigaciones que se han venido realizando, es fácil notar que en todas ellas hay un patrón definido, cada una de estas investigaciones esta realizada en un ambiente controlado, con una luz ambiental controlada, por lo que esta investigación se enfocará en tratar de realizar un sensor que sea capaz de dar medidas con la mayor exactitud posible en un ambiente donde no es posible un total control de la luz.

2.2. Procesamiento Digital de Imágenes

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. El término procesamiento digital de imágenes versa sobre la manipulación y análisis de imágenes por computadora[de la Fraga, 2001]. La imagen puede haber sido generada de muchas maneras, por ejemplo, fotográficamente, o electrónicamente, por medio de monitores

de televisión. De manera general, el procesamiento de las imágenes se puede hacer por medio de métodos ópticos, o bien por medio de métodos digitales, en una computadora.

El procesamiento de imagen puede considerarse como un tipo especial del procesamiento digital en dos dimensiones, el cual se usa para revelar información sobre imágenes y que involucra hardware, software y soporte teórico.

El manejo de imágenes digitales se ha convertido en un tema de interés extendido en diversas áreas de las ciencias naturales, ciencias médicas, y las aplicaciones tecnológicas entre otras. El crecimiento del poder de procesamiento, así como la aparición de herramientas de menor complejidad para el usuario han permitido un gran avance en esta materia.

La forma mas simple de una imagen es conocida con el término de *imagen monocromática* o imagen simplemente, se refiere a una función de intensidad de luz bidimensional $f(x, y)$, donde x e y indican las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier punto (x, y) es proporcional a la luminosidad (o nivel de gris) de la imagen en dicho punto.

Por otra parte tenemos las imágenes en color, las cuales son descritas como imágenes *RGB* por su composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con que se forma: el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores luz primarios. Indicar que el modelo de color *RGB* no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, razón por la cual los mismos valores *RGB* pueden mostrar colores notablemente diferentes en diferentes dispositivos que usen este modelo de color. Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus espacios de color pueden variar considerablemente.

Para indicar con qué proporción mezclamos cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios, de manera, por ejemplo, que el valor 0 significa que no

interviene en la mezcla y , a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla. Aunque el intervalo de valores podría ser cualquiera (valores reales entre 0 y 1, valores enteros entre 0 y 37, etc.), es frecuente que cada color primario se codifique con un byte (8 bits). Así, de manera usual, la intensidad de cada una de las componentes se mide según una escala que va del 0 al 255 [Ortiz Zamora, 2002].

Una imagen digital es una función $f(x, y)$ que ha sido discretizada tanto en coordenadas espaciales como en luminosidad. Una imagen digital puede ser considerada como una matriz cuyos índices de renglón y columna identifican un punto (un lugar en el espacio bidimensional) en la imagen y el correspondiente valor de elemento de matriz identifica el nivel de gris en aquel punto. Los elementos de estos arreglos digitales son llamados elementos de imagen o pixel [Ramírez, 2006].

En la imagen 2.4 podemos apreciar como es que esta constituida una imagen RGB siendo I la imagen, (m, n) nos indican las coordenadas espaciales y P nos indica sobre que plano RGB estamos trabajando.[Esqueda and Palafox, 2005]

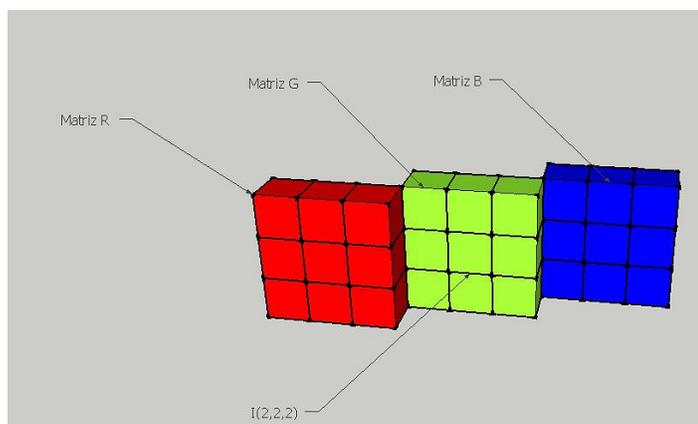


Figura 2.4: Representación RGB de una imagen

Una imagen real de un área de 3 pixeles por 3 pixeles como la imagen 2.5 daría como resultado la siguiente matriz en la cual figuran valores muy cercanos a 0 los cuales en la imagen están representados por un color obscuro cercano al negro.



Figura 2.5: Imagen a color de 3×3 pixeles

La representación digital de la imagen 2.5 en una matriz $n \times m$ sería:

$$\begin{aligned} &(255, 255, 038) , (245, 243, 018) , (255, 255, 036) \\ &(025, 018, 000) , (025, 016, 000) , (025, 015, 000) \\ &(255, 249, 073) , (246, 238, 075) , (255, 247, 086) \end{aligned}$$

2.2.1. Filtros aplicados mediante operaciones con matrices

Dentro del procesamiento de imágenes existen algunos filtros básicos de frecuente empleo que funcionan mediante operaciones con matrices, estos filtros se emplean principalmente en la fotografía digital, los que hemos programado en este proyecto son los siguientes:

Ajuste de Canales

Consiste en manipular la intensidad de únicamente un canal a la vez, ya sea el rojo, verde, o azul independientemente.



(a) Imagen Original.

(b) Imagen ajustada en el canal verde.

Figura 2.6: Comparación de la misma imagen en distintos canales.

Ajuste de Brillo

El ajuste de brillo es uno de los ajustes más elementales dentro del ajuste de imágenes y uno de los más empleados. El Brillo es el porcentaje de luminiscencia u oscuridad de un color. Puede ir desde el 0% que significa negro, hasta el 100% que significa blanco.

Invertir colores (Negativo)

Esta operación consiste en invertir cada canal *RGB* a su negativo. Por ejemplo, en una película fotográfica en la cual se plasman los colores invertidos de la imagen real. Esto es que el blanco pasa a ser negro, el azul amarillo, verde a magenta y rojo a cyan.

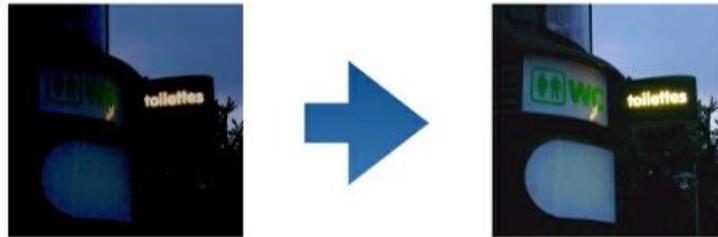


Figura 2.7: Ajuste de brillo de una imagen

La utilidad de este filtro, se encuentra en la digitalización de películas fotográficas.

Escala de Grises

Las conversiones entre las imágenes de color y las imágenes en escala de grises no son del todo directas. El ajuste de escala de grises consiste en la multiplicación de cada componente por 3 constantes definidas: Alfa, Beta y Gamma. Posteriormente se promedian las intensidades obtenidas en cada canal. Este proceso sustrae toda la información de color que contiene cada pixel y nos deja una separación de 255 niveles entre el blanco y el negro. Estas 3 constantes se obtienen como la separación entre los canales *RGB* y el negro:

Alfa : Separación entre el rojo y el negro. (0.299)

Beta : Separación entre el verde y el negro. (0.599)

Gamma : Separación entre el azul y el negro. (0.111)

Ajuste de Contraste

El contraste, se refiere a la diferencia que existe entre las zonas oscuras y claras de la imagen, este ajuste es la transformación más complicada de todas las vistas anteriormente.

2.2.2. Etapas del procesamiento de imágenes

Adquisición de imágenes

Para la adquisición de una imagen digital, se necesita un sensor de imágenes y la posibilidad de digitalizar la señal producida por el sensor. El sensor puede ser una cámara, monocroma o de color, que produce una imagen de 30 fotogramas por segundo. El sensor de imágenes puede ser también una cámara de barrido de líneas que produzca una línea de la imagen cada vez. Si la salida de la cámara o de otro sensor de imágenes no está todavía en forma digital, pueden emplearse un convertidor digital análogo para digitalizarla, como sería en el caso de las cámaras fotográficas que utilizan película fotográfica.

Preprocesamiento de la imagen

Una vez que se ha obtenido la imagen digital, la siguiente etapa trata del preprocesamiento de dicha imagen. La función básica del preprocesamiento es la de mejorar la imagen de forma que se aumenten las posibilidades de éxito en los procesos posteriores. Para lo cual se pueden utilizar técnicas para mejorar el contraste, eliminar el ruido y aislar regiones cuya textura indica la probabilidad de información alfanumérica.

Segmentación

Esta etapa definida de una forma general, consiste en partir una imagen de entrada en sus partes constituyentes u objetos. En general, la segmentación autónoma es una de las labores mas difíciles del tratamiento digital de imágenes. Por una parte, un procedimiento de segmentación demasiado tosco dilata la solución satisfactoria de un problema de procesado de imágenes. Por otra un algoritmo de segmentación débil o errático, casi siempre garantiza que tarde o temprano habrá un fallo.

Representación y descripción

Una vez terminado el proceso de segmentación habitualmente se tienen los datos del pixel en bruto, que constituyen el contorno de una región o todos los puntos de una región determinada, la representación regional es adecuada cuando el interés se centra en propiedades internas, como la textura o la estructuración. Sin embargo, en algunas aplicaciones ambas representaciones coexisten. Esto ocurre en las aplicaciones para reconocimiento de caracteres, que a menudo requieren de algoritmos basados en la forma de los bordes, así como en la estructuración y otras propiedades internas. La elección de una representación es solo una parte de la solución para transformar los datos del pixel en bruto a una forma adecuada para ser posteriormente tratados por computadora. La descripción también se denomina selección de rasgos, consiste en extraer rasgos con alguna información cuantitativa de interés o que sean fundamentales para diferenciar una clase de objetos de otra.

Reconocimiento e interpretación

La última etapa la comprende el reconocimiento y la interpretación. El reconocimiento es el proceso que asigna una etiqueta a un objeto basándose en la información

proporcionada por sus descriptores. La interpretación implica asignar significado a un conjunto de objetos reconocidos [González and Woods, 1996].

2.3. Software

Dada la funcionalidad y las capacidades para el procesamiento de imágenes, trabajo con matrices y rapidez en la obtención de datos se establece Matlab como software principal para la captura y procesamiento de las imágenes capturadas.

Para establecer una relación de entendimiento con el software se da una breve explicación de su potencial.

2.3.1. Lectura y escritura de imágenes a través de archivo

Para leer una imágenes desde una archivo al software de Matlab se utiliza la función `imread`, cuya sintaxis es

```
>> image = imread('picture.jpg');
```

Donde *picture* es el nombre del archivo, el cual debe llevar su respectiva extensión, hecho esto la imagen contenida en el archivo *picture.jpg* quedará contenida en la variable *image*. Una vez que la imagen esta contenida en una variable de Matlab es posible utilizar las funciones para procesar la imagen. Por ejemplo, una función que permite encontrar el tamaño de la imagen es *size(variable)*.

```
>> [m, n] = size(image);
```

En donde *m* y *n* contendrán los valores de las dimensiones de la imagen. Si lo que se desea es grabar alguna modificación realizada a la imagen esto se puede lograr mediante

la utilización de la función *imwrite*.

```
>> imwrite(image, 'picture.jpg')
```

En donde *image* es el nombre de la variable que contiene la imagen y *picture.jpg* es el nombre con el que se pretende guardar la imagen. Después de realizada alguna operación en la imagen, es necesario desplegar el resultado obtenido, para ello se utiliza la función *imshow*.

```
>> imshow(variable)
```

la cual permite desplegar la imagen en una ventana en el ambiente de trabajo de Matlab.

2.3.2. Acceso a un pixel y a distintos planos en las imágenes

El acceso al pixel de una imagen es una de las operaciones mas básicas en el procesamiento de imágenes, y Matlab lo simplifica de manera significativa; solo bastará hacer referencia al pixel mediante sus coordenadas m, n dentro de la imagen. Consideremos que tenemos una imagen en escala de grises y deseamos obtener su valor en un pixel definido por $m = 100$ y $n = 100$; únicamente se deberá escribir

```
>> image(100,100)
```

dando como resultado el valor de dicho pixel

```
>> ans = 105
```

De igual forma si se desea cambiar el valor de este pixel a negro, es decir asignarle el valor de 0 lo que tendría que escribirse en línea de comandos es:

```
>> image(100,100) = 0;
```

En el caso de imágenes a escala de grises estas solo tienen un plano, constituido por la matriz $m \times n$ que contiene los valores de intensidad para cada canal. Sin embargo las imágenes de color cuentan con mas de un plano. Si lo que se desea es obtener cada uno de los planos *RGB* que componen una imagen, entonces se escribirá:

```
>> ComponenteR = image(:, :, 1);
```

```
>> ComponenteG = image(:, :, 2);
```

```
>> ComponenteB = image(:, :, 3);
```

Cabe mencionar que si se desea acceder al valor de un pixel, en una imagen *RGB* este tendrá un valor en los 3 canales, supongamos que queremos acceder al siguiente pixel

```
m = 100
```

```
n = 100
```

para cada uno de los diferentes canales R, G y B. Tendríamos que escribir:

```
>> valueR = image2(100, 100, 1);
```

```
>> valueG = image2(100, 100, 2);
```

```
>> valueB = image2(100, 100, 3);
```

Para asignar un nuevo valor al pixel anterior, únicamente es necesario asignar el nuevo valor en cada uno de los canales, en las siguientes líneas se aprecia cómo se realiza la asignación en el entendido de que se está cambiando a un color blanco

```
>> image(100, 100, 1) = 255;
```

```
>> image(100, 100, 2) = 255;
```

```
>> image(100, 100, 3) = 255;
```

2.4. Sensores CCD y CMOS

Sensores CCD y CMOS

El sensor de imagen de la cámara se encarga de transformar la luz en señales eléctricas. Cuando se fabrica una cámara, existen dos tecnologías de sensor de imagen disponibles:

- CCD (Dispositivo de acoplamiento de carga)
- CMOS (Semiconductor de óxido metálico complementario)

Los sensores CCD se fabrican usando una tecnología desarrollada específicamente para la industria de cámaras, mientras que los sensores CMOS se basan en una tecnología estándar ampliamente utilizada en los chips de memoria como por ejemplo, dentro de un PC.

2.4.1. Sensor CCD: Tecnología CCD

Los sensores CCD llevan utilizándose en las cámaras desde hace más de 20 años y presentan muchas ventajas de calidad, entre las cuales cabe destacar una mejor sensibilidad a la luz que los sensores CMOS. Esta mayor sensibilidad a la luz se traduce en mejores imágenes en situaciones de luz escasa. Sin embargo, los sensores CCD son caros ya que están fabricados siguiendo un proceso no estandarizado y más complejo

para ser incorporados a una cámara. Además, cuando existe un objeto muy luminoso en la escena (como, por ejemplo, una lámpara o la luz solar directa), el CCD puede tener pérdidas, provocando rayas verticales por encima y por debajo del objeto. Este fenómeno se llama "smear" (mancha).

2.4.2. Sensor CMOS: Tecnología CMOS

Los recientes avances en los sensores CMOS los acercan a sus homólogos CCD en términos de calidad de la imagen, pero los sensores CMOS siguen siendo inadecuados para cámaras donde se exige la máxima calidad de imagen posible. Los sensores CMOS proporcionan soluciones de cámaras más económicas ya que contienen todas las funciones lógicas necesarias para fabricar cámaras a su alrededor. Hacen posible la producción de cámaras de un tamaño menor. Los sensores de tamaño mayor ofrecen una resolución megapixel para una variedad de cámaras. Una de las limitaciones actuales de los sensores CMOS es su menor sensibilidad a la luz. En condiciones de luz normales esto no supone ningún problema, mientras que en situaciones de escasa luz se vuelve manifiesto. El resultado es una imagen muy oscura o una imagen con apariencia granular.

Cuando una imagen es capturada por una cámara, la luz pasa a través de la lente y se cae en la sensor de imagen. El sensor de imagen consta de elementos de imagen, también llamados pixeles, que registran la cantidad de la luz que cae sobre ellas. Convierten la cantidad de luz recibida en un número correspondiente de electrones. Cuanto más fuerte es la luz, mayor es la cantidad de electrones que se generan. Los electrones se convierten en voltaje y luego se transforma en números por medio de un convertidor A/D. La señal constituida por los números es procesada por los circuitos electrónicos dentro de la cámara. En la actualidad, hay dos principales tecnologías que se pueden utilizar para el sensor de imagen en una cámara, es decir, CCD (Charge-Coupled Device) y

CMOS (complementary metal-oxide semiconductor). Su diseño y diferentes fortalezas y debilidades se explican en las secciones siguientes. La figura 1 Sensor de imagen CCD y Sensor de imagen CMOS.

2.4.3. Filtrado de color

Los sensores de imagen registran la cantidad de luz variando de brillante a oscuro, sin aportar la información sobre el color. Tanto los sensores CMOS como los sensores de imagen CCD son ciegos al color, un filtro frente al sensor permite que el sensor pueda asignar tonos de color para cada pixel. Dos métodos comunes son el registro de color *RGB* (rojo, verde y azul) y *CMYG* (Cian, magenta, amarillo y verde). Rojo, verde y azul son los colores primarios que, en distintas proporciones o combinaciones, se puede producir la mayoría de los colores visibles al ojo humano.

La matriz de Bayer, que cuenta con filas alternas de los filtros rojo-verde y verde-azul, es el más común RGB filtro de color, véase la Figura 2 (izquierda). Dado que el ojo humano es más sensible al verde que a los otros dos los colores, la matriz de Bayer tiene el doble de filtros en color verde. Esto también significa que con la matriz de Bayer, el ojo humano puede detectar más detalles que si los tres colores se utilizaran en la misma medida en el filtro.

Otra manera de filtro o de registro de color es usar el complemento de colores: cian, magenta y amarillo. Filtros de colores complementarios de los sensores se combinan a menudo con filtros verdes para formar una matriz de colores *CMYG*, véase la Figura 2 (derecha). El sistema *CMYG* en general ofrece una más alta señal de pixeles debido a su paso de banda espectral más amplia. Sin embargo, las señales se debe convertir a *RGB* ya que se utiliza en la imagen final, y la conversión implica un mayor procesamiento y el ruido añadido. El resultado es que el aumento inicial en la relación señal-ruido es

reducida, y el sistema de CMYG a menudo no es tan bueno en la presentación de los colores con precisión.

La matriz de color CMYG se utiliza a menudo en sensores de imagen CCD entrelazado, mientras que el sistema RGB es principalmente utilizado en exploración progresiva de sensores de imagen.

En un sensor CCD, la luz que cae sobre los píxeles del sensor se transfiere desde el chip a través de un nodo de salida, o sólo unos pocos nodos de salida. Los cargos se convierten en los niveles de tensión, tampón, y enviado como una señal analógica. Esta señal se amplifica y se convierte en números utilizando un convertidor A / D fuera del sensor.

2.5. Lentes Ópticos como Filtros

En las cámaras de fotos, los filtros fotográficos equilibran situaciones cromáticas, retienen el espectro luminoso y permiten el paso sólo de la luz de su mismo color. La absorción de la luz, en relación a la densidad del filtro se compensa con el aumento de la exposición.

Los filtros son cristales con los que conseguimos diferentes efectos finales sobre la fotografía. Van montados en la parte frontal del objetivo por medio de una rosca llamada “rosca portalibros” y, en algunas cámaras, con enganche del tipo bayoneta. También existe un sistema que utiliza un marco universal que se acopla por medio de una rosca al objetivo. Este es el sistema de Cokin.

Hay filtros que modifican los colores, la luz, el enfoque de la fotografía, el contraste, o incluyen efectos especiales sobre la fotografía.

2.5.1. Clases de filtros fotográficos

Existen diversos tipos de filtros cada uno con una función similar pero específicamente.

- De contraste para blanco y negro
- De corrección color
- Polarizador
- De efectos especiales

Los colores complementarios se encuentran en posiciones opuestas en el círculo cromático. Si utilizamos los filtros de contraste y corrección, ayudan con la precisión de color que requiere un fotógrafo profesional.

Si utilizamos filtros de efectos especiales en forma moderada, aumentan las posibilidades de control sobre la imagen y permiten obtener fotos imposibles de lograr de otra forma. [digitalfotored, 2005]

2.5.2. Filtro amarillo

Los filtros amarillos absorben tanto la luz azul como la ultravioleta, con lo cual los cielos de las fotos en blanco y negro aparecen más oscuros, atenúa las pecas y aclara la piel en los retratos. Este filtro es recomendable para paisajes o fotografías a grandes distancias ya que también aclara la neblina.

2.5.3. Filtro naranja

Este filtro elimina la luz azul y la ultravioleta. Se consigue un alto nivel de contraste entre el cielo y los demás elementos que componen la imagen. Se utiliza para oscurecer

el follaje y las partes verdes de las flores. Atraviesa la neblina y hace más nítidas las fotografías.

2.5.4. Filtro rojo

Aclara los objetos de colores rojos y oscurece los que tienen colores complementarios. Proporciona un fuerte contraste con las flores de tonos más claros en especial las rojas.

Atraviesa también las capas ligeras de la niebla consiguiendo así una fotografía más nítida. También aplana la imagen y disminuye la perspectiva.

2.5.5. Filtro verde

Los filtros verdes, eliminan el rojo y el azul y dejan pasar el verde y el amarillo. Diferencian las diversas tonalidades del verde. Es adecuado en verano para equilibrar las transiciones tonales entre prados, árboles y hojas. Se utiliza para retratos porque equilibra la tonalidad rojiza de los focos para la fotografía y da a la piel tonalidades más naturales.

2.5.6. Filtro neutro

Los filtros neutros, no realizan ninguna absorción selectiva de colores. No ejercen ningún efecto sobre el equilibrio cromático, sino que reducen la cantidad de luz que entra en la cámara.

Se utilizan para controlar la profundidad de campo, porque permite una abertura mayor sin cambiar la velocidad de obturación.

Además evitan la sobreexposición cuando las condiciones de iluminación son excesivamente intensas y exceden a la gama de combinaciones de abertura/velocidad. Los Filtros de Densidad Neutra son como lentes de sol, cuando la luz es muy fuerte, por

ejemplo en la playa o en la nieve, la foto suele quedar sobreexpuesta, es decir demasiado iluminada. Pero el Filtro ND no sólo sirve en las ocasiones antes mencionadas. Al disminuir la iluminación, también permite utilizar velocidades de obturación lentas. Los filtros de densidad neutra son acumulables. Si se utilizan dos ND4 juntos obtiene un ND8.

2.6. Láser

La definición de láser es un acrónimo para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación. [Silfvast, 2004]

El láser es una fuente de luz con unas características que lo diferencian de otras fuentes lumínicas (por ejemplo la luz de una lámpara o la luz del sol). Éstas son:

- **Monocromatismo:** La luz láser contiene sólo un color (o lo que es lo mismo, una banda muy estrecha de longitudes de onda). Las fuentes de luz convencionales emiten radiación en una banda ancha de longitud de onda que suelen corresponder a todo el espectro de luz visible.
- **Coherencia espacial y temporal:** La luz láser se transmite de modo paralelo en una única dirección (coherencia temporal), en un haz muy estrecho que se propaga con mínima divergencia (coherencia espacial), lo que le permite recorrer grandes distancias sin perder intensidad.

2.6.1. Tipos de Laser

Sobre la base de su capacidad para causar daño biológico, las luces láser se clasifican en cuatro clases. Clase 1, Clase 1m, Clase 2, Clase 2m, Clase 3r, Clase 3b y Clase 4, estas son las diferentes etiquetas dadas por los científicos para clasificar a las luces láser.

- Clase 1 : No generan riesgos si se usan con normalidad.No es previsible que causen daño ocular aunque el operador emplease algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
- Clase 1M: No generan riesgos si se usan con normalidad, pero podrían causar daño ocular si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
- Clase 2: Podría causar daños oculares. A priori los mecanismos de aversión como el reflejo parpebral¹ son suficientes (normalmente) como protección. El riesgo de padecer daño ocular aumenta si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
- Clase 2M: Puede causar daños oculares. El riesgo de padecer daño ocular aumenta muy notablemente si el operador emplea algún tipo de instrumento óptico (por ejemplo: lente de aumento) de visión directa.
- Clase 3R: La visión directa del haz es potencialmente peligrosa, aunque en menor medida que láser 3B. Pueden causar daños oculares agudos y crónicos. EXTREMAR PRECAUCIÓN.
- Clase 3B: La visión directa del haz es siempre peligrosa. La visión de reflexiones difusas podría según casos, se peligrosa también. Pueden causar daños oculares agudos y crónicos. EXTREMAR PRECAUCIÓN.
- Clase 4: Pueden causar daños oculares y cutáneos agudos o crónicos si se entra en contacto directo, indirecto, o por reflexión, con el haz láser. También pueden originar incendios. EXTREMAR PRECAUCIÓN. Tomado de [de València, 2012]

¹ Reflejo parpebral: acto reflejo (valga la redundancia) consistente en el cierre rápido de los párpados cuando se produce un súbito destello, iluminación, o ruido intenso.

Dado los riesgos que implica para la salud el manejo de los láser superiores a clase 2, es posible que en esta investigación se decida no utilizar láser de dichas características para evitar daños a terceros. Existe una infinidad de distintos tipos de láser como por ejemplo:

- El láser de Rubí, el cual fue el primero y fue construido por Theodore Maiman en 1960
- El láser de helio-neón fue el primer láser de gas que se construyó
- El láser de Argón ionizado
- El láser de CO_2 , láser de soluciones líquidas orgánicas
- El láser de semiconductores

Los láser de diodo, son los que resultan mas interesantes para el desarrollo de esta investigación por su abundancia en el mercado, y la posibilidad de conseguirlo en potencias que resulten inocuas a los organismos vivos.

2.6.2. Monturas de los Láser de Diodo

Se requieren monturas especiales para los láseres de diodo, debido a su tamaño miniaturizado, para poder ser operativos y cómodos. Existen muchos tipos de monturas, pero quizás el más estándar es similar a un transistor, e incluye en la montura las ópticas necesarias para colimar el haz² (ver figura 2.8).

Para poder obtener más potencia de los láseres de diodo, se han desarrollado matrices de diodos láser, que emiten sincronizadamente, y que están ópticamente acoplados, de

² El objetivo de la colimación es hacer que el eje óptico de una lente coincida con el rayo central del láser, realizando un ajuste en el diametro del rayo

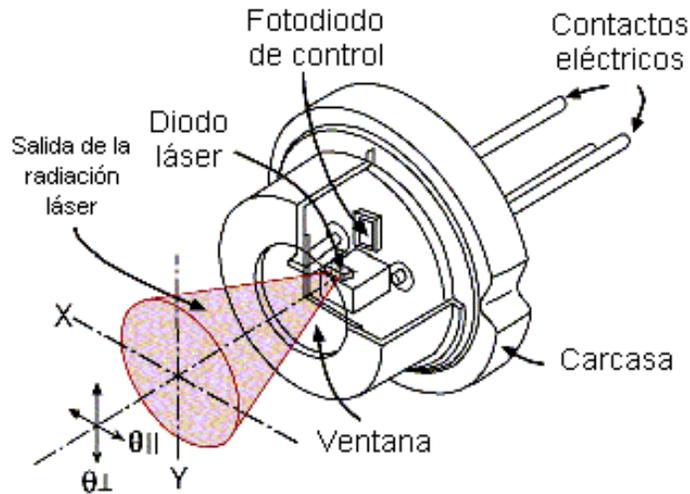


Figura 2.8: Montura de un láser de diodo comercial.

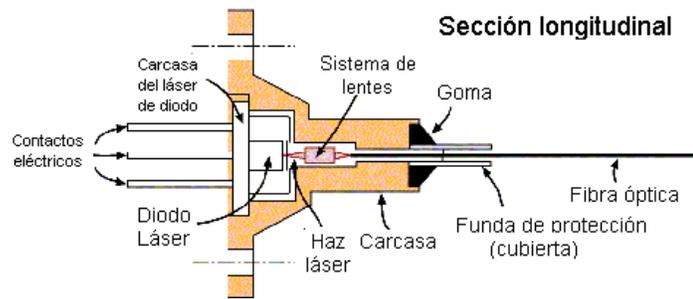


Figura 2.9: Sección perpendicular de un diodo láser.

modo que se alcanzan las décimas de vatio. En la figura 2.9 se muestra una sección perpendicular de un diodo láser.

Las principales ventajas de los diodos láser es que se consideran muy eficientes porque más del 20 % de la energía suministrada se consigue en forma de radiación láser, también poseen una gran fiabilidad ya que tienen un promedio de vida extremadamente largo, estimado en mas de 100 años de operación continua, además el hecho que tienen un precio muy accesible; esto se logra al construir todos estos diodos con técnicas de producción en masa. Otra característica importante de este tipo de diodos es que

permite la modulación directa de la radiación emitida, simplemente controlando la corriente eléctrica a través de la unión $p - n$. La radiación emitida es función lineal de la corriente, pudiéndose modular a décimas de GHz.

2.7. Locomoción

Dentro de las modificaciones que incluirá esta investigación con respecto a las que se expondrán mas adelante, esta la inclusión de un sistema que permita darle movilidad al sensor. Para tener un conocimiento mas acertado del medio de locomoción que se utilizará es necesario conocer los diferentes modelos de movimiento.

2.7.1. Sistema de locomoción Ackerman

Se trata del sistema mas comúnmente utilizado, cuyas principales ventajas estriban en que es fácil de implementar pues únicamente consiste en un sistema simple de 4 barras que controlan la dirección. Su principal desventaja es que cuenta con restricciones no holónomas³. Véase la figura 2.10

2.7.2. Sistema de locomoción diferencial

Cuenta con la particularidad de no tener ruedas directrices. Por lo que el cambio de dirección se realiza modificando la velocidad relativa de las ruedas a izquierda y derecha. Se trata de un sistema barato, de fácil implementación y con un diseño simple, aunque es difícil de controlar, requiere control de precisión para trayectorias rectas y el cambio de diámetro de las ruedas distorsiona el control de dirección del vehículo, véase la figura 2.11.

³ Se puede ir hacia delante o hacia atrás, pero no hacia los laterales, sin que exista derrape[Gómez-Bravo, 2012]

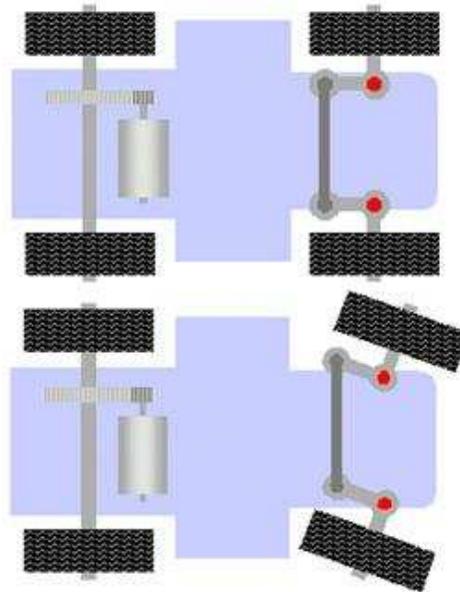


Figura 2.10: Sistema Ackerman.

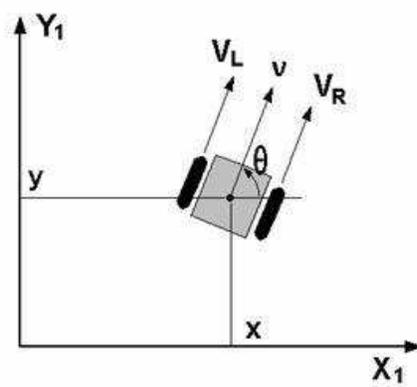


Figura 2.11: Sistema Diferencial.

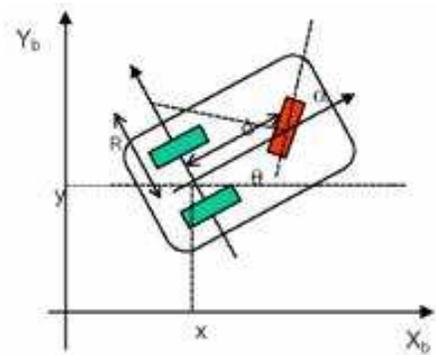


Figura 2.12: Sistema Triciclo.

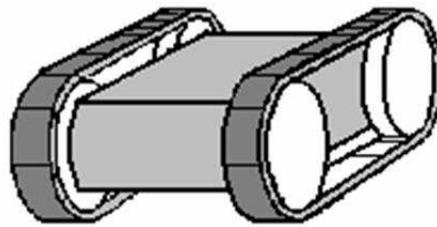


Figura 2.13: Sistema de cintas de desplazamiento.

2.7.3. Sistema de locomoción en triciclo

Consta de 2 ruedas de impulso y una rueda directriz para dirigirlo, lo que le da un modelo parecido al triciclo de juguete. Su principal ventaja es que no requiere desplazamiento para girar. Aunque por otra parte requiere guiado no homólogo, véase la figura 2.12.

2.7.4. Sistema por cintas de desplazamiento

Se trata de un sistema fácil de controlar pero que cuenta con un deslizamiento que conduce a resultados pobres en odometría, tampoco dispone de un modelo preciso de giro y además consume mucha potencia para girar, véase la figura 2.13.

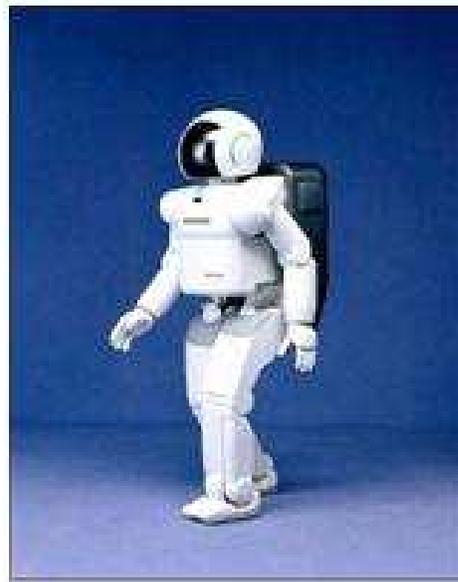


Figura 2.14: Desplazamiento con patas.

2.7.5. Robots con patas

Se caracterizan por tener extremidades que les permiten transitar por diferentes tipos de superficies. Estos robots pueden moverse por cualquier terreno que un ser humano pueda (por ejemplo, suben escaleras), sin embargo, sus muchos grados de libertad lo hacen difícil de controlar por lo que mantener la estabilidad es complicado. Por otra parte, se trata de mecanismos que consumen mucha energía, véase la figura 2.14.

Las ruedas son unos de los componentes más importantes de los robots, ya que son las que proporcionan la tracción necesaria al robot.

Las tracción tipo oruga una alternativa que permite construir robots todo terreno con capacidad de moverse por donde las ruedas no pueden. Una oruga es un dispositivo de transporte utilizado principalmente en vehículos pesados, como tanques y tractores, u otro tipo de vehículos. Consiste en un conjunto de eslabones modulares que permiten un desplazamiento estable aún en terrenos irregulares.

La mayoría de las orugas forman parte de un cinturón flexible con un conjunto de eslabones rígidos unidos unos a otros fuertemente. Los eslabones ayudan al vehículo a distribuir el peso en una superficie mayor que la que hubiera tenido con el empleo de ruedas, y esto hace que pueda moverse por un número mayor de superficies sin hundirse debido a su propio peso.

Las orugas se construyen uniendo, mediante una cadena que rodea las llantas, las ruedas delanteras y traseras, cuyo fin es aumentar la superficie de contacto con el suelo y conseguir una mayor tracción. Las orugas permiten rebasar mayores obstáculos que solamente usando ruedas e incluso subir escaleras. Como desventaja, presenta la gran cantidad de energía que necesita el robot en los giros. El giro se realiza rotando las cadenas en sentidos opuestos, de modo que las fuerzas inversas hacen girar el robot. La locomoción por orugas o cintas de deslizamiento tiene como principales ventajas el sistema de orugas es relativamente muy simple de controlar, ya que al tener únicamente 2 orugas no es necesario preocuparse por los giros, como es el caso del sistema que es utilizado en los automóviles.

Por otra parte la locomoción por orugas no esta exenta de inconvenientes, uno de los principales es que cuando un robot montado en este tipo de sistemas gira, este suele desplazarse un poco, sus giros no son exactos, esta clase de desplazamientos puede conducir a resultados pobres en odometría y perdida de ubicación para robots que hayan sido programados previamente con un mapa a ser recorrido. Por otro lado este sistema consume mucha potencia al girar, esto se debe a que una de sus orugas suele quedar quieta y la otra realiza todo el esfuerzo mecánico consumiendo con esto mucha de la reserva energética de la batería.

2.8. Seguidor Solar

El problema principal con el que se encontrara esta investigación es el resolver el problema de la luz solar, ya que la luz solar evita que la cámara capte las imágenes de una manera adecuada llevando las capturas a un nivel de $f(x, y) = 255$ o a valores cercanos a esta cantidad en las imágenes, dando como resultado mediciones pobres o erróneas por estar por debajo del nivel de la luz solar.

Un seguidor solar es una especie de girasol mecánico, ya que su misión consiste en que sus paneles solares sigan al sol desde su salida hasta su puesta.

De esta manera, aprovechan la radiación solar mucho mejor que los sistemas solares fijos. La gran variedad de prototipos permite su uso de manera asequible a grandes y pequeños consumidores, por lo que cada vez más empresas desarrollan dispositivos muy diversos. La imagen típica de una instalación solar es la de unos paneles foto voltáicos ubicados en una estructura fija y orientada a la zona del cielo en la que el sol se encuentra en lo más alto. Sin embargo, durante el resto del día, los rayos solares inciden con un ángulo inferior a 90° , lo que disminuye la radiación captada. Por ello, los seguidores solares se crearon para aprovechar al máximo la luz solar durante todo el día. Así, dependiendo del tipo de instalación, pueden aumentar el rendimiento de los paneles solares entre un 30 y un 40 por ciento. Un seguidor solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma que éstos permanezcan cercanos a la perpendicular de los rayos solares, siguiendo al sol desde el este hasta el oeste en la puesta.

Existen de varios tipos:

- En dos ejes ($2x$): la superficie se mantiene siempre perpendicular al sol.
- En un eje polar ($1xp$): la superficie gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie

coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj.

- En un eje azimutal ($1xa$): la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol. La velocidad de giro es variable a lo largo del día.
- En un eje horizontal ($1xh$): la superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.

El seguidor solar TRAXLE es una estructura formada por perfiles de aluminio y acero anticorrosivo. En esta estructura están montados paneles fotovoltaicos. Debido a que el seguidor solar se orienta hacia el sol, las paredes fotovoltaicas se encuentran todo el día dirigidos directamente contra el sol y así notablemente aumenta su rendimiento. La energía solar se puede aprovechar bastante bien no sólo en regiones con una larga duración de radiación solar sino también con la altitud sobre el mar elevada.

Capítulo 3

Hipótesis

Hipótesis H1.

Es posible detectar la luz del láser en pleno día si se aísla la luz directa del sol. La primera hipótesis se basa en la utilización de un seguidor solar, el cual tiene el objetivo de desviar la luz directa del sol, al hacer esto se evita la saturación del sensor de la cámara.

Hipótesis H2.

Es posible aumentar la capacidad de lectura de la cámara utilizando un filtro que aísla los componentes G y B de la imagen como se muestra en la figura 3.1.

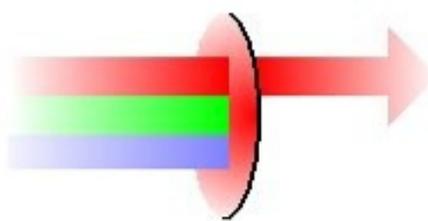


Figura 3.1: Filtro Rojo

Hipótesis H3.

Es posible construir un robot de bajo costo que pueda transitar por terrenos usando retroalimentación del suelo.

Capítulo 4

Material y metodos

4.1. Fabricación del Sensor

Para lograr la construcción del sensor se necesita ubicar los componentes principales que habrán de formar el sensor una vez terminado. Básicamente el sensor se divide en 3 módulos principales; el módulo de hardware, el de software y la configuración del sensor para su buen funcionamiento, esto último será tratado como un módulo debido a la complejidad de este punto.

4.2. Módulo de Hardware

En esta sección se aborda el módulo de hardware y se comienza con el proceso de selección del láser, después se aborda el de la cámara, y el del filtro. Para por último explicar el diseño de la locomoción implementada.

4.2.1. Proceso de selección del láser

La elección del láser comenzó teniendo en mente que se debía economizar recursos, por tanto se inició la construcción y compra de componentes necesarios para formar un

tiralíneas láser, el cual distribuye el punto rojo emitido por el láser en una línea recta; inicialmente se compro un láser de origen chino de 1 *mw* de potencia y se fabricó un módulo de dispersión para que el punto del láser pudiera ser visto como una línea.

Este módulo estaba compuesto por un eje de metal al cual se le había agregado una superficie reflejante y que al girar idealmente la luz debía ser reflejada en varios ángulos, véase la figura 4.1.

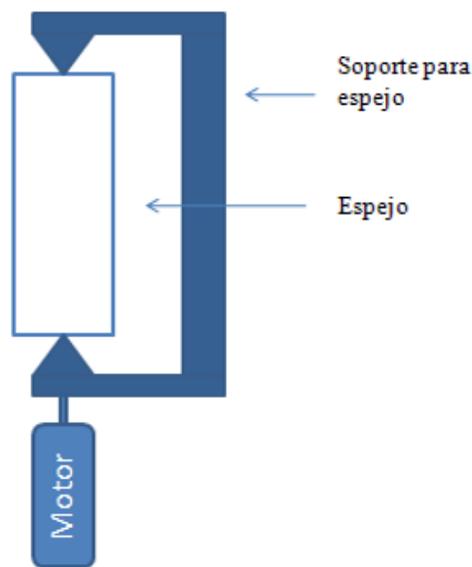


Figura 4.1: Primer tiralíneas.

El resultado de este dispositivo fue una línea irregular debido a que el material reflejante no era lo suficientemente parejo y provocaba ondulaciones en la línea, para eliminar este inconveniente se tomó la decisión de cambiar el material reflejante inicial, por un espejo convencional, el resultado fue catastrófico. El peso del espejo, si bien era pequeño, al no estar completamente centrado producía turbulencia en cada giro, esto ocasionaba que la línea proyectada pareciera mas bien una onda vibrante a una línea. Por tanto se decidió eliminar esta posible herramienta y comenzar la búsqueda de una

nueva.

Se adquirió un tiralíneas marca Truper el cual posee un led láser con una intensidad mayor a la del puntero chino, la intensidad es de 5 mw , dado que un led láser con una intensidad mayor a los 5 mw puede causar daños a la vista por exposición momentánea, se determinó usar el láser adquirido, la fotografía de este modelo corresponde a la figura 4.2.



Figura 4.2: Tiralíneas Truper.

4.2.2. Proceso de selección de la cámara

Dado que la adquisición de datos en esta investigación se hace mediante una cámara web, fue necesario conseguir una cámara que pudiera desarrollar el trabajo de manera satisfactoria, se adquirió un modelo genérico para comenzar a realizar pruebas de adquisición y verificar la calidad de los fotogramas, los problemas no se hicieron esperar, ya que justo al iniciar la captura de fotogramas, había que permitirle al sensor de la

cámara adaptarse a la cantidad de luz. Para corregir este problema se optó por tener un muestreo continuo y evitar así el retraso que originaba la autocalibración que la cámara realizaba al iniciarse.

Posteriormente se realizaron capturas presentándose otro problema en los fotogramas, esto fue, la línea láser no se presentaba como tal, sino como una línea central que se expandía a sus costados ampliándola de manera significativa; para solucionar este inconveniente se diseñó un algoritmo para promediar el haz de luz tomando los extremos expandidos de la línea y promediándolos obteniendo así la localización de la línea original. Una vez solucionado este aspecto, la imagen continuaba siendo de baja calidad y se decidió explorar la posibilidad de adquirir una nueva cámara para lo cual se realizó una minuciosa búsqueda tomando en cuenta los siguientes parámetros.

Modelo	Tipo de Sensor	Vídeo HD
Genérico	VGA	No
Logitech QuickCam Sphere AF	2MP	Si
Otros Modelos	VGA	No

Tabla 4.1: Tabla Comparativa de distintas cámaras.

Si bien en este punto se había experimentado únicamente con una sola cámara, resultaba evidente que es necesario que el video sea tomado con la mejor definición posible, muchas cámaras argumentan ser a 8MP, sin embargo, en la realidad las imágenes son tratadas por medio de interpolación para mejorar su calidad pero no entregan esa calidad.

Obtener los fotogramas en tiempo real, resulta casi imposible alcanzar alta calidad estos, a menos que se sacrifique el tiempo de captura de la línea, el cual corresponde al tiempo que tarda en llevarse a cabo la interpolación de la imagen. A partir de estos argumentos la mejor elección fue la cámara Logitech la cual ofrece una imagen de una mayor calidad la cual se obtiene directamente del sensor a una tasa de 30 FPS.

4.2.3. Proceso de selección del Filtro

Originalmente se planteó la idea de utilizar un seguidor solar con la finalidad de obstaculizar la luz directa que provenía del sol, pero pronto se hizo inminente que eso no sería posible, la complejidad del dispositivo seguidor era considerable, así mismo no garantizaba poder cubrir toda el área y de hacerlo en un día soleado la intensidad era tal que la línea láser se perdería de cualquier forma. Esto se descubrió colocando una caja con una superficie que no pudiera ser traspasada por el sol, como en la figura 4.3 y el resultado fue que la línea del láser era apenas visible y no podría ser ubicada en superficies que absorbieran la luz del láser. Para maximizar la poca luz roja que es visible al lente de la cámara se decidió emplear un filtro color rojo, el cual por su longitud de onda permite únicamente el paso de la luz roja y evita el paso del color verde y azul, dando la impresión de que la luz roja es mas intensa.

Para probar el filtro en un inicio se comenzó realizando pruebas con unos lentes color rojo, los cuales venían incluidos con el tiralíneas, la capacidad de reconocimiento del láser se incremento notoriamente permitiendo que un software sencillo pudiera interpretar la línea. Ante el buen funcionamiento del filtro se implementó en la cámara.



Figura 4.3: Simulación de un seguidor solar.

4.2.4. Proceso de construcción de la plataforma

La plataforma está construida pensando en ofrecer un sistema de locomoción que pueda ser de utilidad en un ambiente de campo. Aunque la plataforma se pensó para tener capacidad de carga de mas de un tipo de sensor, únicamente esta equipado con el SVL(Sistema de Vision Laser); así como un motor a gasolina de 50 *cc* que le permita el desplazamiento, además de ahorro de combustible por su bajo nivel de consumo, que a su vez ofrece una mayor autonomía para el robot.

Para cumplir con estos objetivos, el chasis se construyó de hierro, de tipo PTR (Perfil Tubular Rectangular) de 1/2 pulgada el cual da una excelente estabilidad al chasis a un peso competitivo ya que al estar hueco y en forma de cuadro se obtiene una mayor resistencia mecánica. Una vez seleccionado el material con el que se construyó el chasis se determinó la forma ideal para colocar los rodamientos que le permitirán el avance.

En este punto se realizó una investigación para conocer los medios de locomoción mas utilizados en robots y los ambientes en los cuales pueden trabajar identificando diferentes formas en las que un robot se desplaza [Vivas Venegas, 2010].

Una vez considerados los diferentes modelos que se emplean para la locomoción se plantearon varios posibles escenarios de uso para determinar cual sistema era el mejor. El escenario escogido para la evaluación es un punto muy importante para garantizar el mejor sistema de locomoción. En este caso se tomó en cuenta que la plataforma esta pensada para emplearse en sitios rurales, como caminos con maleza, algunas veces sumamente dura, ríos con arenas no compactadas sobre los que es fácil quedar atascado; o bien con caudales considerables, o con lodo que puede hundirse hasta 10 *cm*. Por tanto se identificaron los elementos que la plataforma deberá poder sortear y se muestran en la tabla 4.2.

Sistema \ Tipo Terreno	Carretera rural	Riachuelo seco	Riachuelo con agua	Lodo en pendiente	Maleza	Arena	Lodo
Ackerman	*	*	*	-	*	*	-
Diferencial	*	-	-	-	-	-	-
Triciclo	*	*	-	-	-	-	-
Cintas de desplazamiento	*	*	*	*	*	*	*
Patas	*	*	*	-	-	*	-

Tabla 4.2: Tabla Comparativa de los sistemas de locomoción.

El sistema que tiene mayores ventajas sobre los otros es el de desplazamiento por bandas, ya que al tener una mayor superficie en contacto con el suelo eso mejora en mucho la tracción del robot, permitiendo subir cuestras, pasar lugares fangosos o que tengan una superficie poco sólida que pudiera ocasionar que las ruedas convencionales se atasquen (hundidas en el lodo por ejemplo) o resbalen en alguna cuestra; a su vez, gracias a las 2 bandas, el peso de la plataforma es distribuido equilibradamente, lo que evita que se hunda en terrenos blandos como sucedería en el sistema Ackerman, en el que al tener una menor superficie en contacto con el suelo sus ruedas ejercen mayor presión sobre el mismo provocando atascos.

En la figura 4.4 es posible apreciar el modelo de chasis seleccionado para la plataforma. El diseño se basa principalmente en los componentes que se utilizarán para su construcción, es decir que sean fáciles de conseguir y con una buena relación costo-calidad.

Al ser construido el chasis de *PTR* es necesario equiparlo con rodamientos que permitan el giro de sus ruedas dentadas, así se toma como primera opción la adquisición de chumaceras de $\frac{1}{2}$ pulgada con un costo superior al costo estimado (véase la figura

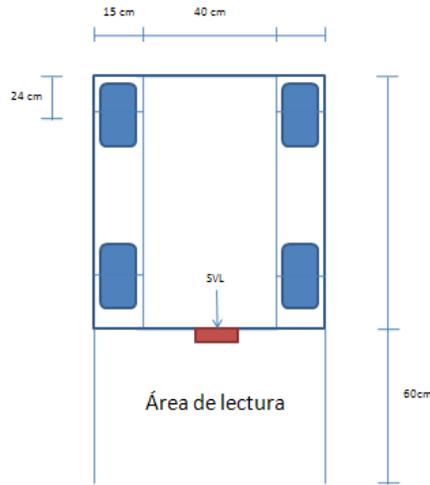
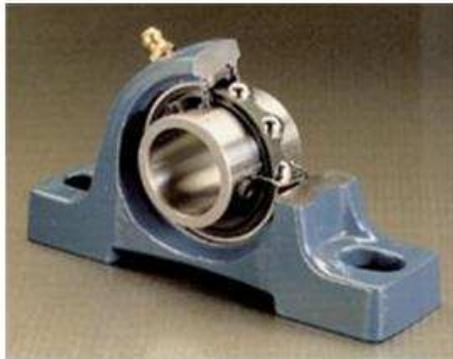


Figura 4.4: Chasis del sistema.

4.5(a)) por lo que se decidió buscar otra alternativa. La chumacera u horquilla es una pieza de metal o madera con una muesca en que descansa y gira cualquier eje de maquinaria. Las chumaceras suelen ser de plástico y tienen un pestillo que cierra la chumacera para evitar que se salga lo que sujetan. Por lo que una chumacera se puede construir con baleros y otros materiales. Con la información anterior se encontró que los baleros utilizados para las carretillas (y que pueden servir para la chumacera) tienen un costo 10 veces menor de la disponible en el mercado. Por lo tanto, se optó por adquirir los 6 baleros necesarios para que la plataforma pueda rodar libremente, no obstante los baleros por sí solos son inútiles ya que normalmente estos van montados dentro de un tubo de $2\frac{1}{2}$ pulgadas así que se instaló este tubo llevando el costo de las chumaceras artesanales a un costo 5 veces menor al encontrado en el mercado, siendo un precio sumamente económico todavía, esta se puede ver en la figura 4.5(b).

Terminada la plataforma e instaladas sus chumaceras artesanales donde se pusieron los ejes de las ruedas dentadas el siguiente paso fue agregar los ejes, los cuales son barras de hierro de $\frac{5}{8}$ que habrán de permitir el avance de la plataforma.



(a) Chumacera comercial. Costo \$100.



(b) Chumacera artesanal. Costo \$20.

Figura 4.5: Comparación de una chumacera artesanal con respecto a una comercial.



Figura 4.6: Eje de la plataforma

Finalizado lo anterior fue necesario dotar a la plataforma de la transmisión mecánica que conectaría el motor a las ruedas, primero que nada es necesario saber que el motor ya cuenta con una transmisión interna automática por tanto aunque el motor este encendido, las ruedas no se moverán a menos que se acelere; esto debido al clutch o embrague dentro de la transmisión interna del motor, que permite olvidarse de los

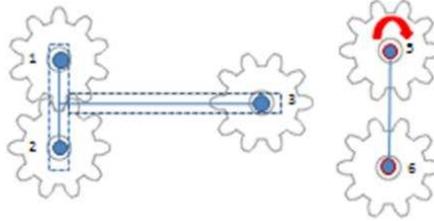


Figura 4.7: Transmisión

problemas típicos para evitar que la plataforma siga andando cuando el motor este encendido y permite enfocarse en la parte de las ruedas lo que en un auto convencional sería visto como la caja de cambios.

La transmisión o caja de cambios de la plataforma, es el conjunto de engranes que le permite a cada banda deslizante poder girar hacia adelante y atrás. Debido a que cada banda deslizante debe tener en un determinado momento la capacidad de girar en sentido contrario a la otra para poder girar sobre sí o inclusive de que mientras una de las bandas se encuentra rodando la otra pueda estar completamente quieta, es necesario que exista cierta independencia entre la transmisión de la izquierda y la derecha, por tanto podríamos decir que el modelo tendrá 2 cajas de cambio independientes entre sí pero alimentadas con una fuerza motriz proveniente del mismo motor.

Para lograr una explicación mas clara de cómo es que funciona esta transmisión se muestra el diagrama de la figura 4.7 la transmisión de forma independiente

En la figura 4.8 es fácil ubicar el motor y la barra de transmisión principal donde se ubican los engranes #5, estos engranes siempre giran hacia el mismo sentido cuando el motor es acelerado en dirección al motor.

Por otra parte el engrane #6 de la figura 4.9 esta colocado siempre debajo del engrane #5 y va unido al engrane de la rueda, conocida la ubicación de los engranes es fácil comprender el diagrama 4.7 al girar el engrane #5 en un sentido constante, este

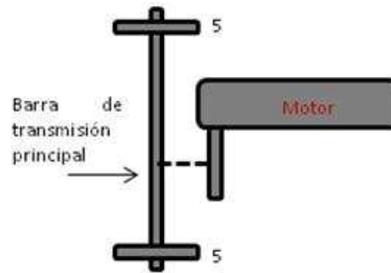


Figura 4.8: Motor y eje principal



Figura 4.9: Rueda y engrane

solo transmite fuerza mecánica desde el motor y es donde los engranes 1, 2 y 3 realizan el trabajo de definir la dirección del robot. El engrane #3 proporciona que el eje de la rueda vaya en dirección adelante. Y la combinación de los engranes 2 y 3 producen la reversa.

Cabe mencionar que la posición de los engranes #5 es entre los engranes 1, 2 y 3. Para la construcción se inicia por la denominada T la cual se construye utilizando una combinación de solera de 1.5 pulgadas y PTR de $\frac{1}{2}$ pulgada, Para proporcionar una superficie donde se pueda soldar 3 barras de hierro de $\frac{5}{8}$ de pulgada las cuales alojarán los engranajes.

Posteriormente a la T se le agregan 3 engranes los cuales están fabricados en nylamid el cual es un material de una resistencia mecánica comparable con el acero pero cuyo peso es inferior; se eligió este material en lugar de otros como el aluminio o el bronce por razones meramente económicas, mientras que un engrane de nylamid tiene un costo

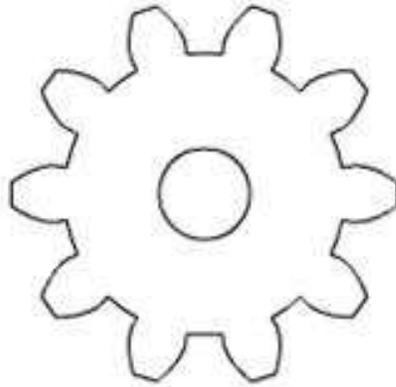


Figura 4.10: Modelo de engrane

en materia prima de \$90MX el engrane de aluminio tiene un costo de \$95MX en bruto, es decir, aun después de haber sido fundido el engrane debe ser llevado a un torno el cual cobrara \$400 MX por cada engrane maquinado; por lo tanto nylamid resulta ser mucho mas económico.

Para la fabricación de estos engranes primeramente se diseñó una plantilla del engrane en papel Figura 4.10 para determinar la forma que el engrane debería tener, posteriormente esta plantilla se pegó a una placa de aluminio de 2ml de espesor la cual fungirá como plantilla principal, esta se cortó con sierra caladora en sus partes mas gruesas hasta aproximarse a escasos milímetros de la línea del dibujo, generalmente no se avanza mas con la sierra debido a que por su velocidad y potencia seria muy fácil cortar donde no se desea, por tanto es necesario utilizar una lima para metal en los últimos detalles que permita remover el excedente de material de la plantilla de una forma segura. Una vez hecho esto la plantilla está lista para usarse.

Una vez concluida la plantilla el siguiente paso en la fabricación de engranes consta de cortar bloques de nylamid de la placa principal de tamaño aproximado al engrane,

esto con la finalidad de que el procedimiento de fabricación de un engrane no dañe el resto de la placa, debido a que se utiliza pintura para marcar el corte de la caladora, para cortar nylamid de una manera rápida y segura es sumamente importante seguir las especificaciones del fabricante a la hora de cortar. Las especificaciones son tales como utilizar la sierra adecuada de 6 dientes por pulgada preferentemente trincados, esto es que los dientes no son parejos sino que se encuentran apuntando hacia afuera de la sierra y se intercalan uno a uno en direcciones contrarias; así como tener especial cuidado en refrigerar la sierra con agua, ya que de lo contrario el calor producido por la fricción de la fundirá el nylamid provocando que la sierra se atasque.

Cuando se tiene cortado el bloque que dará inicio a la generación de un engrane se continua con un paso muy importante, el pintado de la pieza. En este paso se puso la plantilla de aluminio perfectamente amoldada al bloque de nylamid y bañarla con una fina capa de pintura en repetidas ocasiones con la finalidad de delimitar un contorno donde habrá una línea definida por un área con pintura y otra color hueso, al retirar la plantilla se podrá observar que debajo de ella esta el engrane perfectamente definido y listo para ser cortado.

Debido a la dureza del bloque de nylamid es necesario realizar orificios entre los dientes del engrane para facilitar el corte de la caladora ya que a diferencia de la madera al cortar en nylamid es sumamente complicado girar la sierra para cambiar el rumbo, por tanto el corte debe ser lineal. Para realizar un perforación en línea recta es recomendable utilizar un taladro de banco, y una vez realizados los huecos ahora toca el turno a la caladora la cual corta de las orillas del bloque hacia el centro.

Con el corte hecho se desprenderán segmentos triangulares y dejarán un hueco, en este momento es tiempo de utilizar la esmeriladora con un disco de lija grano 40, el fin que se persigue al cambiar a la esmeriladora es poder dar un poco mas de detalle al engrane debido a que los esmeriles suelen trabajar a unas 11,000 RPM es necesario

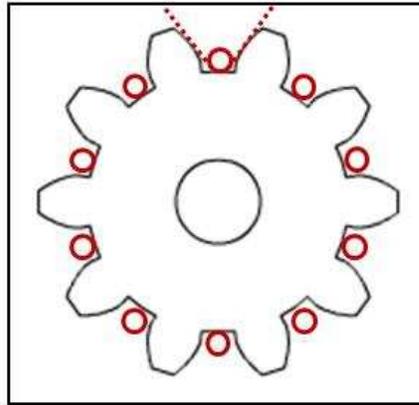


Figura 4.11: Nylamid con el patron de corte y perforación.

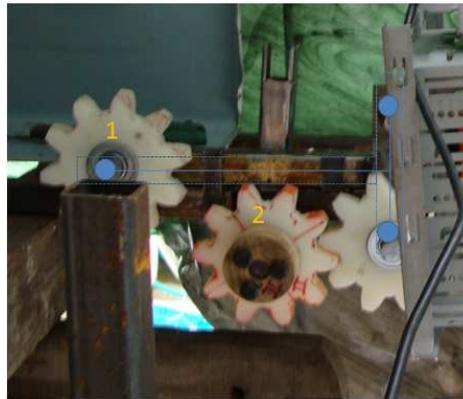


Figura 4.12: Transmisión

tener cuidado en no desgastar zonas que no deben ser removidas, a pesar del riesgo que existe no hay otra forma mas rápida de realizar el corte, a menos que se realice en un taller de torneado o con maquinaria especializada. Véase la figura 4.11.

Realizados los engranes técnicamente se tiene la transmisión terminada; no obstante existen 2 tipos de engrane los de giro libre y los engranes que deben prensarse a la barra de hierro en la que se le implementará.

Los engranes pueden ser identificados en la figura 4.12, el engrane definido con el número 1 el cual es el engrane de giro libre en esta gráfica y el engrane #2 el cual es el



Figura 4.13: Terminación de un engrane

engrane prensado al cual se le agrega un círculo realizado en madera de 3 *cm* de grosor al cual se le realiza una perforación de en el centro de $\frac{5}{8}$ de pulgada para permitir que la barra entre en esa posición. También se hacen 3 agujeros triangulares en las orillas para permitir que la madera sea atornillada al engrane de nylamid, además se le realizan tres agujeros al engrane en la misma forma que a la madera y se les crea una cuerda con un machuelo para que los tornillos entren sin problema y puedan quedar bien sujetos. Por último se practica una perforación roscada en un costado de la madera y se le hace una cuerda para ubicar el tornillo que sujetará la barra de hierro. El engrane terminado se muestra en la figura 4.13.

Teniendo la transmisión completa se trabajó en el montaje de las bandas deslizantes, las cuales tienen como soporte principal llantas de carretilla con capacidad para 100 *kg* cada una, por lo que la plataforma tendrá una capacidad de carga máxima de $\pm 400\text{kg}$



Figura 4.14: Plataforma con llantas instaladas

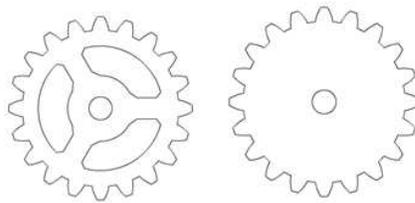


Figura 4.15: Derecha: Engrane con Spokets. Izquierda: Engrane Simple

distribuidos de manera uniforme. Véase la figura 4.14.

A las llantas montadas se les agrega una rueda tentada para transmitir la fuerza mecánica desde la transmisión a la banda, la cual está construida en madera con fines de realizar el experimento, cabe aclarar, que en caso de ser necesario esta misma pieza puede ser retirada y enviada a la fundición para obtener una mejor resistencia mecánica, es posible enviar esta pieza debido a que una de nylamid sería mucho mas costosa ya que se tendría que comprar una placa de \$1200MX para extraer uno de estos engranes, mientras que si se funde se le pueden crear spokes, los cuales son brazos que fomentan el ahorro de material sin sacrificar resistencia mecánica de forma considerable (véase la figura 4.15).

En las figuras anteriores se puede apreciar el ahorro de material en un engrane de

gran tamaño con spokes a uno que no lo tiene. Montados los spokes se construyó la banda a medida de los dientes del engrane, la banda deslizante se hizo en hule faldón de $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor y madera.

4.3. Módulo de Software

4.3.1. Software usado: Matlab

El software utilizado para esta investigación es matlab 7.0.1, se seleccionó por su capacidad para procesar matrices así como su fácil acceso al canal de video de la PC.

Matlab ofrece diversas características de configuración de la resolución así como poder elegir el canal de video en caso de tenerse múltiples cámaras instaladas con lo que se evita tener que utilizar software ajeno al lenguaje para poder acceder al los parámetros del dispositivo de captura.

Otra de las grandes ventajas de Matlab sobre otros lenguajes de programación es que la versión 7.12.0 cuenta con un compilador que traduce el código de un lenguaje de alto nivel como lo es Matlab a un lenguaje de nivel bajo como lo es lenguaje *C*, lo que permite que el software consuma menos recursos haciéndolo mas rápido en su ejecución. Al final se obtiene un archivo ejecutable el cual puede funcionar en un equipo sin tener instalado Matlab.

4.3.2. Función del software

Al inicializar el programa lo primero que se hace es limpiar la memoria, al recibir la imagen en una matriz de $n \times m$ el software atiende a la matriz del componente *R*, lo que permite disminuir a la carga de procesamiento y uso de memoria de la pc donde se corre el programa.

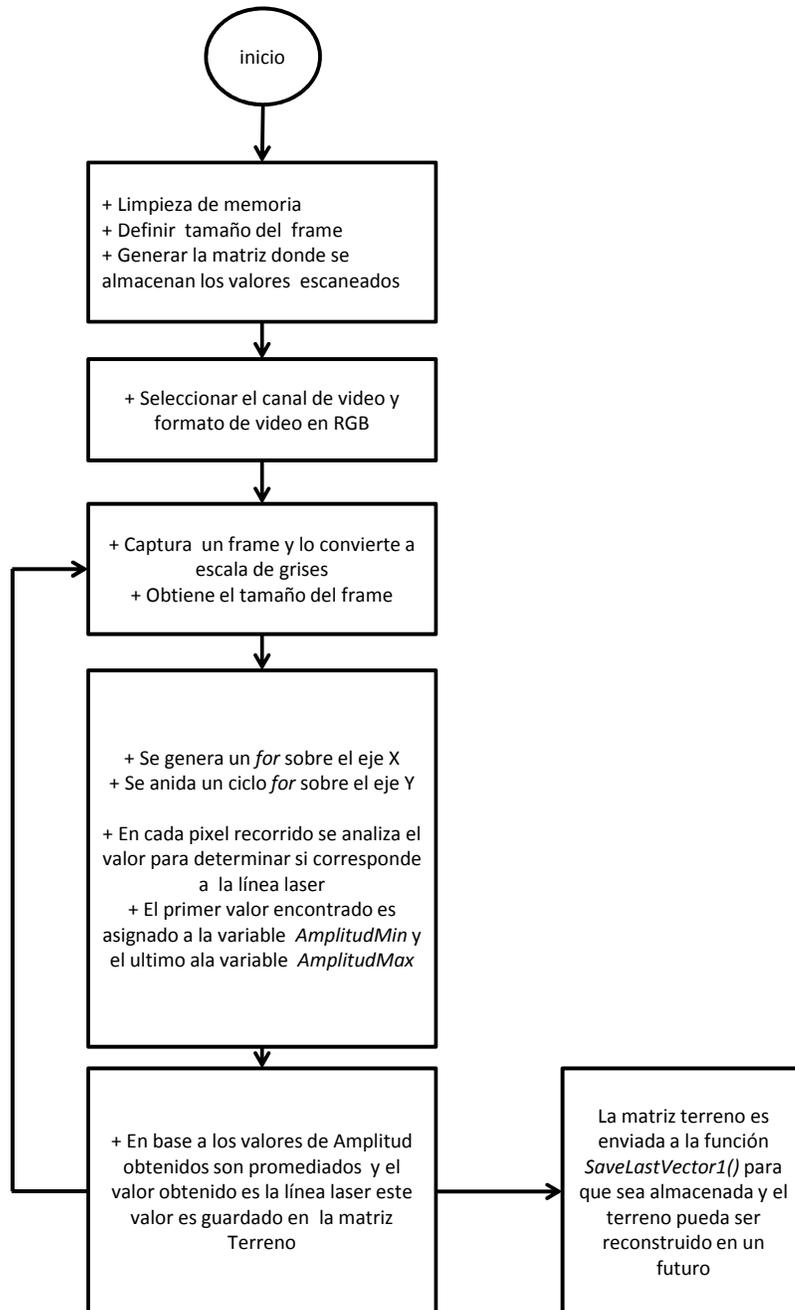


Figura 4.16: Diagrama de flujo

4.3.3. Código Fuente

A continuación se muestra el código fuente y se da una breve explicación del funcionamiento del mismo.

La primera parte del código esta dedicada a la preparación del hardware, primeramente se limpia la memoria para eliminar el contenido de cualquier variable que pudiera retener información de una ejecución anterior. De esta manera se puede garantizar el rendimiento de la aplicación eliminando basura de la memoria, posteriormente se define la variable *res*, la cual define el tamaño de los fotogramas que serán capturados por la cámara web, también se define la variable *Terreno*. Esta Matriz almacenará la información captada por la cámara y es esencial para la representación 3D, es importante mencionar que a la matriz se le esta aplicando la función *ones*, la cual llenará cada bloque de la matriz de números 1, esto se realizó con la intención de que se tenga una superficie plana al momento de generar la representación 3D, es por este motivo que no es posible dejar vacía la Matriz.

Para una mejor comprensión de este problema se podría poner como ejemplo querer construir una gráfica sin datos, por tal motivo Matlab mandaría error en caso de intentar crear una representación 3D con una matriz vacía.

```
1 //SVL BETA 1.6
2
3 clear all;
4 res = [320, 240];
5 Terreno = ones(1, (320/10));
```

A continuación se crea la variable que dará el acceso al canal de video, conteniendo parámetros como el canal de video de windows que utilizará, la configuración de color, en este caso RGB así como la resolución del fotograma a capturar, obteniendo dicha información de la matriz *res*, estos parámetros son los que arrancaran la cámara, es

decir, este procedimiento es usualmente realizado por el software que acompaña a las webcams, dado que en este caso el software es Matlab la configuración se realiza dentro del código fuente. una vez configurada la cámara web se abre el preview, el cual tiene dos funciones, la primera es mostrar que la configuración de la webcam es la correcta, y la segunda es un poco mas compleja, por lo que se explicará detalladamente a continuación.

Cuando una cámara es encendida por primera vez los primeros milisegundos solo se obtiene una imagen negra, ya que la velocidad de respuesta del sensor no es tan rápida, posteriormente, la cámara necesita de al menos 0.5 segundos para ajustar el foco de la cámara y lograr una imagen adecuada, ahí radica la importancia de esta línea de código, ya que sin ella, la cámara entraría en modo de inactividad después de tomado el fotograma y esto originaría que todos los fotogramas tuvieran una imagen negra.

```
6 cam = videoinput('winvideo', 1, ...  
7           ['RGB24_', num2str(res(1)), 'x', num2str(res(2))]);  
8 preview(cam);
```

En esta línea de código se crea un ciclo infinito el cual estará capturando un fotograma en un intervalo de tiempo determinado.

```
9 while(1)
```

Mediante la función *getsnapshot* se obtiene el fotograma en formato RGB, o expresado en términos de Matlab, una matriz de $m \times n \times 3$, dicha matriz es posteriormente convertida a escala de grises, permitiendo que la luz del láser sea mas contrastante con respecto al resto de los colores presentes en la imagen.

```
10     frame = getsnapshot(cam);  
11     frameG=rgb2gray(frame);
```

La siguiente línea de código extrae los valores del *frameG*, los cuales fijarán los parámetros para el análisis de los fotogramas, ancho y largo, esta información se car-

gará en dos ciclos *for* anidados los cuales harán una exploración con respecto de x y y .

```
12 [m,n,d]=size(frameG);
```

En esta parte del código fuente se inicializa el primer *for*, la cuenta de este *for* se inicializa en 1 y se avanzará de 10 en 10 pixeles por vez, la intención es reducir el número de muestras que se toma y mejorar el desempeño de la aplicación aunque esto también ocasiona baja resolución al momento de tomar una lectura.

```
13 for x=1:10:n,
```

Dado que la luz del láser no se presenta como una línea totalmente nítida, sino como una línea amplia que es mas intensa en el centro y va perdiendo luminosidad a los lados, es necesario obtener los extremos con un porcentaje de luminosidad válido para conocer el centro de la línea del láser. Las dos variables de amplitud abajo declaradas son las responsables de almacenar estos parámetros.

```
14 AmplitudMin=1;
```

```
15 AmplitudMax=1;
```

Al iniciar el *for* anidado es evidente que existe una diferencia con respecto del *for* que realiza el barrido del fotograma en horizontal, ya que en el horizontal era posible disminuir la cantidad de lecturas que se harán sobre el fotograma, evitando el análisis de algunos pixeles, por otra parte este ciclo *for* esta forzado a realizar un barrido de cada pixel con la intención de detectar en ellos la línea del láser, de no hacerlo podría no encontrar el láser.

```
16 for y=1:m,
```

El condicional *if* es donde se ajustará la sensibilidad del láser dado que el filtro físico ya se encargó de resaltar la línea del láser, a los valores máximos, podemos decir que cualquier valor por arriba de los 220 es luz proyectada por el láser, la línea siguiente que

aparece comentada pintará cada pixel que cumpla con esta condición en color negro, la función de esta línea es únicamente demostrativa por tal motivo aparece comentada.

```
17         if frameG(y,x)<220,  
18             % frameG(y,x)=0; %Pinta la zona que cumple
```

Una vez descartados los pixeles no válidos, se procede a pintar en la imagen los pixeles que están dentro del rango de sensibilidad, hecho esto existe una condición la cual captura el primer pixel válido y se asignará al valor mínimo del brillo, posteriormente se asigna al valor máximo, el valor máximo continuará avanzando hasta que la condición de sensibilidad no se cumpla.

```
19         else  
20             frameG(y,x)=100;  
21             if AmplitudMin==1  
22                 AmplitudMin=y;  
23             end  
24             AmplitudMax=y;  
25  
26         end  
27  
28     end
```

Obtenidos los valores máximo y mínimo solo resta realizar un promedio para encontrar en el centro la línea y pintar el pixel para poder realizar una identificación visual en la imagen y verificar que la operación se haya realizado según los parámetros especificados, a continuación muestra el frame (ventana) con las modificaciones realizadas.

```
29         a=mod(AmplitudMin+AmplitudMax,2);  
30         w=(AmplitudMin+AmplitudMax-a)/2;  
31         frameG(w,x)=50;  
32  
33     figure(3)
```

```
34     imshow(frameG);
```

Las siguientes líneas de código guardan el contenido de la variable w en la matriz *Terreno* y envía esa información a la función *SaveLastVector1()*, la matriz *Terreno* sirve para reconstruir el terreno escaneado.

```
35     Terreno(((x-1)/10)+1)=w;
36
37     SaveLastVector1(Terreno,n,m);
38
39     end
40
41
42     disp('-New Frame-')
43     pause(.2)
```

Capítulo 5

Experimentación

En este capítulo se presentan las fases experimentales del sistema de visión láser. Para la parte experimental se realizaron pruebas en ambientes no controlados, semicontrolados y controlados.

5.1. Experimentación. Fase 1.

Se realizó un screen shot o captura de imagen con la finalidad de observar el desfase de la luz láser en un relieve sobre una superficie plana. Para llevar a cabo este screen shot se colocó la cámara en un ángulo aproximado de 5 grados con respecto a la luz láser y se observó que dicho desfase se podía distinguir en la cámara con facilidad, sin embargo no era muy notorio. El siguiente paso dentro de esta fase de experimentación, fue realizar un procesamiento de la imagen para aislar el color rojo de la luz láser, por medio de una función en la matriz de la imagen, la cual elimina el resto de los colores basándose en el entendido de que una matriz va de 0 a 255 en color, siendo el 0 un negro total y el 255 un blanco total, siendo así, si el color rojo corresponde a una gama de 200, se programa la función para eliminar todos los colores que estén por encima y debajo del rango requerido de color en este caso, 200 para el rojo. No obstante, durante

esta prueba se observó que la función era susceptible al ruido, ya que por variaciones de la luz la cámara y la función, captaban tonos de rojo que no correspondían a la imagen de la luz láser y no eran eliminadas por el programa. Véanse las figuras 5.1 y 5.2.

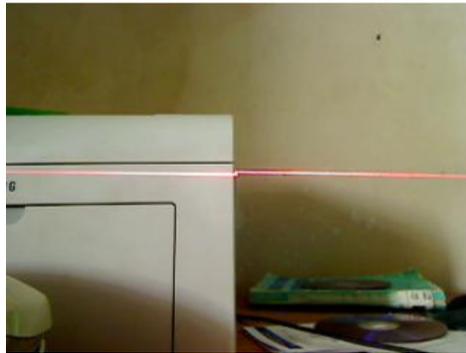


Figura 5.1: Desfase de línea láser



Figura 5.2: Procesamiento de la imagen 5.1

5.2. Experimentación: Fase 2.

El siguiente punto de la fase experimental del sensor de imagen fue lograr el reconocimiento de la línea de luz láser incrementando el ángulo de la cámara para permitir un mayor desfase de la línea y de este modo, realizar una medición más precisa. En esta

ocasión, se colocó la cámara en un ángulo de 45 grados y se procuró que el ambiente en el que se realizó la prueba fuera controlado, con una luz constante sin influencia medioambiental, por lo cual la luz alrededor de la línea láser no se modificaba en ningún momento. Este factor ayudó a fijar en el código un parámetro determinado de intensidad que le permitió detectar el color de la luz láser mas certeramente al momento de procesar la imagen.

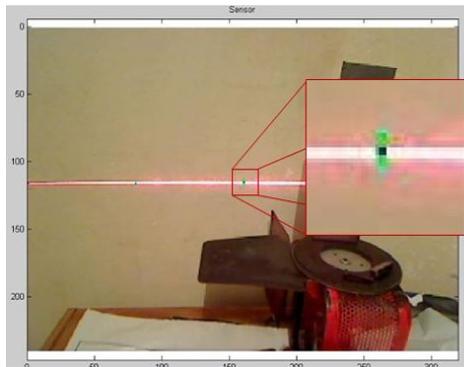


Figura 5.3: Captura en ambiente controlado

En la figura 5.3 se puede apreciar que al contacto del láser con una superficie se genera un resplandor, para eliminarlo se realizó un barrido desde $1 \leq x \leq n$, se fija un rango de color, de una intensidad 200 dado que la luz proyectada por el ambiente rondaba los 160, al detectarse x con un valor mayor al rango mínimo de intensidad establecido, este valor es asignado a una variable *AmplitudMin* la cual almacena uno de los extremos del área resplandeciente el extremo mas cercano a $x = 1$, el extremo contrario perteneciente al lado mas cercano a $x = n$ se almacena en la Variable *AmplitudMax*, una vez obtenidos dichos valores, se realizó un promedio de los mismos, lo cual nos ubicó en el pixel intermedio, dando oportunidad de determinar la línea central de la luz láser.

5.3. Experimentación: Fase 3.

Esta fase consistió en validar la imagen de la luz láser en un ambiente externo compuesto por luz de día, pero colocando tanto la luz láser como la cámara en un área sombreada, obteniendo con esto que la imagen resultara confusa para el software al tener distintas tonalidades e intensidades de color.



Figura 5.4: Captura en ambiente externo con puntos iluminados por luz solar

Basándose en la imagen, se obtuvo como resultado que en los puntos donde la luz de día se filtraba, se perdía la imagen de la luz láser para la cámara. Así mismo, los bordes de la luz láser no eran detectables al momento de procesar la imagen, esto se puede apreciar en la figura 5.5. Al realizar el muestreo rápido de la matriz, se observó que en el componente R de la imagen se detectaron zonas con los parámetros de intensidad esperados, recordando que estos eran 200-230, sin embargo, se detectó también que algunas de las zonas iluminadas por la luz también alcanzaban estos parámetros de intensidad, por lo que, ante este inconveniente se determinó recurrir al filtro rojo, esto con el objetivo de incrementar la definición de la línea de la luz láser y eliminando el resplandor de la luz de día; esto se puede corroborar en la imagen, en la cual se observan las distintas pruebas que se realizaron utilizando diferentes objetos con grados variables

de reflexión y de color.

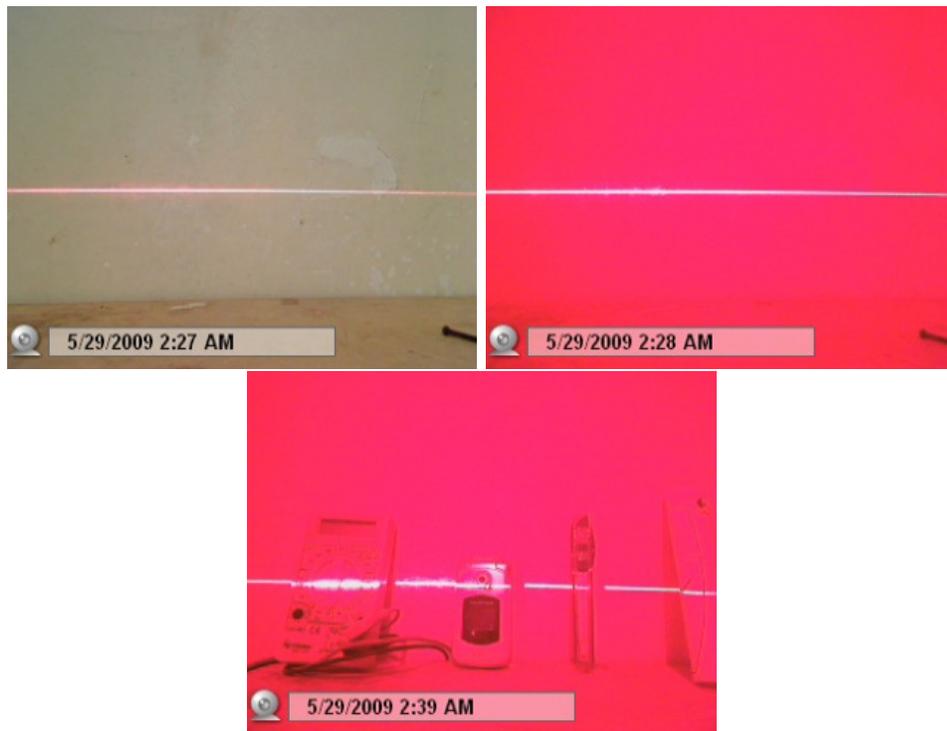


Figura 5.5: Efecto del filtro rojo sobre una captura

5.4. Experimentación: Fase 4.

Una vez añadido al sistema el filtro rojo, se procedió a realizar una nueva prueba de campo, que se llevó a cabo en ambiente semi controlado con luz de día, en un área iluminada indirectamente por luz medioambiental, la cubierta de la cámara poseía orificios por los que se filtraba la luz. En la imagen, se aprecia una captura con la cámara, la cual tenía el filtro rojo instalado, en ésta se puede observar que los sitios donde se filtraba luz de día presentaban tonalidades más intensas que la de la luz láser, por lo cual era factible distinguirla al momento de procesar la imagen.

Se pudo procesar una imagen debido a que presentaban un valor de intensidad mas

alto y por lo tanto eliminable durante el procesamiento, sin embargo, si los puntos iluminados por el medio ambiente se empalmaban con la línea de la luz láser, aun con el filtro rojo, esta última se perdía debido a que la luz medioambiental, al ser mas intensa, hace imposible la lectura de la luz láser.

No obstante, en este caso, se puede utilizar un filtro al momento de procesar la imagen, el cual, una vez conociendo el grado de intensidad de la luz láser, digamos 215, borraría el resto de las intensidades por encima y debajo de este nivel, como en las primeras pruebas que se realizaron, y así, lograr determinar la línea láser. Sin embargo, un inconveniente de este tipo de procesamiento consiste en que se pierda la detección en sectores menos iluminados.

Cabe señalar que la prueba se realizó en un ambiente sombreado, por lo que para que el filtro por software funcione es necesario tener una superficie con sombra que proteja de los rayos solares directos el área de lectura debido a que en una segunda prueba que se realizó durante esta fase, en la cual se llevaba la cámara a una superficie iluminada por luz de sol sin sombra, la luz del láser se perdía por completo al ser demasiado intensa la luz medioambiental. Ver figura 5.5

5.5. Experimentación: Fase 5

Basados en la fase experimental anterior, esta fase consistió en probar distintos materiales para proteger la cámara de la luz medioambiental, con el objetivo de poder utilizar el sensor en ambientes exteriores. Se buscó proteger la carcasa de la cámara en su totalidad. En la figura 5.6 se observa el interior del SVL, cubierto con varias capas de un material plástico de color negro y en otra parte con una lona de aproximadamente 2 mm de espesor y una piel sintética para minimizar la luz solar. Posteriormente, se puede observar la imagen obtenida por la cámara del sensor, en la cual se observa que

la zona cubierta por el material plástico fue insuficiente para disminuir la intensidad de la luz solar a un grado que permitiera visualizar la luz láser. La zona cubierta por la lona y piel sintética, permitió por su parte una mayor oscuridad y la visualización de la luz láser, permitiendo su lectura aunque de manera parcial.



Figura 5.6: SVL cobertura del sensor y resultado de la captura

5.6. Experimentación: Fase 6

Luego de comprobar en el ambiente semi controlado que los valores de la luz láser eran superados por la luz solar, se decidió crear un componente extra para la plataforma, el cual se denominó área de lectura. Éste estaba compuesto por tres capas de material plástico de color negro que tenían la función de evitar el paso de la luz solar y absorber la luminosidad que pudiese filtrarse. Este componente, en su parte inferior contaba con faldones que permitían el paso de los objetos que se encontraran en el camino pero que, al ir en contacto con el suelo, evitaban la entrada de luz proveniente del exterior. Al hacer la prueba con el componente en ambiente de campo con luz de día, se comprobó que la línea de la luz láser era visible, sin embargo, en los extremos se volvía difusa por la luz que alcanzaba a filtrarse, volviendo difícil la lectura. Aun así, la prueba

se consideró con resultado positivo al poder evaluar en la zona central del dispositivo la línea de la luz láser y los relieves que ésta marcaba aun cuando estos fueran de un tamaño menor para el que fue diseñado.

Capítulo 6

Resultados y discusión

Dado que el resultado de las hipótesis no fue el esperado, se generaron ciertos cambios en la programación para lograr alcanzar el objetivo deseado

Hipótesis 1: Refutada

Durante la prueba se detectaron grandes niveles de luminosidad en las Matriz RGB, al encontrar un objeto cuya capacidad de reflexión fuese alta, por ejemplo un pedazo de papel blanco, los valores se salían de los rangos asignados para la detección de la luz láser, lo que dificulta la detección.

La primer prueba se origina con la intención de comprobar la hipótesis H1, la cual argumenta que es posible realizar la lectura de un láser si se utiliza un seguidor solar, el cual tiene el objetivo de bloquear la luz directa del sol, sobre el área donde se pretende encontrar la línea del láser, esta prueba se realiza utilizando una placa cilíndrica de metal de 60cm de diametro, a una altura de 40 cm del suelo, en un día nublado con poca luz solar, en la imagen 6.1 es posible apreciar esta descripción y la poca percepción que se tiene de la luz del láser a simple vista.



Figura 6.1: Luz láser proyectada debajo de un seguidor solar en un día nublado

Los valores de la luz externa son predominantes; ante cualquier filtración, por mínima que esta sea, el software la detecta y cae en error, por lo tanto no es posible asignar rangos de lectura, es decir un mínimo y máximo, para evitar la lectura de zonas iluminadas con luz solar, ya que al tener la luz del sol un valor superior a lo establecido en los rangos, produce interferencias erráticas en la lectura.

Independientemente, resulta complejo asignar este rango, ya que el valor RGB de un punto determinado de la línea del láser puede afectar su valor en virtud del material que lo refleja y la iluminación externa, ya que no se tendrá un valor igual a las 12:00 am que a las 12:00 pm.

Hipótesis 2, parcialmente refutada

Durante las pruebas realizadas en esta investigación fue comprobable el hecho de que la utilización del filtro rojo aumenta la nitidez de la línea del láser, no obstante, el efecto del filtro se elimina ante la presencia de la luz solar dado que la luz solar posee una intensidad lumínica superior a la generada por un diodo láser.

Hipótesis 3, aceptada

En esta investigación se mostró que se puede construir un robot a muy bajo costo que pueda transitar por terrenos no planos obteniendo retroalimentación del suelo, siempre y cuando se pueda garantizar un ambiente mas controlado de la luz del día.

6.1. Discusión

Esta investigación tuvo como principal objetivo el lograr la captura de un relieve mediante el uso de un tiralíneas láser y una cámara web en un ambiente exterior, el objetivo de reconocer la línea del láser fue alcanzado en la universidad de Berkeley con lo cual sustenta la viabilidad el proyecto.

Pese al correcto desarrollo del hardware y de tomar en cuenta todas las variables posibles como la luz y el uso de filtros es invariable el hecho de que no es posible detectar el láser al ser expuesto a niveles superiores de luminosidad. Este factor puede ser reducido obstaculizando la iluminación directa del láser. Sin embargo, al tratarse de un medidor de terrenos, los faldones propuestos para evitar la entrada de luz solar, no son capaces de evitarla por completo, esto debido a que conforme se avanza por el terreno que se esta tratando de capturar ese se levanta por efecto de los objetos que puede llegar a encontrar en el camino, este hecho indica que siempre se tendrán filtraciones de luz haciendo que este sistema no tenga un 100% de efectividad en las lecturas.

No obstante el SVL demuestra su potencial al ser capaz de reconocer el láser en áreas donde se tiene una iluminación parcialmente controlada al igual que sucede en el proyecto desarrollado por la universidad de Berkeley, si bien en esta investigación no se logró alcanzar el 100% del objetivo propuesto, se puede considerar que se alcanzó un

buen porcentaje.

Este trabajo de investigación puede tomarse como base para otros tipos de sensores como de ubicación geográfica y sensores de obstáculos en ambientes industriales donde los robots necesitan reconocer la posición exacta de un objeto.

Capítulo 7

Conclusiones

Luego del proceso de investigación realizado, la creación del sensor y sus respectivas pruebas tanto en ambiente controlado como en campo ya descritas anteriormente, se puede concluir lo siguiente:

La luz láser por sí misma no puede ser detectada en todos los ambientes cuando se expone a distintos grados de luminosidad, pues aun con software específico para eliminación de colores, existen intensidades que opacan el color del láser. Es necesario añadir al sensor ciertos dispositivos de protección contra la luz a fin de aislar la luz láser todo lo posible, y, aunque se lograron obtener mediciones fidedignas con estas protecciones, el grado de error continua siendo alto debido a la luz que logra filtrarse en las orillas del área de lectura.

Considerando que siempre se obtuvieron márgenes de error en campo, se concluye que es necesario utilizar el sensor en ambientes semicontrolados o controlados a fin de obtener mediciones óptimas. Este sensor es efectivo para aplicarse en un robot pequeño que se utilice en un ambiente controlado o semicontrolado siempre y cuando se utilicen las protecciones de luz y el filtro rojo, lo cual mejora la nitidez de la línea de la luz láser haciendo mas factible su medición.

Para mejorar el grado de fidelidad de las mediciones del sensor de terrenos sería

necesario añadir al mismo otro tipo de tecnologías como ultrasonido y procesamiento de imágenes para así complementar y potenciar el efecto del sensor. Se debe recordar que ninguna tecnología en sensores es completamente efectiva, es decir, todas presentan margen de error en la distinción de superficies, por lo que se puede considerar al sensor de terrenos como un dispositivo efectivo para lo que fue planeado.

El estudio de las posibles tecnologías para añadir al sensor y la ampliación de sus posibilidades por medio de las mismas, es materia que excede el estudio propuesto en este trabajo, sin embargo, el presente crea un antecedente sobre el cual es posible partir para mejorar y hacer mas efectivo el campo de sensado de terrenos y detección de relieves.

Apéndice A

Código Fuente

Main.m

```
1 //SVL BETA 1.6
2
3 clear all;
4 res = [320, 240];
5 Terreno = ones(1,(320/10));
6
7 cam = videoinput('winvideo', 1, ...
8                 ['RGB24_', num2str(res(1)), 'x', num2str(res(2))]);
9
10 preview(cam);
11
12 while(1)
13
14     frame = getsnapshot(cam);
15     frameG=rgb2gray(frame);
16
17     [m,n,d]=size(frameG);
18
19     for x=1:10:n,
```

```
20
21     AmplitudMin=1;
22     AmplitudMax=1;
23
24     for y=1:m,
25
26         if frameG(y,x)<220,
27             %frameG(y,x)=0;      %Pinta la zona que cumple
28
29             else
30
31         frameG(y,x)=100;
32             if AmplitudMin==1
33                 AmplitudMin=y;
34             end
35             AmplitudMax=y;
36
37         end
38
39     end
40
41     a=mod(AmplitudMin+AmplitudMax,2);
42     w=(AmplitudMin+AmplitudMax-a)/2;
43     frameG(w,x)=50;
44
45 figure(3)
46     imshow(frameG);
47
48     Terreno(((x-1)/10)+1)=w;
49
50     SaveLastVector1(Terreno,n,m);
```

```
51
52     end
53
54
55     disp('-New Frame-')
56     pause(.2)
```

SaveLastVector1.m

```
1
2 function S = SaveLastVector1(Terreno,n,m)
3
4
5 fid=fopen('Terreno.m','a');
6 fprintf(fid, '%d\t',Terreno);
7 fprintf(fid, '\n');
8 fclose(fid);
9
10 load Terreno.m
11 n=n/10;
12 m=m/10;
13
14 MatrizTerreno = Terreno;
15 [Tx,Ty] = size(MatrizTerreno);
16 MatrizTerreno3D = MatrizTerreno(Tx-23:Tx,[1:32]);
17
18 [x,y] = meshgrid(1:1:n, 1:1:m);
19
20 z=MatrizTerreno3D;
21
22 figure(2)
23 surf(x,y,z,'FaceColor','red','EdgeColor','none')
```

```
24 camlight left; lighting phong
25
26 view([161 30])
```

Bibliografía

- [Ortiz Zamora, 2002] Ortiz Zamora, F. G. (2002). *Procesamiento morfológico de imágenes en color: aplicación a la reconstrucción geodésica*. PhD thesis, Universidad de Alicante. Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. [fecha de consulta: 06 Septiembre 2010]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/10053>.
- [de la Fraga, 2001] de la Fraga, L. G. (2001). Procesamiento digital de imágenes. [fecha de consulta: 26 Agosto 2009]. Disponible en: <http://delta.cs.cinvestav.mx/~fraga/Cursos/PDI/cap1.pdf>.
- [de València, 2012] de València, U. P. (2012). Láser: Clases, riesgos, medidas de control. [fecha de consulta: 3 Noviembre 2013]. Disponible en: http://www.spr1.upv.es/IOP_RF_01%28a%29.htm#punto1.
- [digitalfotored, 2005] digitalfotored (2005). El filtro fotográfico. [fecha de consulta: 14 Diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.digitalfotored.com/fotografia/filtrofotografico.htm>.
- [Esqueda and Palafox, 2005] Esqueda, J. and Palafox, L. (2005). *Fundamentos para el procesamiento de imágenes*. UABC, México.

- [Frueh, 2005] Frueh, C. (2005). Dynamic scene modeling. [fecha de consulta: 16 Diciembre 2009]. Disponible en: https://buffy.eecs.berkeley.edu/PHP/resabs/resabs.php?f_year=2005&f_submit=one&f_absid=100664.
- [Gómez-Bravo, 2012] Gómez-Bravo (2012). Aparcamiento paralelo en vehículos no holónomos con y sin remolque. *Jornadas*.
- [González and Woods, 1996] González, R. C. and Woods, R. E. (1996). *Tratamiento digital de imágenes*. Ediciones Díaz de Santos, ilustrada edition.
- [López Ovando, 2010] López Ovando, A. (2010). Tratamiento digital de imágenes - maestría en tecnologías de la computación.
- [Ramírez, 2006] Ramírez, B. E. (2006). Apuntes del curso impartido por el dr. boris escalante ramírez.
- [Silfvast, 2004] Silfvast, W. T. (2004). *Laser fundamentals*. Press Syndicate of the University of Cambridge, The Edimburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK, second edition.
- [Sistems, 2007] Sistems, Z. (2007). Medir la luz y el color. Technical report, Zator Sistems. [fecha de consulta: 14 Enero 2010]. Disponible en: http://www.zator.com/Hardware/H9_1_1.htm.
- [Vivas Venegas, 2010] Vivas Venegas, C. (2010). *Sistemas de Locomoción de robots móviles*. [fecha de consulta: 28 Septiembre 2010]. Disponible en: http://www.esi2.us.es/~vivas/ayr2iaei/LOC_MOV.pdf.