
 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>ANEXOS Y RECURSOS</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 80	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT SEMIAUTÓNOMO PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON MOVILIDAD REDUCIDA.
Autor(es)	GONZÁLEZ RODRÍGUEZ OSCAR ENRIQUE
Director	DIEGO ACERO
Publicación	Bogotá, Universidad pedagógica Nacional, 2016. 76p
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Discapacidad, prototipo robótico, sensores, control, creación de ruta.

2. Descripción
<p>Este trabajo de grado tiene como finalidad el diseño e implementación de un prototipo robótico semiautónomo para el transporte de pacientes con movilidad reducida en un lugar específico, como vivienda, lugar de estudio o trabajo. Se tuvo en cuenta el desarrollo del módulo de tracción diferencial, el módulo de sensores de proximidad, el módulo de control de sistemas de tracción, comando y modelamiento del entorno, para ello se utiliza diferentes herramientas computacionales de hardware y software como PIC ®, Raspberry pi B+ ® y un computador portátil, la programación se realizó en Python ® en plataforma Ubuntu 12.04 y rasbian Debian jessy. En el escrito se describe todo el proceso de desarrollo las fallas y los aciertos. Como resultado se implementó físicamente el prototipo a escala real.</p>

3. Fuentes
<p>Ollero, A., (2001) robotica manipuladores y robots móviles, Barcelona, España, marconbo boixareu editores.</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>ANEXO 10 - RESUMEN</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 80	

Barrientos, A. peñin, L. Balaguer, c. aracil, R. (2007) Fundamentos de robotica. Madrid España, mc Graw Hill.

Florczyk, S. (2005), Robot Vision Video-based Indoor Exploration with Autonomous and Mobile Robots. Republica de alemania, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Garcia, E, (2012) Vision artificial, Cataluña, España. FUOC. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya

Parallax Inc (2008). Datasheet Ultrasonic Distance Sensor. EEUU. Pololu,


George J. K, (2012), Los cerebros detrás de la silla de ruedas eléctrica, uno de los 'grandes' artefactos de Canadá, The Globe and Mail, <http://www.theglobeandmail.com/report-on-business/small-business/sb-managing/the-brains-behind-the-electric-wheelchair/article4502631/>

Rasbridge. J, The Power Chair: A History. Motability, <http://www.powerchairsdirect.co.uk/powerchair%20articles/powerchair-history.html>

4. Contenidos

El trabajo está dividido en 3 capítulos, el primero explica, plantea, justifica la necesidad evidenciada, propone el marco teórico, el segundo describe dos prototipos y el producto final en este se plantean los problemas técnicos como la solución propuesta, se detalla la implementación de los sensores de distancia laser y ultrasónicos, el método de creación de la ruta entre los puntos deseados, los alcances de cada prototipo y mejoras finales, en el último capítulo se encuentran las pruebas simuladas y físicas adicionalmente se proponen futuros desarrollos.

5. Metodología

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formación de Profesores</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 80	

La metodología utilizada fue la exploratoria donde se pretenden dar una visión general y dar solución a la necesidad planteada en el proyecto de grado.


6. Conclusiones

El diseño e implementación del prototipo robótico abarca muchas áreas, en este proyecto se tomaron en cuenta las más básicas como son, módulo de desplazamiento, de control, de navegación de rutas, módulo de sensado, etcétera, aunque se desarrollaron los módulos anteriormente mencionados se estima que como primer prototipo aun esta susceptible a muchas mejoras, un ejemplo es la navegación y posicionamiento, como anteriormente se dijo la odometría utilizada aunque es muy eficiente no resulta tan eficaz en terrenos de diversa superficie, algo muy común en los ambientes propuesto de aplicación. En cuanto a los sensores la aplicación de sensores laser se podría reevaluar ya que por costos serian inviable, y aunque la elaboración de los mismos con webcam ahorra mucho dinero, estos son muy susceptibles a variables propias de un ambiente común, como luces, reflejo de color rojo en el área de plano focal determinada, entre otros, un remplazo eficiente podría llegar a ser un sensor ultravioleta de medida de propósito general, los cuales se encuentran fácilmente en el mercado a un precio razonable.

El proyecto desarrollado, da un aporte y soluciona una necesidad de una población específica, esta herramienta tecnológica permitirá una mayor independencia.

El proyecto realizado se puede implementar de una forma masiva, ya que es técnicamente viable, adicionalmente el diseño de su programación se realizó sobre plataformas de acceso gratuito ampliamente difundidas.

Elaborado por:	Oscar Enrique González Rodríguez.
Revisado por:	Diego Acero

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de Profesores</small>	<i>FORMATO</i>	
	<i>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</i>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 80	

Fecha de elaboración del Resumen:	31	08	2016
--	----	----	------

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT
SEMIAUTÓNOMO PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON
MOVILIDAD REDUCIDA.**

OSCAR ENRIQUE GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA
FACULTAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA
BOGOTÁ
2016**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT
SEMIAUTÓNOMO PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON
MOVILIDAD REDUCIDA.**

Trabajo de grado para optar el título de licenciado en Electrónica.

**OSCAR ENRIQUE GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
2010103032**

**DIRECTOR DE PROYECTO.
DIEGO ACERO.**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA
FACULTAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA
BOGOTÁ
2016**

Dedicatoria.

Dedico este proyecto de grado y todos mis estudios a:

*Mis padres por apoyarme en todo, especialmente
a mi madre que siempre ha estado
sacrificando su vida entorno a mis sueños.*

*A mi hermanita luz que siempre ha estado
presente dándome apoyo seguridad y esperanza
en los momentos difíciles.*

*A ti Mary, por estar ahí y ser tan especial
en mi vida, por tu compañía, por enseñarme
tantas cosas y por creer en mí.*

*A mi hermana flor, que aunque ya no esta
entre nosotros fuiste el mayor ejemplo que
he tenido en mi vida.*

Agradecimientos.

Agradezco a todos los profesores
especialmente al profesor Diego Acero
por brindarme el apoyo y la asesoría
necesaria para culminar con éxito este proyecto.

A la Universidad, compañeras y compañeros
y a todos aquellos que intervinieron
en mi vida académica.

Abstract.

Diseño e implementación de un prototipo de robot semiautónomo para el transporte de pacientes con movilidad reducida, el cual cuenta con 8 sensores, 4 ultrasónicos y 4 laser, implementados con webcam, la creación de la ruta se elabora por medio de el algoritmo de tremaux y el método pathfinding a*, en la elaboracion de la ruta también se realiza un algoritmo que evita la redundancia del recorrido , este prototipo robótico se ensambla en un marco de silla de ruedas convencional, la cual no cuenta con muchas especificaciones ergonómicas.

Tabla de Contenidos.

Capítulo 1	14
Introducción	14
Justificación y planteamiento del problema	16
Antecedentes	16
Formulación del problema	19
JUSTIFICACIÓN	20
Aportes, limitaciones, alcances y proyección del trabajo	20
Objetivos	22
General	22
Específicos	22
Marco teórico	23
Bases teóricas y científicas	23
Tarjetas de desarrollo	29
Sensores	29
Sensores láser	30
Sensores ultrasónicos	30
La fotogrametría	31
Imagen captura y componentes	33
Capítulo 2	35
Prototipo uno	35
Implementación	35
Descripción del algoritmo prototipo PIC ®	35
Algoritmo de dirección de acuerdo a vector de ruta hallada	40
Hardware	42
Alcance de prototipo	43
Prototipo 2	44
Implementación	44
Descripción del prototipo	46
Prototipo final	46
Sensor láser	47
Parametrización de webcam	52
Sensores ultrasónicos	55

Mapa.....	56
Algoritmo generador de ruta.....	57
Ubicación de los sensores y prioridad.....	60
Tipos de desplazamiento del prototipo.....	61
Acondicionamiento de motores.....	62
Circuitos adicionales.....	63
Tipos de comunicación.....	66
Conexión eléctrica del prototipo.....	67
Capítulo 3.....	68
Pruebas y resultados.....	68
Pruebas simuladas.....	68
Pruebas reales.....	74
Futuros desarrollos.....	77
Conclusiones.....	78

Lista de figuras.

Figura 1 visión de robot entorno local.	19
Figura 2 Stephen farfler sobre primer silla de ruedas propulsada.....	23
Figura 3 George J. Klein sobre primer silla auto propulsada. ARCHIVO DEL NRC	24
Figura 4 Plano diseño mecánico silla auto propulsada. oficina de patentes de EE.UU.....	25
Figura 5 George J. Klein e ingeniero archivo del NRC.....	25
Figura 6 motor eléctrico de silla de ruedas	26
Figura 7 primer joystick silla de ruedas eléctrica archivo del NRC	27
Figura 8 Mecanismo interno joystick silla de ruedas eléctrica archivo del NRC	27
Figura 9 Circuito control silla de ruedas eléctrica. Archivo del NRC	28
Figura 10 Circuito control silla de ruedas eléctrica. Archivo del NRC	28
Figura 11 Angulo de visión cámaras fotográficas.....	32
Figura 12. Transformación lineal entre RGB y YUV. (Florczyk, 2005).....	33
Figura 13. ecuaciones transformación entre RGB y YUV (Florczyk, 2005).	34
Figura 14. Matriz representativa de mapa.....	35
Figura 15. Representación obstáculos fijos y espacios libres en mapa cargado al prototipo.....	36
Figura 16. Flujograma proceso creación de ruta del prototipo.....	38
Figura 17. Ejemplo creación de ruta.....	39
Figura 18. Ruta hallada con algoritmo implementado.....	40
Figura 19. Flujograma proceso de desplazamiento.....	42
Figura 20. Distribución física de componentes en prototipo 1.	43
Figura 21. Esquema modelo sensor 3 de láser y una webcam.....	45
Figura 22. Recorrido probable de los 3 laser en imagen capturada.....	45
Figura 23. Zona de desplazamiento del láser capturado.....	48
Figura 24. Algoritmo para hallar distancia con sensor laser.	50
Figura 25. Distribución física entre el lente de la cámara y puntero laser.....	51
Figura 26. Sensor laser.	51
Figura 27. Posible desviación del láser en zona capturada.	52
Figura 28. Posible desviación del láser en zona capturada.	52
Figura 29. Desviación no lineal distancia versus ángulo.	54
Figura 30. Plano lugar de implementación del prototipo.	56
Figura 31. Representación matricial plano.....	57
Figura 32. Matriz de prioridad. 0 ubicación lugar de llegada.	57
Figura 33. Representación punto de inicio y final en mapa.	58
Figura 34. Matriz representativa punto de inicio y final.	58
Figura 35. Matriz representativa de prioridad.	59
Figura 36. Ruta hallada en posiciones propuestas.	60
Figura 37. Vista frontal inferior de prototipo.	61
Figura 38. Sentido de rotación de llantas según giro.	62
Figura 39. Sentido de rotación de llantas según giro.	62
Figura 40. Esquemático circuito encendido de láser.....	64
Figura 41. Esquemático circuito acople de voltajes.	65
Figura 42. Esquemático circuito regulador voltaje 5 voltios.	65
Figura 43. Conexión eléctrica del prototipo.....	67

Figura 44. Interfaz para ingreso de datos simulados en Matlab.....	68
Figura 45. Representación punto de inicio punto final.	69
Figura 46. Ruta opcional.....	70
Figura 47. Ruta final en mapa.....	70
Figura 48. Ruta opcional 1.....	71
Figura 49. Opción 2 posible ruta.	72
Figura 50. Representación punto inicio punto final y obstáculo.....	73
Figura 51. Opciones de ruta no culminada por obstáculo.....	74
Figura 52. Diseño físico del prototipo.	76
Figura 53. Vista lateral del prototipo.....	76
Figura 54. Vista Superior del prototipo	77

Capítulo 1

Introducción.

El diseño e implementación de un prototipo robótico semiautónomo se realiza con el propósito de dar una propuesta tecnológica que ayude al traslado y desplazamiento de personas con movilidad reducida, que no cuentan con la movilidad suficiente para accionar los dispositivos ya implementados como joystick, botones, palancas cefálicas entre otras, Según el INFORME MUNDIAL sobre LA DISCAPACIDAD realizado por la Organización Mundial de la Salud, 2011 Más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad; de ellas, casi 200 millones experimentan dificultades considerables en su funcionamiento, en Colombia según el DANE el 11% de la población colombiana padece algún tipo de discapacidad y el 4% presentan una discapacidad física que les impide moverse.

La implementación del prototipo robótico es relevante y marca procesos desarrollo-técnico interesantes, en el diseño se utilizaron herramientas computacionales, tarjetas de desarrollo, se utilizaron ultrasonidos y se implementaron sensores láser de bajo costo como sensores de soporte, se determinó la mejor forma adquisición de datos sobre el entorno donde se desplaza el prototipo, de igual forma se diseñó un algoritmo computacional el cual calcula por el algoritmo de tremaux con el método pathfinding a*, la navegación. Este halla la ruta más corta desde el punto donde está el prototipo, al punto donde se quiere llevar el prototipo, el algoritmo fue implementado en lenguaje Python, Matlab y c#, lo que garantiza su multiplataforma y su flexibilidad, sin embargo el prototipo final solo utiliza lenguaje Python.

La aplicación del proyecto es clara y busca aprovechar las herramientas tecnológicas y computacionales para brindar a un tipo de población específica una herramienta que facilite su desplazamiento autónomo en lugares previamente designados.

En la parte técnica se encontraron retos como, la navegación y ruta del prototipo de un punto A a un punto B, estas soluciones incluyen sensores con láser formados con cámaras de bajo coste,

Justificación y planteamiento del problema.

Antecedentes

El proyecto de investigación “SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTOMÁTICA CONTROLADA POR VOZ PARA UNA SILLA DE RUEDAS” elaborado en el año 2012, fue desarrollado por el equipo del Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Tecnológica Equinoccial Quito, Ecuador realizado por: Marcelo Arévalo Luzuriaga, presentado para obtener el título de ingeniero en electrónica.

El sistema de control del navegador está basado en un microcontrolador tipo PIC 16f877A (Microchip) como elemento maestro del comando y de 2 microcontroladores esclavos para la ejecución del reconocimiento de voz y manejo de los actuadores. El microcontrolador RCS 300 (Sensory) es el encargado de realizar el almacenamiento y reconocimiento de los comandos de voz utilizados para el control del equipo, por su gran capacidad y conversor análogo/digital de 32 bits constituye un elemento especializado para este tipo de aplicaciones. Todo el conjunto está montado sobre la estructura de una silla de ruedas y permite una navegación manual y automática del equipo dependiendo la necesidad y la instrucción que realice el usuario. EL objetivo principal del presente proyecto fue desarrollar un sistema autónomo capaz de movilizar a personas discapacitadas parapléjicas sobre una silla de ruedas, utilizando un simple comando o instrucción de voz. Teniendo la capacidad de trabajar hasta con 15 instrucciones

previamente establecidas y grabadas por el usuario en la memoria EEPROM del microcontrolador especializado para esta actividad.

El proyecto de investigación “SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS CON UN ROBOT MÓVIL DE CONFIGURACIÓN DIFERENCIAL” elaborado en el año 2014, fue desarrollado por el equipo del Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá Colombia L. E. Solaque, M. A. Molina, E. L. Rodríguez. Publicada en la revista Ing. USBMed, Vol. 5, No. 1, pp. 26-34. ISSN: 2027-5846. Enero-Junio, 2014

En este trabajo se desarrolla un sistema de control, aplicado en un robot móvil de configuración diferencial, para seguir una trayectoria determinada. Para dar solución al problema, primero se implementa la cinemática directa del robot para simular el comportamiento del mismo. Luego para cumplir el objetivo, dos sistemas de control (holonómico y no-holonómico), fueron desarrollados e implementados a partir de la cinemática inversa. Posteriormente, se desarrollan pruebas que permiten comparar el rendimiento de los dos controladores, determinando cuál proporciona la mejor solución.

El proyecto de investigación “NAVEGACIÓN REACTIVA EN ENTORNOS ESTRECHOS E INTRINCADOS” elaborado en el año 2014, fue desarrollado por el equipo del Facultad de Ingeniería, Universidad de las Islas Baleares, Mallorca, España, Javier Antich Tobaruela, Alberto Ortiz Rodríguez. Actas de las XXXV Jornadas de Automática, 3-5 de septiembre de 2014, Valencia ISBN-13: 978-84-697-0589-6

El que un robot pueda moverse autónomamente y sin conocimiento previo del entorno desde un punto A o inicial a un punto B o/u final/objetivo constituye una

necesidad básica dentro de la robótica móvil. Durante las tres últimas décadas, investigadores de todo el mundo han intentado dotar a sus robots de esa capacidad. Para ello, estos investigadores han propuesto/desarrollado diversos paradigmas de control que, principalmente, se clasifican en: paradigma reactivo, paradigma jerárquico, y paradigma híbrido. Cada paradigma se caracteriza por un conjunto de principios básicos que describen —en términos generales— la forma en la que debe llevarse a cabo el control de un robot. El primero de estos paradigmas, el reactivo, se inspira en la imitación del comportamiento de supervivencia de algunos animales. Más concretamente, el paradigma reactivo sugiere que cada acción se decida sólo teniendo en cuenta el entorno local del robot; además, dicho paradigma exige que todas las decisiones sean tomadas siguiendo razonamientos simples/no intensivos. El presente trabajo se sitúa, precisamente, en este contexto, es decir, bajo el enfoque del paradigma reactivo. Basándose en los principios del paradigma reactivo, son muchas y variadas las estrategias de control que se han propuesto a lo largo de los últimos años.

Algunas de estas estrategias facilitan la navegación del robot por espacios estrechos; otras, posibilitan que el robot pueda evitar grandes obstáculos, incluso cuando éstos tienen una forma compleja e intrincada; etc. En este trabajo se presenta una nueva estrategia de control reactivo denominada Most Promising Gap —o, abreviadamente, MPG. Esta nueva estrategia resulta de la combinación adecuada de otras dos estrategias ya existentes. MPG hereda las capacidades de navegación de las dos estrategias que combina, permitiendo así que un robot pueda moverse con éxito tanto en entornos con pasos estrechos como en entornos altamente intrincados. Con el objetivo de validar la herencia de estas capacidades, se incluyen los resultados de varios experimentos simulados y reales.

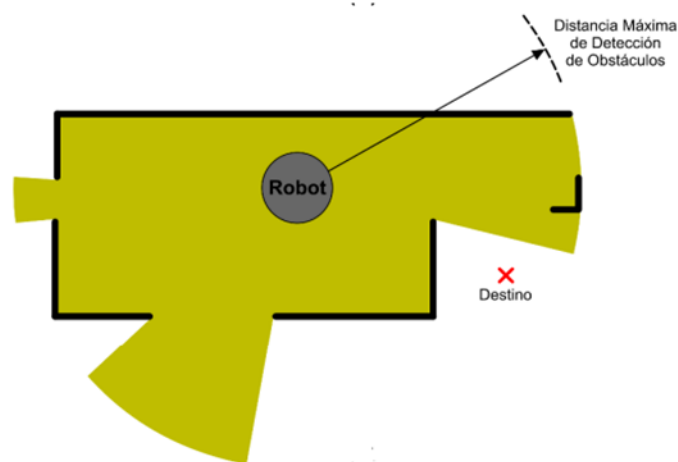


Figura 1 visión de robot entorno local.

Formulación del problema

Aunque en la actualidad existen muchas alternativas tecnológicas que facilitan la vida de aquellos que presentan alguna disminución de las capacidades motoras aún hay falencias para aquellos que tienen altos grados de discapacidad donde se necesitan ayudas técnicas tan específicas que se hace difícil encontrar una solución en las ya creadas, es el caso de patologías o traumas tan severos que limitan el movimiento o lo hacen inexacto. Estas personas sin una ayuda técnica adecuada estarían relegadas a permanecer confinados en un establecimiento médico o permanentemente en una cama de su hogar, limitando sus diferentes ámbitos de su vida.

JUSTIFICACIÓN

El diseño e implementación del prototipo de robot semiautónomo para el transporte de pacientes con movilidad reducida, se hace necesario ya que cubre las necesidades de desplazamiento de aquellas personas que por razones médicas no se pueden movilizar por sus propios medios en los ambientes habitacionales donde más se desenvuelve como vivienda, lugar de estudio o trabajo. Por ser un prototipo semiautónomo garantiza que con una mínima interacción del usuario se pueda llegar de un punto A previamente designado a un punto B. este prototipo busca dar mayor independencia

Aportes, limitaciones, alcances y proyección del trabajo

Se busca que el robot sea programable a un lugar específico, ejemplo vivienda, lugar de estudio o trabajo, dentro de estos lugares se pueda identificar los lugares más relevantes con puntos específicos donde el usuario podrá seleccionarlos por medio de un celular donde se mostrará el plano del lugar resaltando los posibles lugares por donde se puede desplazar el prototipo. Siendo capaz de buscar la mejor ruta, identificar obstáculos y redefinir la ruta hasta llegar al lugar seleccionado.

Aunque el prototipo se plantea para el transporte de pacientes con movilidad reducida, este no busca ahondar en la normatividad técnica dispuesta por las organizaciones locales o mundiales de salud.

Este prototipo de robot se divide en los siguientes módulos.

Módulo de Control: El módulo de control tendrá como objetivo conducir el prototipo hasta una posición previamente configurada mientras evita los choques con los obstáculos detectados por los sensores, además estará encargado de hacer un modelamiento del entorno para tener un desplazamiento más eficaz y dinámico. Este módulo de control se compone de un computador portátil en el cual se guarda la matriz que representa el plano del sitio previamente configurado, se realiza el proceso de búsqueda de ruta y toma de decisiones, este módulo también está integrado por la tarjeta de desarrollo raspberry pi ® que se encarga de la medición de distancia por medio de los ultrasonidos, de encender los láser de acuerdo a lo indicado por la el computador y también se encarga de la comunicación del computador y el PIC ® encargado de los encoder y pwm de los motores.

Módulo de desplazamiento: tendrá dos motores eléctricos de corriente continua con tracción diferencial, los dos motores de tracción serán controlados por un driver de 24v y 12 amperios, y 2 ruedas libres que permitirán la dirección.

Módulos de comunicación: este módulo está integrado con diferentes tipos de comunicación la primera entre el pc y la raspberry ® el cual consta de un cable usb a rs232, la segunda está integrada por un sistema bluetooth que conecta celular y pc y el tercero comunicación paralela entre la raspberry ® y el PIC ® que controla las funciones de desplazamiento del motor.

Objetivos.

General

Diseñar e implementar un prototipo de robot semiautónomo para el transporte de pacientes con movilidad reducida en un lugar específico, ejemplo vivienda, lugar de estudio o trabajo.

Específicos.

- a. Desarrollar módulo de tracción diferencial.
- b. Implementar sensores de proximidad.
- c. Diseñar controlador de sistemas de tracción, comando y modelamiento del entorno.

Marco teórico.

Bases teóricas y científicas

Existen muchos tipos de herramientas que ayudan y facilitan la deambulaci3n y la marcha de personas con alg3n tipo de disminuci3n f3sica, estos dispositivos van desde simples bastones o muletas a sillas auto propulsadas reclinables basculables, que logran la bipedestaci3n para pacientes con graves alteraciones f3sicas. En 1665 se cre3 la primer silla propulsada hecha por Stephen farfler un relojero paraplejico esta contaba con un chasis robusto con 3 ruedas, una polea unida a la llanta delantera que facilitaba el impulso igualmente por medio de esta pod3a dar direcci3n.



Figura 2 Stephen farfler sobre primer silla de ruedas propulsada.

En 1912 el empresario e inventor George Westinghouse diseña la primer silla de ruedas con propulsi3n el3ctrica, ten3a un motor de 1 3/4 de potencia, en 1916 se comenz3 a comercializar pero por sus altos costos no se masifico.

Después de la segunda guerra mundial George J. Klein inventor canadiense e ingeniero del Consejo Nacional de Investigación (NRC) de Canadá el cual le encomendó la tarea de construir un sistema con el cual los veteranos de guerra que sufrían cuadriplejias y paraplejias, pudieran continuar con un desplazamiento eficaz, por ello y con el apoyo de algunos científicos, médicos e incluso algunos veteranos se diseñó el primer prototipo eléctrico para adaptar una silla manual.



Figura 3 George J. Klein sobre primer silla auto propulsada. ARCHIVO DEL NRC

Los aspectos técnicos de esta silla eran los siguientes:

- El marco utilizado en la silla fue el diseñado por Everest y Jennings (E & J) en 1933, se caracterizaba por ser plegable y liviano.

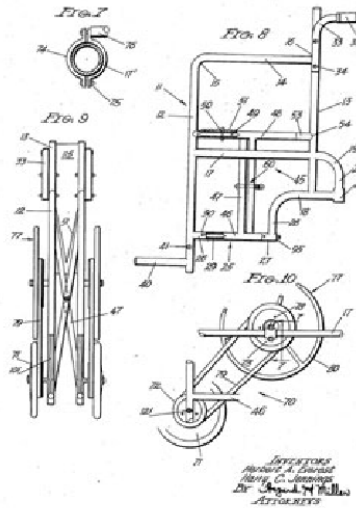
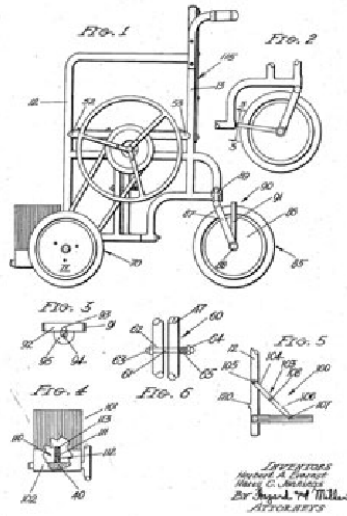


Figura 4 Plano diseño mecánico silla auto propulsada. oficina de patentes de EE.UU.

- Sistema alimentado con 24 voltios, con corrientes muy bajas, proporcionada por dos baterías de 12 voltios, conectadas en serie, que proporcionaban 32 kilómetros de autonomía.



Figura 5 George J. Klein e ingeniero archivo del NRC

- 2 motores que accionaban cada rueda independientemente, estos motores eran de corriente continua, utilizados en aeronaves y fabricados por la General Electric (5BA25MJ409), estos motores fueron readaptados para poder ser utilizados en el prototipo, entregaban 1/8 de caballos de fuerza a 7500 revoluciones por minuto.



Figura 6 motor eléctrico de silla de ruedas

- Lo más innovador del diseño fue su palanca de control, que proporcionaba un manejo bueno y confiable.



Figura 7 primer joystick silla de ruedas eléctrica archivo del NRC

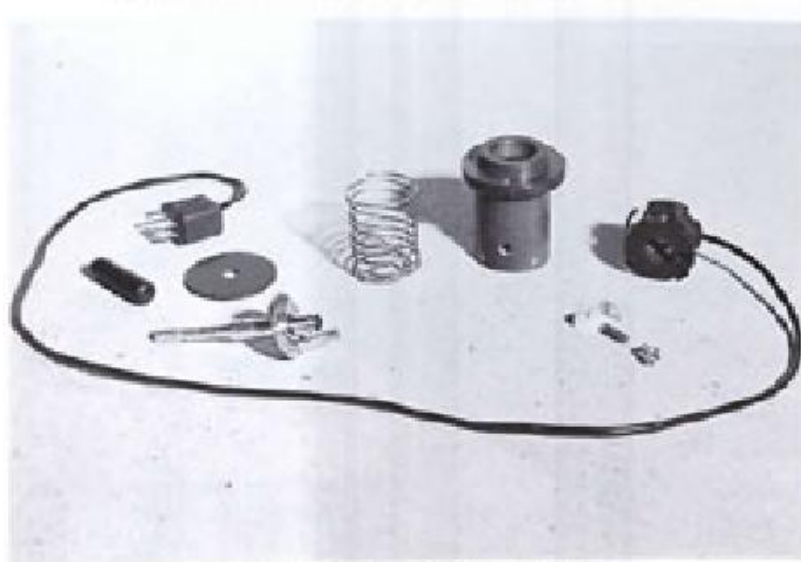


Figura 8 Mecanismo interno joystick silla de ruedas eléctrica archivo del NRC

- El sistema de control eléctrico estaba diseñado por un conjunto de relés, fusibles y condensadores.

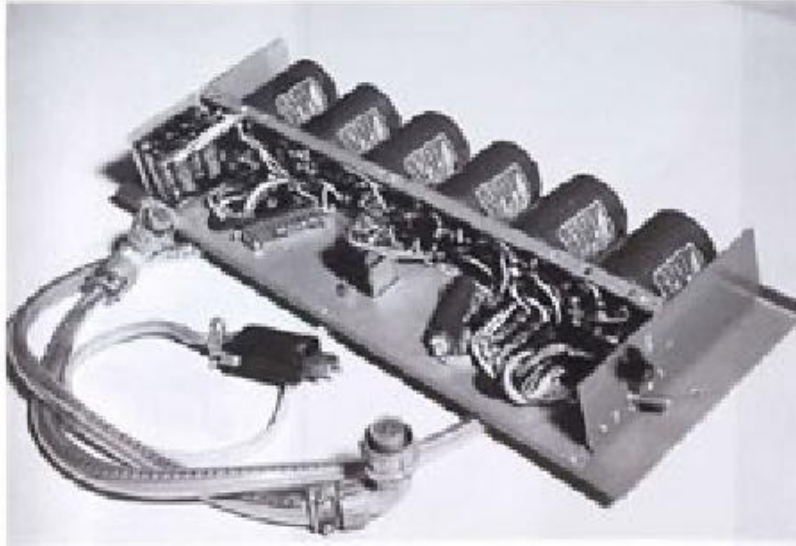


Figura 9 Circuito control silla de ruedas eléctrica. Archivo del NRC



Figura 10 Circuito control silla de ruedas eléctrica. Archivo del NRC

El proyecto termino con la entrega del informe echo por Klein y su equipo el 29 de diciembre en 1953, posteriormente en 1955 en una ceremonia con los veteranos de Ottawa se hace el lanzamiento oficial del prototipo.

En 1956 Harry Jennings y Herbert Everest basados en el prototipo de Klein diseñaron su propia versión y patentaron el diseño E & J 840 no tenían placa de circuito, su sistema de mando era 4 botones donde se podía seleccionar la dirección, esta tenía sólo dos velocidades alta y baja, el movimiento era muy desigual sin embargo hasta 1960 se habían vendido más de un millón de sillas entre manuales y eléctricas.

Tarjetas de desarrollo.

Existen mucha variedad de tarjetas de desarrollo que se han creado con el propósito de implementar proyectos de todo tipo y en todos los ámbitos, las más conocidas son el arduino ® en todas sus versiones, tarjetas galileo, la raspberry ® entre muchas otras, la que se utilizó en el proyecto es la raspberry pi B+ ® esta cuenta con un procesador BROADCOM modelo BCM2835 ARM Peripherals ® que según su datasheet funciona a 700 MHz el cual tiene soporte para USB, UART, PWM, SPI, I2C, DMA, entre otros, esta tarjeta también incluye una GPU (unidad de procesamiento gráfico) con soporte HDMI Y RCA, conector Ethernet 10/100, 4 puertos USB, un conector serial para conexión de display, conector serial para conexión de cámara, 40 pines GPIO 27 de propósito general.

El sistema operativo instalado en esta tarjeta es jessie, una versión que se basada en el sistema operativo Devian Linux, este sistema trae ya integrado todo el soporte para cada uno de las funciones nativas de la raspberry.

Sensores.

Los sensores son fundamentales en el diseño e implementación de los prototipos robóticos estos ayudan a “que un robot realice su tarea con la adecuada precisión, velocidad e inteligencia, será preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado

como del estado de su entorno. La información relacionada con su estado la consigue con los denominados sensores internos, mientras que la que se refiere al estado de su entorno, se adquiere con los sensores externos.” (Barrientos, peñin, 2007)

Sensores láser.

Los sensores laser utilizan haces de luz que se proyectan y se reflejan en una superficie, el análisis de estas proyecciones en los sensores de captura dan los datos que se requieren, una de “Las herramientas de reconocimiento de regiones o blob detection nos permiten analizar las "manchas" de una imagen binaria y extraer información de cada una, como la medida de la mancha, su contorno... Este tipo de funciones son útiles en muchos casos, por ejemplo, para localizar y podremos seguir su trayectoria o analizar su movimiento.”(garcia, 2012)

Sensores ultrasónicos

Este tipo de sensor, es un sensor que proporciona información externa, son utilizados para establecer la distancia del sensor a un obstáculo distante el funcionamiento es el siguiente, “detecta los objetos mediante la emisión de una ráfaga corta de ultrasonidos y luego "escuchar" el eco. Bajo el control de un microcontrolador host (impulso de disparo), el sensor emite una ráfaga corta 40 kHz (ultrasonidos). Estas ondas viajan por el aire, golpea un objeto y luego salta de nuevo al sensor. El sensor proporciona un impulso de salida al host que terminará cuando se detecta el eco, de ahí la anchura de este pulso corresponde a la distancia al objetivo.” (pololu, datasheet, 2008).

Los sensores más utilizados para la toma mediciones de distancias son los ultrasónicos y los que utilizan las imágenes digitales obtenidas por cámaras.

La fotogrametría.

La técnica utilizada para tomar mediciones con la webcam es la Fotogrametría óptica digital, esta establece que en una fotografía es posible medir distancias indirectamente entre diferentes puntos de la imagen, esta técnica de medición utiliza la matemática de la geometría proyectiva, dentro de este modelo de medición se utilizan tres elementos sensor, filtro y película o imagen,

Sensor: el sensor es el encargado de capturar la imagen, este sensor puede capturar la señal emitida por el, estas señales pueden ser luminosas tipo láser o señales electromagnéticas, cuando el sensor no emite ninguna señal este capturar las radiaciones luminosas del ambiente,

El sensor tiene unas características técnicas que son relevantes dentro de la captura de la imagen, estas características técnicas busca una imagen nítida y geométricamente apropiada.

Campo de visión: toda cámara digital, analógica o sensor de captura de imagen tienen ángulos de visión ya determinados por el fabricante, estos ángulos determinan la superficie que abarca o que captura el sensor. Según los ángulos de apertura se denominan de la siguiente forma.

Ultra gran angular 180° este captura todo el horizonte, genera una visión panorámica, la cual se asemeja a la visión humana.

Gran angular abarca entre 100 y 60 grados de apertura

Estándar cubre entre 50° y 25° es la más utilizada en las cámaras digitales comerciales y webcam.

Teleobjetivos cubren entre 15° y 10° , son utilizados en dispositivos de medición o dispositivos de tiro.

El ángulo en vertical suele ser mucho menor que el horizontal ya que la información capturada no sería necesaria.

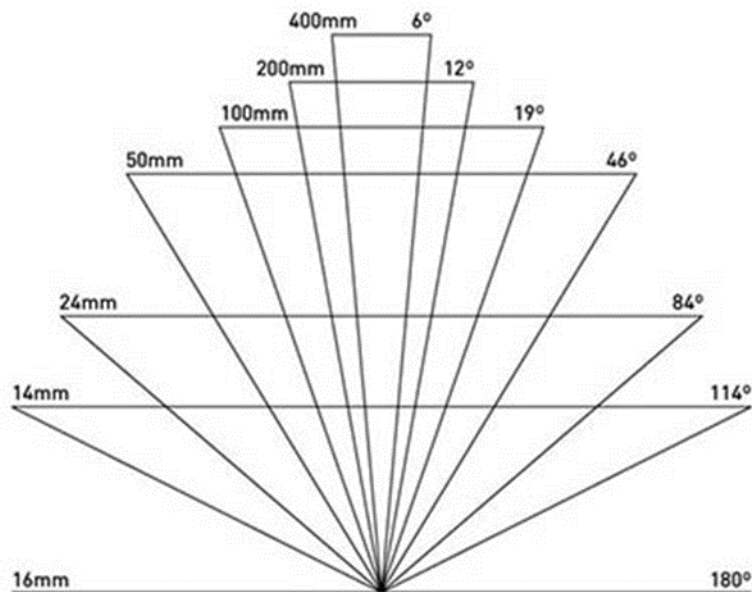


Figura 11 Angulo de visión cámaras fotográficas.

Filtro: la función principal es rechazar ciertas radiaciones luminosas, controlan y modifican la luz incidente que altera la captura y futura medición, los filtros se disponen entre el sensor de captura y el objeto a fotografiar, estos filtros pueden ser físicos tipo ultra violeta, polarizados, de densidad neutra y filtros de colores, o digitales donde se puede emular los anteriormente mencionados, estos últimos aprovechando el poder computacional de los ordenadores.

La fotogrametría tiene ventajas sobre otras técnicas de medición una es la rapidez del registro o captura del objeto a medir, permite la medición de objetos en movimiento, los materiales utilizados son de bajo costo.

Plano focal: representa el plano donde inciden los haces luminosos al obturarse la cámara, y que son plasmados, generando así la imagen capturada.

Imagen captura y componentes.

Existen varios métodos que capturan o representan el color de las imágenes de una cámara digital. Los dos métodos más utilizados para la captura y representación del color son RGB y YUV. El RGB “se compone de tres canales de color. Estos son los canales rojo, verde y azul. Cada color se representa por su color rojo, verde, y partes azules. Esta codificación sigue la teoría de tres colores de Gauss... se mide a menudo en el intervalo de 0 a 255”(xxxx) el método YUV define que “las partes de color y la iluminación están representados por separado. La representación del color ocurre sólo con dos canales, U y V. Y representa el canal que adiciona el brillo” (Florczyk, 2005). Estos dos métodos son fáciles de convertir uno entre otro, para ello existe la siguiente transformación lineal.

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.514 & -0.101 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}.$$

Figura 12. Transformación lineal entre RGB y YUV. (Florczyk, 2005).

Donde se obtiene la ecuación.

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B,$$

$$U = -0.147R - 0.289G + 0.436B,$$

$$V = 0.615R - 0.514G - 0.101B.$$

Figura 13. ecuaciones transformación entre RGB y YUV (Florczyk, 2005).

Capítulo 2.

Prototipo uno.

Implementación

Desarrollo de prototipo con pic 16f877a, pic 18f2550 y pic 18f4550.

Materiales: Motores pululo 1kg, Ultrasonido sh-04, base madera, batería lipo 2 celdas, driver l293, reguladores 5v.

Descripción del algoritmo prototipo PIC ®

El mapa por donde se desplazara el prototipo es representado en una matriz m x n determinada al por el ambiente, donde el numero 1 será paredes u obstáculos, 5 el punto de llegada, este punto de llegada en este prototipo solo se ingresa por medio de programación en lenguaje c#, el punto de partida se determinó con el número 30, y los lugares por donde se podría llegar a desplazar sin designados con 0, estos valores se determinaron aleatoriamente y no tienen ningún fundamento técnico.

Ejemplo de la matriz:

```
mapa =
  1  1  1  1  1  1  1  1
  1  0  0  0  0  0  5  1
  1  0  0  0  0  0  0  0
  1 30  1  0  1  1  1  1
  1  0  0  0  0  0  0  1
  1  1  1  1  1  1  1  1
```

Figura 14. Matriz representativa de mapa.

El primer paso hallamos la posición de salida por medio de un ciclo que entrega fila y columna donde se halla el prototipo, luego se inicia el proceso para crear el vector de la ruta idónea, este proceso inicia preguntando si la posición de llegada es la misma de partida, ya que puede ocurrir que el usuario determine el mismo punto, si no el algoritmo determina si hay espacio para desplazarse hacia la izquierda, derecha, atrás o adelante.

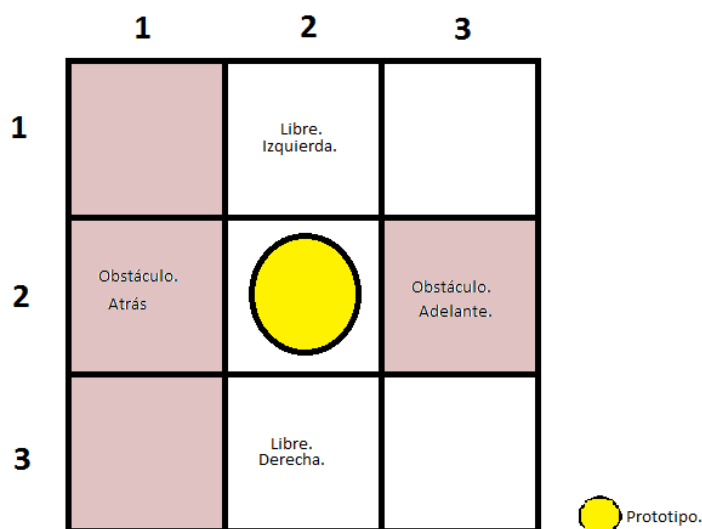


Figura 15. Representación obstáculos fijos y espacios libres en mapa cargado al prototipo.

Si hay más de una opción se guarda la posición ya que si el camino seleccionado no es el correcto se retrocederá a esta posición para buscar otra posible opción de ruta, luego según la secuencia determinada que marca la siguiente prioridad, adelante, derecha, atrás e izquierda (esta secuencia es arbitraria definida por el programador), ejemplo si el prototipo pudiera girar a la derecha y a la izquierda el programa determinaría que se dirigiera a la derecha.

No obstante esto no implica que el prototipo tenga que realizar estos desplazamientos ya que estos procesos se realizan en la matriz representativa del mapa. Cuando se seleccionó la posición se reinicia el proceso de preguntar si las posiciones aledañas están disponibles así hasta que encuentre la ruta hasta la posición deseada.

Cuando se crea el vector de ruta otro algoritmo se encarga de determinar los giros y desplazamientos del prototipo.

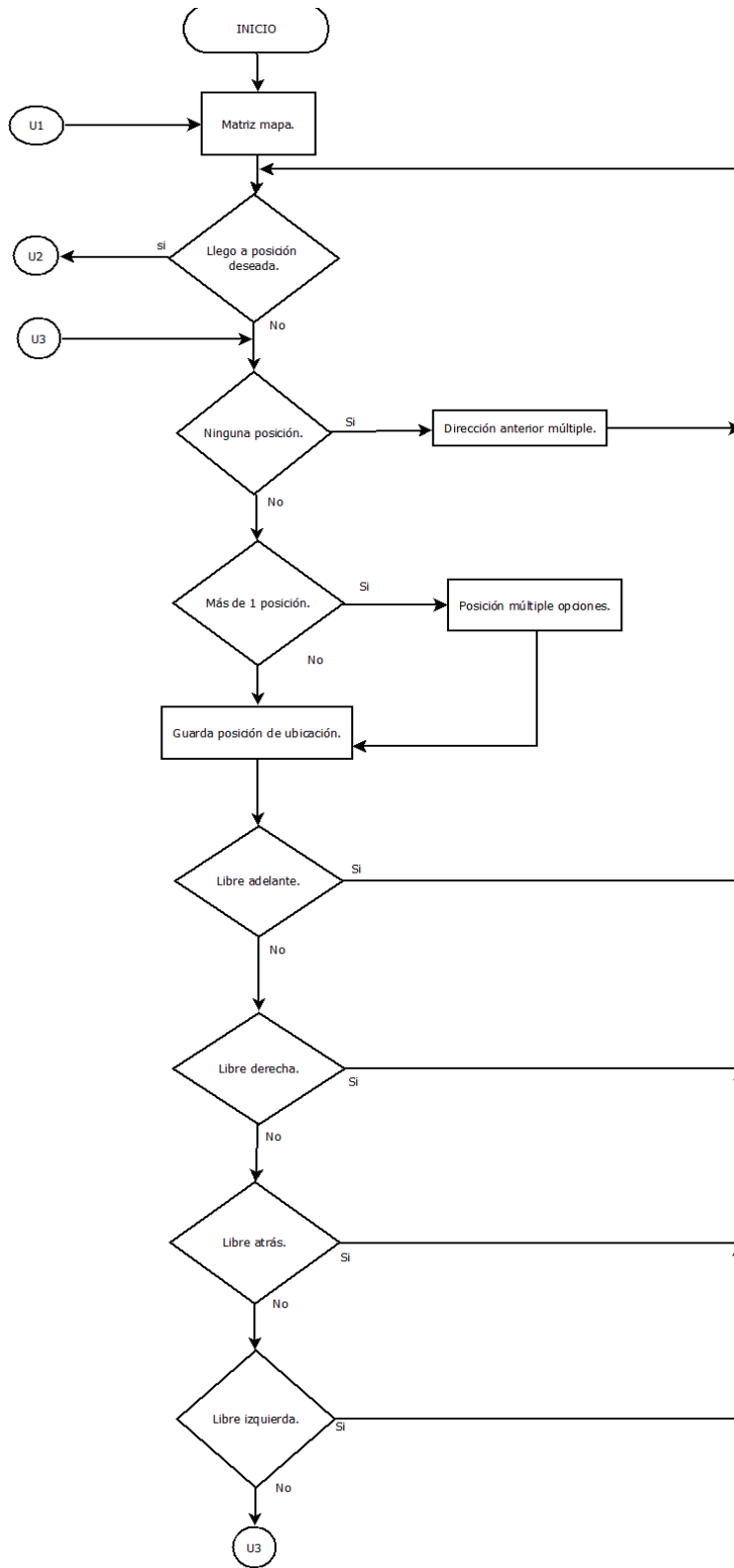


Figura 16. Flujograma proceso creación de ruta del prototipo.

 Prototipo.

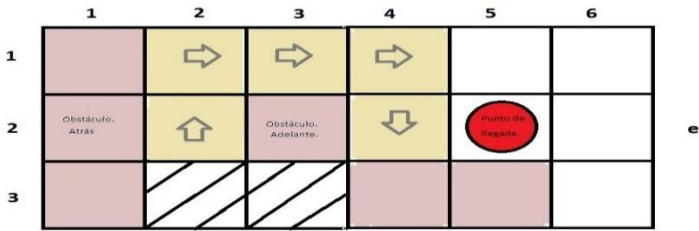
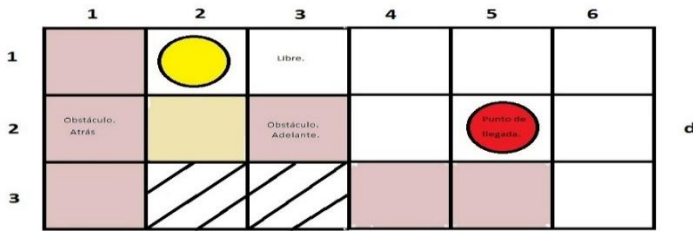
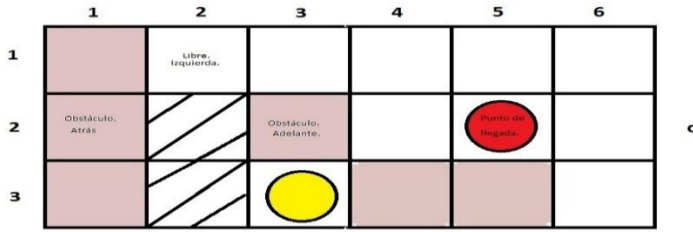
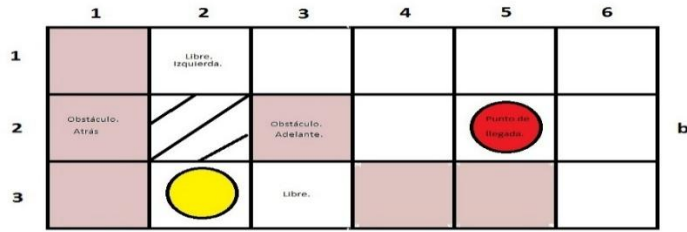
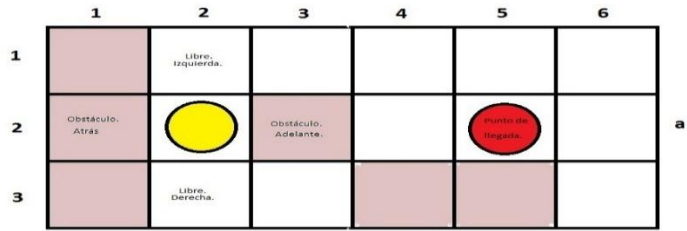


Figura 17. Ejemplo creación de ruta.

Algoritmo de dirección de acuerdo a vector de ruta hallada.

Antes de iniciar el desplazamiento el prototipo censa los sensores de ultrasonido, si no hay ningún obstáculo menor a 20 cm se inicia la marcha, cada vez que se ejecute una orden de movimiento el sensor medirá la distancia.

El vector de dirección entregado en el proceso anterior da los valores de la posición del prototipo hasta el punto de llegada no obstante estos valores no son interpretados ni da las características de los giros que debe dar el prototipo ya que este no es capaz de desplazarse en todas las direcciones sin hacer giros sobre su propio eje.

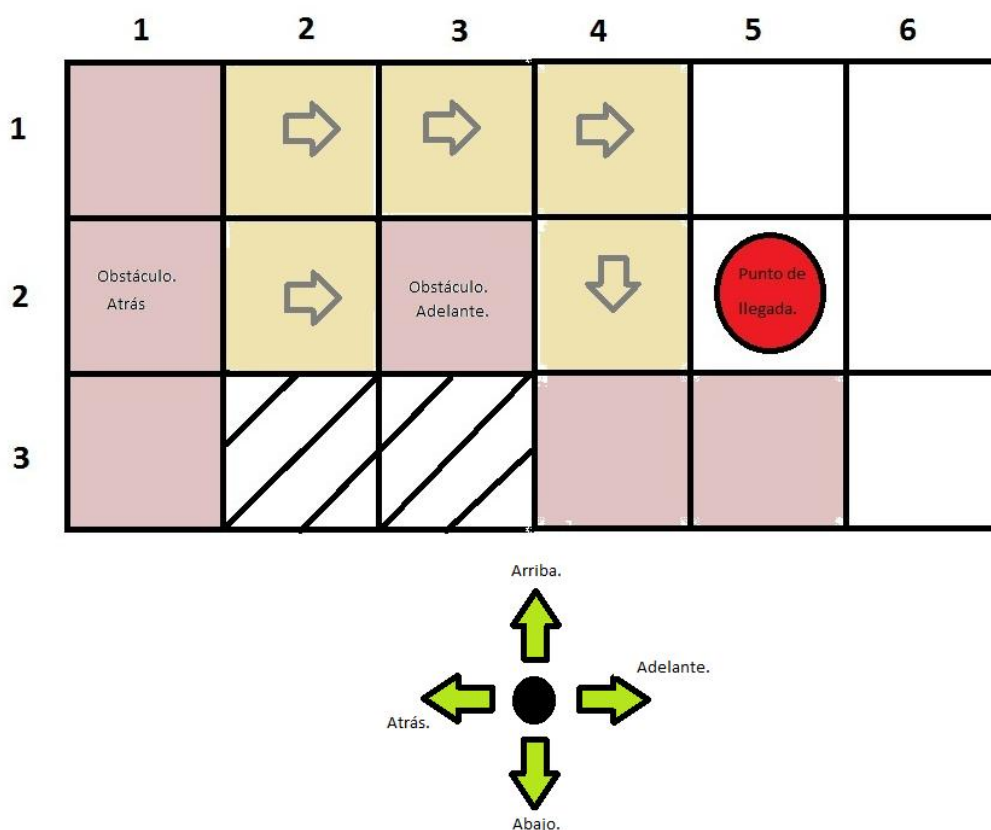


Figura 18. Ruta hallada con algoritmo implementado.

Fila	2	1	1	1	2	2
Columna	2	2	3	4	4	5

En este ejemplo de mapa y vector resultante de dirección de posiciones, se observa que el prototipo estaría de frente a un obstáculo, si aumenta la posición de la columna, provocaría que se estrellara con el obstáculo o simplemente no se generaría movimiento debido a la condición de la mínima distancia de los sensores ultrasónicos. Para generar un desplazamiento acorde se debería seguir la siguiente secuencia, giro a la izquierda, avance adelante, giro derecha, avance adelante, avance adelante, giro derecha, avance adelante, giro a la izquierda y por ultimo avance adelante, el algoritmo que se diseñó se basa en el sentido del prototipo y los cambios entre las filas y columnas. Este algoritmo tiene una complejidad especial ya que al dar un giro sea cual sea el sentido este cambia la disposición del mapa.

El sentido del prototipo es importante, para procesos de orientación se designarían 4 sentidos, frente, atrás, arriba abajo, con esto podemos saber la orientación frente al mapa, luego de cada posición y de acuerdo a los cambios entre filas y columnas podemos determinar si al avanzar por la ruta hallada se origina un nuevo cambio de sentido.

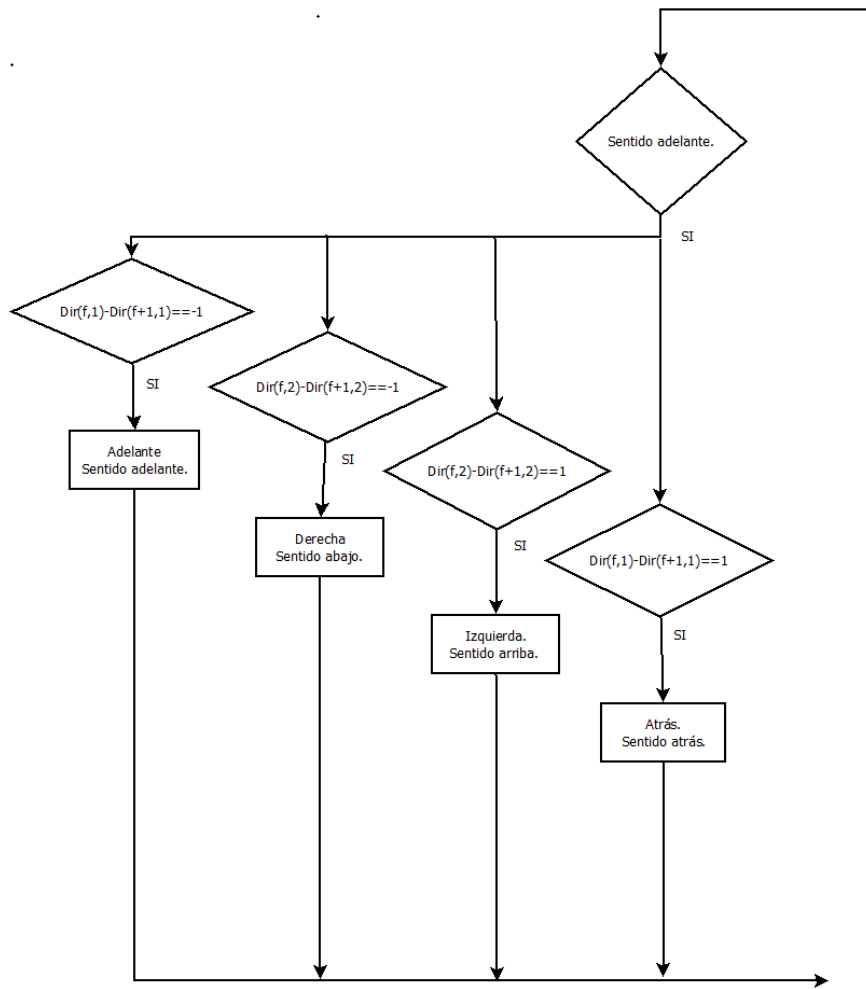


Figura 19. Flujograma proceso de desplazamiento.

Hardware

La base del circuito impreso utilizado para el prototipo PIC ® es de 10cm x 10cm, en la parte delantera se ubicaron los 2 motores pololu ® una típica configuración tracción delantera, buscando una mejor maniobrabilidad, las llantas acopladas a estos motores fueron las llanta Pololu ® 42x19, en la parte trasera se ubicó la rueda libre, con esta el prototipo tiene 3 apoyos a la superficie por donde se desplaza. En la parte inferior se posicionó el driver l293d el cual da la potencia a los motores, en la parte superior se ubicó la tarjeta del pic 18f4550, los reguladores de voltaje y la batería. Este prototipo

cuenta con 3 sensores ultrasónicos, los cuales están ubicados uno en el frente del prototipo el cual evita choques frontales, los otros dos se ubican en cada parte lateral (izquierda y derecha).

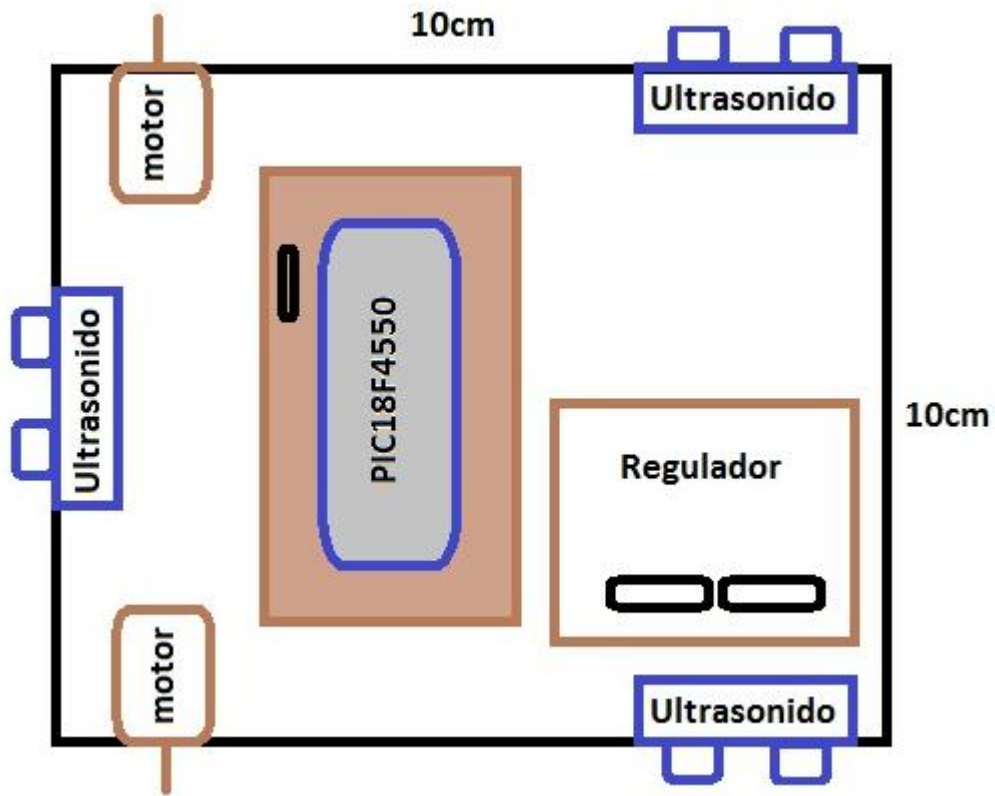


Figura 20. Distribución física de componentes en prototipo 1.

Alcance de prototipo.

Con el desarrollo de este prototipo se pudo tomar decisiones en cuanto a la implementación de los algoritmos que hallaban la mejor ruta, evidenciando también vacíos y una redundancia de pasos que posteriormente fueron corregidos en el prototipo

final, otro aprendizaje dado en la construcción de este primer prototipo es la necesidad de implementar los diferentes sensores de acuerdo a la altura media del prototipo al igual que el número mínimo de sensores para lograr un óptimo desplazamiento.

Prototipo 2.

Materiales: Tarjeta raspberry pi ® 512Mbi 700Mhz sistema operativo jessy Linux, Webcam 640 x 380 genérica, láser de baja potencia, ultrasonido sh-04, driver para láser, programas desarrollados en Python.

Implementación

Dentro del desarrollo e implementación del prototipo se planteaba que la tarjeta raspberry pi ® desarrollara todo el procesamiento central, sin embargo dentro del desarrollo de implementación del sensor con la webcam se evidencio que la captura y procesamiento de imágenes en esta plataforma es muy lenta, en promedio entre captura y la entrega de resultados era de 5 segundos si se toma este tiempo y se multiplica por las 4 cámaras conectadas daría un tiempo muy grande, algo que sería totalmente ineficiente. Por otro lado con este prototipo se implementó un sensor láser donde la webcam capturaba 3 láseres encendidos con una secuencia específica, no obstante como estas cámaras webcam tienen un plano focal reducido se limita la medición de los láser que se ubican a los costados.

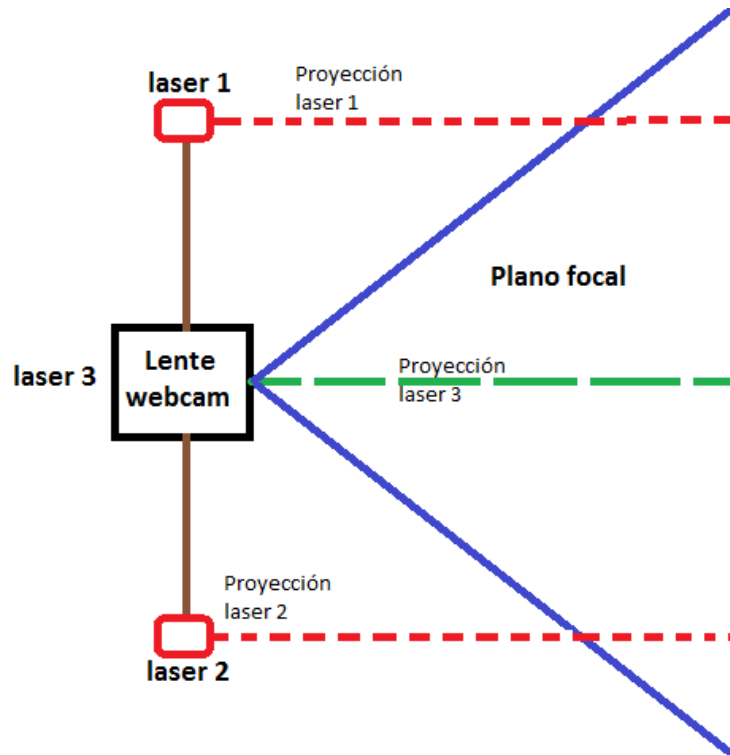


Figura 21. Esquema modelo sensor 3 de láser y una webcam.

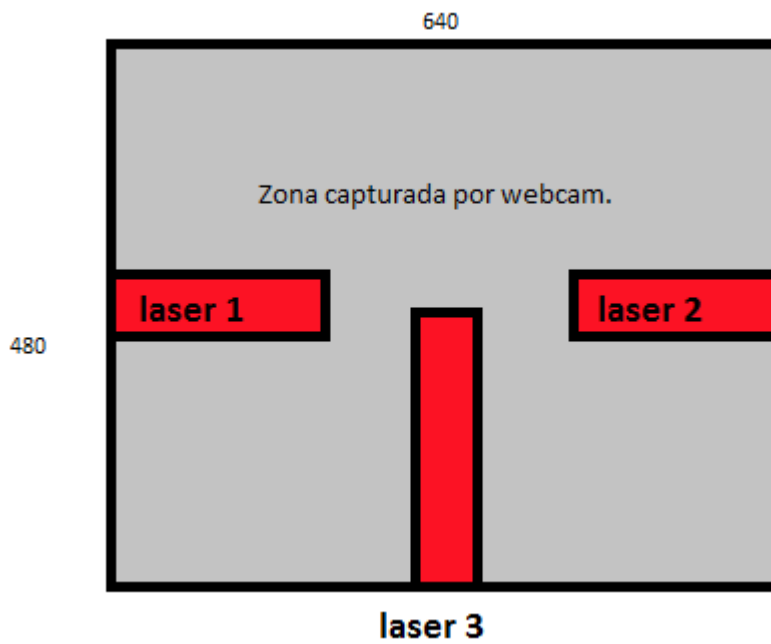


Figura 22. Recorrido probable de los 3 laser en imagen capturada.

Descripción del prototipo.

En este prototipo se desarrollaron los algoritmos que entregan la medición de los ultrasonidos utilizando los pines GPIO al igual que la secuencia que enciende los láser según la necesidad del programa principal, igualmente en esta tarjeta se diseñó la primera versión de código de la solución de ruta en el mapa cargado, todo este código se programó en python utilizando librerías gratuitas.

Alcance de prototipo.

Ya teniendo la lógica clara sobre la adquisición de la ruta, la representación de un entorno por medio de una matriz, el algoritmo de dirección para interpretar la ruta, el principio de localización por triangulación de ultrasonido, y el control básico de dos unidades motoras para desplazamiento que se evidencio con la construcción del prototipo PIC ® podemos migrar esta lógica a una plataforma de desarrollo más robusta con el propósito de incluir ciertas características en este caso la raspberry pi ®, no obstante como ya se mencionó anteriormente las repuestas dadas la velocidad y eficiencia no fue viable continuar el diseño con esta tarjeta de desarrollo, sin embargo sí se pudieron hacer avances importante en la programación, fue por ello que se decidió no eliminar totalmente la raspberry del prototipo final sino acoplarla a un computador que realizara los procesos que en los que tarda mucho.

Prototipo final.

Materiales: Pc portátil amd athon core 2 64x 4G ram Ubuntu 12.4. Linux, Raspberri pi B+ ®, Celular con Android, 4 webcam, 4 láser baja potencia, 4 sensores

ultrasónicos, motores de alta potencia, driver dual de alta potencia, 2 baterías 12 voltios 7 amperios hora, marco silla de ruedas para montar sistema de control y propulsión.

Sensor láser.

El sensor láser diseñado para el prototipo se compone de una webcam marca unitec ® con una resolución nativa de 640 x 480 pixeles, con un ángulo de apertura de lente 45 grados en su eje horizontal, y de 40 grados en su eje vertical, un láser de 100 mili vatios.

El proceso para hallar la distancia es el siguiente, el programa principal envía la señal a la raspberry ® donde por medio de los pines GPIO enciende el láser elegido, la webcam captura la imagen, donde queda plasmado el haz del láser, cuando la imagen es capturada el programa principal da la orden a la raspberry ® de apagar el láser. Luego de esto la imagen es procesada de la siguiente forma: la imagen ya capturada es cargada como matriz, esta matriz de 640 x 480 tiene las tres componentes de RGB, como el láser es naturalmente rojo se puede quitar las componentes verdes y azules, esto agiliza el proceso computacional, ya con la componente roja se define la zona donde se presume que el haz del láser va a quedar plasmado, esta es del centro inferior hacia abajo como se observa en la figura 23.



Figura 23. Zona de desplazamiento del láser capturado.

Cuando se toma solo esta zona se elimina en gran parte las posibles lecturas erróneas que se pueden presentar por la captura de diferentes superficies luminosas o de color rojo, el algoritmo busca las zonas con mayor intensidad, esta intensidad se define en la matriz por representaciones numéricas que van desde 0 a 255, dentro del programa se puede definir cuál es el mínimo rango que se tomara para evaluar la posición del haz, con respecto a los pixeles, como el haz del láser ocupa más de un pixel se realiza un promedio para tener un solo dato del valor de posición con este valor de posición y la formula

$$D = \frac{h}{\tan(pfc * rpc * ro)}$$

Dará la distancia del prototipo al objeto, este sensor láser es capaz de medir distancias mínimas de 23 centímetros a máximo 2.8 metros, este sensor tiene

variaciones en la medida real y la medida capturada, entre mayor es la distancia del objeto mayor será el porcentaje de error.

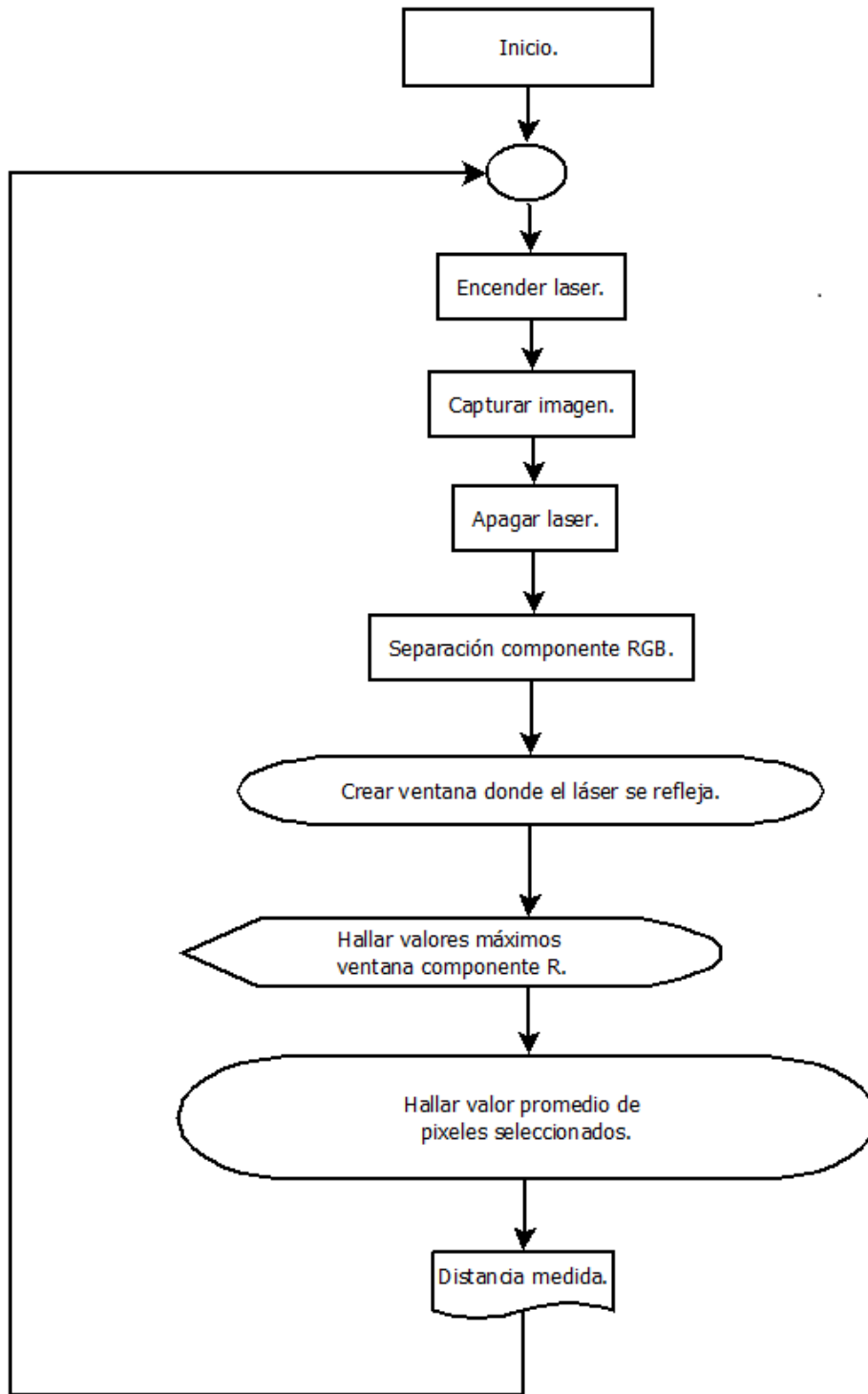


Figura 24. Algoritmo para hallar distancia con sensor laser.

El sensor láser es construido con una webcam y un láser que se ubican de la siguiente manera.

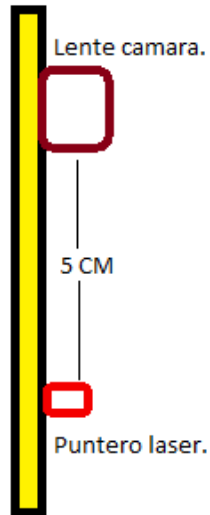


Figura 25. Distribución física entre el lente de la cámara y puntero laser.

El láser está a una distancia de 5 centímetros del lente de la cámara exactamente en la parte inferior esta ubicación se debe a que entre menos distancia un obstáculo esté se reflejará en los pixeles más lejanos del punto medio del plano focal.



Figura 26. Sensor laser.

Parametrización de webcam.

Aunque se utilice la misma marca y modelo de webcam se debe realizar una parametrización de cada una de las cámaras utilizadas ya que se observó que existen algunas variaciones en las mediciones obtenidas utilizando como modelo un solo parámetro, en la parametrización una de las primeras variables que se debe tener en cuenta es la desalineación que puede existir entre el plano focal y el recorrido del haz.



Figura 27. Posible desviación del láser en zona capturada.



Figura 28. Posible desviación del láser en zona capturada.

Además que la ventana donde se desplaza el haz puede estar un poco corrida a la derecha o izquierda.

Para realizar la parametrización de cada una de las cámaras se tienen en cuenta pfc cantidad de pixeles desde el centro al plano focal, rpc radianes que ocupa cada pixel, y ro desplazamiento en radianes y h que es la distancia entre el lente de la cámara y láser.

$$D = \frac{h}{\tan(pfc * rpc + ro)}$$

$$\tan(pfc * rpc + ro) = \frac{h}{D}$$

$$ro = \text{atan}\left(\frac{h}{D}\right) - pfc * rpc$$

Los datos de pfc, rpc se toman cuando la webcam y el láser están activos, estas mediciones se hacen con distancias medidas previamente para tener un comparativo y así poder hallar ro.

d cm	pfc	pfc	pfc		pfc pro
23	212	210	217	639	213
25	202	202	202	606	202
30	162	163	164	489	163
35	135	135	135	405	135
45	96	96	97	289	96,33333333
60	60	61	56	177	59
70	48	48	44	140	46,6666667

En la tabla anterior se observa las mediciones de pfc a diferentes distancias y 3 veces para así hallar un promedio de la toma de medida. El ángulo lo hallamos con la fórmula.

$$\text{ang} = \tan\left(\frac{h}{D}\right)$$

ang	rpc
0,21406068	0,00100498
0,19739556	0,00293162
0,16514868	0,00101318
0,14189705	0,00105109
0,11065722	0,00114869
0,08314123	0,00140917
0,07130746	0,00152802

El rpc se halla.

$$\text{rpc} = \frac{\text{ang}}{\text{pfc}}$$

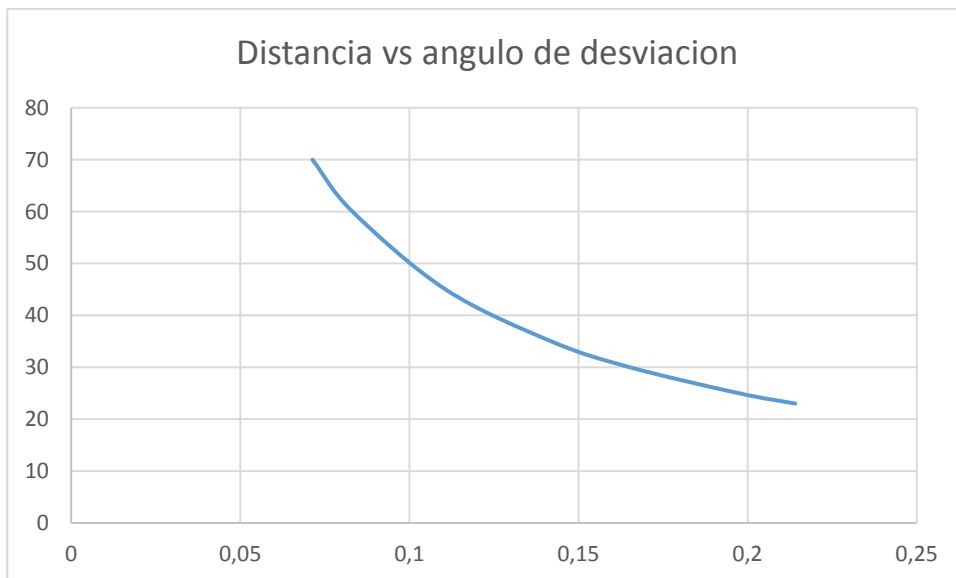


Figura 29. Desviación no lineal distancia versus ángulo.

Como se observa en la gráfica el ángulo de desviación no es lineal por ello se tiene que añadir r_o a la fórmula para que con esto se corrija un poco y de la medida más cercana al error.

Sensores ultrasónicos.

Los sensores ultrasónicos utilizados fueron los HC SR04 capaces de medir distancias mínimas de 2 centímetros a 4 metros, estos sensores fueron creados específicamente para medir distancias por ello son muy fáciles de implementar, no obstante hay que tener cuidado con ciertas características técnicas que entran en conflicto con la raspberry pi ®, ya que los voltajes que manejan son diferentes, el pin “echo” que entrega el sensor ultrasónico tiene niveles de 5 voltios, si estos voltajes son entregados directamente a los pines GPIO de la raspberry pi ® ocasionaría daños en la tarjeta inutilizándola, para ello se redujo el voltaje con una resistencia variable en cada una de las salidas de los ultrasonidos, la señal “trigger” entregada por la raspberry pi ® es de 3.3 voltios y aunque el fabricante recomienda 5 voltios para ser disparada, en las pruebas se observó que con el voltaje entregado de la raspberry es suficiente.

El algoritmo que procesa las señales del ultrasonido se diseñó con algunas particularidades técnicas las cuales son:

Si existe alguna falla en el sensor y no detecta ninguna medida en un tiempo de 200 milisegundos este reintentará 3 veces obtener información si no la consigue enviará una alerta en pantalla el problema del sensor.

Como se sabe que el sensor puede medir distancias máximas de 4 metros lo que representa tiempos de 29.4 milisegundos, si transcurrido ese tiempo de activación del ultrasonido el pin “echo” no cambia de estado de uno a cero la raspberry ® indicará que la distancia de cualquier objeto es mayor a 4 metros.

Los dos métodos descritos anteriormente buscan que la raspberry ® encargada de enviar los datos de medición de los sensores se quede atascada en un ciclo infinito, esto provocaría un daño en todo el proceso de medición y desplazamiento del prototipo ya que todo el proceso se realiza de forma secuencial.

Mapa.

Las características del mapa por donde se desplazará el prototipo y con en el cual se realizaron todas las pruebas de del algoritmo que halla la ruta más eficaz cuenta con las siguientes medidas, 7 metros de ancho y 20 metros de largo en esta área se dibujó un plano de una ambiente real, con 12 posibles posiciones, ya teniendo claro las barreras y obstáculos fijos se dividió el área total generando una cuadrícula con espacios de 30 centímetros que es la unidad mínima de desplazamiento del prototipo, con estas divisiones se creó la matriz representativa del mapa, dentro de la matriz los espacios libres fueron representados con ceros y los obstáculos con 100.



Figura 30. Plano lugar de implementación del prototipo.

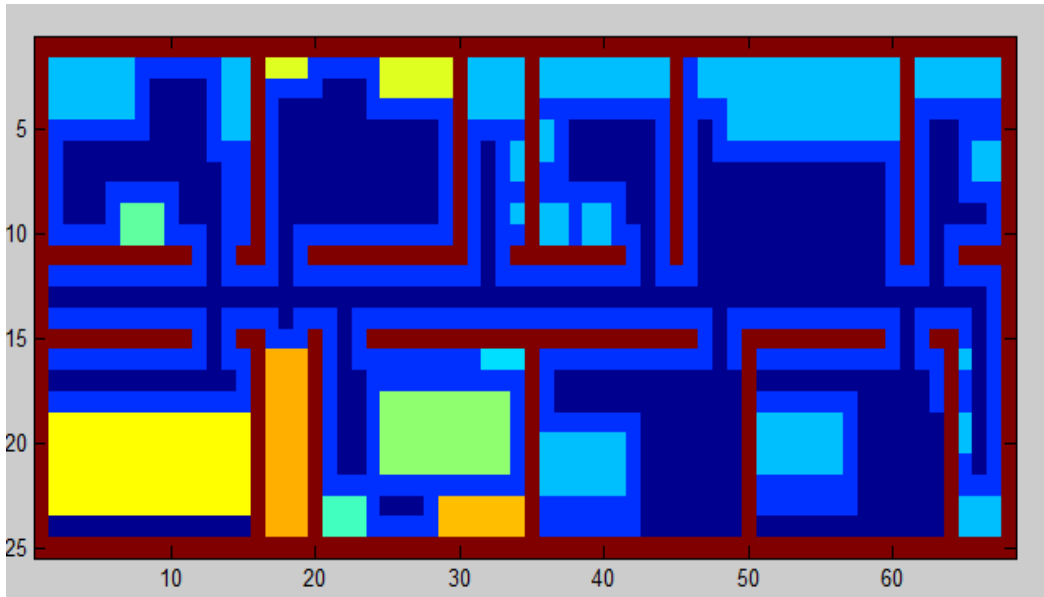


Figura 31. Representación matricial plano.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	30
2	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	20
3	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	10
4	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	20
5	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	30
6	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	40
7	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	50
8	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	60
9	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	70
10	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	80
11	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	90
12	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	100
13	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	110

Figura 32. Matriz de prioridad. 0 ubicación lugar de llegada.

Algoritmo generador de ruta.

Este algoritmo se basó en dos métodos conocidos y un desarrollo, tremaux con el método pathfinding a*, como ya se tiene la matriz que representa el terreno, el punto de partida y el punto de llegada del prototipo, se procede a crear una matriz auxiliar donde cada espacio de la matriz se llena con un valor decimal, este valor decimal representa

que tan lejos está el punto de llegada del punto de inicio. Siendo el punto más lejano el que obtiene el mayor valor decimal.

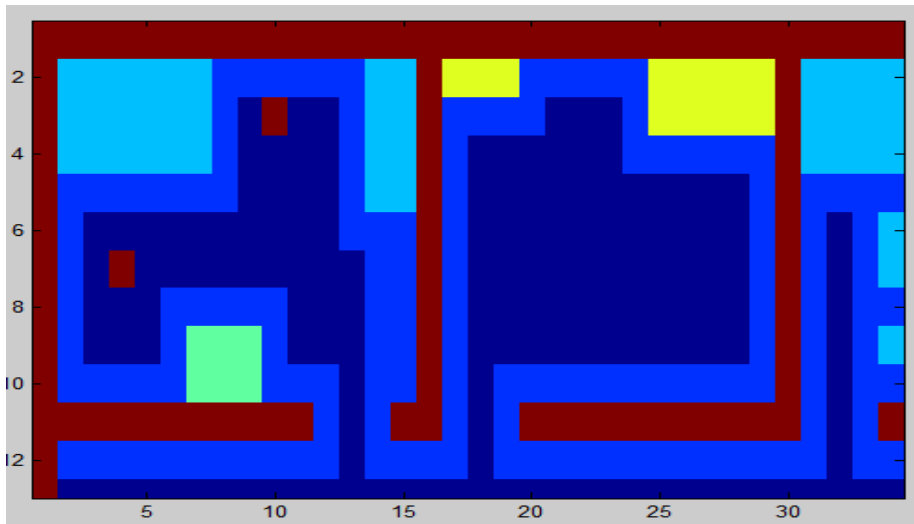


Figura 33. Representación punto de inicio y final en mapa.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100
3	1	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.1100	0	50	0
4	1	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.1100	0	0	0
5	1	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0	0	0
6	1	0.1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0.1100	0	300	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0.1100	0	0	0	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0
9	1	0.1100	0	0	0	0.1100	0.3000	0.3000	0.3000	0.1100	0
10	1	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.3000	0.3000	0.3000	0.1100	0.1100
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100

Figura 34. Matriz representativa punto de inicio y final.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	30
2	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	20
3	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	10
4	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	20
5	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	30
6	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	40
7	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	50
8	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	60
9	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	70
10	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	80
11	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	90
12	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	100
13	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	110

Figura 35. Matriz representativa de prioridad.

Esto ayuda a que si se tiene varias opciones de desplazamiento el algoritmo seleccione la ubicación donde está el menor valor al cual se puede desplazar, pero este desplazamiento dentro de la matriz no garantiza una ruta entre los puntos de partida y llegada, por ello se tomó en cuenta el algoritmo de tremaux en el cual se van marcando las posibles posiciones por donde se podría ir desplazando el prototipo, si la ruta seleccionada no llega al punto deseado este regresara a la última posición que cuente con otra posible opción de ruta, si la nueva ruta marcada no llega el algoritmo buscara todas las posibles opciones que se puedan llegar a realizar, obviamente con el apoyo de la matriz de prioridades descrita anteriormente lo que agiliza la consecución de la ruta, sin embargo este algoritmo en algunas ocasiones genera rutas no tan eficientes lo que conllevaría a gasto innecesario de desplazamiento y tiempo.

ultrasonicos utilizados, son los HC SR04 capaces de medir distancias mínimas de 2 centímetros a 4 metros.

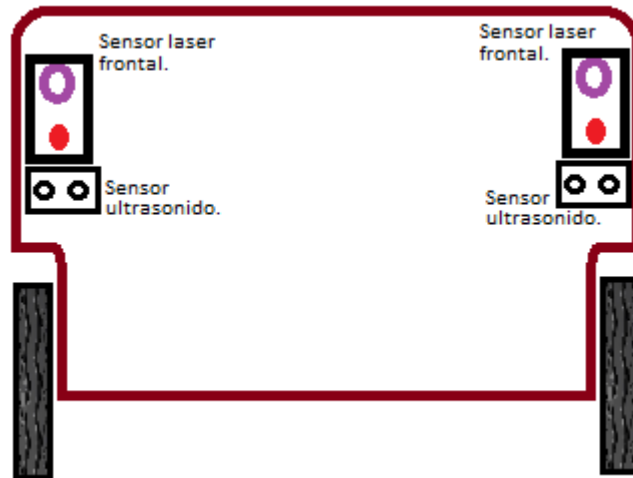


Figura 37. Vista frontal inferior de prototipo.

Tipos de desplazamiento del prototipo.

Para lograr el desplazamiento del prototipo se crearon tres posibles acciones con lo cual se garantiza el movimiento dentro del ambiente controlado. Estas tres funciones son:

Avance adelante: como inicialmente se planteó que la unidad mínima de avance fuera de 30 centímetros se diseñó un controlador para los motores que desplaza en forma recta al prototipo esto con la ayuda del encoder puesto en cada uno de los motores.

Giro derecha e izquierda: como el prototipo es de tracción diferencial los giros se harán sobre el propio eje, una de las llantas gira en un sentido y la otra gira en sentido contrario, esto garantiza que el prototipo no pierda su referencia de ubicación.

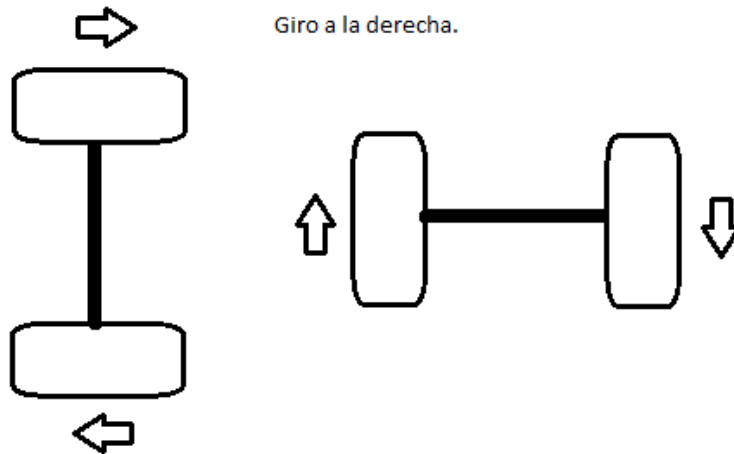


Figura 38. Sentido de rotación de llantas según giro.

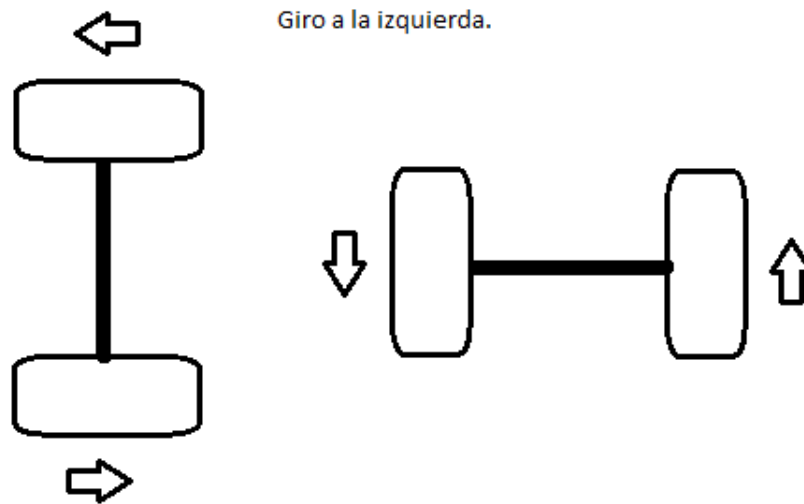


Figura 39. Sentido de rotación de llantas según giro.

Acondicionamiento de motores.

Se planteó que el prototipo utilizara tracción diferencial por ello se utilizaron 2 motores muy comunes en el ámbito de vehículos auto propulsados con enfoque médico, este motor es un motor sincrónico de imán permanente accionado por una fuente de corriente continua, a 24 voltios 7 amperios y 10 amperios pico, con un consumo de 180

watts, este motor está acoplado a una caja de velocidades que tiene una relación 32:1 y una llanta de un metro de circunferencia, lo que entrega una velocidad máxima de 6,4 kilómetros por hora, no obstante esta velocidad máxima no será implementada en el prototipo ya que es una velocidad muy elevada para ambientes estrechos, de fábrica tiene ensamblado un freno en el eje superior del rotor el cual fue retirado ya que para el propósito propuesto éste no es necesario, donde se retiró el freno se acopló un encoder de 20 muescas por vuelta y un sensor infrarrojo capaz de funcionar a 100khz.

Teniendo en cuenta los datos anteriores podemos calcular lo siguiente.

Un giro del eje representa 640 pasos en el encoder ya que.

$$32 * 20 = 640.$$

La rueda tiene una circunferencia de 1 metro por ende la resolución del encoder por cada paso es:

$$\frac{1}{640} = 0.00156 \text{ Mts}$$

Como sabemos que nuestra unidad de desplazamiento es 30 centímetros podemos deducir que:

$$\frac{0.30}{0.00156} = 192.3$$

Lo que implica que el controlador del motor tendrá una función que cuente estos pasos cada vez que se quiera desplazar hacia adelante,

Circuitos adicionales.

Para la implementación de este prototipo se realizaron 4 circuitos adicionales:

El primero permite encender los láseres con la orden proveniente de la raspberry, si no se coloca este circuito la tarjeta no sería capaz de brindar la corriente necesaria al láser y podría quemar la salida digital. El circuito implementado es un transistor configurado como interruptor, este transistor es alimentado por un regulador lm 317 configurado a 3.4 voltaje necesario para alimentar los láseres.

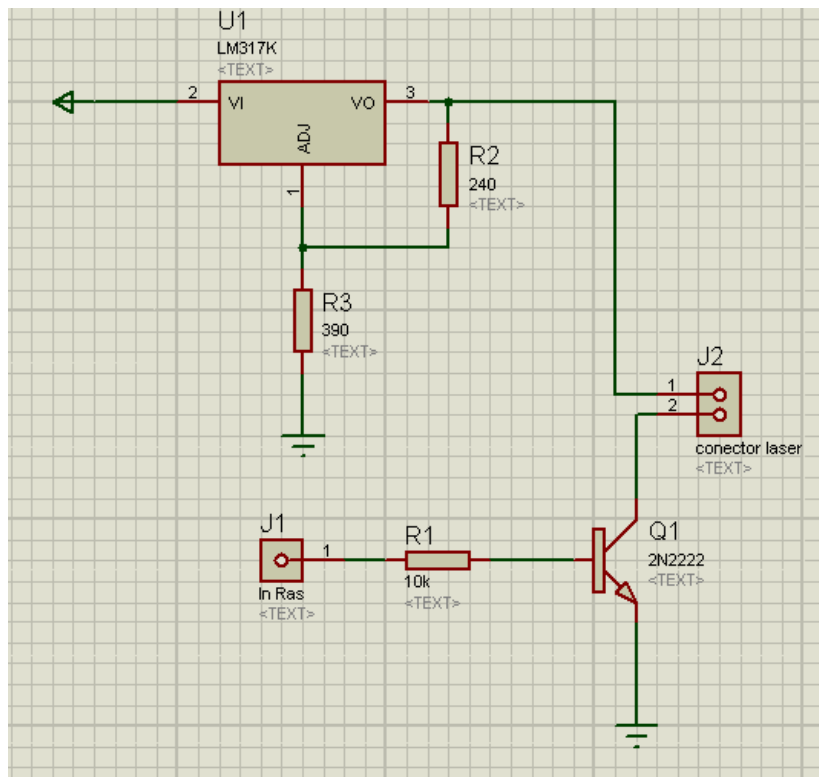


Figura 40. Esquemático circuito encendido de láser.

El circuito número dos es un circuito que acopla los voltajes del pin “echo” que provienen de los sensores de ultrasonido y van a las entradas GPIO de la raspberry pi ®.

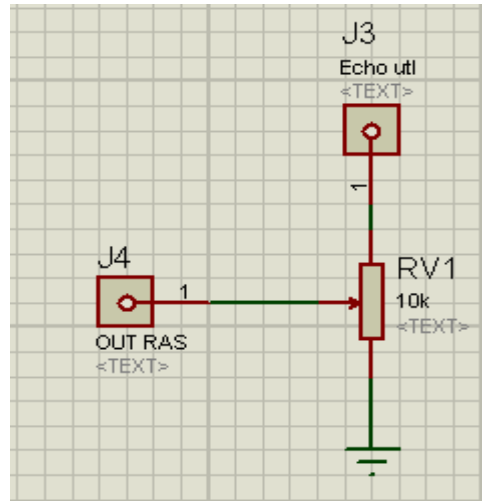


Figura 41. Esquemático circuito acople de voltajes.

El tercer circuito es un regulador de 5 voltios conectado con un transistor PNP de potencia para garantizar el voltaje necesario para la parte lógica del prototipo, ésta incluye la raspberry que puede consumir hasta 2 amperios, el pic controlador de los motores, los encoder, el regulador de los láseres.

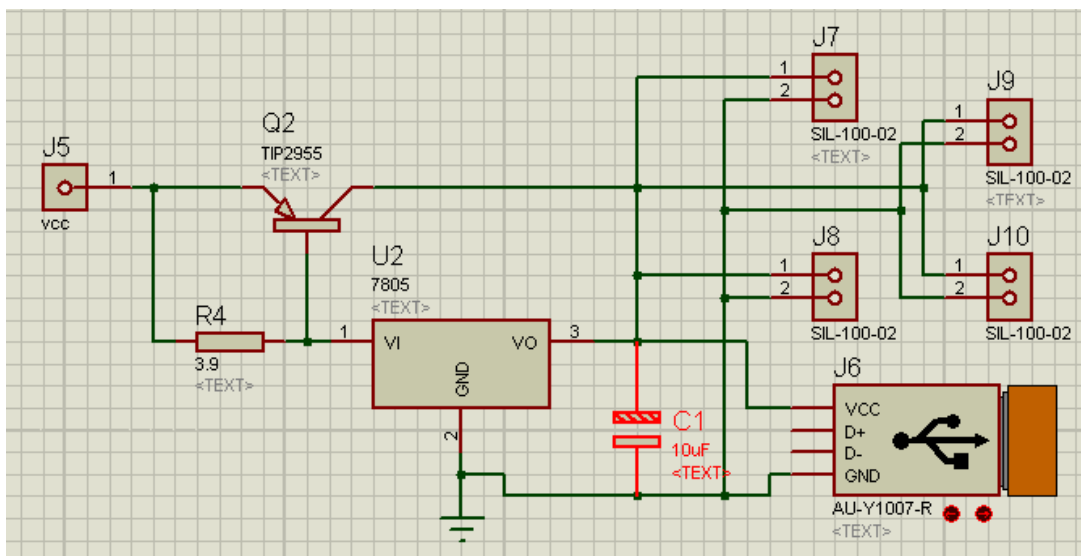


Figura 42. Esquemático circuito regulador voltaje 5 voltios.

El cuarto circuito contiene el pic16f877a, el cual cuenta los pasos de los *encoder* y entrega el *PWM* a la tarjeta de potencia de los motores.

Tipos de comunicación.

En la implementación del prototipo, encontramos tres tipos de comunicación:

1. Comunicación serie protocolo RS232 en él se utiliza un adaptador USB serie, con el cual comunicamos el computador que controla todo el proceso y la raspberry, en esta comunicación existieron algunos inconvenientes, ya que el sistema operativo utilizado en el computador no soporta los adaptadores genéricos.
2. Comunicación Bluetooth. Es utilizada para conectar el celular y el computador, en el celular se ingresan los datos de los puntos de inicio, final y sentido.
3. Comunicación paralela entre la raspberry y el PIC de control de los motores, en esta por medio de los pines GPIO se envían los pulsos que controlan las diferentes funciones de desplazamiento de los motores, 4 pines selecciona estas funciones, cuando el proceso ha culminado la raspberry recibe una señal en un 5to pin indicándole al programa central que puede continuar.

Conexión eléctrica del prototipo.

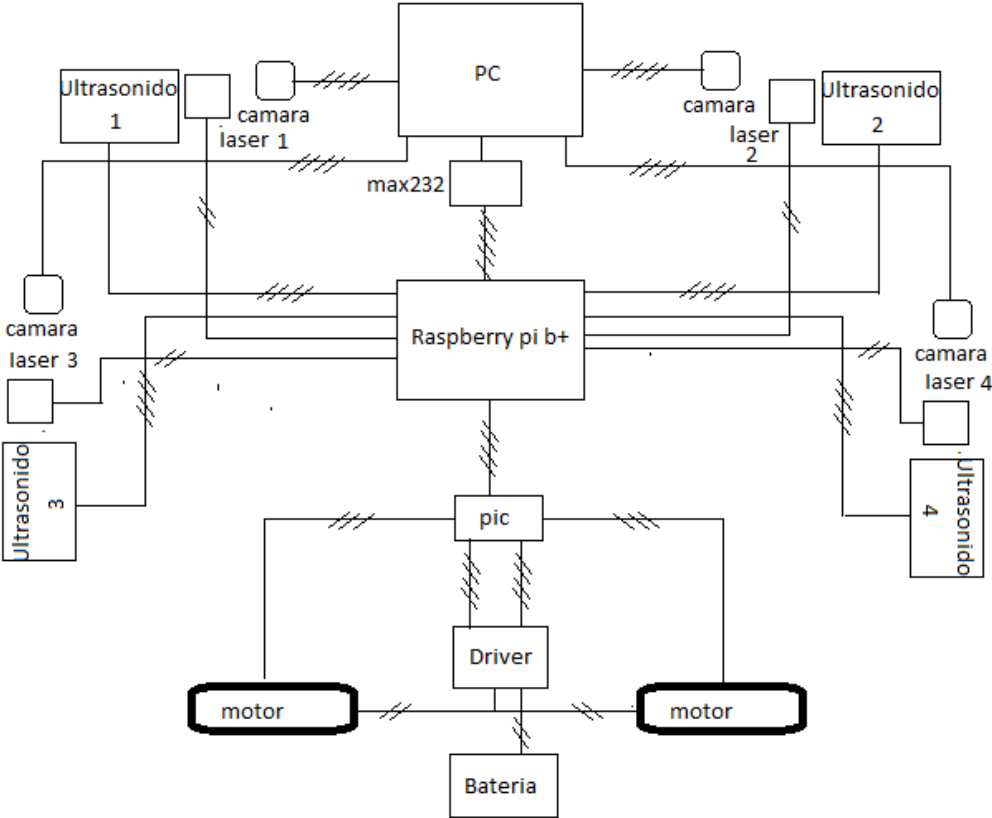


Figura 43. Conexión eléctrica del prototipo.

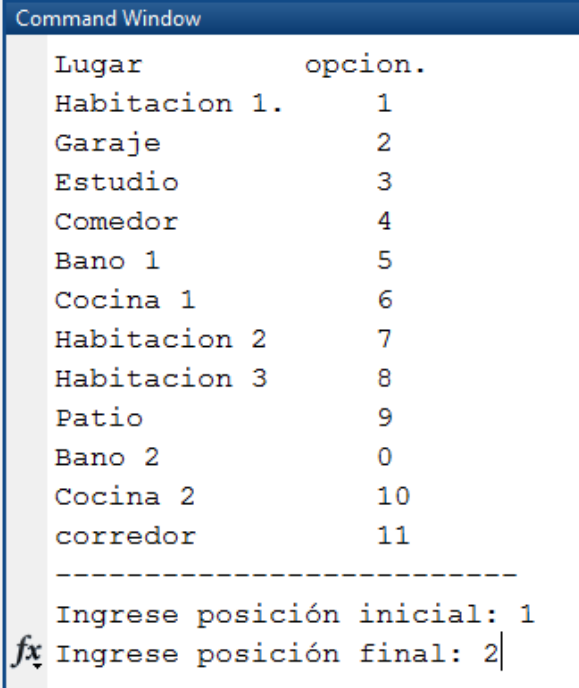
Capítulo 3.

Pruebas y resultados.

Dentro del desarrollo del prototipo se realizaron 2 tipos de pruebas, las simuladas y las físicas, las simuladas se enfocan en la solución de la ruta en el mapa propuesto, estas se realizaron con el apoyo del software Matlab,

Pruebas simuladas.

Dentro de las pruebas simuladas se ingresa la posición inicial y la posición final por medio del teclado, luego del primer recorrido solo se ingresara la posición final, como ocurre en el proceso del prototipo real, ya que la posición final se convierte en posición inicial y de nuevo comienza el proceso para hallar la ruta.



```
Command Window
Lugar          opcion.
Habitacion 1.    1
Garaje          2
Estudio         3
Comedor         4
Bano 1          5
Cocina 1        6
Habitacion 2    7
Habitacion 3    8
Patio           9
Bano 2          0
Cocina 2        10
corredor        11
-----
Ingrese posición inicial: 1
fx Ingrese posición final: 2|
```

Figura 44. Interfaz para ingreso de datos simulados en Matlab.

Ejemplo 1.

En este ejemplo seleccionaremos como posición inicial, la habitación 1 y como posición final la opción 2 que corresponde al garaje. Por posición definida las coordenadas de inicio son fila 6 y columna 4, las coordenadas de posición final son fila 16 y columna 6.

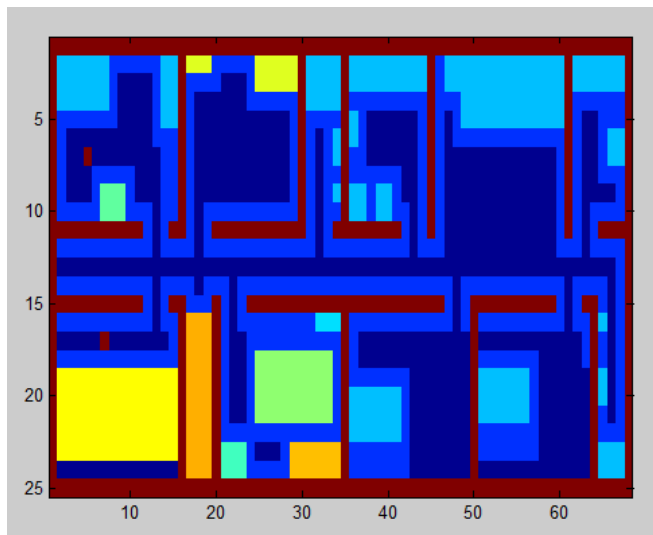


Figura 45. Representación punto de inicio punto final.

En la figura anterior se observa los puntos previamente establecidos de inicio y final dentro del mapa.

Dentro del proceso se procede a la creación de la ruta opcional número 1, esta ruta se guarda en un vector el cual será comparado posteriormente, se observa que los desplazamientos se realizan en línea recta y con giros de 90 grados.

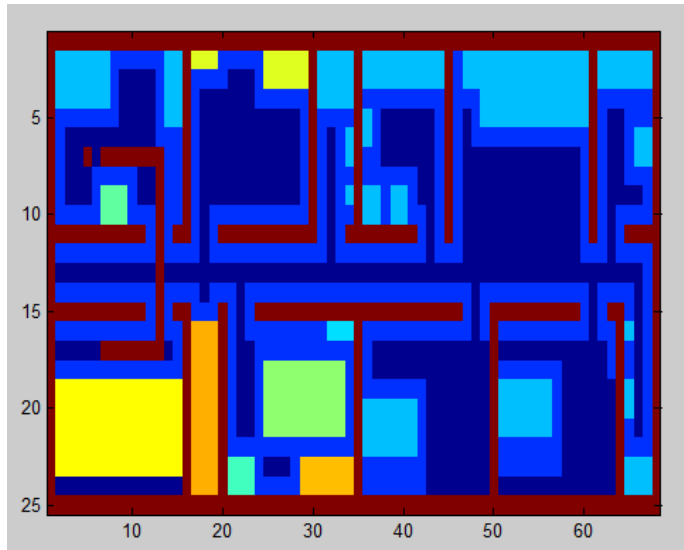


Figura 46. Ruta opcional.

En este primer ejemplo simulado se evidencia que la ruta del punto de inicio al punto final (ruta 1) como la ruta del punto final al punto de inicio (ruta 2) es idéntica, en este caso el algoritmo realiza una redundancia en este proceso, sin embargo en algunos casos donde la coordenada del punto de inicio es mayor a la coordenada de punto final, la ruta generada contiene mayores pasos donde el prototipo recorre lugares innecesarios. En el siguiente ejemplo se hará evidente esta ineficiencia.

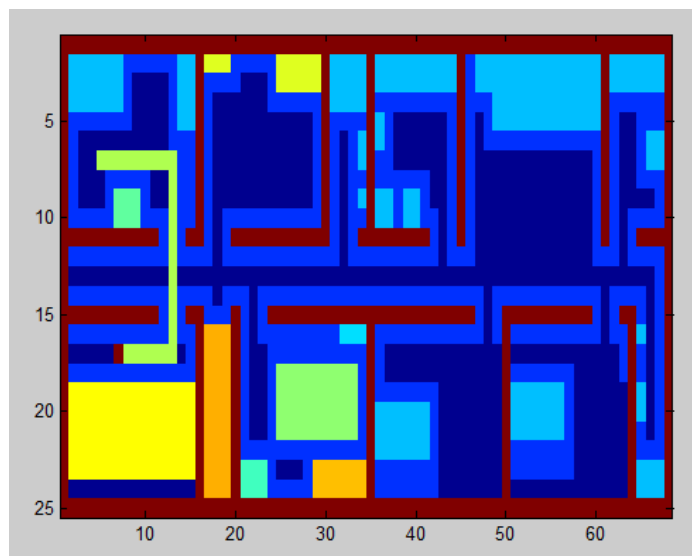


Figura 47. Ruta final en mapa.

opcional 2 que en este caso el algoritmo realiza el desplazamiento entre el punto de llegada al punto de partida, es la dirección inversa ejecutada para hallar la primera opción de ruta.

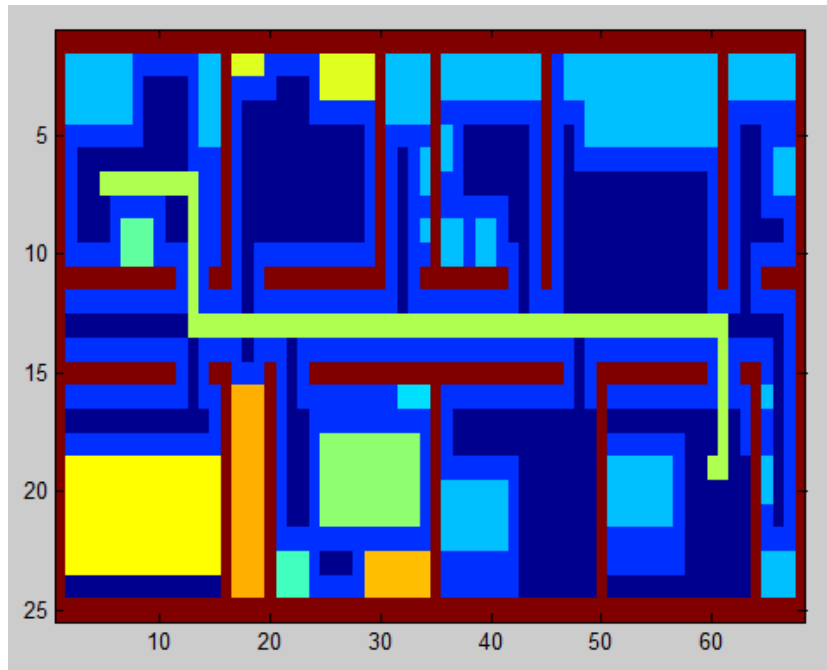


Figura 49. Opción 2 posible ruta.

El vector resultante que representaría las coordenadas a seguir es evidentemente el más eficiente ya que solo utiliza 4 cambios de sentido y 4 desplazamientos rectos, el algoritmo seleccionara la mejor opción y en este caso tomara el vector lo invetera para que la primera referencia sea la última y la última sea la primera y así sucesivamente.

Ejemplo 3.

Obstáculos: los obstáculos móviles son un problema muy común y se presentan con regularidad ya que el prototipo no fue pensado para que su desplazamiento se

realizara por caminos exclusivos, dentro de los posibles lugares por donde se desplazara el prototipo solo puede existir una única ruta, si esta se llegase a obstaculizar y fuera detectado por sus sensores el proceso no se podría culminar de buena forma ya que no importa los intentos que haga el algoritmo, si el bloqueo persiste el prototipo no podrá solucionar los problemas externos.

En este ejemplo le indicamos al programa que su ubicación inicial es la habitación 1 y el punto deseado de llegada es la habitación 8, sin embargo en la posición fila 13 columna 26 colocamos un obstáculo, por esta posición es indispensable que pase el prototipo para alcanzar su punto final, el algoritmo generador de ruta encuentra el obstáculo intenta buscar una posible opción, pero como agota todas las posibilidades sin encontrarla, termina el programa de una forma inesperada provocando el no desplazamiento.

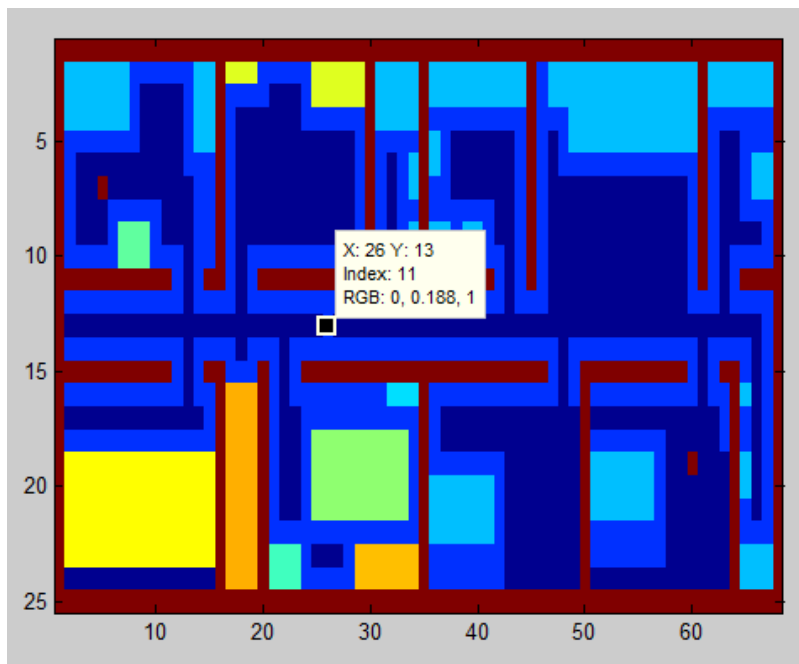


Figura 50. Representación punto inicio punto final y obstáculo.

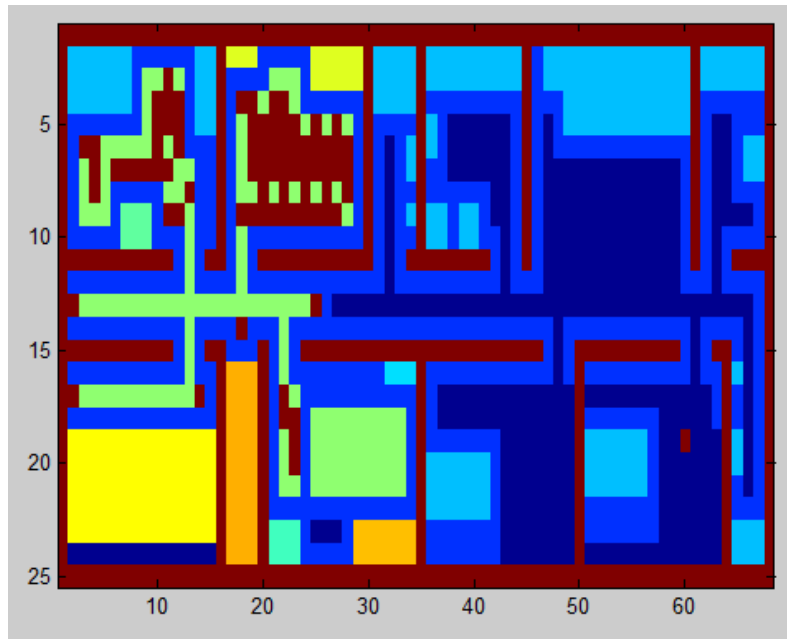


Figura 51. Opciones de ruta no culminada por obstáculo.

En la anterior figura se ve que el algoritmo prueba todos los lugares disponibles antes del obstáculo, sin encontrar solución por ello no hay continuidad hasta el punto final.

Pruebas reales.

En estas pruebas se ingresaron los datos por medio del celular y la aplicación BlueTerm, en esta aplicación se imprime los sitios a donde se puede desplazar el prototipo y solicita el punto de inicio y punto final. Sin embargo en las pruebas realizadas evidencian que la comunicación Bluetooth no se realiza de forma automática con el computador necesita de procedimientos externos en las dos terminales para que haya intercambio bidireccional de datos, algo que sería tedioso para el usuario final.

Cada vez que el prototipo inicia su marcha y pide información a los sensores laser se evidencia un tiempo considerable entre la lectura de la información y la puesta en marcha de los sensores, el tiempo aumenta si el movimiento que debe realizar el prototipo son giros, ya que no solo tendrá que sensor dos sensores laser, sino los cuatro disponible en el prototipo.

Durante el desplazamiento, se observó que al prototipo se le debe adicionar un mejor sistema de posicionamiento, ya que el utilizado (odometria) no es el más eficiente en desplazamientos por superficies donde no se controla la fricción, lo que ocasiona que las llantas no siempre se desplacen de acuerdo a lo calculado por los encoders.

Si se desactivan los sensores laser y se deja la toma de datos solo a los sensores ultrasónicos el desempeño en tiempo, del robot mejora considerablemente, de hecho si solo se utilizase, sensores ultrasónicos en el prototipo el proceso computacional lo podría realizar la raspberry.



Figura 52. Diseño físico del prototipo.



Figura 53. Vista lateral del prototipo.



Figura 54. Vista Superior del prototipo

Futuros desarrollos.

Ergonomía, el diseño e implementación del prototipo no tuvo en cuenta el aspecto ergonómico, esto ya que no hace parte de la ciencia en estudio, no obstante es evidente que el prototipo para ser utilizado por una persona que cuente con limitaciones físicas severas necesita apoyos adicionales que le brinden confort.

La representación y adquisición del mapa es otro posible desarrollo ya que en el prototipo creado solo se puede introducir la matriz en el programa de una manera manual, lo que implica que muy pocos usuarios tendrán la posibilidad de ingresar sus propios mapas.

Conclusiones.

1. El diseño e implementación del prototipo robótico abarca muchas áreas, en este proyecto se tomaron en cuenta las más básicas como son, módulo de desplazamiento, de control, de navegación de rutas, módulo de sensado, etcétera, aunque se desarrollaron los módulos anteriormente mencionados se estima que como primer prototipo aun esta susceptible a muchas mejoras, un ejemplo es la navegación y posicionamiento, como anteriormente se dijo la odometria utilizada aunque es muy eficiente no resulta tan eficaz en terrenos de diversa superficie, algo muy común en los ambientes propuesto de aplicación. En cuanto a los sensores la aplicación de sensores laser se podría reevaluar ya que por costos serian inviable, y aunque la elaboración de los mismos con webcam ahorra mucho dinero, estos son muy susceptibles a variables propias de un ambiente común, como luces, reflejo de color rojo en el área de plano focal determinada, entre otros, un remplazo eficiente podría llegar a ser un sensor ultravioleta de medida de propósito general, los cuales se encuentran fácilmente en el mercado a un precio razonable.
2. El proyecto desarrollado, da un aporte y soluciona una necesidad de una población específica, esta herramienta tecnológica permitirá una mayor independencia.
3. El proyecto realizado se puede implementar de una forma masiva, ya que es técnicamente viable, adicionalmente el diseño de su programación se realizó sobre plataformas de acceso gratuito ampliamente difundidas.

Bibliografía

Ollero, A., (2001) *robotica manipuladores y robots móviles*, Barcelona, España, marconbo boixareu editores.

Barrientos, A. peñin, L. Balaguer, c. aracil, R. (2007) *Fundamentos de robotica*. Madrid España, mc Graw Hill.

Florczyk, S. (2005), *Robot Vision Video-based Indoor Exploration with Autonomous and Mobile Robots*. Republica de alemania, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Garcia, E, (2012) *Vision artificial*, Cataluña, España. FUOC. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya

Parallax Inc (2008). Datasheet Ultrasonic Distance Sensor. EEUU. Pololu,

George J. K, (2012), *Los cerebros detrás de la silla de ruedas eléctrica, uno de los 'grandes' artefactos de Canadá*, The Globe and Mail, <http://www.theglobeandmail.com/report-on-business/small-business/sb-managing/the-brains-behind-the-electric-wheelchair/article4502631/>

Rasbridge. J, *The Power Chair: A History*. Motability, <http://www.powerchairsdirect.co.uk/powerchair%20articles/powerchair-history.html>