

Universidad Autónoma del Caribe

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones



Instrumentación y desarrollo de un sistema de control ON/OFF de velocidad y detección de obstáculos para un andador dinámico adaptable.

ANDRES ALBERTO AGAMEZ GUTIERREZ

LUIS FERNANDO BONIVENTO CELIS

Colombia, Barranquilla

2020

Instrumentación y desarrollo de un sistema de control ON/OFF de velocidad y detección de obstáculos para un andador dinámico adaptable.

Andres Alberto Agamez Gutierrez

Luis Fernando Bonivento Celis

Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Electrónico y en Telecomunicaciones

Director

Gisella Borja Roncallo

Co-Director

Nombre Completo

Universidad Autónoma del Caribe

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Colombia, Barranquilla

2020

Resumen

Actualmente en Colombia, según el Registro para la Localización y Caracterización de las Personas con Discapacidad (RLCPD) del ministerio de salud y protección social en su última publicación en mayo del 2019, y teniendo en cuenta la dificultad para realizar actividades, “715.523 (49%) de las personas en el RLCPD refirió tener dificultad para caminar, correr y saltar”, lo significa que estas personas poseen cierta dependencia de las personas cercanas para realizar actividades diarias básicas. Hoy día con el desarrollo de nuevas tecnologías, estas personas ven en las innovaciones tecnológicas una esperanza para mejorar su forma de vida. El presente es un proyecto orientado de manera particular hacia una persona en situación de discapacidad física que presentan dificultades para movilizarse, como lo es el caminar; y por ello se busca desarrollar un andador dinámico con un sistema de control electrónico de manera automática, que permita mejorar su desplazamiento de forma confiable y segura. Con el cual se busca estimular la movilidad, la independencia del paciente, introduciendo el sistema de control en el andador dinámico, el cual facilite la marcha funcional. En este proyecto se propone un sistema electrónico funcional para el control de velocidad y la detección de obstáculos, de tal forma que se genere un incremento de las capacidades físicas y por ende una mayor independencia mejorando así la movilidad del paciente. Este sistema embebido tiene como ventajas ser confiable y seguro para el usuario, de bajo consumo, de pequeñas dimensiones, cómodo y ergonómico, y de un costo muy bajo comparado con sistemas basados en ordenador, lo cual permite ser accesible para la mayoría de las personas que lo requieran.

Palabras claves: andador dinámico, control, sistema embebido, velocidad, detección de obstáculos.

Abstract

Currently in Colombia, according to the Register for Localization y Characterization of people with disability from health minister and social protection in their last publication from May 2019, and taking in mind the difficulty to realize some activities, “715.523 (49%) of peoples in RLCPD referred to have difficult to walk, run and jump”, which means these people have some sort of dependence from nearby people to realize daily basic activities. Nowadays with the development of new technologies, this people can see on technology innovations a hope to improve their ways of life.

The present is a project oriented in a particular way towards a person with a physical disability who has difficulties to move around, such as walking; and for this reason it seeks to develop a dynamic walker with an automatic electronic control system, which allows to improve its movement in a reliable and safe way.

With which it is sought to stimulate mobility, the independence of the patient, introducing the control systems in the dynamic walker, which facilitates functional walking. In this project, a functional electronic system for speed control and obstacle detection is proposed, in such a way that an increase in physical capacities is generated and therefore greater independence, thus improving the mobility of the patient.

This embedded system has the advantages of being reliable and safe for the user, low consumption, small dimensions, comfortable and ergonomic, and of a very low cost compared to computer-based systems, which allows it to be accessible to most people who require it.

Keywords: Dynamic walker, control, embedded system, speed, obstacle detection.

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, 12 de diciembre de 2021

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por darme la sabiduría, la fuerza y por hacer posible la culminación de este proyecto. A mis padres Alberto Agamez y Mirla Gutierrez por la educación que me dieron, quienes me inculcaron el respeto a los demás. A mis hermanos Luis Agamez y María José Agamez por motivarme y acompañarme en cada una de mis metas, felicitándome y deseándome siempre lo mejor.

Andres Alberto Agamez Gutierrez

Dedico este trabajo a Dios por brindarme la sabiduría para trabajar en este proyecto, a los profesores que me instruyeron durante toda la carrera, en especial a la profesora Gisella Borja por darnos el apoyo necesario para lograr culminar este trabajo. Por último y no menos importante a mi familia por creer siempre en mí y estar ahí en los momentos de dificultad y alegría.

Luis Fernando Bonivento Celis

Agradecimientos

Agradecemos inmensamente a Dios por guiarnos en el camino correcto para sacar adelante nuestras metas y por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de debilidad y de dificultad.

Damos también gracias a nuestros familiares que, a pesar de las adversidades que se presentan en la vida siempre nos brindaron su apoyo incondicional hasta el último momento.

Gracias a nuestros amigos por todos aquellos momentos que compartimos a lo largo de nuestra carrera. Unos llenos de felicidad y otros no tanto, pero siempre con la alegría, unión y optimismo que nos caracteriza.

También damos gracias a nuestros profesores durante esta etapa universitaria, por habernos compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a la docente Gisella Borja tutora de nuestro proyecto, por confiar y creer en nosotros, quien nos ha acompañado y guiado durante todo este proceso, con su paciencia y su espíritu investigativo.

Contenido

Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Introducción	1
Capítulo 1 Descripción del Proyecto	2
Planteamiento del Problema	2
Formulación del Problema.....	3
Impacto Esperado.....	3
Usuarios Directos e Indirectos	4
Objetivos.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Metodología	5
Materiales y Equipos Utilizados	6
Capítulo 2 Estado del Arte y Marco Teórico	8
Capítulo 3 Análisis de Resultados y Propuesta Ingenieril	14
Capítulo 4 Conclusiones	31
Capítulo 5 Recomendaciones.....	32
Bibliografía	33
Anexos	35

Lista de Tablas

Tabla 1. Asignacion de pines y conexiones.....19

Tabla 2. RPM en 1 segundo con 3 imanes.....23

Lista de Figuras

Figura 1. Sensor de efecto hall A3144.....	11
Figura 2. Funcionamiento general sensor ultrasonido.....	12
Figura 3. Servomotor.....	13
Figura 4. Posicionamiento de los sensores de proximidad alrededor del andador.....	15
Figura 5. Diagrama de pines del TM4C123GH6PM.....	16
Figura 6. Tarjeta de desarrollo Tiva C Series Launchpad EK-TM4C123GXL.....	17
Figura 7. Mapa de pines tarjeta de desarrollo Tiva C Series Launch.....	17
Figura 8. Diagrama de flujo de las funciones principales del microcontrolador.....	18
Figura 9. Monitoreo de voltaje entregado por la batería.....	20
Figura 10. Diagrama de flujo de la función loop.....	22
Figura 11. Diagrama de flujo de la rutina Control de obstáculos y velocidad.....	25
Figura 12. Diagrama de flujo de funciones de frenado con los servomotores.....	26
Figura 13. Diagrama de flujo alarma detección de obstáculos.....	26
Figura 14. Diagrama de flujo interrupción y rutina de conteo.....	27
Figura 15. Tarjeta de control 1.....	27
Figura 16. Tarjeta de control 2.....	28
Figura 17. Circuito de escalamiento y distribución de voltaje.....	28
Figura 18. Sistema de control de control adaptado al andador dinámico.....	30

Lista de Anexos

Anexo A. Cronograma de actividades.	36
Anexo B. Presupuesto y recursos necesarios.....	37
Anexo C. Código control de velocidad y detección de obstáculos.....	38

Introducción

Las personas en situación de discapacidad son personas que, en relación a sus condiciones de salud física, psíquica, intelectual, sensorial u otras, al interactuar con diversas barreras contextuales, actitudinales y ambientales, presentan restricciones en su participación plena y activa en la sociedad. Quienes poseen alguna discapacidad física se encuentran con dificultades a la hora de moverse en comparación a como lo haría una persona con un estado de salud óptimo, es por esto que deben buscar ayuda en otras personas o en dispositivos que los ayuden en dicha tarea como lo son los aparatos ortopédicos. Se pueden mencionar sillas de ruedas, muletas y andadores como algunos ejemplos.

Para el caso del ciudadano Jamer Arellano, nos encontramos con una persona que posee hipoxia cerebral, la cual le dificulta coordinar sus movimientos físicos, en el caso de este joven su familia le ha proporcionado mayormente el uso de un andador; este aparato le proporciona al individuo la estabilidad necesaria para que el pueda llevar a cabo sus movimientos, disminuyendo la posibilidad de que ocurra un accidente.

La consideración de este soporte es que no se encuentra totalmente exento de sufrir accidentes por colisiones con objetos cercanos o personas alrededor. Es por esto que el equipo de estudiantes del programa de Ingeniería electrónica y telecomunicaciones ha decidido implementar un sistema electrónico capaz de detectar la presencia de masas cercanas que puedan significar una posible amenaza de choque, de la misma manera que medir la velocidad del paciente, y si por alguna razón alguno de estos dos puede representar un riesgo para el mismo, activar de manera automática los frenos para así, darle tiempo al individuo de que redirija su trayectoria sin ser partícipe de un accidente.

Capítulo 1

Descripción del Proyecto

Planteamiento del Problema

En el mercado generalmente podemos conseguir dispositivos ortopédicos y en muchos casos se puede denominar hasta como medio de transporte, que ayudan a ganar autonomía, independencia y seguridad a la persona que tiene restringida la movilidad. Como lo puede ser la silla de ruedas y los andadores dinámicos. Este último no es común encontrarlo con elementos eléctricos u electrónicos que permitan una mejor experiencia, mejorando la seguridad y facilitando la locomoción. Aquellos que se encuentran en el mercado generalmente responden a demandas generales y su diseño se basa teniendo en cuenta sólo factores como peso, y estatura de la persona que lo fuese a utilizar. Debido a esto, algunos usuarios no se sienten realmente cómodos y se les dificulta el transporte.

Muchas personas con movilidad reducida no tienen los andadores con las características (necesarias a su situación) adaptadas a sus necesidades, y por ello les resulta difícil e incómodo desplazarse de un lugar a otro, o realizar cualquiera de las actividades básicas que en algunos casos pueden resultar muy complejas o hasta riesgosas.

Y esto probablemente se deba a la falta de un tratamiento adecuado y personalizado de un aparato (andador) con las características adaptadas a las necesidades que este requiera, aplicando ciencia y tecnología, de manera que se genere un incremento de las capacidades físicas y por ende una mayor autodependencia. Mejorando así la movilidad en pacientes con capacidades disminuidas.

Teniendo en cuenta que el factor económico también juega un papel importante al momento de la elección, pues durante el tratamiento o la construcción de un andador con altos requerimientos es personalizado, lo que puede resultar en altos costos.

Formulación del Problema

¿De qué manera a través de una innovación tecnológica se puede ayudar a mejorar la calidad de vida representada en la movilidad del joven Jamer Arellano quien posee movilidad reducida debido a una discapacidad física?

Impacto Esperado

El desarrollo de un sistema de control que permita aumentar la autonomía en cuanto a movilidad de personas en situación de discapacidad física por medio de un sistema de desplazamiento asistido sobre el andador, la rehabilitación psicológica y la inclusión social representada en el aumento de la calidad de vida y bienestar del paciente.

Básicamente este sistema busca crear una alternativa, adaptable y segura, apostando por el control automático a través de sensores para tomar las decisiones sobre la movilidad en el andador dinámico. Por cual se propone un sistema embebido basado en un microcontrolador de alta gama y de excelente procesamiento con el que se espera que el usuario se sienta seguro en todo momento. Además de contar con la mayor ergonomía y comodidad posible. En resumen, se espera generar en el usuario un aumento en la autonomía en cuanto a la movilidad altamente gratificante.

El sistema que se espera crear no tiene como finalidad, hasta el momento, ser un producto comercializable ni una solución definitiva de las necesidades que presentan las personas con

limitaciones motoras, sino un prototipo de una posible solución a este problema, fomentando a su vez la rehabilitación psicológica y la inclusión social de estas personas.

Usuarios Directos e Indirectos

Usuarios Directos: Esta propuesta está dirigida principalmente al ciudadano Jamer Arellano, quien presenta una discapacidad física motora, consecuencia de la hipoxia, presentando un control limitado de sus extremidades; sin embargo, a través de este sistema podrá disfrutar de una sensación de movilidad autónoma y segura en su desplazamiento en un andador dinámico.

Usuarios Indirectos: Dentro de los usuarios indirectos se encuentran situados sus familiares, quienes, de igual forma, podrán regocijarse al ver a su pariente desplazándose de una forma práctica y segura.

A pesar de que la tecnología está dirigida a un usuario en específico, también puede ser adaptado en otros andadores. Cabe resaltar que este tipo de solución en dispositivos relacionados con la ingeniería de rehabilitación se trabaja de manera particular, debido a que las características y necesidades varían de un paciente a otro, convirtiéndose en una alternativa en el desplazamiento asistido sobre andadores dinámicos.

Objetivos

Objetivo General

- Instrumentar y desarrollar un sistema de control ON/OFF de velocidad y detección de obstáculos para un andador dinámico adaptable.

Objetivos Específicos

- Elaborar el sistema de detección de obstáculos.

- Elaborar el sistema de control de velocidad.
- Instrumentar el sistema de control de velocidad y detección de obstáculos a un andador dinámico.
- Realizar las pruebas de funcionalidad control de velocidad y detección de obstáculos.

Metodología

La metodología para utilizar en el desarrollo del presente proyecto y las investigaciones a realizar es de tipo descriptivo, la cual consiste en describir características y generalizar varios fenómenos relacionados mediante la exploración, evidenciado en el tratamiento de señales y variables a partir de la toma de diferentes mediciones. Además, este tipo de estudio es coherente al requerir conocimientos previos pertenecientes al problema, como lo es en este caso, el comportamiento de los dispositivos electrónicos a usar, teniendo en cuenta distintas variables como el voltaje de alimentación, longitud y velocidad de acuerdo con el funcionamiento de cada dispositivo.

Este proyecto tiene su base en el tratamiento de las señales obtenidas en función de los sensores de proximidad y el sensor de velocidad a partir de las cuales se tomarán decisiones de control.

Referente a las fuentes de investigación, se plantea la revisión de libros científicos, trabajos de investigación o tesis, artículos científicos, fuentes electrónicas como Internet, revistas y libros electrónicos que aportan significativamente en este tema. Además, se cuenta con la asesoría personal de ingenieros especializados en las áreas de bioingeniería y de control.

Teniendo en cuenta el enfoque a trabajar y por ende la disciplina en la cual tiene lugar el proyecto y en base a los objetivos específicos planteados este se divide en cuatro etapas principales las cuales se presentan a continuación:

Etapa 1: Elaborar el sistema de detección de obstáculos a partir de los sensores de proximidad.

Etapa 2: Diseñar el sistema de control de velocidad a partir de los sensores de velocidad y proximidad.

Etapa 3: Esta fase consiste en adaptar el sistema integrado de control de velocidad y detección de obstáculos a un andador dinámico. En esta etapa se busca ubicar los distintos dispositivos electrónicos en el andador dinámico, de forma tal que cumplan sus funciones, respetando la estructura base del andador.

Para esto se hace necesario revisar los planos digitales del andador dinámico y, en base a estos planificar el posicionamiento de los sensores, frenos, cableado, etc. Y posteriormente completar esta fase cumpliendo con la adaptación del sistema.

Etapa 4: Finalmente, esta última etapa consiste en realizar pruebas de funcionalidad del sistema de control, la cual busca comprobar la eficacia del uso de sensores y ensamblados en el andador dinámico, en busca de fallos y/o ajustes que puedan ser necesarios para la correcta ejecución del sistema.

Materiales y Equipos Utilizados

Modulo sensor ultrasonido

Tarjeta de desarrollo - LaunchPad EK-TM4C123GXL

Modulo sensor de efecto hall

Reductor step down DC-DC

Buzzer activo

Jumpers MM - HH - MH

Borneras T-Block 2

Regleta hembra

Brazo metálico para servomotor

Adaptador de voltaje 12V 5A

Conector hembra y macho XT60

Servomotor de alto torque

Batería liPo 5000mAh 11.1V 20C w/XT60

Cargador de batería 3S lipo

Ruedas delanteras

Ruedas traseras (xiaomi) 9"

Mordaza para freno de disco

Guaya (cable de freno)

Cable UTP Cat 5E

Cable 18 AWG

Imán de neodimio 3mm x 5mm

Resistencia 27Kohm

Resistencias 82Kohm

Resistencias 330 ohm

Percloruro de hierro

Baquelita virgen

Capítulo 2

Estado del Arte y Marco Teórico

2.1 Estado del Arte

La necesidad de brindar oportunidades para una mejor calidad de vida a las personas se encuentra en alguna situación de discapacidad ha hecho que la tecnología desarrolle dispositivos u herramientas que generen independencia en sus usuarios. Esto a su vez ha promovido de manera continua tanto a nivel teórico como práctico la investigación permanente y el desarrollo de equipos de acuerdo con los diferentes requerimientos de los pacientes en cuanto a la temática tratada.

El análisis del estado del arte que aquí se realiza, están agrupados en los llevados a cabo a nivel internacional y realizados a nivel nacional, referentes a la conversión y/o adaptación de sistemas electrónicos a equipos de soporte e investigaciones que se han realizado teniendo en cuenta diferentes variables del problema y enfoques. Además, determinar que aportes relevantes éstos le puedan dar al presente trabajo.

A nivel internacional encontramos el Estudio y caracterización de la cinemática de los pies en marcha asistida con andadores, llevado a cabo por A. Frizera, A. Abellanas, R. Ceres, J. L. Pons, R. Raya pertenecientes al Grupo de Bioingeniería del Instituto de Automática Industrial en Madrid, el cual presenta consideraciones generales sobre la aplicación de la robótica en la asistencia personal del usuario atendiendo de un modo particular las necesidades de personas en situación de discapacidad ya sea física o sensorial y cognitiva. Este trabajo se centra en la configuración de una serie de sensores ultrasónicos para la medida de la distancia relativa entre los pies del usuario y el andador. Y a partir de dicha información obtener parámetros descriptivos

de la marcha humana. El sistema ultrasónico integrado en el andador consiste en una plataforma multisensorial que permite el estudio y análisis de la interacción y cooperación hombre-maquina.

Otro proyecto relacionado con la asistencia a usuarios es el Diseño y construcción de un andador inteligente para el desplazamiento autónomo de los adultos mayores con visión reducida y problemas de movilidad del hogar de vida “Luis Maldonado Tamayo” mediante la investigación de técnicas de visión artificial, desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas en Ecuador, el cual trata básicamente de capacidad de marcha de forma independiente de un anciano además de contribuir y mantener el sistema psicomotor y autonomía en el interior de lugares de residencia acondicionados específicamente para su cuidado, para lo cual el andador ha sido dotado de interruptores de activación en los manubrios, sensores ultrasónicos, sensor kinect, motores de tracción y un controlador, cuya función es emplear todas las señales proporcionadas por dichos sensores para permitir una movilidad adecuada evitando obstáculos como la detección de situaciones peligrosas como gradas.

También se puede resaltar Adaptación de andador convencional para rehabilitación y asistencia a personas con restricciones motoras ,desarrollado en conjunto por la UFES de Vitoria-Brasil y la UNSJ de San Juan-Argentina y presentado en el XXIV Congreso Brasileiro de Ingeniería Biomédica (CBEB 2014) la en donde se muestra la propuesta para ayudar a las personas con problemas motores en rehabilitación utilizando un andador robótico, el cual tiene como objetivo mejorar la marcha de los pacientes que se someten proceso de fisioterapia, en donde el usuario actúa como un herramienta para mejorar el equilibrio y la capacidad de movimiento de las extremidades inferiores y ayuda en el mejora de la marcha humana, basándose en un controlador de velocidad lineal y un sistema de detección de posición del usuario.

A nivel nacional se encuentra un proyecto de investigación denominado Detector de obstáculos por ultrasonido para personas con limitación visual en medios estructurados, desarrollado en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por Alejandro Hurtado Fierro, quien presenta el diseño y la construcción de un dispositivo electrónico que permita detectar obstáculos para ayudar en su desplazamiento a personas con discapacidad visual en medios estructurados, utilizando sistemas de control y procesamiento de señal ultrasónica y un amplificador convencional para detectar obstáculos a una distancia determinada para y evaluar su entorno.

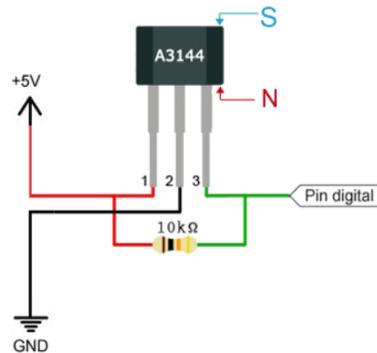
2.2 Marco Teórico

Velocímetro

Un velocímetro es un instrumento que mide el valor de la rapidez media de un vehículo. Debido a que el intervalo en el que mide esta velocidad es generalmente muy pequeño se aproxima mucho a la magnitud, es decir, la rapidez instantánea. El velocímetro electrónico funciona en base de un sensor magnético, que al girar produce una tensión alterna que varía proporcionalmente en amplitud y en frecuencia. Esta tensión se alimenta de la batería conectada al circuito que la transforma en una indicación de voltaje para mostrarla en el medidor de velocidad.

Para poder tener un velocímetro en el andador dinámico se han usado los conceptos del sensor de efecto Hall. El sensor de efecto Hall o simplemente sensor Hall o sonda Hall (denominado según Edwin Herbert Hall) se sirve del efecto Hall para la medición de campos magnéticos o corrientes o para la determinación de la posición en la que está.

Figura 1. Sensor de efecto hall A3144.



Fuente: <https://sadorobotics.com/producto/hs0139/>

Si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético; si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina.

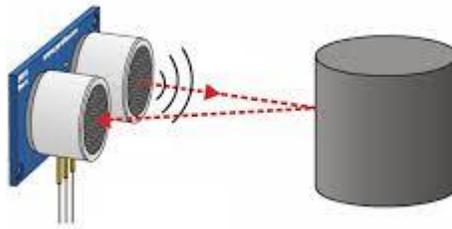
Sensor de proximidad ultrasonico

Un sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor. Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan. Los más comunes son los interruptores de posición, los detectores capacitivos, los inductivos y los fotoeléctricos, como el de infrarrojos.

Para el desarrollo de este proyecto se ha decidido hacer uso de los sensores ultrasónicos. Los sensores de ultrasonidos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y

que detectan objetos a distancias de hasta 8 m. El sensor emite impulsos ultrasónicos. Estos se reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo, han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco, basándose en el fenómeno de reflexión del sonido.

Figura 2. *Funcionamiento general sensor ultrasonido.*



Fuente: <https://www.makeelectronico.com/hc-sr04-sensor-ultrasonido-atmega/>

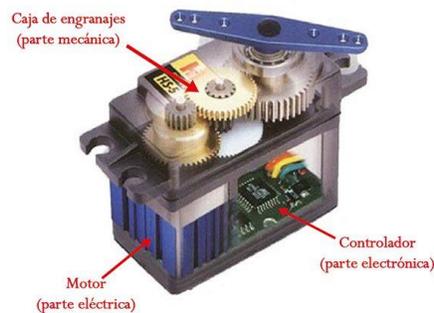
Este sensor al no necesitar el contacto físico con el objeto ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles, como pintura fresca; además, detecta cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección.

Servomotores de alto torque

Los servomotores también llamados servos, son dispositivos de accionamiento para el control de velocidad, par motor y posición. Generalmente utilizados en el campo de la robótica. Este contiene en su interior un enconder o decodificador que convierte el movimiento mecánico en

pulsos digitales interpretado por un controlador de movimiento, además de contar con un driver que en conjunto forman un circuito para comandar la posición, el torque y la velocidad del eje. El torque de los servomotores varía de acuerdo con su composición interna como el tipo de material de las piñoneras, el voltaje de alimentación y la corriente suministrada al dispositivo, permitiendo a su vez un mejor control y eficiencia, aumentando su rendimiento y el uso en otros campos. Los servos de alto torque están compuestos por piñoneras, engranajes y bujes metálicos, lo que hacen de este una estructura robusta con gran potencia de salida que puede llegar hasta varios Kg/cm en su máxima exigencia.

Figura 3. *Servomotor.*



Fuente: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

Algoritmo

Un algoritmo es una serie finita de pasos los cuales permiten diversos objetivos, desde solucionar un problema o llevar a cabo una actividad definida.

Lenguaje de programación

Un lenguaje de programación, como su nombre lo indica, es un lenguaje el cual permite a una persona escribir, o usando otro término, programar diversas instrucciones secuenciales en forma de algoritmos cuya finalidad es la de delegar una función o ejecutar tareas.

Capítulo 3

Análisis de Resultados y Propuesta Ingenieril

Como se ha mencionado a lo largo de la descripción del problema, la propuesta ingenieril consiste en crear un sistema embebido compuesto por diferentes sensores electrónicos y módulos para controlar y asistir el desplazamiento y la velocidad de un de un andador dinámico a través de la detección de obstáculos, y medición de velocidad sobre el andador, especialmente diseñado y adaptado para una persona en situación de discapacidad motora.

En primer lugar, este sistema embebido lo conforma el y el acondicionamiento de señales de entrada y el ajuste de voltajes de alimentación, donde se adecua el voltaje de entrada para la lectura de una de las variables y se realiza la distribución de voltaje para alimentar de manera correcta cada uno de los elementos colocados sobre el andador, lo que permite su funcionamiento y que posteriormente puedan ser reconocidas y controladas por un microcontrolador.

Luego del acondicionamiento de señales y el ajuste de voltajes de alimentación, el siguiente módulo se refiere al procesamiento y control, en el cual se realizará el análisis digital de las señales digitales provenientes de los distintos sensores, además de otras variables como la velocidad del andador y de esta manera tomar las decisiones respectivas para asistir y controlar la movilidad sobre el andador.

A continuación, se detallan a profundidad cada uno de los módulos mencionados, por medio de diagramas, circuitos y dispositivos.

3.1 Módulo de acondicionamiento de señales de entrada y ajuste de voltajes de alimentación

Este módulo es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema.

Para comenzar, cabe resaltar que la detección de obstáculos se realiza por medio de seis sensores de proximidad ultrasónicos ubicados en posiciones estratégicas alrededor del andador, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4. *Posicionamiento de los sensores de proximidad alrededor del andador.*



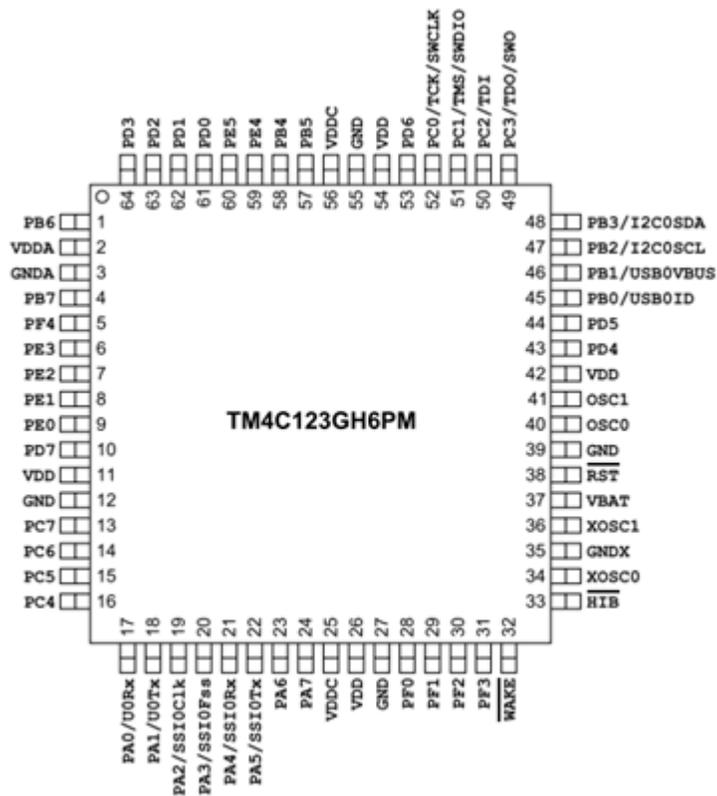
Fuente: Propia del autor.

3.2 Módulo de procesamiento y control

Una vez determinadas la cantidad de señales de entrada el reto consiste en crear sistemas de control que permitan monitorear múltiples variables y determinar acciones específicas y determinar los puertos de salida para un correcto desplazamiento asistido sobre el andador dinámico. Para este propósito se emplea un microcontrolador de alta gama de ARM CORTEX, cuya referencia es TMC123GH6PM montado sobre una plataforma de evaluación integral de bajo costo y con interfaz USB en el diseño Launchpad EK-TM4C1236XL. Este microcontrolador cuenta con varios módulos; algunos de los más importantes son: canales de conversión analógica-digital (ADC), modulación por ancho de pulso (PWM), Temporizadores y contadores (TIMERS), módulos de comunicación y transmisión de datos como el UART, I2C; entre otros que lo hacen ideal para este sistema. Además, cuenta con un reloj de trabajo interno

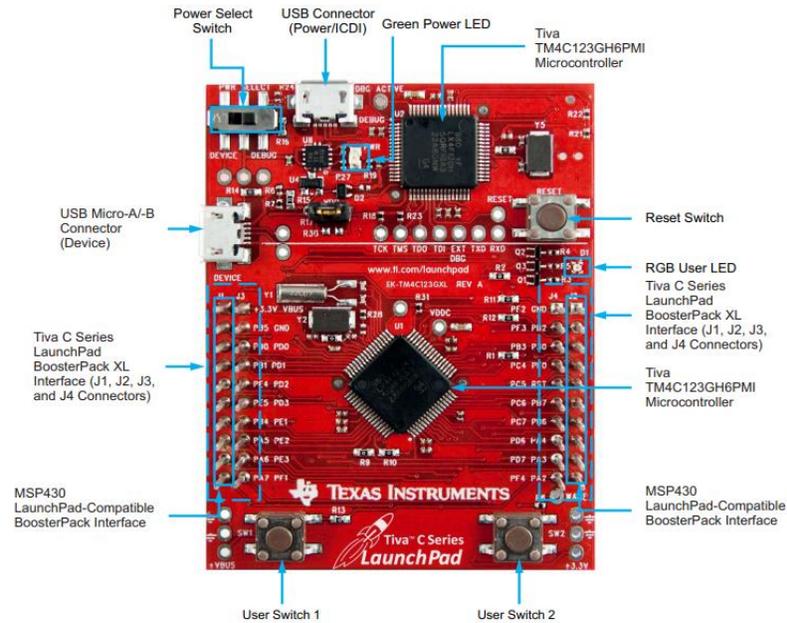
con el que se puede alcanzar una frecuencia de trabajo hasta de 80MHZ, y cuenta también puertos con GPIOs con capacidad interrupción . La figura N° 5 ilustra el diagrama de pines del microcontrolador anteriormente mencionado.

Figura 5. Diagrama de pines del TM4C123GH6PM.



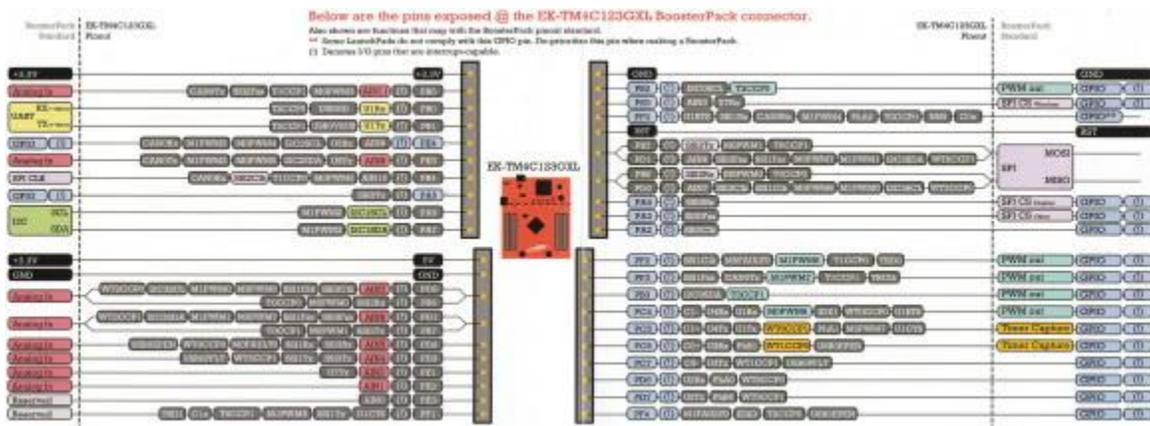
Fuente: Datasheet del TM4C123GH6PM. Texas Instrument.

Figura 6. Tarjeta de desarrollo Tiva C Series Launchpad EK-TM4C123GXL



Fuente: Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Kit - Manual de usuario

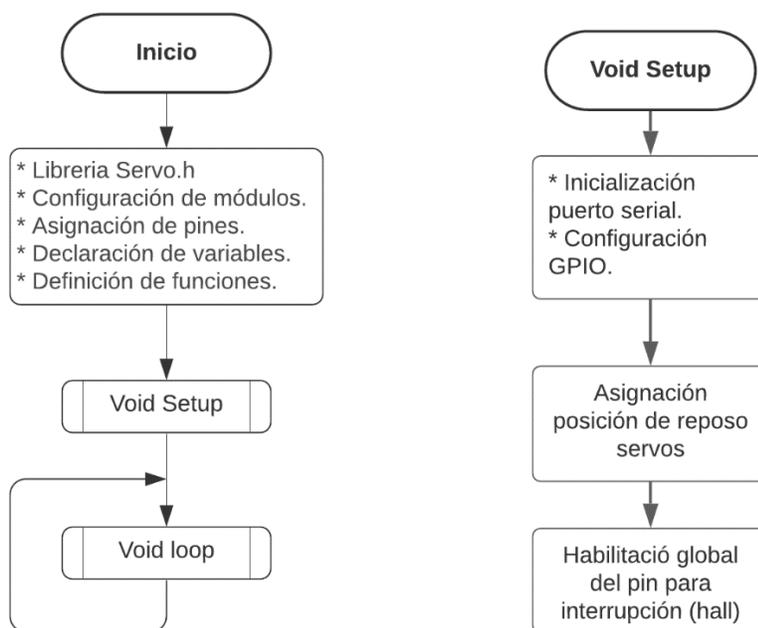
Figura 7. Mapa de pines tarjeta de desarrollo Tiva C Series Launchpad EK-TM4C123GXL



Fuente: Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Kit - Manual de usuario

Este microcontrolador tendrá la misión de monitorear tres variables importantes: la primera variable es el estado de las baterías con el fin de determinar si tienen suficiente carga para un óptimo y prolongado desplazamiento asistido sobre el andador dinámico; la segunda variable se trata de las mediciones de distancia a realizar por los sensores de ultrasonido para determinar si existe la presencia de algún cuerpo que pueda obstaculizar el correcto y libre desplazamiento del andador; y la tercera variable importante es la velocidad a la cual se desplaza el andador para que éste no supere una velocidad seleccionada establecida en la programación y así brindar un desplazamiento seguro con base a cada situación. En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo de la función principal del microcontrolador y de la función setup, en el cual se encuentran las rutinas a ejecutar.

Figura 8. Diagrama de flujo de las funciones principales del microcontrolador.



Fuente: Diseño propio en LUCID.

Dentro de la función principal se hace la declaración de variables y configuración de puertos, asignado un pin determinado de acuerdo con su función a uno de los elementos utilizados en el sistema para el control como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. *Asignación de pines y conexiones.*

<i>Modulo - Sensor</i>	<i>Pines</i>
Sensor ultrasónico (Frontal izquierdo)	Trigger PD2 – Echo PD3
Sensor ultrasónico (Frontal derecho)	Trigger PE4 – Echo PE5
Sensor ultrasónico (Lateral izquierdo)	Trigger PD7 – Echo PF4
Sensor ultrasónico (Lateral derecho)	Trigger PA6 – Echo PA7
Sensor ultrasónico (Posterior izquierdo)	Trigger PE1 – Echo PE2
Sensor ultrasónico (Posterior derecho)	Trigger PB4 – Echo PA5
Modulo sensor efecto hall	PF0
Switch modo (ajuste límite de velocidad)	PC6
Buzzer	PF2
Escalamiento nivel de batería	PD0
Servomotor 1 (izquierdo)	PC4
Servomotor 2 (derecho)	PF3

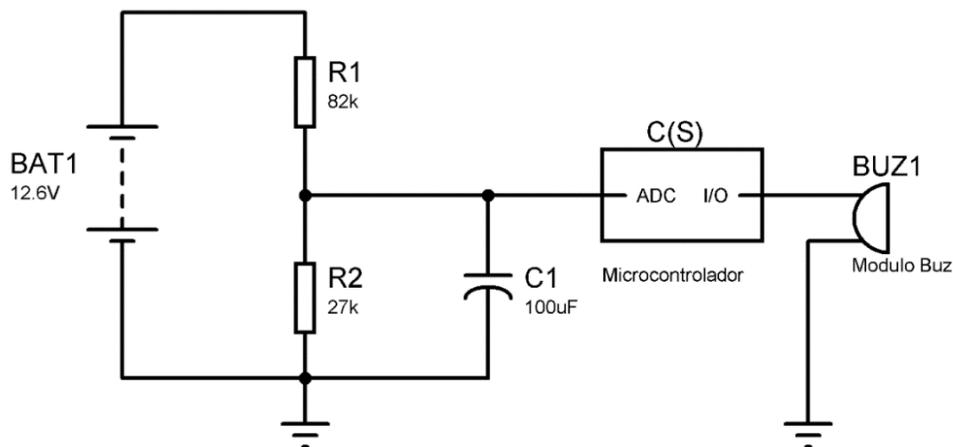
Fuente: Propia del autor.

El primer control para realizar es sobre el voltaje que entregan las baterías, a través de un monitoreo permanente. Esta función es imprescindible para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, ya que puede suceder que al ir descargándose la batería algunos módulos dejen de funcionar, debido a la diferencia de alimentación entre algunos dispositivos.

Para realizar este monitoreo se debe escalar el voltaje de las baterías a un voltaje que pueda tolerar el microcontrolador, es decir, el voltaje máximo de 12.6V que entrega la batería debe ser

escalado a un voltaje de 3.3V, que es el voltaje máximo que tolera el microcontrolador. Esta escala se realiza mediante un divisor de voltaje como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Monitoreo de voltaje entregado por las baterías.



Fuente: Diseño propio en Isis Proteus de LabCenter.

El voltaje escalado es llevado a un módulo de conversión análogo-digital del microcontrolador y posteriormente, por medio de un algoritmo, se realiza el proceso inverso de escalado, es decir, se obtiene con exactitud la cantidad real de voltaje de las baterías a través del factor de escala obtenido a partir del arreglo de resistencias establecidas en el divisor de voltaje el cual se muestra a continuación

Para el cálculo del nivel de carga de la batería se tiene en cuenta la ecuación para calcular los valores en un divisor de tensión es donde V_{in} corresponde al voltaje suministrado por la batería y V_{out} el voltaje sobre la resistencia $R2$, tenemos:

$$V_{out} = V_{in} * \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

Teniendo en cuenta que las entradas analógicas del microcontrolador admiten un voltaje máximo de 3.3V, equivalente a V_{out} del divisor de tensión. Y a través de la siguiente expresión se convierte la lectura análoga la cual va de 0 a 4095.0 a un voltaje de 0 a 3.3V, y multiplicado por el factor de escala el cual depende únicamente de las resistencias utilizadas en el divisor de tensión.

$$\text{Voltaje de entrada} = \text{lectura analogica} * \left(\frac{3.3.0V}{4095.0} \right)$$

$$\text{Factor de escala} = \frac{R1 + R2}{R2}$$

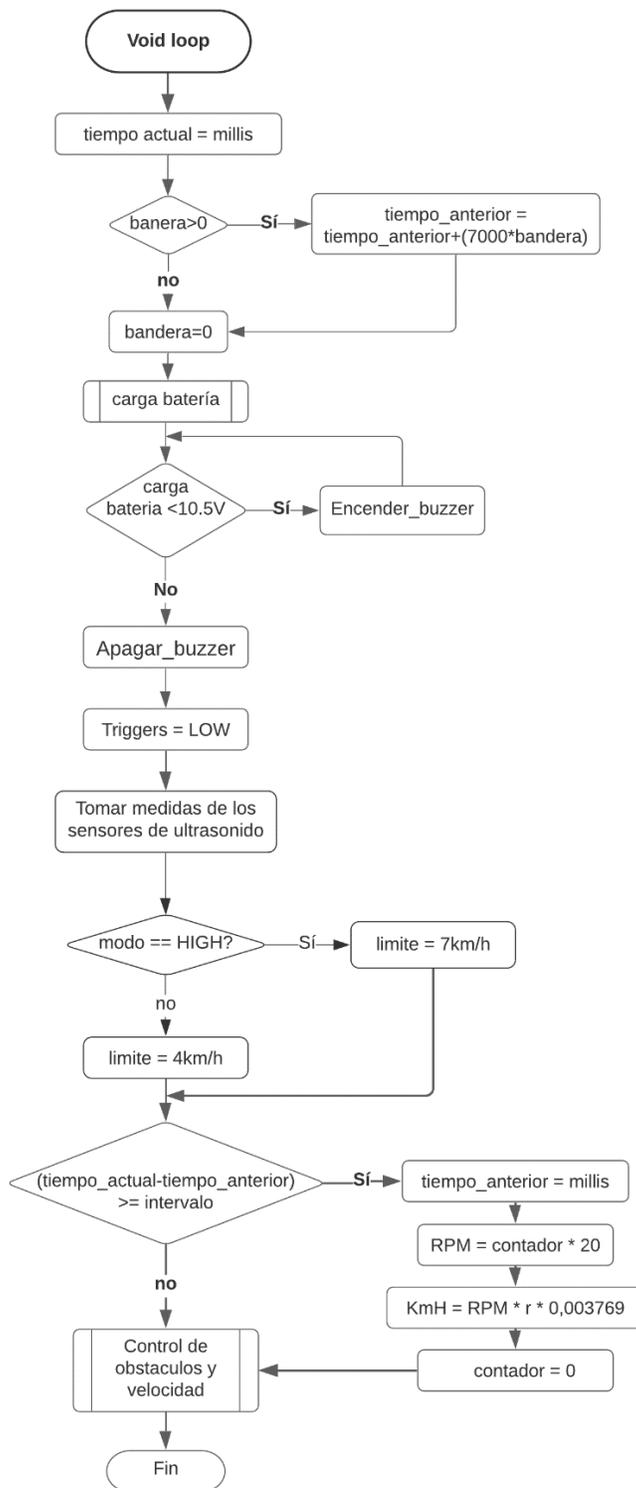
$$\text{Factor de escala} = \frac{82K\Omega + 27K\Omega}{27K\Omega}$$

$$\text{Factor de escala} = \frac{109K\Omega}{27K\Omega} \cong 4.037$$

$$\text{Voltaje real} = \text{Voltaje de entrada} * 4.037$$

Si el voltaje que suministra la batería es menor un voltaje establecido en el microcontrolador, este se encargará de emitir una alarma sonora por medio de un buzzer o zumbador como se muestra en la figura 10 dentro de la función loop para advertir al usuario que debe recargar las baterías. En caso de que no se atienda la advertencia, el sistema completo no funcionará.

Figura 10. Diagrama de flujo de la función loop.



Fuente: Diseño propio en LUCID.

Una vez que se ha comprobado el estado de la batería, y esta ha pasado la prueba de capacidad, es decir que cumple con los requerimientos mínimos para colocar a funcionar el sistema de control y se procede a realizar el monitoreo de obstáculos lo incluye el monitoreo frontal, lateral derecho, lateral izquierdo y posteriores a través de los sensores de ultrasonido, y a partir del análisis de comportamiento de estas señales se determina la acción de control a realizar, lo que deriva en el condicionamiento para el desplazamiento sobre el andador dinámico. Cabe resaltar que este tipo de sensor envía y recibe señales digitales y pueden ser tratadas y analizadas por un microcontrolador sin necesidad de conversión. Estas señales recibidas por el microcontrolador, provenientes de cada uno de los sensores de proximidad son analizadas con base a las condiciones dadas. Por otro lado, se encuentra el sensor de efecto hall localizado sobre el eje de una de las ruedas trasera izquierda, sujeto a la estructura con la finalidad de medir la cantidad de rpm del andador en movimiento, además de contar con tres imanes distribuidos a la misma distancia sobre el disco de freno, y a través de una conversión, la cual depende directamente del radio de la rueda, la medida es convertida a km/h.

Tabla 2. *RPM en 1 segundo con 3 imanes.*

<i>Conteo</i>	<i>RPM</i>	<i>Km/h</i>
1	20	0,60
2	40	1,21
3	60	1,81
4	80	2,41
5	100	3,02
6	120	3,62
7	140	4,22
8	160	4,82
9	180	5,41

<i>10</i>	<i>200</i>	<i>6,03</i>
<i>11</i>	<i>220</i>	<i>6,63</i>
<i>12</i>	<i>240</i>	<i>7,24</i>
<i>13</i>	<i>260</i>	<i>7,84</i>
<i>14</i>	<i>280</i>	<i>8,44</i>
<i>15</i>	<i>300</i>	<i>9,05</i>
<i>16</i>	<i>320</i>	<i>9,65</i>
<i>17</i>	<i>340</i>	<i>10,25</i>
<i>18</i>	<i>360</i>	<i>10,85</i>
<i>19</i>	<i>380</i>	<i>11,46</i>
<i>20</i>	<i>400</i>	<i>12,06</i>

Fuente: Propia del autor.

En nuestro caso tenemos dos salidas que dependen del comportamiento de las señales provenientes de los diferentes sensores. Estas son configuradas a través de una librería adecuada a las especificaciones de los servomotores seleccionados, quienes a través de su accionar determinan la activación o desactivación del sistema de frenado a través de los módulos PWM, los cuales envían a través de la línea de control del servomotor la señal codificada para comunicar el ángulo exacto en el que se debe posicionar el servo motor para accionar las mordazas de freno sujetas a las ruedas traseras. El frenado está configurado para evitar que el usuario alcance una velocidad que represente un riesgo en su desplazamiento teniendo como condiciones unos límites de velocidad que están disponibles dos modos permitiendo ser ajustado, de esta manera se controla la velocidad de desplazamiento sobre el andador. En la figura. 11 se muestra el control de velocidad de acuerdo con los límites establecidos según el modo seleccionado, el cual es establecido por un switch.

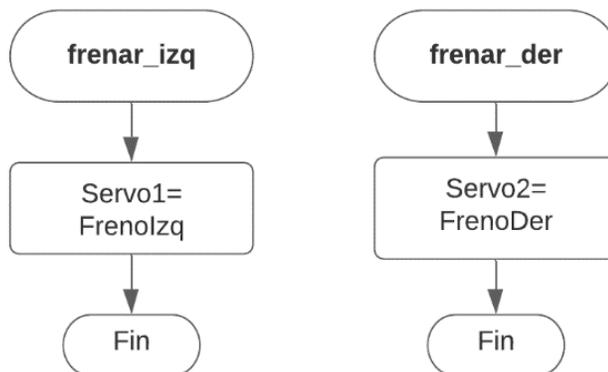
Por otro lado, el sistema de frenado también se activa teniendo en cuenta la detección de obstáculos los cuales se encuentren en un rango menor a 70, 50 o 30 cm teniendo en cuenta la colocación de cada sensor de ultrasonido, como se evidencia en la figura. 11.

Figura 11. Diagrama de flujo de la rutina Control de obstáculos y velocidad.



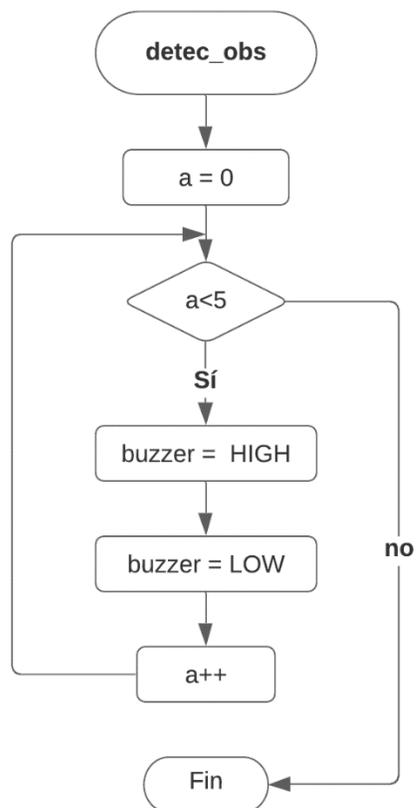
Fuente: Diseño propio en Lucid.

Figura 12. Diagrama de flujo de funciones de frenado con los servomotores.



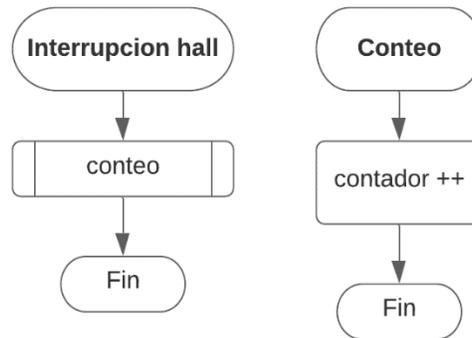
Fuente: Diseño propio en Lucid.

Figura 13. Diagrama de flujo alarma detección de obstáculos..



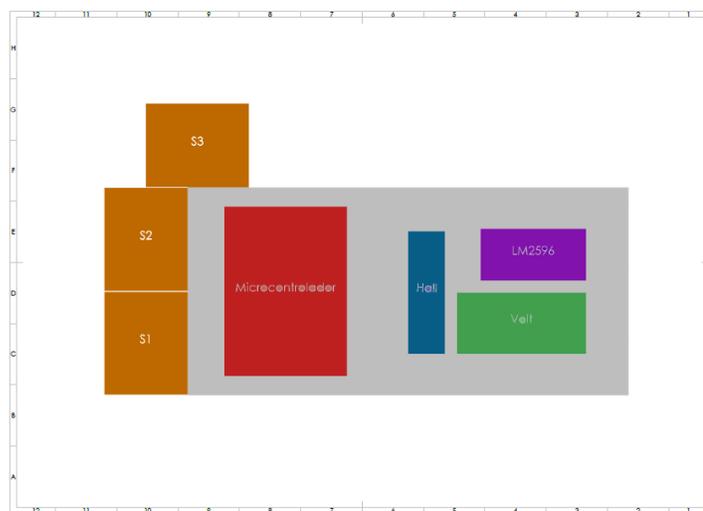
Fuente: Diseño propio en Lucid.

Figura 14. Diagrama de flujo interrupción y rutina de conteo.



Fuente: Diseño propio en Lucid.

Figura 15. Tarjeta de control 1.



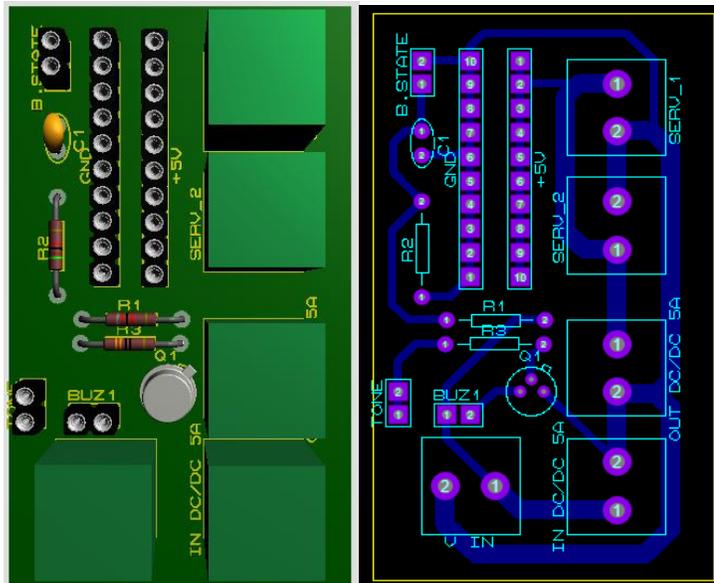
Fuente: Diseño propio en SolidWorks.

Figura 16. Tarjeta de control 2.



Fuente: Diseño propio en SolidWorks.

Figura 17. Circuito de escalamiento y distribución de voltaje.



Fuente: Diseño propio en PCB layout - Proteus de LabCenter.

Resultados

Se logro la adaptación del sistema de control de velocidad y detección de obstáculos en el andador dinámico.

El sistema de detección de obstáculos, se coloco de tal manera que se logrará cubrir la mayor parte de los lados del andador; este los detecta de acuerdo con las condiciones establecidas en el código y a su vez emite un sonido de alarma, indicando la detección de un obstáculo, manteniendo el andador frenado durante cinco segundos, y luego liberando las llantas para corregir la posición. Además, si el andador no detecta obstáculo alguno, pero supera el límite de velocidad establecida por el switch el andador se detiene y emite una alarma igual a la de detección de obstáculo, con el fin de mantener un desplazamiento con una velocidad segura.

Por otro lado, en caso de que la batería se encuentre descargada se activa la alarma correspondiente a nivel de batería baja, y el sistema solo funciona para indicar que se debe cargar la misma. Cabe resaltar que los sonidos emitidos por el buzzer de nivel de batería bajo y detección de obstáculo u limite de velocidad son diferentes, lo que permite identificar a que hace referencia cada uno.

Figura 18. Sistema de control de control adaptado al andador dinámico,



Fuente: Propia del autor.

Capítulo 4

Conclusiones

Este proyecto de tesis se desarrolló en las siguientes etapas: Investigación y búsqueda de información, diseño e implementación de hardware y software y una última etapa correspondiente a las pruebas y validación de resultados. Las etapas que más dedicación requirieron fueron el diseño e implementación software de control y la adaptación del sistema sobre el andador, estas se convirtieron en un proceso evolutivo, en el cual se realizaron diferentes cambios a lo largo de este, con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema y conseguir una adecuada adaptación sobre el andador condicionados por la estructura y sin que se viese afectada la movilidad del usuario. Después de todo el trabajo realizado, se cumple con los objetivos propuestos al principio para el presente proyecto. El hecho de haber enfrentado algunas dificultades en el momento de la integración de los sistemas y la adaptación al andador ha servido para obtener un mayor aprendizaje sobre el diseño y la programación de los distintos dispositivos electrónicos, así como de todo lo relacionado con el hardware de estos. Además, las funciones resultan de gran ayuda al momento de mantener la organización dentro del código de programación. A futuro se podría optimizar el código para mejorar el funcionamiento del sistema al igual que posicionar los sensores de ultrasonido de tal manera que cubran los puntos más importantes del andador, al igual que mejorar la colocación de la batería haciéndola mas accesible independiente para la carga o posible reemplazo.

Capítulo 5

Recomendaciones

El sistema requiere de un gran cuidado para evitar daños sobre el hardware y por ende un funcionamiento no deseado del software implementado ya que no todos los dispositivos y sensores son impermeables, aunque se bucó proteger al máximo cada uno de estos. Además, se recomienda para futuros proyectos buscar alternativas al sistema de frenado completamente electrónico y siempre cerciorar que las estructuras sobre las cuales van puestas los dispositivos y el sistema electrónico que se adapten lo mejor posible a las necesidades del sistema

Bibliografía

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. OFICINA DE PROMOCIÓN SOCIAL.

(2019). *Sala situacional de las personas con discapacidad*. Recuperado de:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacion-discapacidad.pdf>

A. FRIZERA, A. ABELLANAS, R. CERES, J. L. PONS, y R. RAYA. (2009). *Estudio y Caracterización de la Cinemática de los Pies en Marcha Asistida con Andadores*. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791209701104>

Hohmann Poier, Paloma, & Godke, Francisco, & Aguiomar Foggiatto, José, & Ulbricht, Leandra (2017). *Development and evaluation of low-cost walker with trunk support for senior citizen*. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 51(),1-8.[fecha de Consulta 9 de Enero de 2021]. ISSN: . Recuperado de:

https://www.redalyc.org/pdf/3610/361050485052_1.pdf

JOSÉ L. GUAMUSHIG, y MIGUEL A. JEREZ. (2018). *Diseño y construcción de un andador inteligente para el desplazamiento autónomo de los adultos mayores con visión reducida y problemas de movilidad del hogar de vida “luis maldonado tamayo” mediante la investigación de técnicas de visión artificial*. *Departamento de ciencias de la energía y mecánica*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado de:

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/14030/1/T-ESPEL-MEC-0127.pdf>

C. T. Valadão, F. Lotério, V. Cardoso, T. Bastos-Filho, A. Frizera-Neto, R. Carelli. (2014). *Adaptação de andador convencional para reabilitação e assistência a pessoas com restrições motoras*. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Brasil, y

Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina. Recuperado de:

http://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_161.pdf

Hurtado, A. (2017). *Detector de Obstáculos por Ultrasonido para personas con limitación visual en medios estructurados*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Recuperado de:

<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13407/1/16763693.pdf>

CLR Compañía Levantina de Reductores. (s.f). *¿Qué es un servomotor y como se utiliza?*.

Recuperado de: <https://clr.es/blog/es/servomotor-cuando-se-utiliza/#:~:text=Un%20servomotor%20lo%20compone%3A,el%20env%C3%ADo%20de%20pulsos%20el%C3%A9ctricos>

RIBERA SALUD GRUPO. (s.f.). *USO Y RECOMENDACIÓN SOBRE ANDADOR*. Recuperado de: <https://www.torreveja-salud.com/wp-content/uploads/2018/10/EDUCA-Andador.pdf>

Microcontrollers Lab. (s.f.). *GPIO Interrupts TM4C123 Tiva Launchpad – External Interrupts*.

Recuperado de: <https://microcontrollerslab.com/gpio-interrupts-tm4c123-tiva-launchpad-edge-level-triggered/>

PROMETEC. (s.f.). *Lo que hay que saber para elegir una batería lipo*. Recuperado de:

<https://www.prometec.net/elegir-bateria-lipo/>

Anexos

Anexo A. Cronograma de actividades.	36
Anexo B. Presupuesto y recursos necesarios.	37
Anexo C. Código control de velocidad y detección de obstáculos.	38

Anexo B. Presupuesto y recursos necesarios

Materiales - Recursos	Valor unitario	Cantidad	Valor final
Modulo sensor ultrasonido x2	\$ 64.610,00	3	\$ 193.830,00
Tarjeta de desarrollo – Launchpad EK-TM4C123GXL	\$ 70.142,00	1	\$ 70.142,00
Modulo sensor efecto hall	\$ 3.000,00	1	\$ 3.000,00
Sensor hall A3144	\$ 1.500,00	1	\$ 1.500,00
Reductor step down DC-DC	\$ 7.400,00	1	\$ 7.400,00
Módulo Buzzer	\$ 4.500,00	1	\$ 4.500,00
Kit jumpers	\$ 2.800,00	3	\$ 8.400,00
Bornera T-block 2	\$ 494,00	6	\$ 2.964,00
Regleta hembra	\$ 900,00	4	\$ 3.600,00
Brazo metálico de servomotor	\$ 6.218,94	2	\$ 12.437,88
Regleta doble mxm	\$ 1.000,00	1	\$ 1.000,00
Conector Hembra y macho XT60	\$ 3.500,00	1	\$ 3.500,00
Servomotor de torque alto	\$ 75.000,00	2	\$ 150.000,00
Batería LiPo 5000 mAh 11.1v 20C w/XT60	\$ 165.000,00	1	\$ 165.000,00
Cargador de batería 3s Lipo	\$ 40.460,00	1	\$ 40.460,00
Baquelita virgen FR4 100mm X 150mm X 1,2mm	\$ 5.165,00	1	\$ 5.165,00
Ruedas traseras (xiaomi)- 9" (25cm)	\$ 225.047,00	2	\$ 450.094,00
Mordaza para freno de disco x2	\$ 60.600,00	1	\$ 60.600,00
Guaya - Cable de freno	\$ 10.000,00	2	\$ 20.000,00
Cable UTP CAT 5E x1M	\$ 1.500,00	12	\$ 18.000,00
Cable 18 AWG x1m	\$ 2.000,00	3	\$ 6.000,00
Imán de neodimio 3mm x 5mm	\$ 18.080,00	1	\$ 18.080,00
Resistencias 27 KOHM X10	\$ 672,27	1	\$ 672,27
Resistencias 82KOHM X10	\$ 672,27	1	\$ 672,27
Adaptador de voltaje 12V 5A	\$ 29.120,00	1	\$ 29.120,00
Adaptación de ejes y ruedas delanteras	\$ 120.000,00	1	\$ 120.000,00
Soporte para frenos y servos	\$ 180.000,00	1	\$ 180.000,00
Gasto de envíos	\$ 177.750,00	1	\$ 177.750,00
Impuestos nacionales	\$ 40.404,15	1	\$ 40.404,15
		Total	\$ 1.794.291,57

Anexo C. Código control de velocidad y detección de obstáculos

```

#include <Servo.h>
//-----
//Asignacion de pines

//ultrasonicos frontales
#define trig_frente1 PD_2
#define echo_frente1 PD_3
#define trig_frente2 PE_4
#define echo_frente2 PE_5

//ultrasonicos traseros
#define trig_atras1 PE_1
#define echo_atras1 PE_2
#define trig_atras2 PE_4
#define echo_atras2 PA_5

//ultrasonicos laterales
#define trig_der PD_7
#define echo_der PF_4
#define trig_izq PA_6
#define echo_izq PA_7

//bateria & buzzer
#define buzzer PF_2
#define bateria PD_0
float batbaja = 10.5; // bateria carga completa 12.6
float batact;

//variables y pines para calculo de velocidad
#define hall PF_0
#define modo PC_6
volatile int contador = 0;
unsigned long tiempo_anterior=0, tiempo_actual;
const long intervalo = 1000; //intervalo entre mediciones, en milisegundos
int bandera;
double KmH, KmHF, RPM;
double radio_llanta=8; //radio de la llanta en centimetros

//led para pruebas
#define Led RED_LED

float duration;
float dist_frente1, dist_frente2, dist_atras1, dist_atras2, dist_der, dist_izq;

//definicion de servomotores
Servo servol;
Servo servo2;
int Vactual_servol, Vactual_servo2;
int FrenoIzq=114, FrenoDer=62; //angulo de freno servos

// definicion de las funciones (usadas mas adelante)
float carga_bateria();
float medicion_frente1();
float medicion_frente2();
float medicion_atras1();
float medicion_atras2();
float medicion_der();
float medicion_izq();
void conteo();
void frenar_izq();
void frenar_der();
void reposo();
void encender_buzzer();
void apagar_buzzer();
void detec_obs();

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  //definir entradas y salidas

  //ultrasonicos del frente
  pinMode(trig_frente1,OUTPUT);
  pinMode(trig_frente2,OUTPUT);
  pinMode(echo_frente1,INPUT);
  pinMode(echo_frente2,INPUT);

```

```

//ultrasonicos de la parte trasera
pinMode(trig_atras1,OUTPUT);
pinMode(trig_atras2,OUTPUT);
pinMode(echo_atras1,INPUT);
pinMode(echo_atras2,INPUT);

//ultrasonicos Laterales
pinMode(trig_der,OUTPUT);
pinMode(trig_izq,OUTPUT);
pinMode(echo_der,INPUT);
pinMode(echo_izq,INPUT);

//modo
pinMode (modo,INPUT);

//definir que pin sera el que envie datos al los servos
servo1.attach(PC_4);
servo2.attach(FF_3);

//posicion de reposo de los servos
servo1.write(155);
servo2.write(120);
Vactual_servo1=155;
Vactual_servo2=120;

//Led (usado para pruebas)
//pinMode(Led,OUTPUT);

//pin de lectura para bateria
pinMode(bateria,INPUT);

//pin de salida para el buzzer
pinMode(buzzer,OUTPUT);

//declaracion de hall como interrupcion
pinMode(hall,INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(hall),conteo, FALLING);
}

void loop() {
  int limite;

  tiempo_actual = millis();// guardar el valor del tiempo actual.

  if (bandera>0){
    tiempo_anterior=tiempo_anterior+(7000*bandera);// 7s
  }
  bandera=0; //reiniciar bandera

  //llamado a funcion verificar nivel de bateria
  batact=carga_bateria();
  //condicional de bateria baja, si la bateria se encuentra por debajo del umbral,
  //se enciende el buzzer, de lo contrario se apaga.
  if (batact<batbaja){

    encender_buzzer();
  }
  else{
    apagar_buzzer();
  }

  digitalWrite(trig_frentel, LOW);
  digitalWrite(trig_frente2, LOW);
  digitalWrite(trig_atras1, LOW);
  digitalWrite(trig_atras2, LOW);
  digitalWrite(trig_izq, LOW);
  digitalWrite(trig_der, LOW);

  dist_frentel=medicion_frentel();
  /*Serial.print("Frente 1: ");
  Serial.print(dist_frentel);
  Serial.print(" | ");
  */

  dist_frente2=medicion_frente2();
  /*Serial.print("Frente 2: ");
  Serial.print(dist_frente2);
  Serial.print(" | ");
  */

  dist_atras1=medicion_atras1();
  /*Serial.print("Atras 1: ");
  Serial.print(dist_atras1);
  Serial.print(" | ");
  */
}

```

```

dist_atras2=medicion_atras2();
/*Serial.print("Atras 2: ");
Serial.print(dist_atras2);
Serial.print(" | ");
*/
dist_der=medicion_der();
/*Serial.print("Derecha: ");
Serial.print(dist_der);
Serial.print(" | ");
*/
dist_izq=medicion_izq();
/*Serial.print("Izquierda: ");
Serial.print(dist_izq);
Serial.print(" | ");
Serial.println();
delay (5);
*/

//condicional, si el switch del modo envia un valor alto,
//entonces el limite de velocidad es 7Km/h, de lo contrario 4Km/h
if(digitalRead(modo)==HIGH){
  limite = 7;//
}
else{
  limite = 4;
}

//calculo de velocidad de las llantas, en el momento en que el sensor detecta,
//se usa la funcion millis para poner el valor de tiempo
if((tiempo_actual - tiempo_anterior) >= intervalo){ //si el intervalo ha pasado entonces se calcula la velocidad.
  tiempo_anterior=millis(); //obtenemos nuevo valor para el tiempo anterior.
  RPM = contador*20; //se multiplica por 20 ya que tenemos 3 imanes, 3 lecturas por vuelta.
  KmH = RPM*radio_llanta*0.003769; //conversion de RPM a Kilometros por hora
  //Serial.print(KmH);
  //Serial.println("Km/H");
  contador=0;
}

//anterior es inicial
//casos de frenado, usando condicionales en cadena
if((dist_frente1>20.0 && dist_frente1<70.0) || (dist_frente2>20.0 && dist_frente2<70.0) || KmH>limite){
  // si alguno de los ultrasonicos del frente detecta algo por encima de 20cm y debajo de 70cm,
  //entonces frena ambas llantas.
  // también frena si la velocidad actual es mayor al limite elegido.
  frenar_izq();
  frenar_der();
  //Serial.println(" condicion_1 act");
  detec_obs();
  delay (4000);
  reposo ();
  delay (2000);
  bandera ++;
}

else if((dist_atras1>20.0 && dist_atras1<50.0) || (dist_atras2>20.0 && dist_atras2<50.0)){
  //si la condición anterior no se cumple entonces se revisa esta, que es el mismo procedimiento,
  //con los mismos rangos pero para los sensores de la parte trasera.
  frenar_izq();
  frenar_der();
  //Serial.println(" condicion_2 act");
  detec_obs();
  delay(4000);
  reposo();
  delay(2000);
  bandera ++;
}

else if(dist_der>20.0 && dist_der<30.0){ //si la condición anterior no se cumple, se revisa esta,
  //se verifica el valor del ultrasonico de la derecha y si está dentro del rango,
  //frena la llanta de la izquierda.
  frenar_izq();
  //Serial.println(" condicion_3 act");
  detec_obs();
  delay (4000);
  reposo ();
  delay (2000);
  bandera ++;
}

else if(dist_izq>20.0 && dist_izq<30.0){ //si no se cumple la condición anterior entonces se mira esta,
  //se revisa el valor del ultrasonico de la izquierda y si se encuentra dentro del rango,
  //frena la llanta derecha.
  frenar_der();
  //Serial.println(" condicion_4 act");
  detec_obs();
  delay (4000);
  reposo ();
  delay(2000);
  bandera ++;
}

else{ // si ninguna de las condiciones anteriores se cumple,
  //significa que no debemos frenar nada, por lo tanto se envia a los servomotores a posición de reposo.
  reposo();
  //Serial.println("sin obstaculo");
}
}
}

```

```

//FUNCIONES -----
float carga_bateria() { // función para lectura del valor de la batería, pasarlo de una lectura 0-4096
    float lectura = analogRead(PD_0);
    //Serial.println(lectura);
    float volt = lectura*(3.3 / 4095.0);
    float salida = volt*4.037; //4.037037 factor de escalamiento, depende de las resistencias del div de volt
    //Serial.print(salida);
    //Serial.println(" V");
    //delay (300);----
    return salida;
}

float medicion_frente1() { // función para obtener el valor que mide el primer ultrasonico del frente
    digitalWrite(trig_frente1, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig_frente1, LOW);
    duration = pulseIn(echo_frente1, HIGH, 5000);

    float cm = duration*0.034/2.0;
    return cm;
}

float medicion_frente2() { // función para obtener el valor que mide el segundo ultrasonico del frente
    digitalWrite(trig_frente2, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig_frente2, LOW);

    duration = pulseIn(echo_frente2, HIGH, 5000);

    float cm = duration*0.034/2.0;
    return cm;
}

float medicion_atras1() { // función para obtener el valor que mide el primer ultrasonico de atras
    digitalWrite(trig_atras1, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig_atras1, LOW);

    duration = pulseIn(echo_atras1, HIGH, 5000);

    float cm = duration*0.034/2.0;

    return cm;
}

float medicion_atras2() { // función para obtener el valor que mide el segundo ultrasonico de atras
    digitalWrite(trig_atras2, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig_atras2, LOW);

    duration = pulseIn(echo_atras2, HIGH,5000);

    float cm = duration*0.034/2.0;
    return cm;
}

float medicion_der() { // función para obtener el valor que mide el ultrasonico de la derecha
    digitalWrite(trig_der, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig_der, LOW);

    duration = pulseIn(echo_der, HIGH, 5000);

    float cm = duration*0.034/2.0;
    return cm;
}

float medicion_izq() { // función para obtener el valor que mide el ultrasonico de la izquierda
    digitalWrite(trig_izq, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig_izq, LOW);

    duration = pulseIn(echo_izq, HIGH, 5000);
    float cm = duration*0.034/2;

    return cm;
}

}

void frenar_izq() { //función para el frenado de la llanta izquierda.
    servol.write(FrenoIzq);
}

void frenar_der() { //función para el frenado de la llanta derecha.
    servo2.write(FrenoDer);
}

void reposo() { //función para dejar las llantas sin freno (libres)
    servol.write(155);
    Vactual_servo1=155;
    servo2.write(120);
    Vactual_servo2=120;
}
}

```

```
void encender_buzzer(){ // función para encender el buzzer (caso de batería baja).
  int ciclobat =1;
  while(ciclobat==1){
    digitalWrite (buzzer,HIGH);
    delay(250);
    digitalWrite (buzzer,LOW);
    delay (100);
    digitalWrite (buzzer,HIGH);
    delay(250);
    digitalWrite (buzzer,LOW);
    delay (550);
    batact=carga_bateria();
    if(batact<batbaja){
      ciclobat=1;
    }
    else{
      ciclobat=0;
    }
  }
}

void apagar_buzzer(){ // función para apagar el buzzer (batería con carga aceptable).
  digitalWrite (buzzer,LOW);
}

void detec_obs(){ // función alarma sonora de detección de obstaculo
  for (int a=0; a<5; a++){
    digitalWrite (buzzer,HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite (buzzer,LOW);
    delay (100);
  }
}

void conteo() {
  contador++;
}
```