

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica

Proyecto de graduación

“Vehículo robótico con capacidades para verificar el cumplimiento de la Ley 7600 en Costa Rica mediante una plataforma de internet a través de red local”

María Beatriz Moya Samper

201140698

II Semestre 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

**Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado "Vehículo robótico con capacidades para verificar el cumplimiento de la Ley 7600 en Costa Rica mediante una plataforma de internet a través de red local" realizado por la señorita María Beatriz Moya Samper y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

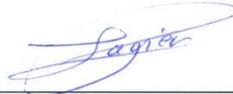
Miembros del Tribunal Evaluador



Ing. Hugo Sánchez Ortiz.
Profesor lector



Ing. Néstor Hernández Hostaller.
Profesor lector

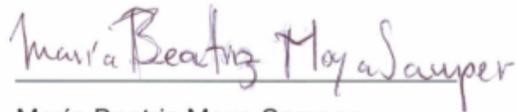


Ing. Javier Pérez Rodríguez.
Profesor asesor

Cartago, Septiembre 2018

Declaración de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado, en su totalidad, por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios. En los casos en que he utilizado material bibliográfico, he procedido a indicar las fuentes mediante citas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.



María Beatriz Moya Samper

Cédula: 402170908

Resumen

En este documento se muestra el desarrollo del control de un vehículo robótico con la posibilidad de visualizar el recorrido a través de un módulo cámara, mediante una interfaz gráfica utilizando páginas web. En este diseño se presenta además un mapa del recorrido, el cual a su vez verifica aspectos de la Ley 7600 referentes a rampas y pasillo.

Para todo lo anterior se utiliza como módulo central de procesamiento una Raspberry Pi modelo 3B, apoyándose de Arduino para la interacción con los sensores que miden las variables pertinentes a la verificación de la Ley 7600, como también de Motor Control HC para el manejo del vehículo, por otro lado, utilizando la misma Raspberry como base de datos y servidor de la página web diseñada.

Palabras clave: *Ley 7600, Arduino, Raspberry, páginas web, vehículo robótico.*

Abstract

This document shows the development of the control of a robotic vehicle with the possibility of viewing the route through a camera module, through a graphic interface using web pages. In this design a map of the route is also presented, which in turn verifies aspects of Law 7600 regarding ramps and corridors.

For all the above, a Raspberry Pi model 3B is used as a central processing module, supported by the Arduino for the interaction with the sensors that measure the variables relevant to the verification of Law 7600, as well as Motor Control HC for the management of the vehicle, on the other hand, is supported by the Raspberry platform as a database and server of the designed website.

Keywords: *Law 7600, Arduino, Raspberry, web pages, robotic vehicle.*

Índice

Introducción	1
1 Descripción General Del Proyecto.....	2
1.1 Entorno del proyecto.....	2
1.2 Síntesis del problema	3
1.3 Impacto esperado.....	3
1.4 Meta.....	3
1.5 Objetivo General.....	4
1.6 Objetivos Específicos.....	4
2 Solución Propuesta	5
3 Marco Teórico	6
3.1 Ley 7600	6
3.2 “Guía Integrada para la verificación de accesibilidad al entorno físico”	6
3.3 Tarjetas controladoras	7
3.3.1 Motor Control HC 1064.....	8
3.4 Sistema Embebido	8
3.4.1 Raspberry Pi Modelo 3B.....	9
3.5 Sensores Ultrasónicos.....	10
3.5.1 HCSR04.....	10
3.6 Brújula Digital	10
3.6.1 HMC6352.....	10
3.7 Acelerómetro	12
3.7.1 ADXL335.....	12
3.8 Encoder.....	13
3.8.1 E4P	13
3.9 Cámara Module V2	13
3.10 Arduino.....	14
3.10.1 Arduino Mega.....	14
3.11 Streaming.....	15
4 Desarrollo de la solución	16
4.1 Etapa de manejo del vehículo	17
4.2 Encoder.....	20

4.3	Cámara Raspberry Pi	22
4.4	Sensores ultrasónicos HCSR04.....	23
4.5	Acelerómetro	24
4.6	Brújula	26
4.7	Mapa.....	27
5	Implementación de la plataforma de internet.....	30
6	Resultados y Análisis.....	32
6.1	Resultado del manejo del vehículo robótico.	32
6.2	Resultado de la cámara.....	33
6.3	Resultado de la verificación de la Ley.....	34
7	Limitaciones.....	40
8	Conclusiones.....	41
	Recomendaciones.....	42

Índice de figuras

<i>Figura 1-1. Vehículo Robótico para verificar el cumplimiento de la Ley 7600. [3]</i>	3
<i>Figura 2-2-1. Esquema general de solución.</i>	5
<i>Figura 3-1. Cuadro o matriz para la verificación de la accesibilidad al entorno físico. [4]</i>	7
<i>Figura 3-2. Motor Control HC [3]</i>	8
<i>Figura 3-3. Raspberry Pi Modelo3B. [11]</i>	9
<i>Figura 3-4. Sensores Ultrasónicos HCSR04. [25]</i>	10
<i>Figura 3-5. Transmisión típica de escritura para direccionamiento de 7 bits. [32]</i>	11
<i>Figura 3-6. Brújula Digital HMC6352, vista frontal. [36]</i>	11
<i>Figura 3-7. Brújula Digital HMC6352, vista trasera. [35]</i>	11
<i>Figura 3-8. Acelerómetro ADXL335. [31]</i>	12
<i>Figura 3-9. Encoder E4P. [38]</i>	13
<i>Figura 3-10. Modulo Cámara Raspberry Pi. [33]</i>	14
<i>Figura 3-11. Arduino Mega. [28]</i>	14
<i>Figura 4-1. Diagrama de flujo del esquema general, especificando componentes y comunicación entre ellos. Diseño propio.</i>	16
<i>Figura 4-2. Diagrama de flujo de la comunicación de las tarjetas controladoras hasta la nube. Diseño propio.</i>	17
<i>Figura 4-3. Direcciones que realiza el vehículo robótico. [17]</i>	18
<i>Figura 4-4. Diagrama de flujo para direccionar el vehículo robótico. Diseño propio.</i>	20
<i>Figura 4-5. Diagrama de flujo del Encoder. Diseño propio.</i>	21
<i>Figura 4-6. Diagrama de flujo la cámara. Diseño propio.</i>	22
<i>Figura 4-7. Sensores Ultrasónicos. Diseño propio.</i>	23
<i>Figura 4-8. Diagrama de flujo del acelerómetro. Diseño propio.</i>	25
<i>Figura 4-9. Diagrama de flujo de la brújula digital. Diseño propio.</i>	26
<i>Figura 4-10. Ejemplo del mapa.</i>	27
<i>Figura 4-11 Esquema general del mapa. Diseño propio.</i>	27
<i>Figura 5-1. Funcionamiento del servidor web. [20]</i>	31
<i>Figura 6-1. Resultado final del diseño del control del vehículo, mostrado en la página web. Diseño propio.</i>	32
<i>Figura 6-2. Resultado de la cámara en el recorrido de un pasillo general.</i>	33
<i>Figura 6-3. Resultado de la cámara en el recorrido de una rampa.</i>	33
<i>Figura 6-4. Resultado gráfico de la verificación de los aspectos de la Ley 7600 para el pasillo de la Figura 6-2.</i>	34
<i>Figura 6-5. Resultado gráfico de la verificación de los aspectos de la Ley 7600 para la rampa de la Figura 6-9.</i>	35
<i>Figura 6-6. Resultado gráfico de la verificación de los aspectos de la Ley 7600, escenario que incumple.</i>	38
<i>Figura 6-7. Escenario creado para no cumplir la con la Ley 7600.</i>	39
<i>Figura 6-8. Pasillo general.</i>	36
<i>Figura 6-9. Rampa.</i>	37

Índice de tablas

<i>Tabla 4-1. Velocidades asociadas a cada movimiento.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4-2. Código de colores para las especificaciones para puertas y pasillos.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4-3. Especificaciones para rampas según el mapa web.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla A-1. Especificaciones para puertas y pasillos, Ley 7600.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla A-2. Especificaciones para rampas. Ley 7600.</i>	<i>43</i>

Introducción

Este trabajo presenta la descripción de una aplicación práctica de Ingeniería Electrónica en el área de robótica y automatización. Se muestra el proceso de diseño, implementación y validación de la interfaz gráfica para el manejo de un vehículo robótico que a su vez verifica aspectos referentes a la Ley 7600 específicamente en rampas y pasillo, a través de una página web. Este dispositivo busca proveer una herramienta que facilite la verificación de la ley ya antes mencionada.

En el presente documento se describe el proyecto en 8 secciones. El primero abarca el contexto que enmarca la problemática del proyecto, o sea, el entorno, la importancia, impacto de resolverlo y la meta del proyecto. También, se realiza la descripción del trabajo de graduación mediante el objetivo general, los objetivos específicos y la metodología.

En el segundo capítulo se presentan los conceptos que son necesarios para implementar la solución y el cumplimiento de los objetivos.

En el tercer capítulo se describe la solución del problema, así como el diseño de cada módulo y la justificación de la elección de los componentes.

En el cuarto capítulo, se menciona la implementación de la plataforma de internet para desarrollar la página web y todo lo que en ella se abarca.

En el quinto capítulo se muestra la validación del diseño propuesto. Así como también se puede encontrar las pruebas que se realizaron del modelo final para verificar el funcionamiento del vehículo y cumplimiento de los objetivos.

En el sexto capítulo se presentan las limitaciones con las que cuenta el diseño desarrollado.

El capítulo séptimo presenta las conclusiones y las recomendaciones para continuar con el desarrollo y mejoramiento del proyecto.

1 Descripción General Del Proyecto

1.1 Entorno del proyecto

Cada vez existe una mayor conciencia sobre los derechos y las necesidades diversificadas de las personas con discapacidades, esto ha llevado a la creación de numerosos artículos legislativos, como en el ámbito nacional donde nos encontramos con la "Ley de igualdad de oportunidades para personas con discapacidad", también conocida como la Ley 7600 [1].

Dicha ley se crea como parte de la Convención de las Naciones Unidas y tiene como objetivo brindar una herramienta para el desarrollo integral (alcance máximo en el desarrollo del individuo, y logre una participación social plena, ejerciendo a plenitud los derechos y deberes establecidos en nuestro sistema legal) de la población mundial, la cual cuenta con alrededor de 4,9 millones de personas, de esta cantidad, existe aproximadamente un 10% de la población que se identifica con una discapacidad. [3][2]

En el capítulo IV de la Ley 7600 titulado "Acceso al espacio físico", específicamente en el artículo 41, se estipulan las especificaciones técnicas obligatorias sobre: nuevas construcciones o remodelación de edificios existentes, parques, aceras, jardines, plazas, carriles, baños y otros espacios públicos o privados, con las que se deben cumplir, estipulados en la sección del enfoque a la solución. [3][2].

Con la necesidad de garantizar la igualdad de oportunidades para las personas con algún tipo de limitación física y dado que no existe una herramienta para verificar el cumplimiento de la Ley 7600 en el país, surge el proyecto del vehículo robótico llamado ACIA (Universidad Estatal de Arizona-Carl Hayden High School-Intel-Autobot) cedido al Instituto Tecnológico de Costa Rica, el cual fue trabajo académico del Ing. Audie Muñoz Arce.

La iniciativa de Muñoz proponía una interfaz háptica (referida al contacto) con reflejo de fuerza. Sin embargo, tal propuesta fue descartada. La Ing. Arys Carrasquilla Batista y el Ing. Yeiner Arias Esquivel continuaron con el proyecto, y para ese momento el vehículo contaba con un control inalámbrico, perteneciente a la consola de video juegos Wii (la cual es una consola producida por la compañía Nintendo).

Finalmente, se desarrolló un programa para analizar la información obtenida durante el viaje, el cual, en una figura, muestra puntos que, según un código de colores, verifica el cumplimiento de la Ley 7600. [2]. Cabe resaltar que el vehículo ACIA está limitado a la verificación de la Ley en los artículos que competen a sillas de ruedas.

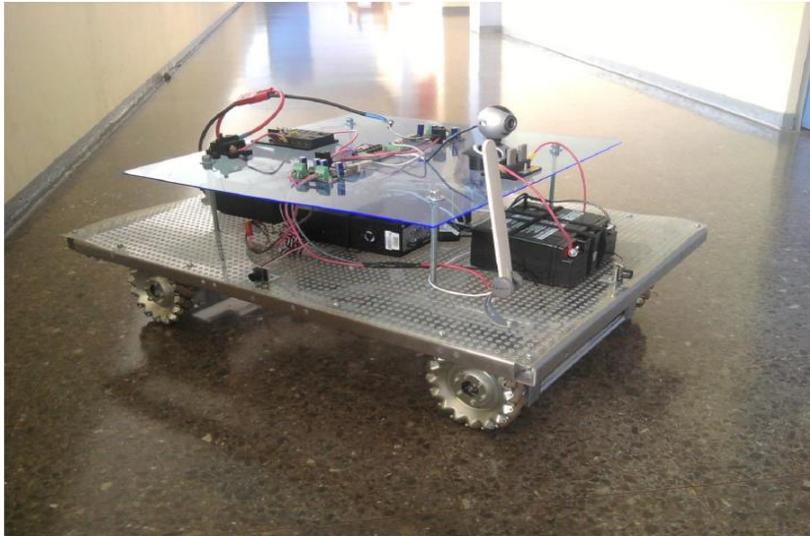


Figura 1-1. Vehículo Robótico para verificar el cumplimiento de la Ley 7600. [3]

1.2 Síntesis del problema

Ineficiencia del mecanismo para la verificación del cumplimiento de la Ley 7600 específicamente en el tema de accesibilidad al entorno físico para uso de rampas y pasillos.

1.3 Impacto esperado

De este trabajo se pretende que, pueda contribuir en la mejora continua a nivel de edificios e infraestructuras, para así continuar velando por la igualdad de oportunidades y accesibilidad de las personas con capacidades diferenciadas.

Por otra se espera que este proyecto forme parte de otras iniciativas que promueven la mejora continua en el desarrollo del país, así bien como herramientas que permitan realizar análisis de manera más eficiente.

1.4 Meta

Permitir la accesibilidad a personas con limitaciones físicas en su día a día, asegurando que rampas y pasillos cumplan con la ley 7600, de manera que se pueda garantizar la igualdad de oportunidades a los costarricenses.

1.5 Objetivo General

Verificar el cumplimiento de la Ley 7600 referente a aspectos específicos de rampas y pasillos utilizando un vehículo robótico capaz de comunicarse con una plataforma de internet.

1.6 Objetivos Específicos

Establecer comunicación mediante la plataforma de internet y la cámara de vídeo.

Diseñar el control del vehículo robótico que permita manejarlo a través de una plataforma de internet.

Medir el ancho e inclinación de los pasillos para su comparación respecto a la Ley 7600.

2 Solución Propuesta

El propósito es proporcionar al vehículo robótico, una conexión a Internet que permita el manejarlo a través de un sitio web y el procesamiento de datos en dicha plataforma de internet.

Un sistema embebido se encargará de procesar la información recolectada por el vehículo durante su recorrido, tal sistema embebido debe encargarse a la vez de enviar los datos a una plataforma de internet la cual se pretende que sea una página web. El sistema embebido debe además enviar los comandos de direccionamiento del vehículo a las tarjetas controladoras, las cuales se encargan de controlar los motores.

Los datos que se pretenden recopilar son el ancho de los pasillos o rampas mediante sensores ultrasónicos, inclinación de pendientes mediante un acelerómetro e interpretar distancia utilizando un encoder.

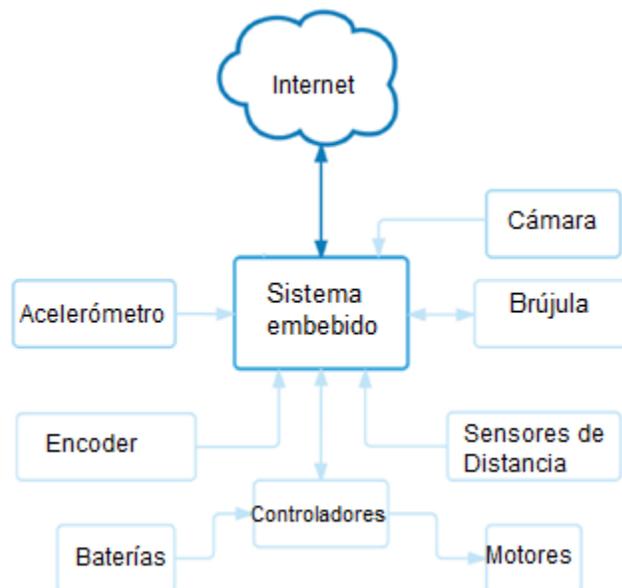


Figura 2-2-1. Esquema general de solución.

3 Marco Teórico

3.1 Ley 7600

La Ley 7600 lleva por nombre *Ley de igualdad de oportunidades para personas con discapacidad*; y tiene como objetivo brindar una herramienta para el desarrollo integral, es decir que el individuo alcance el máximo desarrollo, y logre una participación social plena, ejerciendo a plenitud los derechos y deberes establecidos en nuestro sistema legal.

En el capítulo IV de la Ley 7600 titulado "Acceso al espacio físico", específicamente en el artículo 41, se estipula como mandatorio la modificación u adaptación de las edificaciones e infraestructuras, por ejemplo, incorporar rampas o adaptar pasillos con anchos determinados por la Ley, para brindar accesibilidad a personas con discapacidades.

3.2 *“Guía Integrada para la verificación de accesibilidad al entorno físico”*

Desde la promulgación de la Ley, los nuevos planes de infraestructura deben incluir las especificaciones para generar las condiciones necesarias para la circulación, permanencia y accesibilidad de todas las personas, los cuales son avalados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) y el Consejo Nacional de Rehabilitación y Educación Especial (CNREE). Esto para así obtener el permiso de construcción del edificio, por lo cual se crea la *“Guía integrada para la verificación de accesibilidad al entorno físico”*.

El propósito de tal guía es ser utilizada por una persona evaluadora, la cual se encarga de realizar el proceso verificador de la Ley 7600, permite es contar con una documentación de los resultados.

Para el proyecto, lo que concierne de la guía es respecto al apartado V, dónde se contempla el Instrumento Técnico que facilita la verificación sobre el cumplimiento de las condiciones de accesibilidad en obras proyectadas, en ejecución o existentes. Esta metodología hace uso de una serie de cuadros similares al mostrado en la Figura 3-1. [3][4].

La guía integrada cuenta con datos como los que se muestran en la Tabla A-1 y la Tabla A-2, que permiten definir si una estructura como rampa o pasillo cumplen con la Ley 7600.

Componentes de Accesibilidad al Espacio Físico	Referencia técnica y/o legal	Requisito o aspecto a verificar	Cumple			Comentarios y observaciones
			SI	NO	NA	
1. Ubicación y entorno inmediato (Ver Requisitos técnicos para vías peatonales horizontales accesibles)	Art. 121 Reglamento Ley 7600	1.1. ¿En las calles próximas al edificio, existe alguna calle con camellón central (bulevar), que sea interrumpido en las zonas de paso de peatones?				
	Art. 122 Reglamento Ley 7600	1.2. ¿Ante la presencia de reductores de velocidad, éstos están diseñados y contruidos de manera que sean fácilmente salvados por las personas con discapacidad?				
	Art. 123 Reglamento Ley 7600	1.3. ¿Si existen pasos peatonales a desnivel (túneles o puentes peatonales), cuentan con rampa y/o escaleras accesibles para todas las personas?				
	Recomendación CNREE	1.4. ¿Está el sitio de ubicación del edificio topográficamente accesible (plano o levemente inclinado, a nivel de acera o no, sobre-elevado)?				
	Art. 125 Reglamento Ley 7600	1.5. ¿Existen aceras situadas en el perímetro de la cuadra con un ancho mínimo libre de paso de 1.2 m, con acabado antiderrapante y sin presentar escalones?				
		1.6. ¿Las aceras situadas en el perímetro de la cuadra tienen un nivel, o los				

Componente a verificar

Parámetro legal o normativa de referencia

Especificaciones técnicas a verificar

Casillas de cumplimiento

Espacio para observaciones

Figura 3-1. Cuadro o matriz para la verificación de la accesibilidad al entorno físico. [4]

3.3 Tarjetas controladoras

En este caso las tarjetas controladoras son las que se encargan de manejar los motores, utilizando la interfaz de bus serie universal (USB) para interactuar con un ordenador. Pueden interactuar con una variedad de sistemas operativos,

permitiendo que una vez que el dispositivo está conectado al ordenador, este controle el funcionamiento del dispositivo en un entorno particular. [5]

3.3.1 Motor Control HC 1064.

Motor Control HC permite controlar la velocidad angular y la aceleración de dos motores de corriente directa de alta corriente. Específicamente estas requieren una fuente de alimentación externa de (6 a 15) V, además el control que proporciona es bidireccional a 2 motores DC. De los cuales ya se contaba con dos de estos elementos para el desarrollo del proyecto. [6]

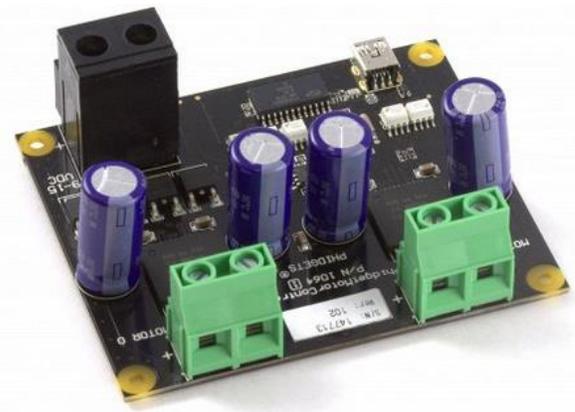
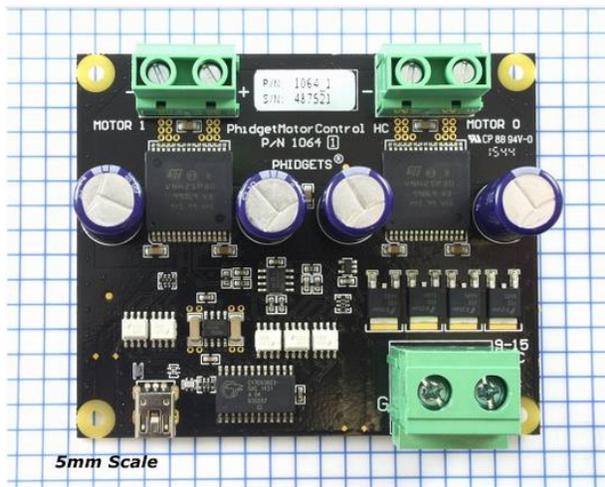


Figura 3-2. Motor Control HC [3]

3.4 Sistema Embebido

Como sistema embebido se eligió una Raspberry Pi, la cual es un miniordenador de pequeño tamaño, bajo coste y bajo consumo. Generalmente este tipo de miniordenadores ejecutan sistemas operativos basados en Linux y están íntimamente relacionados con el Open Software. [7] Se decidió trabajar con la versión 3B ya que así fue propuesto por quienes trabajaron antes en este proyecto.

3.4.1 Raspberry Pi Modelo 3B

La placa, posee varios puertos y entradas, dos USD, uno de Ethernet y salida HDMI. Estos puertos permiten conectarla a otros dispositivos, teclados, ratones y pantallas. También posee un procesador ARM que corre a 700 MHz, un procesador gráfico Video Core IV y hasta 512 MG de memoria RAM. [8]

Las especificaciones de tal modelo son:

- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1GB de RAM
- BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth de baja energía (BLE) a bordo
- 100 Base Ethernet
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- HDMI de tamaño completo
- Puerto de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Puerto Micro SD para cargar su sistema operativo y almacenar datos
- Fuente de alimentación micro USB conmutada actualizada de hasta 2.5 A [12]

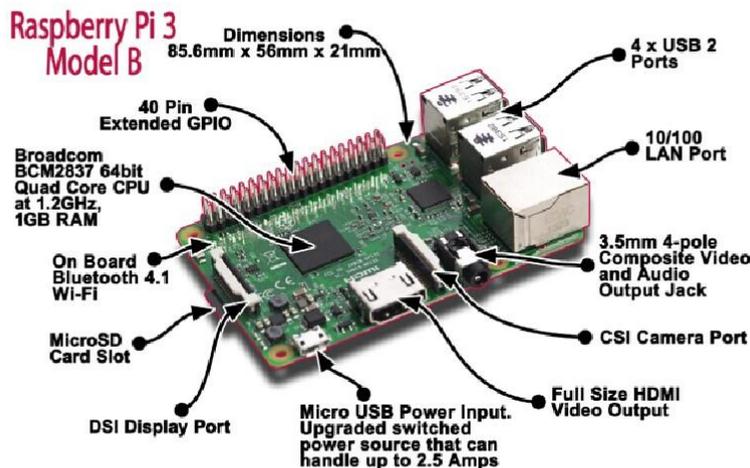


Figura 3-3. Raspberry Pi Modelo3B. [11]

3.5 Sensores Ultrasónicos

Los sensores de ultrasonidos o sensores ultrasónicos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. [16]

3.5.1 HCSR04

El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. [16]



Figura 3-4. Sensores Ultrasónicos HCSR04. [25]

3.6 Brújula Digital

Desempeña una funcionalidad análoga a la brújula magnética. El número de ejes determinan si la brújula funciona en horizontal (2 ejes) o en cualquier plano inclinado (3 ejes).

3.6.1 HMC6352

Este es un módulo de brújula totalmente integrado que combina sensores magneto-resistivos de 2 ejes, con los circuitos de soporte analógicos y digitales requeridos, y algoritmos para el cálculo del rumbo. Combina los elementos del sensor, la electrónica de procesamiento y el firmware en un paquete de 6,5 mm por 6,5 mm por 1,5 mm.

El protocolo que utiliza es el i2C, que es usado principalmente para comunicar microcontroladores con sus periféricos. Su principal característica es que utiliza dos líneas, una para transmitir el reloj (SCL) y otra para los datos (SDA). En la Figura 6, se muestra un ejemplo de la comunicación con el protocolo i2C. [32]

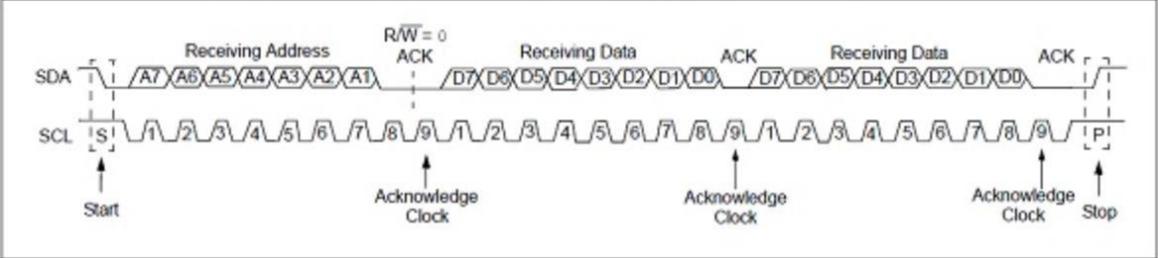


Figura 3-5. Transmisión típica de escritura para direccionamiento de 7 bits. [32]



Figura 3-6. Brújula Digital HMC6352, vista frontal. [36]



Figura 3-7. Brújula Digital HMC6352, vista trasera. [35]

3.7 Acelerómetro

Un acelerómetro, como su nombre lo indica, es un dispositivo electromecánico que sirve para medir las fuerzas de aceleración, ya sea estática o dinámica. Son útiles para detectar las vibraciones y el movimiento en los sistemas

Las conexiones básicas que se requieren para la operación son la alimentación y las líneas de comunicación, interactúan a través de un convertidor analógico, digital, o interfaz de conexión modulada por ancho de impulsos (pwm). [44]

3.7.1 ADXL335

El ADXL335 es un acelerómetro de 3 ejes, de baja potencia, con salidas de voltaje condicionadas por señales. El producto mide la aceleración con un rango mínimo de escala completa de $\pm 3g$.

Puede medir la aceleración estática de la gravedad en aplicaciones de detección de inclinación, así como la aceleración dinámica resultante del movimiento, el impacto o la vibración.

El usuario selecciona el ancho de banda del acelerómetro utilizando los condensadores CX, CY y CZ en los pines X OUT, Y OUT, y Z OUT. [40]



Figura 3-8. Acelerómetro ADXL335. [31]

3.8 Encoder

Los Encoders convierten el movimiento giratorio en una señal eléctrica que puede ser leída por algún tipo de dispositivo de control en un sistema de control de movimiento. El encoder envía una señal que puede ser utilizado para determinar la posición, dar un número de cuentas como si de un contador se tratase, determinar velocidad o dirección.

3.8.1 E4P

En este caso se utiliza el E4P que es un encoder de cuadratura, también conocido como encoder incremental. Este tiene una estructura de funcionamiento sencilla, que permite saber, con muy pocos cálculos, el estado de lo que esté midiendo.

Funciona comparando el estado previo con el actual y así saber cómo fue el desplazamiento.

El codificador de la serie reflectiva E4P se puede conectar utilizando una terminal de 4 cables. [39]



Figura 3-9. Encoder E4P. [38]

3.9 Cámara Module V2

La cámara v2 es la nueva placa de cámara oficial lanzada por la fundación Raspberry Pi. El Raspberry Pi Camera Module v2 es una cámara de alta calidad de 8 megapíxeles con sensor de imagen IMX219 de Sony diseñada para Raspberry Pi. Es capaz de imágenes estáticas de 3280 x 2464 píxeles, y también es compatible con video 1080p30, 720p60 y 640x480p60 / 90. Se conecta a la Raspberry Pi a

través de uno de los pequeños enchufes en la superficie superior de la placa y utiliza una interfaz diseñada especialmente para la cámara. [37]

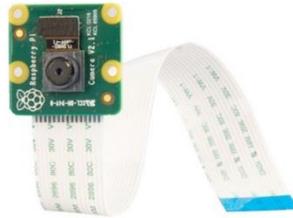


Figura 3-10. Modulo Cámara Raspberry Pi. [33]

3.10 Arduino

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre. [30]

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor USB-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB. [29]

3.10.1 Arduino Mega

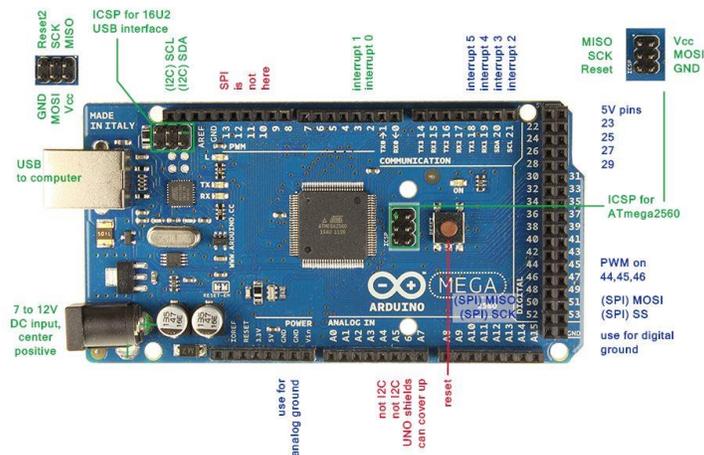


Figura 3-11. Arduino Mega. [28]

Arduino Mega posee las siguientes especificaciones:
Microcontrolador: ATmega2560
Voltaje Operativo: 5V
Voltaje de Entrada: 7-12V
Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
Pines análogos de entrada: 16
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
SRAM: 8KB
EEPROM: 4KB
Clock Speed: 16 MHz [22]

3.11 Streaming

Es la transmisión por secuencia y lectura continua de contenido multimedia, realizado a través de redes de computadoras. De este modo el usuario utiliza el producto a la vez que lo descarga. El streaming utiliza única y exclusivamente redes de computadoras para transmitir los datos de manera continua. [43]

4 Desarrollo de la solución

En este capítulo se describirá como se llevó a cabo el diseño y el desarrollo del prototipo que realiza la verificación de aspectos referentes a la Ley 7600 a través de un vehículo robótico.

Un esquema más específico de la solución se puede observar en la Figura 4-1.

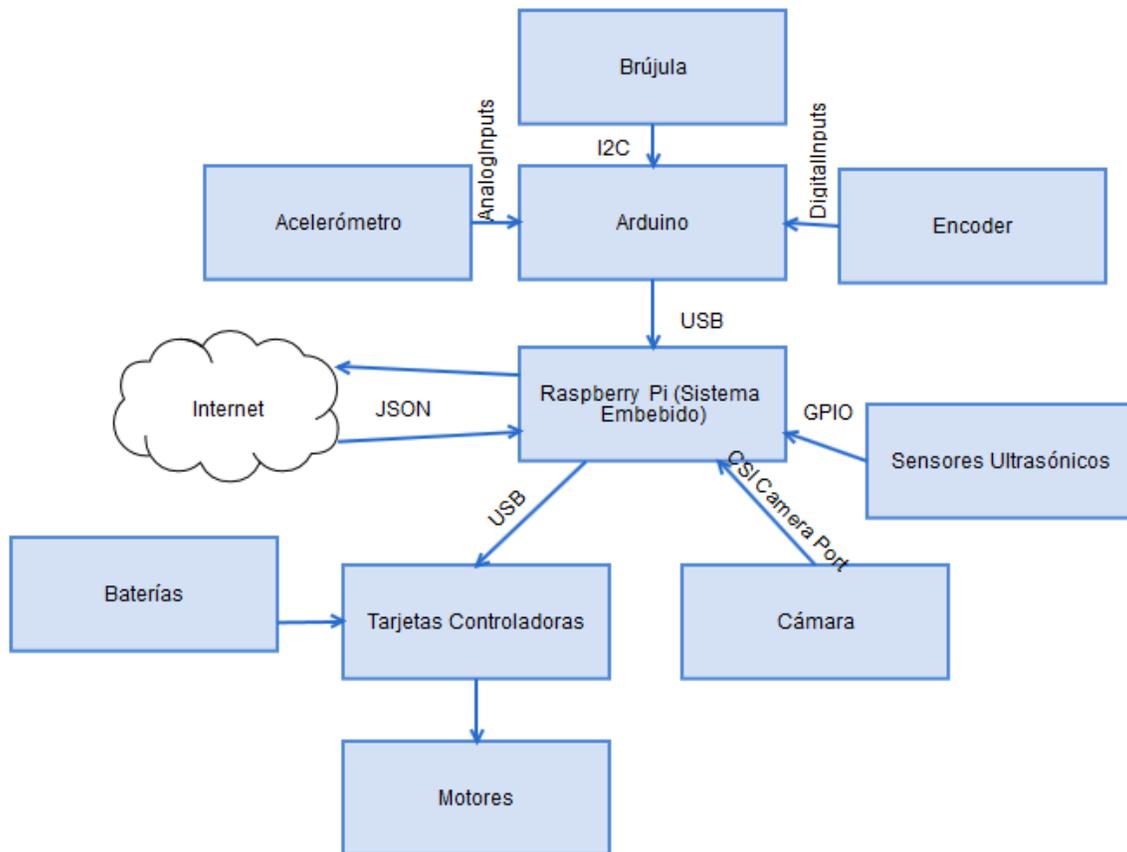


Figura 4-1. Diagrama de flujo del esquema general, especificando componentes y comunicación entre ellos. Diseño propio.

El esquema anterior muestra la relación que existe entre cada elemento y el sistema central que, se puede observar que es la Raspberry Pi. Esta se encarga de establecer la comunicación entre el servidor y cada uno de los sensores, así como también con las tarjetas controladoras y la cámara. Más adelante en este

documento se ahonda en el diseño de cada uno de los bloques que se muestran en la Figura 4-1.

4.1 Etapa de manejo del vehículo

En este caso lo primero que se trabajó fue en el proceso de manejo del vehículo, para esto se debió establecer comunicación entre la Raspberry y las tarjetas controladoras de los motores, comunicación que se realizó mediante cable USB.

En la Raspberry se encuentra el programa principal, escrito en Java. Este programa se encarga de procesar los datos recibidos de la plataforma de internet. Para establecer la conexión se utiliza una red Wifi, y para el intercambio de datos se utilizan archivos en formato JSON.

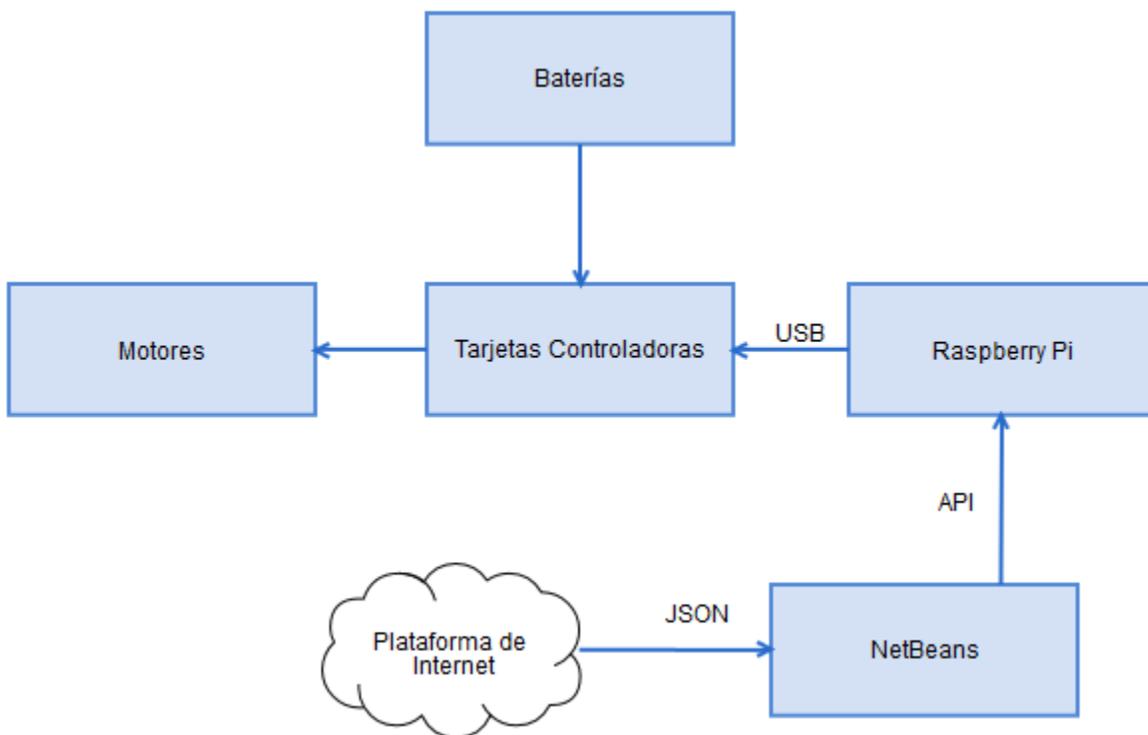


Figura 4-2. Diagrama de flujo de la comunicación de las tarjetas controladoras hasta la nube. Diseño propio.

Por otro lado, para realizar el manejo del vehículo se seleccionaron cuatro movimientos, siendo estos los que se muestran en la Figura 4-3. En esta figura se puede observar el movimiento que debe realizar cada rueda para ejecutar la acción de desplazamiento en cada caso correspondiente. [19] [34] [41] [42]

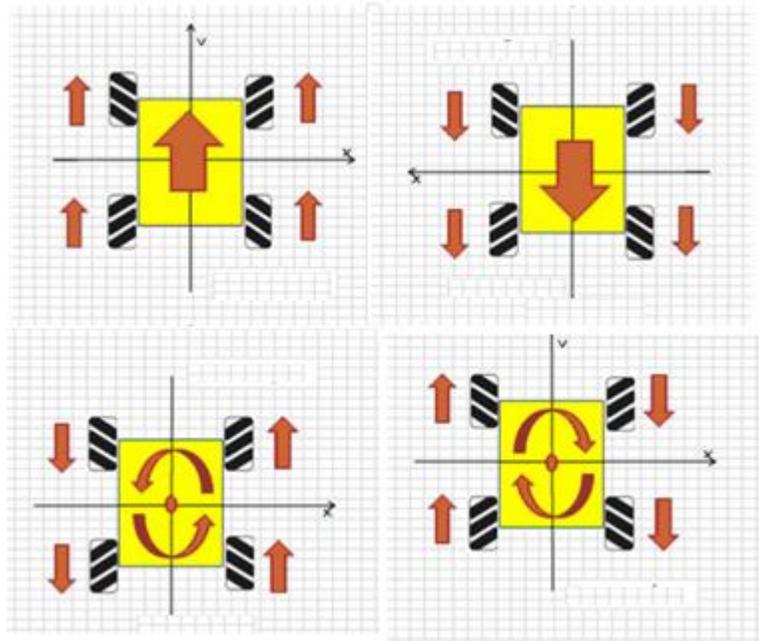


Figura 4-3. Direcciones que realiza el vehículo robótico. [17]

Así pues, según la Figura 4-3, se creó un programa que se encarga de los movimientos de cada llanta según el desplazamiento que se desee, que en este caso se puede trasladar hacia adelante, atrás, rotar a la izquierda o rotar a la derecha, y por supuesto que no realice ningún movimiento.

Se debe establecer una velocidad para cada motor según el movimiento solicitado, esto lo realiza a través de las tarjetas Motor Control, de las que se cuenta con dos (una para cada dos motores), donde cada tarjeta posee dos canales, es decir un canal por cada motor.

La velocidad se maneja en el rango de -1 a +1, siendo estos los valores máximos que puede alcanzar. Donde -1 realiza una rotación en un sentido y +1 en el sentido contrario a -1.

Para realizar cada movimiento se establecen las acciones de la

Tabla 4-1. Velocidades asociadas a cada movimiento.

Tarjeta	Canal	Velocidad	Indicación
306046	00	0,5	Adelante
306046	01	0,5	Adelante
306079	00	0,5	Adelante
306079	01	0,5	Adelante
306046	00	-0,5	Atrás
306046	01	-0,5	Atrás
306079	00	-0,5	Atrás
306079	01	-0,5	Atrás
306046	00	0,5	Derecha
306046	01	0,5	Derecha
306079	00	-0,5	Derecha
306079	01	-0,5	Derecha
306046	00	-0,5	Izquierda
306046	01	-0,5	Izquierda
306079	00	0,5	Izquierda
306079	01	0,5	Izquierda
306046	00	0	Stop
306046	01	0	Stop
306079	00	0	Stop
306079	01	0	Stop

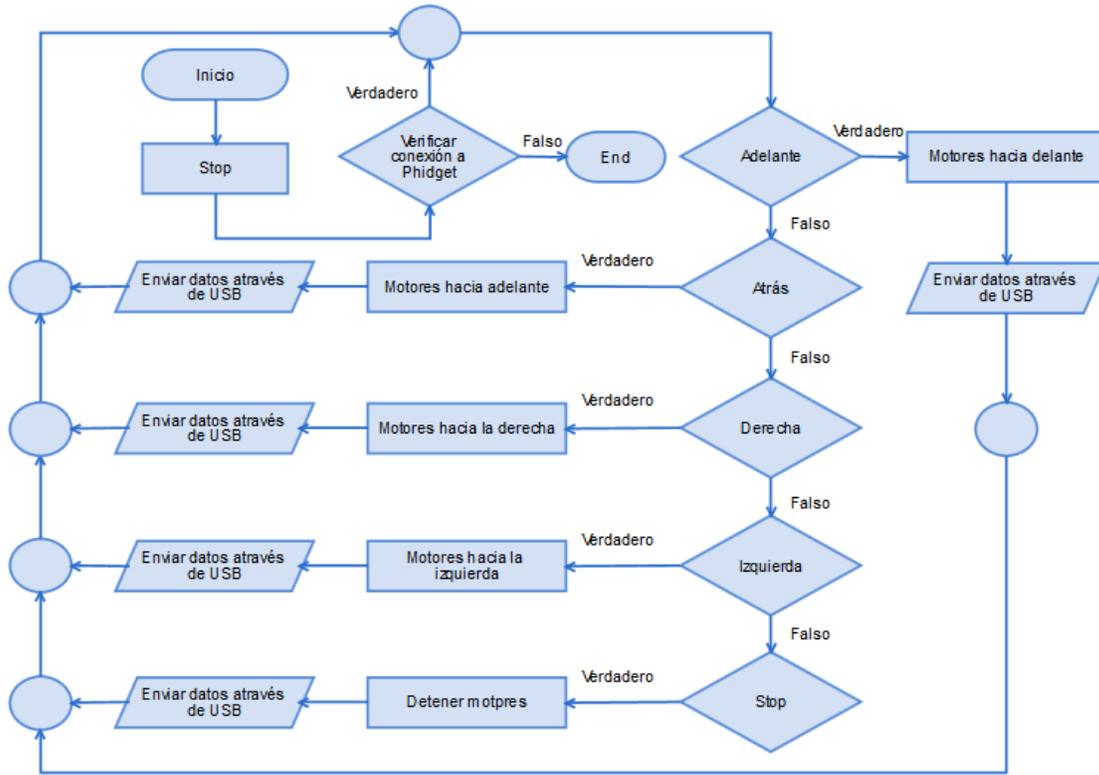


Figura 4-4. Diagrama de flujo para direccionar el vehículo robótico. Diseño propio.

4.2 Encoder

Para establecer la distancia recorrida por el vehículo, se incluye un encoder en el diseño.

El encoder realiza un número de 1000 cuentas por vuelta realizada por la llanta del vehículo. En el programa se estableció un contador que se va incrementando si va en dirección hacia adelante, sino tal contador irá en decremento indicando un desplazamiento hacia atrás. Con estos valores del contador realizaba una operación matemática para convertir tales cuentas en centímetros, fórmula descrita en la Ecuación 4-1:

$$Distance = \left(\frac{Counter}{1000} \right) * 2 * \pi * R * 100$$

Ecuación 4-1

De ahí, *counter* es el contador que se describe en el párrafo anterior.

1000 equivale al número máximo de cuentas que realiza el encoder.

R es el radio de la llanta.

100 es para convertir a centímetros.

La programación del encoder se ve descrita por la Figura 4-5.

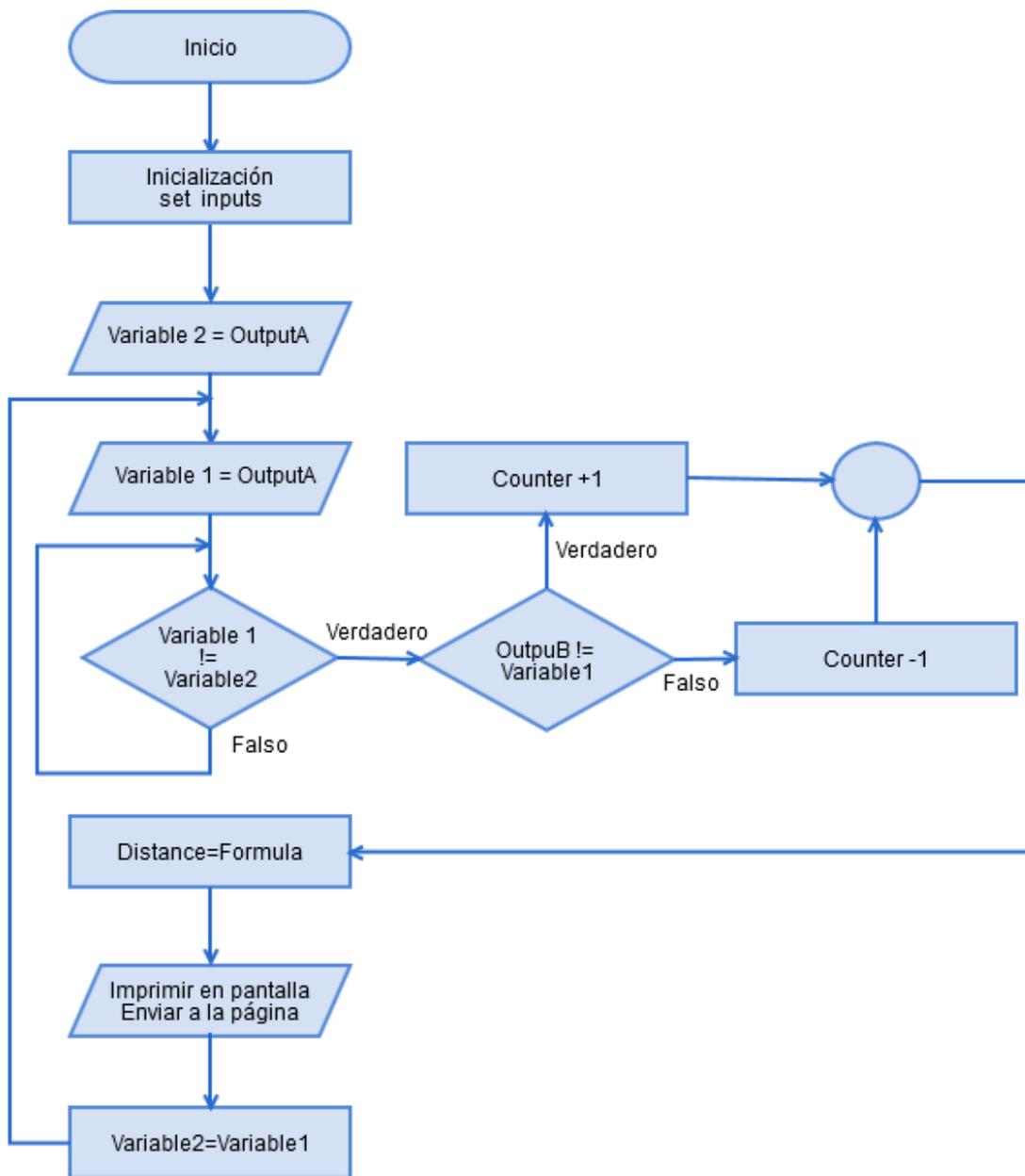


Figura 4-5. Diagrama de flujo del Encoder. Diseño propio.

4.3 Cámara Raspberry Pi.

Otro punto que se desarrolló fue el streaming de la cámara, para lograrlo se trabajó con Python como lenguaje de programación y Flask como framework enfocado al desarrollo web. Flask permite la comunicación entre la cámara y el navegador.

Como requerimiento para utilizar la cámara se debe inicializar, seguido de esto se captura la imagen y se establecen tanto las propiedades como los parámetros con los que se quiere visualizar la imagen en la pantalla, hecho esto, se establece la comunicación a la página web para proyectar el vídeo.

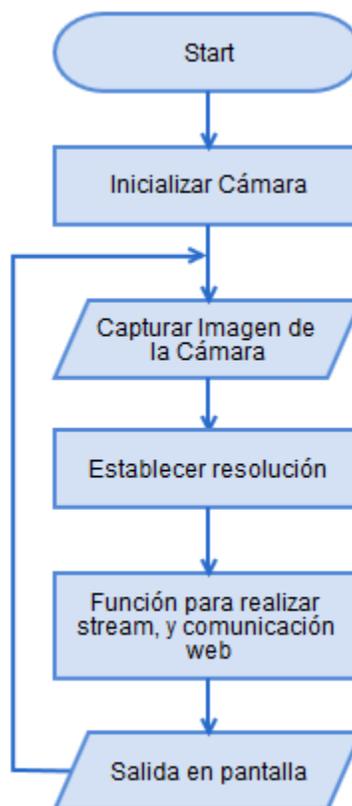


Figura 4-6. Diagrama de flujo la cámara. Diseño propio.

4.4 Sensores ultrasónicos HCSR04

Este sensor está conectado a la Raspberry a través de los GPIO.

El sensor cuenta con dos patillas: trigger y echo, la primera habilita el envío de una señal de sonido al medio, dicha señal al encontrarse con una pared o cualquier objeto rebota, siendo recibida por el sensor; la patilla echo indica que la señal ha sido recibida y posteriormente ser interpreta en la Raspberry.

Para determinar la distancia que hay desde el sensor hasta un punto que rebote la señal, el fabricante proporciona una constante la cual es 17,5m/s, esta viene dada por la velocidad aproximada del sonido (350m/s), que al estar midiendo el tiempo que tarda el sonido en ir y volver, se divide entre 2 ese valor, de ahí 17,5m/s; ahora bien, al multiplicar ese valor por el tiempo medido, se cancelan los segundos y da como resultado la distancia en metros, este último valor se multiplica por 100 para obtener el resultado en centímetros.

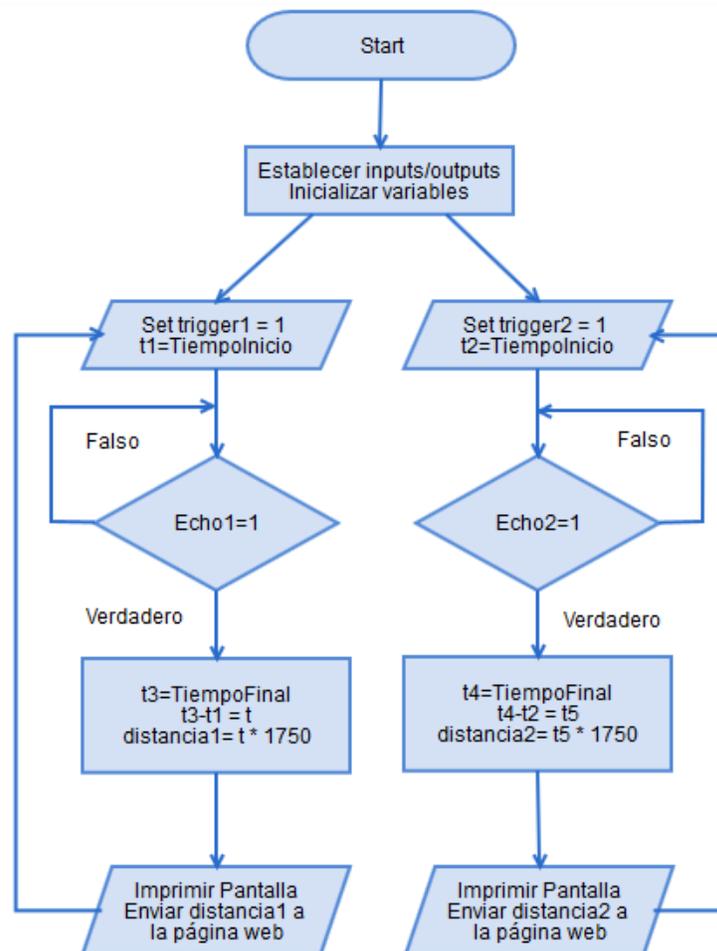


Figura 4-7. Sensores Ultrasónicos. Diseño propio.

4.5 Acelerómetro

En este proceso se definieron algunas variables para almacenar los valores de los componentes de las fuerzas en cada uno de los ejes del acelerómetro y otras para almacenar el ángulo en el que se encuentra el acelerómetro.

Se creó un ciclo principal que lee los valores analógicos y hace un pequeño ajuste utilizando la función `map()`. Esto ya que el convertidor analógico-digital tiene un rango que va desde 0 a 1023, y si se utilizara la función arco tangente con estos valores, las componentes de la fuerza solo tendrían valores positivos y por lo tanto valores erróneos, ya que se requieren valores negativos para representar aceleraciones negativas.

Para corregir tal situación se utilizó la función "`map()`" que permitió trasladar el rango, haciéndolo variar entre valores positivos y negativos. Seleccionando los valores entre 500 y -500, para así mantener más o menos igual el "rango" original. Si el convertidor A->D tiene 1024 pasos de resolución y se quiere mantener +/- la misma precisión lo ideal sería tener un nuevo rango que tuviera 1024 pasos, el rango ideal entonces hubiera sido desde -511 cuentas negativas hasta +511 cuentas positivas, esto se redondea y queda el rango seleccionado.

Así pues, se estableció leer los valores que se encuentran en las entradas analógicas, luego se utiliza la función `map` para generar un rango más adecuado para los valores de entrada y por último se aplicó la función trigonométrica arcotangente para calcular el ángulo correspondiente en radianes (Ecuación 4-2). Para pasar ese ángulo en radianes a grados se debe multiplicar el resultado por 57.2958 y se obtiene el resultado en grados.

$$\text{ÁnguloYZ} = \text{atan}(\text{ValorY}/\text{ValorZ})$$

Ecuación 4-2

Una vez calculados los ángulos simplemente se envían al puerto serial para poder leerlos desde la computadora. [18]



Figura 4-8. Diagrama de flujo del acelerómetro. Diseño propio.

4.6 Brújula

Como se comentaba en el marco teórico, el protocolo que utiliza es el i2C.

Mediante la línea SCL transmite el reloj y utiliza la SDA para los datos. El programa realiza lo siguiente: Se inicia la transmisión para establecer comunicación con la brújula digital, se obtiene la información equivalente a los grados, en décimas de grados, es decir con valores de 0 a 3599, por lo cual se requieren 2bytes para representar 12bits correspondientes a los 3599.

Debido a que el protocolo envía de 8bits, se debe acondicionar para interpretar el valor. Se utilizan los 8bits menos significativos (LSB) y los 8bits más significativos (MSB), en una variable se almacena el valor del MSB pero aplicando un desplazamiento a la izquierda de 8bits y sumando 8bits con los LSB, con esto se obtiene la representación de hasta 3599, posteriormente este valor se divide entre 10 para obtener la representación en grados desde 0° a 359° .

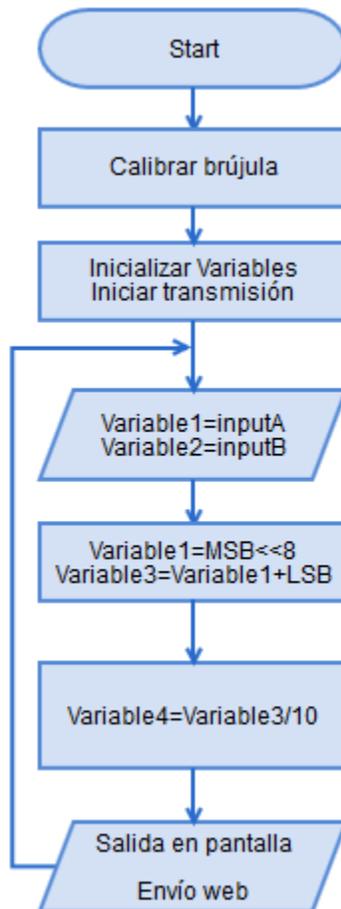


Figura 4-9. Diagrama de flujo de la brújula digital. Diseño propio.

4.7 Mapa

Los sensores ultrasónicos y el acelerómetro que proporcionan los datos para la verificación de la Ley 7600, se utilizan para generar un mapa para mostrar de manera gráfica los resultados obtenidos en el trayecto del vehículo. Ese mapa representa el pasillo, y se utilizan elementos de colores para indicar si se cumple o no con lo dispuesto en la ley. En la Figura 4-10 se muestra un ejemplo del mapa.

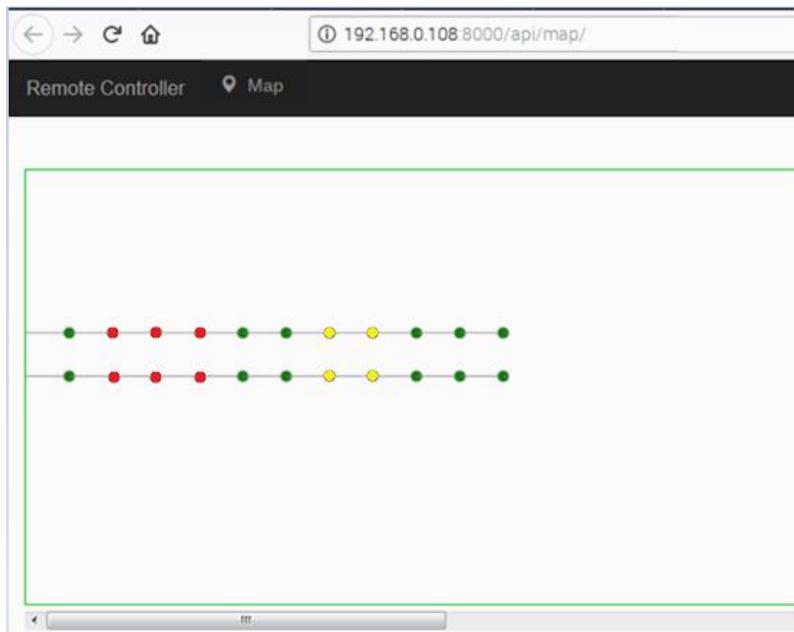


Figura 4-10. Ejemplo del mapa.

La lógica general del mapa se encuentra en la Figura 4-11.

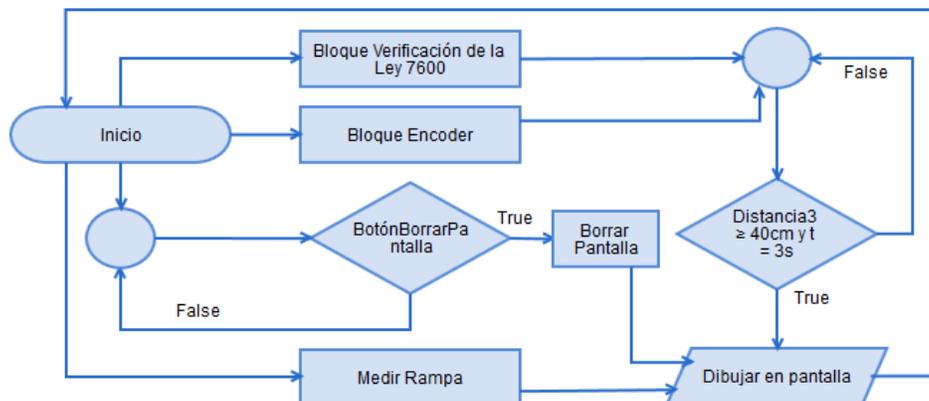


Figura 4-11 Esquema general del mapa. Diseño propio.

Para el desarrollo de esta sección se estableció un código de colores, visto en la Tabla 4-2. Código de colores para las especificaciones para puertas y pasillos. y la Tabla 4-3. Especificaciones para rampas según el mapa web., ahí se puede observar en cual rango de la Tabla A-1. Especificaciones para puertas y pasillos, Ley 7600. y la Tabla A-2. Especificaciones para rampas. Ley 7600. se encuentra el ancho e inclinación del pasillo respectivamente.

Tabla 4-2. Código de colores para las especificaciones para puertas y pasillos.

Anchos mayores a 120cm	
Anchos entre 90cm y 120cm	
Anchos menores a 90cm	

Tabla 4-3. Especificaciones para rampas según el mapa web.

Menor a 2°	Sin línea
De 2° a 5°	
De 5° a 10°	
Mayor a 10°	

La Tabla A-1 indica que los pasillos generales deben tener un ancho mayor a 1,20m, según la Tabla 4-2 esto se representa en color verde. Respecto la Tabla A-1 los pasillos generales y puertas deben tener un ancho entre 90cm y 120cm, de ser este el caso la Tabla 4-2 indica que esto se mostrará en amarillo en el mapa, y por último en el caso de aquellos sectores que son menores a 0,90m, en el mapa se mostrarán en color rojo. Eso se puede observar en la Figura 4-12. Diagrama de flujo para la verificación. Diseño propio.

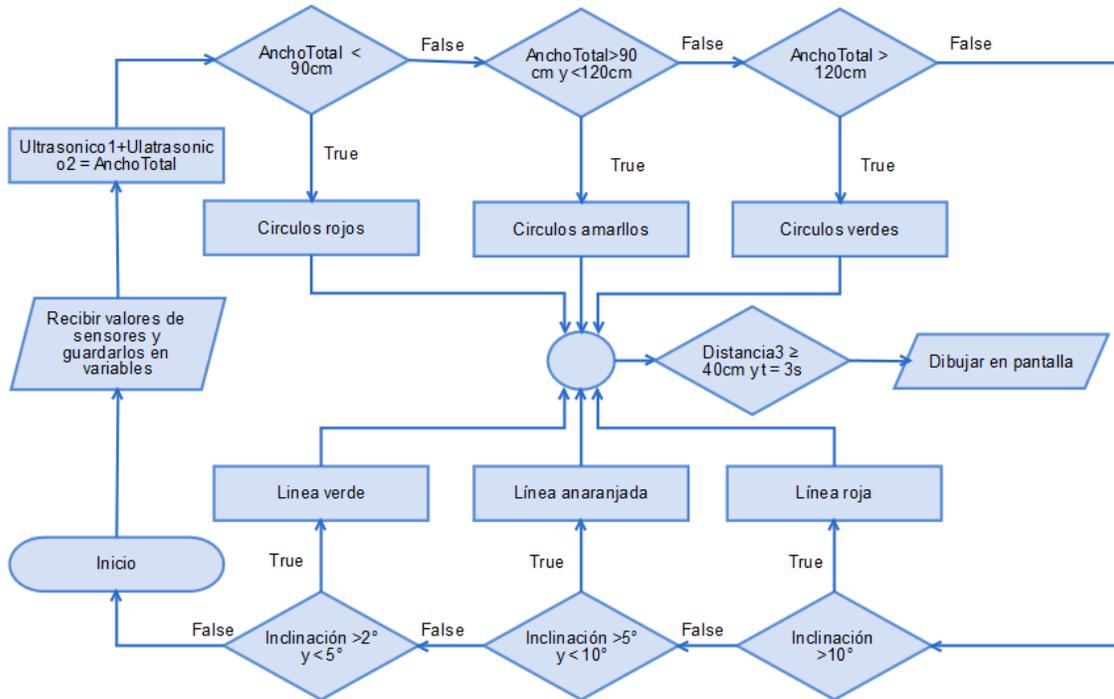


Figura 4-12. Diagrama de flujo para la verificación. Diseño propio.

Para determinar las inclinaciones de la Tabla A-2 se toma el valor del porcentaje que en ella se indica y se le aplica la transformación de la Ecuación 4-3 para determinar el valor en grados.

$$Pendiente [Grados] = ATN * \frac{Pendiente [\%]}{100}$$

Ecuación 4-3

Otro sensor que se utiliza para desarrollar el mapa es el encoder, se utiliza para determinar cada cuando hay que tomar una medición, establecida en 40cm y así ir dibujando el trayecto (ver Figura 4-13). Esto también lo puede realizar con un tiempo establecido a cada 3s por si no se desea depender de la distancia.

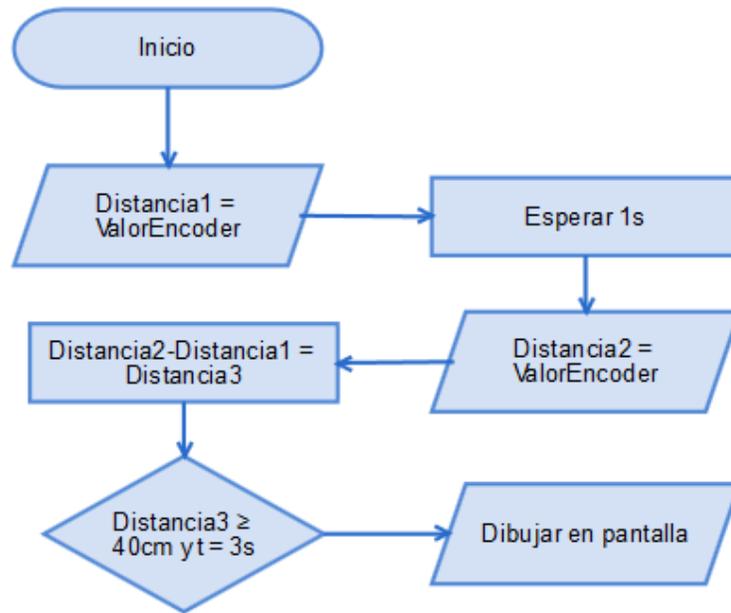


Figura 4-13. Diagrama de Flujo del bloque encoder. Diseño propio.

En el mapa también se cuenta con un botón que permite borrar el recorrido del trayecto, esto por si el usuario desea comenzar de nuevo con la verificación o comprobar algún sector en específico (Ver Figura 4-13).

5 Implementación de la plataforma de internet.

Para trabajar con una plataforma de internet, se creó un servidor Web con Raspberry mediante la infraestructura LAMP, acrónimo usado para describir un sistema de infraestructura de internet que utiliza las siguientes herramientas: Linux como sistema, Apache como servidor Web encargado de servir nuestras páginas, MySQL como sistema de base de datos y PHP como el intérprete del lado del servidor para poner a funcionar una web dinámica. [15]

Aquí se utilizaba Apache, que a grandes rasgos la tarea de este programa es encargarse de procesar las peticiones del usuario y devolver el contenido, es decir, cuando se introduce una URL válida en el navegador, la petición de conexión se envía al Servidor Web. Este administra tal petición y el servidor Web Apache retorna la página inicial del dominio correspondiente, que para efectos de este proyecto la URL es una dirección IP de red local. [14]

Se utiliza Bootstrap para dar un acabado a la página de manera rápida. Para ejecutar las acciones en la computadora con PHP y JavaScript.

Por otra parte, se cuenta con servidor web o HTTP, que esto es una computadora que está conectada a Internet las 24 horas del día y se encarga de establecer conexiones bidireccionales con cualquier cliente que se conecte al servidor, generando respuesta a las peticiones del usuario. En resumen, permite alojar sitios web o aplicaciones web en cualquier servidor remoto y así poder compartirlo en internet. [23] Como se muestra en la Figura 5-1. Funcionamiento del servidor web. [20].Figura 5-1.

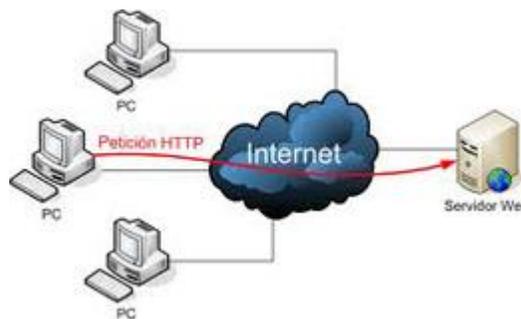


Figura 5-1. Funcionamiento del servidor web. [20].

Al crear una página o sitio web, es necesario contar con dos servicios: Dominio y alojamiento. El de más relevancia es el alojamiento, ya que sin éste la página o sitio web no es visible en Internet. Pero, para entender mejor esto, es necesario definir alojamiento, el cual es un término que, en general, se refiere a un espacio de disco dentro de un servidor web, que permite insertar archivos de hipertexto (HTML) o archivos web, para que puedan ser vistos por otros ordenadores conectados a una red (en este caso Internet). Es por esta razón, que el alojamiento es necesario para que la página web pueda verse en Internet desde cualquier equipo. El funcionamiento de este servicio es fácil de comprender, cada vez que alguien visita un sitio web, lo que está haciendo realmente es ver los archivos web que se encuentran ubicados en los servidores que prestan el servicio de alojamiento, y esto es lo mismo que ocurre en este caso al ingresar por ejemplo al control para manejo del vehículo y de igual forma con la generación del mapa. Este tipo de equipos cuentan con una enorme capacidad de almacenamiento (discos duros de gran tamaño). También, cuentan con una memoria RAM enorme y una velocidad de conexión a Internet muy superior a las computadoras domésticas y de oficina. Para esto se podía trabajar en distintos tipos de servidores web. [13]

6 Resultados y Análisis

6.1 Resultado del manejo del vehículo robótico.

En esta sección se puede observar el resultado final del control, puesto que uno de los objetivos era permitir direccionarlo de manera remota. Se crearon 5 botones, cada uno representando uno de los cuatro movimientos que se implementaron, más la orden de detección. En la Figura 6-1 se muestra la página con los controles.

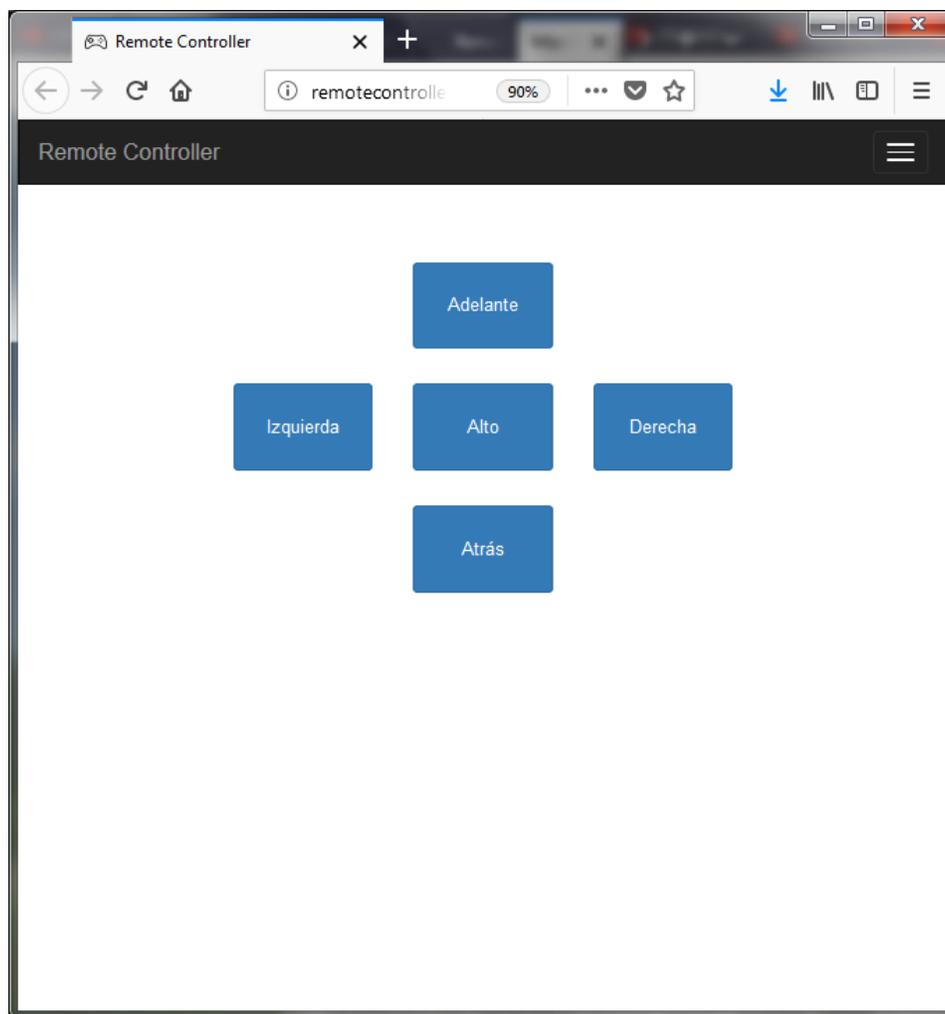


Figura 6-1. Resultado final del diseño del control del vehículo, mostrado en la página web. Diseño propio.

6.2 Resultado de la cámara

Aquí se puede observar una captura de pantalla de un momento en el que la cámara va realizando el recorrido por un pasillo, el cual es un pasillo del edificio de residencias, Figura 6-2.

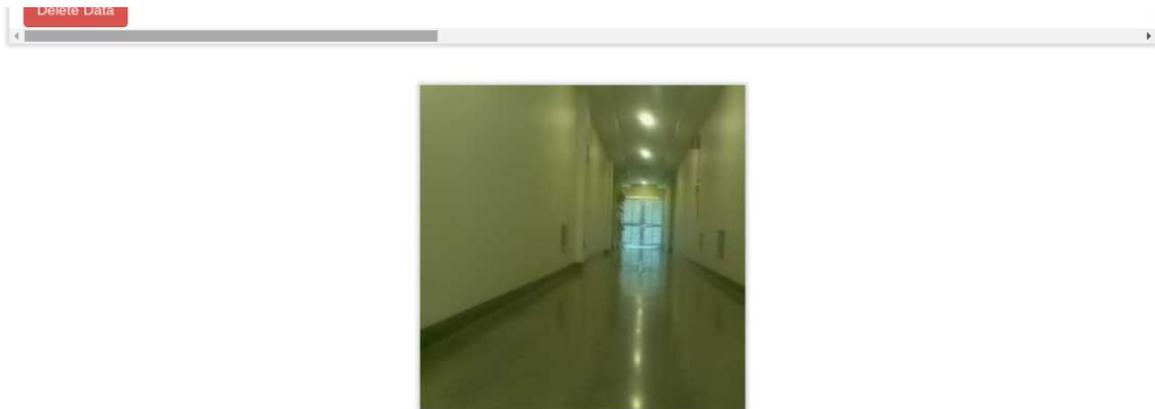


Figura 6-2. Resultado de la cámara en el recorrido de un pasillo general.

En la Figura 6-3 se muestra el recorrido de una rampa, visto en la página web mediante red local, esto para validar el diseño.

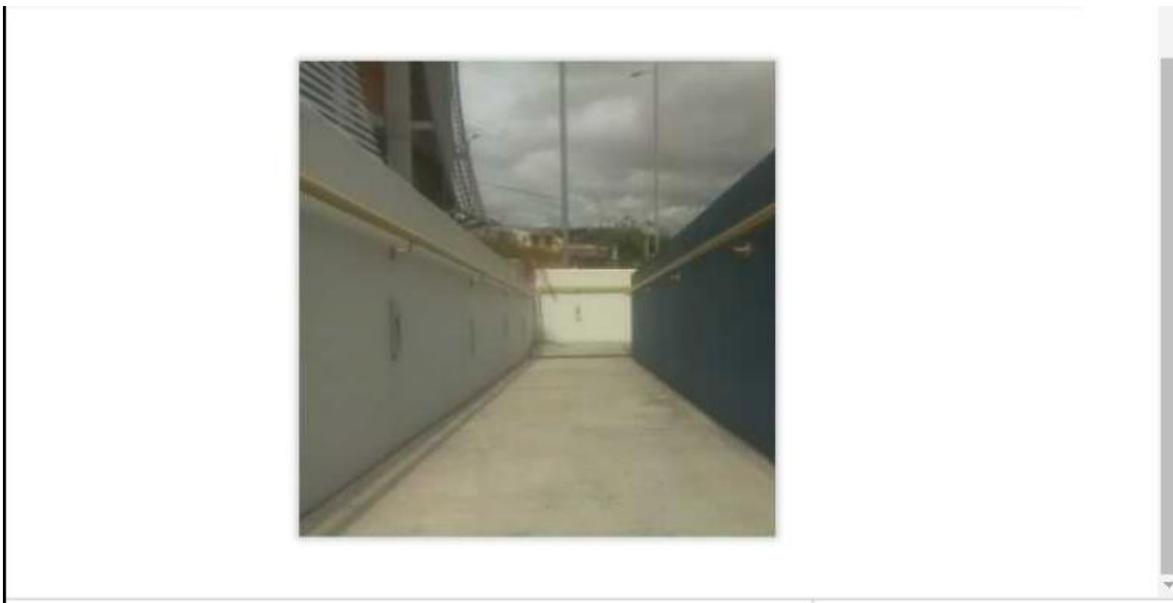


Figura 6-3. Resultado de la cámara en el recorrido de una rampa.

En todo lo anterior se puede observar con claridad lo que capta la cámara.

6.3 Resultado de la verificación de la Ley

La aplicación está desarrollada para mostrar la información obtenida por el vehículo. Utiliza y representa gráficamente el ancho de los pasillos, las pendientes de las rampas y el desplazamiento en forma de un mapa. La idea es permitir al usuario acceder a la información de forma rápida y fácilmente.

Como se mostró en la sección del desarrollo del mapa, se creó un código de colores para el mapa generado, para así diferenciar si los corredores y las rampas cumplen con la Ley 7600.

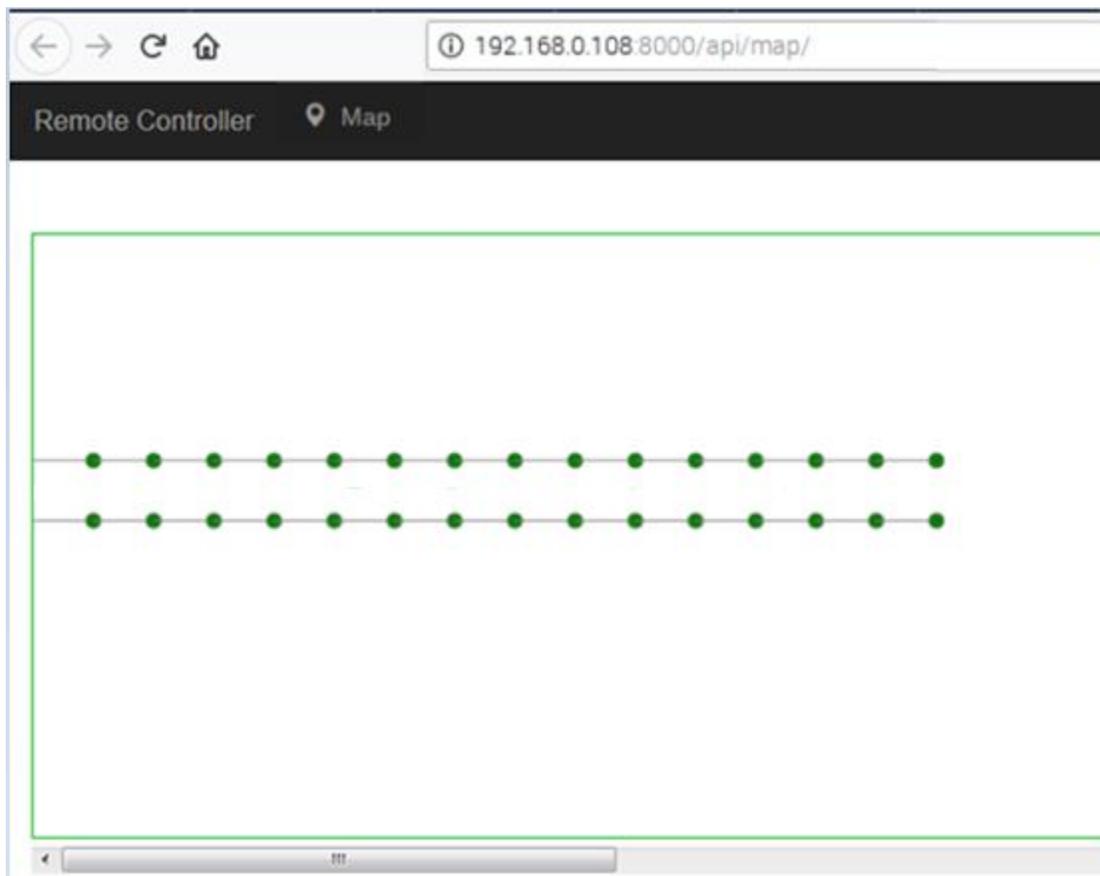


Figura 6-4. Resultado gráfico de la verificación de los aspectos de la Ley 7600 para el pasillo de la Figura 6-6

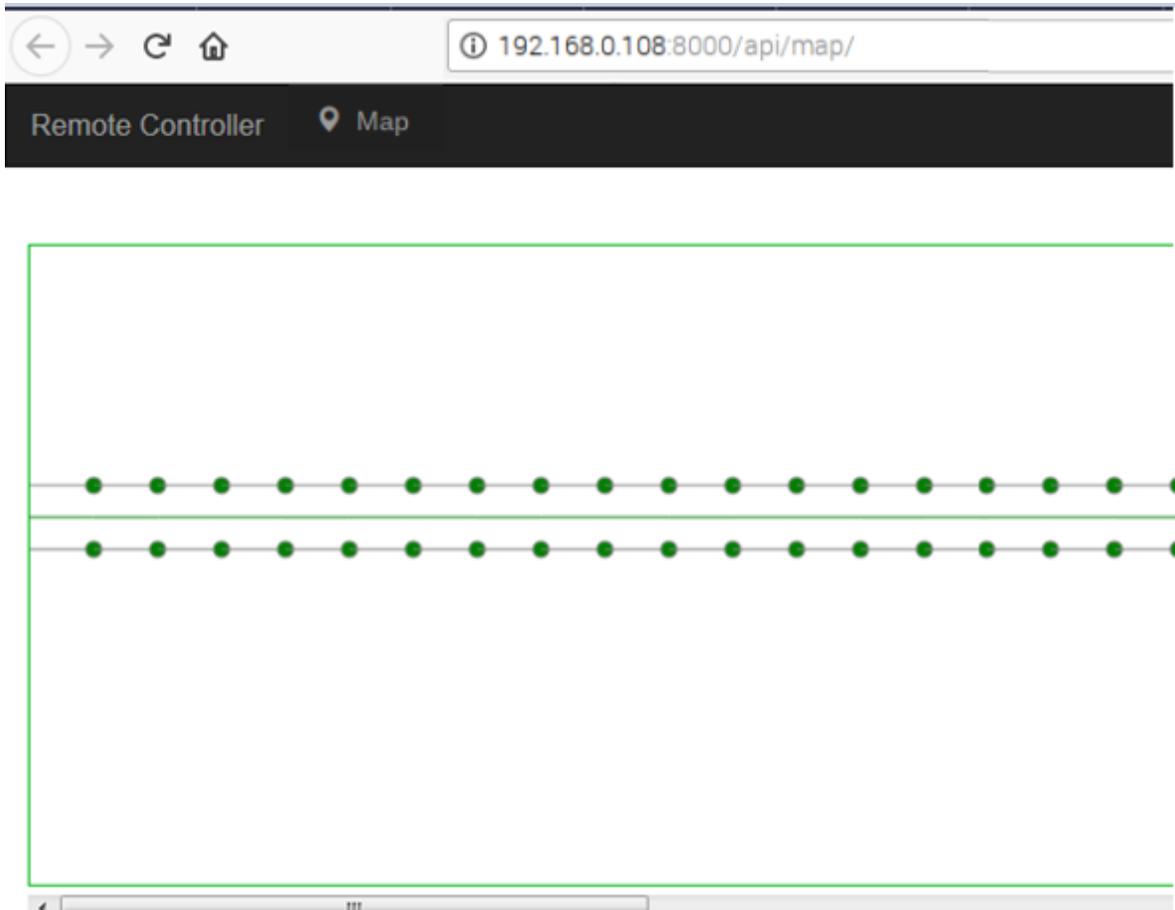


Figura 6-5. Resultado gráfico de la verificación de los aspectos de la Ley 7600 para la rampa de la Figura 6-7.



Figura 6-6. Pasillo general.



Figura 6-7. Rampa

La rampa de la Figura 6-7 tiene un ancho mayor a 1,20m, resultados que se pueden ver en la Figura 6-5 que concuerdan con la medición hecha manualmente con cinta métrica, la cual es de 1,50m. Por otro lado, la inclinación promedio es de 3,6° grados y el mapa indica que mide entre 2° y 5°. La rampa se observa en el mapa con una línea paralela a la misma, que en este caso es verde, lo que indica que la inclinación cumple con los datos de la Ley 7600 (ver Tabla A-2). El escenario en el que se validó esto, se puede observar en la Figura 6-7.

Para la Figura 6-4 se puede ver que al igual que en el caso anterior cumple, los costados indican que hay una distancia superior a 1,20m y en la medición física con cinta métrica tiene un valor de 1,86m, mientras que la inclinación es de 1,4° valor que también cumple con la ley. Al ser menor a 2° no debe dibujar una línea entre

los puntos, tal y como lo indica la Tabla 4-3. El escenario en el que se validó esto, se puede observar en la Figura 6-6.

Un aspecto importante en las mediciones que hace el robot es que para lograr tener un ancho de los pasillos es necesario un objeto o pared donde la señal pueda rebotar y regresar al sensor, por lo tanto en los lugares abiertos habrán casos que muestre valores erróneos, sin embargo, en interiores (como pasillos) o en rampas o pasillos con muros o paredes a sus costados, se mostrará con claridad la verificación.

Estas mediciones no se realizaron en presencia de personas para evitar generar errores en los anchos medidos, ya que el movimiento en los lados del robot se detecta como una pared. También la tierra desigual causó que el sonido emitido por el sensor ultrasónico rebotara y no se detectaron objetos existentes, como también podía generar variaciones mínimas en la lectura de la inclinación respecto al suelo, con ángulos no mayores a los 2° , lo que no representa problema alguno para la verificación.

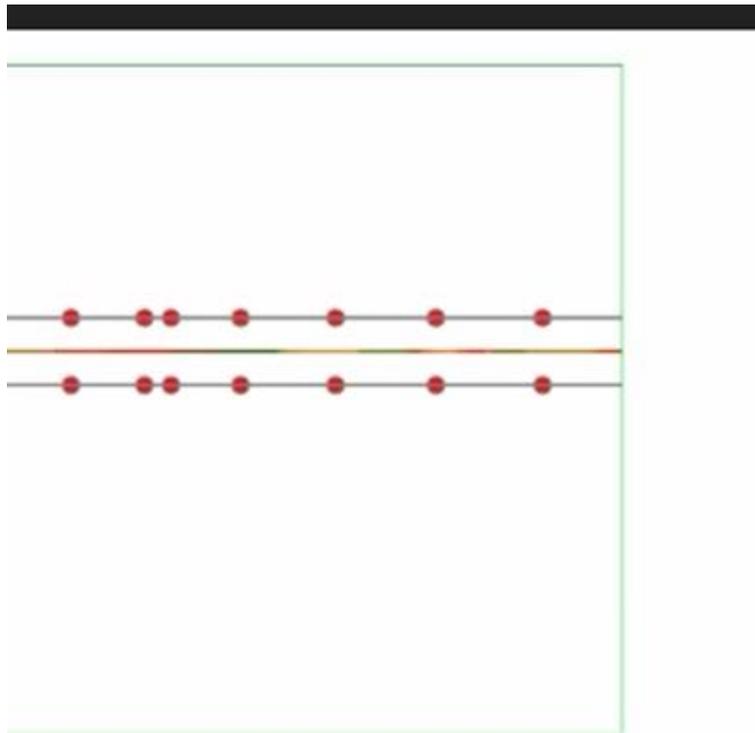


Figura 6-8. Resultado gráfico de la verificación de los aspectos de la Ley 7600, escenario que incumple.

Adicional se creó un escenario en el que no cumpla con lo estipulado en la Tabla A-1 y la Tabla A-2 de la Ley 7600, para verificar que lo desarrollado también muestra cuando un sector incumple. En efecto, esto se puede observar en la Figura 6-8, donde se colocaron objetos a distancias menores de 0,90m y una inclinación promedio mayor a 10°. Lo que se realizó se puede observar en la Figura 6-9.

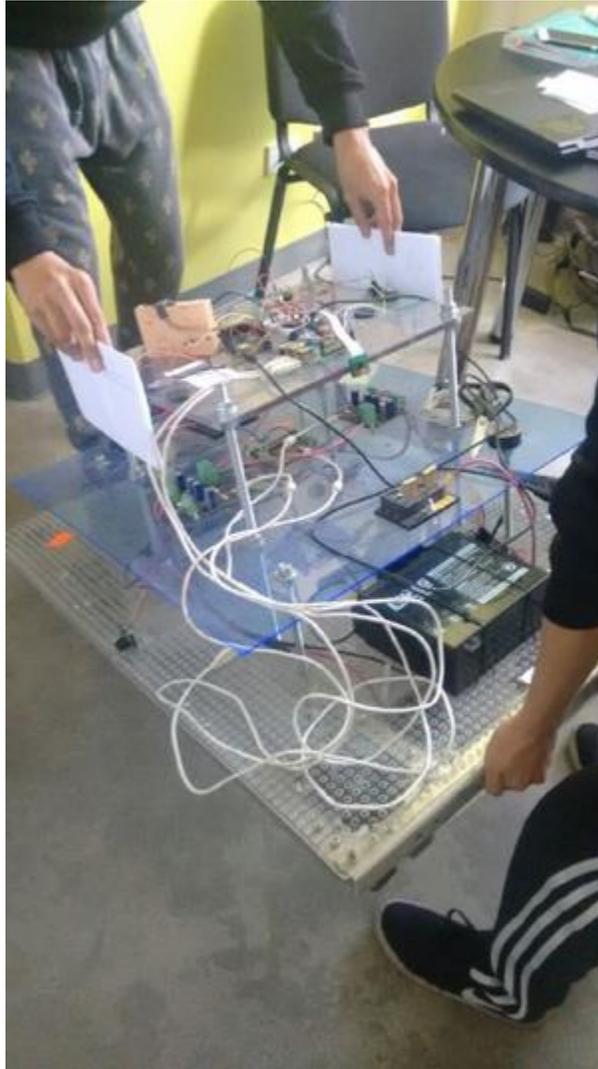


Figura 6-9. Escenario creado para no cumplir la con la Ley 7600.

Escenario de la Figura 6-9 se colocó unas hojas a cinco centímetros de cada sensor, y con una inclinación mayor a los 10°.

7 Limitaciones

La velocidad a la que el vehículo robótico trabaja es fija, es decir no existe una opción en el diseño elaborado que permita que el usuario pueda decidir si este vehículo va más rápido o más despacio.

8 Conclusiones

Fue posible crear un enlace vía Wifi entre el vehículo robótico y la plataforma de internet que en este caso es una página web, con una fiabilidad del 100%, con un alcance según la red local.

Las irregularidades de la tierra donde se realizan las mediciones pueden causar errores en la determinación del ancho en los pasillos.

En lugares abiertos no es posible conocer el ancho de los pasillos con certeza porque no hay un área donde las ondas ultrasónicas de los sensores puedan rebotar.

La aplicación para visualizar información puede mostrar los datos recopilados durante el trayecto del robot y analizarlos de acuerdo con la ley 7600.

En rampas se puede observar la medición de las mismas con un error inferior al 5%.

Es posible visualizar en tiempo real el trayecto, es decir la cámara en la página web con un tiempo de respuesta no mayor a 2s.

Recomendaciones

Generar un ejecutable de los códigos para que al iniciar no se deba que estar ejecutando cada código por aparte.

Realizar un botón que le permita al usuario regular la velocidad a la que el vehículo se moviliza, es decir que este realice el recorrido más despacio o más lento, según lo desee el usuario.

Proveer de un lazo de realimentación que regule la velocidad de manera que sea independiente a la carga de las baterías.

Cambiar las baterías con las que cuenta el vehículo ya que tales baterías se descargan al cabo de 10 minutos de uso.

Mostrar en alguna sección de la página web, por cuanto difieren los valores que no cumplen con los valores establecidos en las tablas 1 y 2.

Se recomienda implementar el proyecto con cloud computing de “Interfaz como servicio (IaaS)” ya que permitiría mudar de red local a tener acceso con simplemente conexión a internet.

Apéndices

Tabla A-1. Especificaciones para puertas y pasillos, Ley 7600.

Pasillos Generales	> 1,20 m
Pasillos Interiores	> 0,90 m
Puertas	> 0,90 m

Tabla A-2. Especificaciones para rampas. Ley 7600.

De 10 a 12%	En secciones menores a 3 metros
De 8 a 10%	En secciones de 3 a 10 metros
De 6 a 18%	En secciones mayores a 10 metros

Referencias

- [1] Legislative Assembly of Costa Rica, "The equal opportunities law for persons with disabilities. Fundación Rehabilitación y Desarrollo, San José, Costa Rica, 1996.
- [2] Arias-Esquivel, Y., Carrasquilla-Batista, A., "Wireless control system for a robotic vehicle to verify the compliance of the Law 7600". In proceedings, International Work Conference in Bio-inspired Intelligence (IWOBi 2014), IEEE Xplore, pp. 162-167, 2015.
- [3] Arias-Esquivel, Y., Carrasquilla-Batista, A., "A robotic vehicle with Internet of Things (IoT) capabilities to verify the compliance of Law 7600 in Costa Rica". Expuesto en, Jornadas Costarricenses de Investigación en Computación e Informática (JoCICI 2017).
- [4] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Consejo Nacional de Rehabilitación y Educación Espacial, "Guía Integrada para la Verificación de la Accesibilidad al Entorno Físico".
- [5] admin. ¿Qué es un Phidget? 2011; Disponible en: <http://www.prucommercialre.com/que-es-un-phidget/>.
- [6] PhidgetMotorControl HC. Disponible en: <https://www.phidgets.com/?tier=3&catid=18&pcid=15&prodid=62>.
- [7] Llamas L. ¿QUÉ ES RASPBERRY PI? 2017; Disponible en: <https://www.luisllamas.es/que-es-raspberry-pi/>.
- [8] ¿Qué es Raspberry PI y para qué sirve? 2013; Disponible en: <https://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20130716/abci-raspberry-como-201307151936.html>.
- [9] IaaS vs. PaaS vs. SaaS. 2013; Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=KqL3BfAc9Cs>.
- [10] ¿Qué es y cómo funciona el Internet de las cosas? 2014; Disponible en: <https://hipertextual.com/archivo/2014/10/internet-cosas/>.
- [11] Waveshare. Disponible en: <https://www.aliexpress.com/item/Waveshare-RPi3-B-Package-D-including-Raspberry-Pi-3-Model-B-Development-Kits-Expansion-Board/32650131108.html>.
- [12] RASPBERRY PI 3 MODEL B. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
- [13] ¿Cómo escoger un servidor para alojar mi sitio web? Disponible en: <http://culturacion.com/como-escoger-un-servidor-para-alojar-mi-sitio-web/>.
- [14] ¿Cómo funciona exactamente un servidor Web? 2009; Disponible en: <https://www.internetlab.es/post/628/como-funciona-exactamente-un-servidor-web/>.
- Minguillon R. Infraestructura LAMP de alta disponibilidad. Disponible en: <http://rafaelminguillon.es/Proyecto.pdf>.
- [15] LAMP. Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/LAMP>.
- [16] Sensor de Distancia de Ultrasonido HC-SR04. Disponible en at: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>.
- [17] Driving Mecanum Wheels Robots omnidireccionales. 2015; Disponible en: <https://www.roboteq.com/index.php/component/easyblog/entry/driving-mecanum-wheels-omnidirectional-robots?Itemid=1208>.

- [18] Inclinometro digital con Arduino. 2013; Disponible en: <http://fuenteabierta.teubi.co/2013/03/inclinometro-digital-con-arduino-uso-de.html>.
- [19] Driving Mecanum Wheels Omnidirectional Robots. 2015; Disponible en: <https://www.robotiq.com/index.php/component/easyblog/entry/driving-mecanum-wheels-omnidirectional-robots?Itemid=1208>.
- [20] Consejos para mejorar como arquitecto de aplicaciones web. 2013; Disponible en: <https://www.asociacionaepi.es/consejos-para-mejorar-como-arquitecto-de-aplicaciones-web/>.
- [21] Salazar J, Silvestre S. INTERNET DE LAS COSAS. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf.
- [22] Garcia A. Arduino Mega: Características, Capacidades y donde conseguirlo en Panamá. 2013; Disponible en: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>.
- [23] ¿Qué es nginx? Disponible en: <http://culturacion.com/que-es-nginx/>.
- [24] ¿Qué es y cómo funciona el Internet de las cosas? 2014; Disponible en: <https://hipertextual.com/archivo/2014/10/internet-cosas/>.
- [25] Módulo Ultrasonico Geekcreit® HC-SR04 Disponible en: <https://www.banggood.com/es/Wholesale-Geekcreit-Ultrasonic-Module-HC-SR04-Distance-Measuring-Ranging-Transducer-Sensor-DC-5V-2-450cm-p-40313.html>.
- [26] Brújula digital. Disponible en: https://www.ecured.cu/Br%C3%BAjula_digital.
- [27] Variables de entorno y Java. Disponible en: <https://www.cec.uchile.cl/~luvasque/edo/java/manuales/JVM%20y%20variables%20de%20entorno.pdf>.
- [28] Garcia A. Arduino Mega: Características, Capacidades y donde conseguirlo en Panamá. Disponible en: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>.
- [29] Garcia A. Arduino Mega: Características, Capacidades y donde conseguirlo en Panamá. Disponible en: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>.
- [30] FM Y. Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. 2018; Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.
- [31] 3-Axes Accéléromètre Capteur - ADXL335. Disponible en: <http://fr.hobbytronics.co.uk/adxl335>.
- [32] Digital Compass Solution HMC6352 Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/HMC6352.pdf>.
- [33] Raspberry Pi Camera Module V2 8 Megapixel 1080p 640522710881. Disponible en: <https://www.ebay.com/p/Raspberry-Pi-Camera-Module-V2-8-Megapixel-1080p-640522710881/22012033341>.
- [34] 536XavierRobotics. How to Use and Program Mecanum Wheels. 2014; Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=5Ge_9rwQTqA.
- [35] Compás HMC6352. Disponible en: <https://tienda.bricogEEK.com/descatalogado/275-compas-hmc6352.html>.

- [36] Módulo de brújula: HMC6352. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/retired/7915>.
- [37] Raspberry Pi Camera v2. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/2056179.pdf>.
- [38] OEM Miniature Optical Kit Encoder ; Disponible en: http://cdn.usdigital.com/assets/datasheets/E4P_datasheet.pdf.
- [39] OEM Miniature Optical Kit Encoder ; Disponible en: http://cdn.usdigital.com/assets/datasheets/E4P_datasheet.pdf.
- [40] ADXL335 ; Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/adxl335.pdf>.
- [41] MURVV Mobile Robot Con JavaScript. 2016; Disponible en: <https://www.phidgets.com/?view=articles&article=MurvMobileRobot>.
- [42] MURVV Mobile Robot Con JavaScript. 2016; Disponible en: <https://www.phidgets.com/?view=articles&article=MurvRobotJavascript>.
- [43] Diferencia entre streaming y broadcasting. Disponible en: <http://culturacion.com/diferencia-streaming-broadcasting/>.
- [44] ACELERÓMETRO ; Disponible en: http://www.electronicaestudio.com/docs/SHT-004_info.pdf.
- [45] Muñoz José D. 17 Noviembre. 2017. ¿Qué es Flask? Disponible en: <https://openwebinars.net/blog/que-es-flask/>
- [46] Luis. NeatBeans. Disponible en: <https://www.fdi.ucm.es/profesor/luis/fp/devtools/NetBeansUso.html>
- [47] ¿Qué es Django? Disponible en: <https://tutorial.djangogirls.org/es/django/>
- [48] Enero 2017; IDLE. Disponible en: <http://www.mclibre.org/consultar/python/otros/python-idle.html>
- [49] Introducción a JSON. Disponible en: <https://www.json.org/json-es.html>
- [50] Solis J. Setiembre 2014. ¿Qué es Bootstrap y cómo funciona el diseño web? Disponible en: <https://www.arweb.com/chucherias/%C2%BFque-es-bootstrap-y-como-funciona-en-el-diseno-web/>
- [51] Tecnodummies. Febrero 2015. ¿Qué es una API y para qué sirve? Disponible en: <https://www.abc.es/tecnologia/consultorio/20150216/abci--201502132105.html>
- [52] CSS, ¿Qué es? Disponible en: <http://www.arumeinformatica.es/dudas/css/>
- [53] Chuburu. L 2017 Qué es JQuery y cómo implementarlo. Disponible en: <https://www.laurachuburu.com.ar/tutoriales/que-es-jquery-y-como-implementarlo.php>