



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA
PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA
BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

ÁREA: ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la información y sistemas de
control**

AUTOR: Diana Margarita Garcés Moncayo

TUTOR: Ing. Santiago Mauricio Altamirano

Ambato – Ecuador

Marzo – 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CUIDAD DE AMBATO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por la señorita Diana Margarita Garcés Moncayo, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2021.



Firmado electrónicamente por:
**SANTIAGO MAURICIO
ALTAMIRANO
MELENDEZ**

Ing. Santiago Altamirano
TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2021.



Diana Margarita Garcés Moncayo

C.C 1803571593

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita Diana Margarita Garcés Moncayo, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2021.



Firmado electrónicamente por:
**ELSA PILAR
URRUTIA**

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MARIO GEOVANNY
GARCIA CARRILLO**

Ing. Mario Geovanny García Carrillo
PROFESOR CALIFICADOR



Firmado electrónicamente por:
**ANA PAMELA
CASTRO**

Ing. Ana Pamela Castro Martin
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2021.



Diana Margarita Garcés Moncayo

C.C: 1803571593

AUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Juan Garcés y María Esther Moncayo quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas María Fernanda y María Daniela Garcés por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Diana Margarita Garcés Moncayo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres, Juan y María Esther, por ser los principales promotores de mi sueño, por confiar y creer en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a los docentes de la Universidad Técnica de Ambato a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al Ing. Santiago Altamirano tutor de mi proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Diana Margarita Garcés Moncayo

ÍNDICE GENERAL

Contenido

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
1.1 Tema de Investigación.....	16
1.2 Antecedentes Investigativos	16
1.2.1 Contextualización del Problema	16
1.2.2 Estudio del Arte	18
1.3 Fundamentación Teórica	21
1.3.1 Centro De Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones	21
1.3.2 Discapacidad.....	21
□ Deficiencia.....	22
□ Incapacidad.....	22
□ Minusvalía	23
1.3.3 Discapacidad Física	23
1.3.4 Tipos de Discapacidades Físicas.....	24
□ Daño cerebral adquirido	24
□ Lesión de la médula espinal (LME)	24
□ Espina bífida.....	25
1.3.5 Plejía	25
1.3.6 Silla de Ruedas.....	26
1.3.7 Sillas de ruedas de transporte.....	27
1.3.8 Sillas de posicionamiento	27
1.3.9 Sillas de ruedas eléctricas	28
1.3.10 Silla de Ruedas Bipedestadora.....	28
1.3.11 Partes de una silla Bipedestadora.....	29
1.3.12 Automatización.....	32

1.3.13 Modelo estructural de un sistema automatizado.....	33
1.3.14 Sistemas de Control	34
1.3.15 Componentes de un sistema de Control.....	35
1.3.16 Clasificación de los sistemas de control	36
1.3.17 Fuente de alimentación	37
1.3.18 Fuente de Alimentación Fijas	37
1.3.19 Batería.....	37
1.3.20 Motor	38
1.3.21 Motor de Corriente Continua.....	39
1.3.22 Clasificación de los motores de corriente continua	39
1.3.23 Joystick	40
1.3.24 Dispositivos lógicos de control.....	41
1.3.25 Microcontrolador	41
1.3.26 Sensor.....	42
1.3.27 Tipos de Sensor.....	43
1.4 Objetivos	44
1.4.1 Objetivo General.....	44
1.4.2 Objetivos Específicos	44
1.5 Descripción de Objetivos	44
CAPÍTULO II	46
METODOLOGÍA	46
2.1 Materiales	46
2.2 Métodos	47
2.2.1 Modalidad de Investigación.....	47
2.2.2 Recolección de Información	47
2.2.3 Procesamiento y Análisis de datos.....	48
2.2.4 Desarrollo del Proyecto	48
CAPÍTULO III.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	50
3.2 Análisis de Factibilidad.....	50
3.3 Desarrollo de la propuesta	51
3.3.1 Requerimientos para el desarrollo del sistema	51
3.3.2 Análisis de la silla de Ruedas Bipedestadora.....	51
3.3.3 Diagrama de bloques del sistema.....	54

3.3.4 Selección de los elementos para la implementación del sistema del control de movimiento	55
3.3.4.1 Motores	55
3.3.4.2 Driver de Motor	67
3.3.4.3 Baterías	72
3.3.4.4 Cargador de Baterías.....	73
3.3.4.5 Joystick	74
3.3.4.6 Microcontrolador	78
3.4 Análisis de Resultados.....	91
CAPITULO IV	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
4.1 Conclusiones	98
4.2 Recomendaciones	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Deficiencias, Incapacidades y Minusvalías [9].....	23
Tabla 2. Clasificación de los sensores [27].....	43
Tabla 3. Detalle de pesos de la silla bipedestadora.....	56
Tabla 4. Cuadro comparativo de motores.....	62
Tabla 5. Cuadro comparativo de controladores de motor.....	68
Tabla 6. Cuadro comparativo de baterías.....	72
Tabla 7. Cuadro comparativo de cargador de batería [31].....	74
Tabla 8. Cuadro comparativo de joystick.....	75
Tabla 9. Valores de posiciones del joystick.....	76
Tabla 10. Características de Microcontroladores [33].....	78
Tabla 11. Datos de transistor 2N3904.....	80
Tabla 12. Datos de distancia a la que el zumbador se activa.....	86
Tabla 13. Tiempos tomados en un recorrido de 9m en superficie plana.....	92
Tabla 14. Tiempos tomados en un recorrido de 19m en plano inclinado.....	93
Tabla 15. Tiempos tomados en un recorrido de 9m en superficie plana.....	94
Tabla 16. Tiempos tomados en un recorrido de 19m en plano inclinado.....	94
Tabla 17. Preguntas escala de usabilidad del sistema SUS [36].....	95
Tabla 18. Pruebas de Distancia y sonido.....	96
Tabla 19. Presupuesto utilizado en el proyecto.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sillas de ruedas de transporte [13].....	27
Figura 2. Silla de Posicionamiento [12].....	27
Figura 3. Silla eléctrica con chasis fijo [12].....	28
Figura 4. Silla eléctrica con chasis plegable [12].....	28
Figura 5. Silla de Ruedas Bipedestadora [14].....	29
Figura 6. Asiento de la silla bipedestadora	29
Figura 7. Respaldo de la silla bipedestadora.....	30
Figura 8. Reposapiés de la silla bipedestadora	30
Figura 9. Reposabrazos de la silla bipedestadora	30
Figura 10. Ruedas delanteras giratorias de la silla bipedestadora.....	31
Figura 11. Ruedas traseras propulsoras de la silla bipedestadora.....	31
Figura 12. Aros propulsores de la silla bipedestadora	32
Figura 13. Aros propulsores de la silla bipedestadora	32
Figura 14. Modelo Estructural de un Sistema Automatizado [16]	33
Figura 15. Sistema de Control [17].....	34
Figura 16. Distintos tipos de entrada aplicados a los sistemas de control [17].....	34
Figura 17. Diagrama de bloques de sistema de control en lazo abierto [20].	36
Figura 18. Batería del Proyecto de Investigación	38
Figura 19. Motor de Corriente Continua YALU.....	40
Figura 20. Joystick para Arduino [25].	41
Figura 21. Diagrama de bloques de un microcontrolador [26].....	42
Figura 22. Silla bipedestadora.....	52
Figura 23. Estado de la silla bipedestadora.....	53
Figura 24. Joystick instalado en la silla de ruedas bipedestadora.....	53
Figura 25. Diagrama de bloques de control de movimiento de silla bipedestadora .	54
Figura 26. Diagrama de cuerpo libre para el dimensionamiento de potencia del motor en una superficie plana	56
Figura 27. Pendientes longitudinales establecidas en la norma NTE INEN 2245 [29].	59
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre para el dimensionamiento de potencia del motor en un plano inclinado.....	60
Figura 29. Motor YALU MY1016Z	63
Figura 30. Vista de catalinas y motor ensamblado en la silla de ruedas bipedestadora	65
Figura 31. Motor acoplado al mecanismo catalina-cadena.....	65
Figura 32. Simulación 3D acople de motores en programa cocodrile	66
Figura 33. Esquema de conexión de motores	67
Figura 34. Respuesta lineal del arranque de los motores.....	70
Figura 35. Respuesta lineal del arranque de los motores.....	70
Figura 36. Configuración de los micro-switch del driver de motor.....	71

Figura 37. Esquema de conexión del driver de motor	71
Figura 38. Esquema de conexión de las baterías	73
Figura 39. Grafica de velocidad de motores	77
Figura 40. Grafica de valores intermedios de posición de joystick	77
Figura 41. Oscilador externo tipo XT, conexión de reset y control de voltaje del microcontrolador	80
Figura 42. Circuito de transistor BJT para zumbador	82
Figura 43. Filtro RC de señales PWM	82
Figura 44. Diagrama electrónico del sistema de control de movimiento	83
Figura 45. Flujograma etapa de control de movimiento	85
Figura 46. Flujograma etapa de detección de proximidad de objetos.....	87
Figura 47. Esquema eléctrico del sistema de control de movimiento.....	88
Figura 48. Diseño de placa de Control programa Proteus	88
Figura 49. Diseño de placa de Control programa Proteus PCB layout y 3D Visualizer	89
Figura 50. Impresión de circuito y soldadura de elementos electrónicos	89
Figura 51. Diseño de caja para joystick programa SolidWorks.....	90
Figura 52. Diseño de caja para driver de motor en programa SolidWorks.....	90
Figura 53. Impresión en 3D de cajas para materiales	90
Figura 54. Prueba de sistema de control en silla levantada superficie plana	92
Figura 55. Prueba de sistema de control con bipedestador en plano inclinado	92
Figura 56. Prueba de sistema de control en silla normal superficie plana.....	93
Figura 57. Prueba de sistema de control en silla normal plano inclinado.....	94

RESUMEN

La investigación como el crecimiento tecnológico de los equipos de movilidad para personas con discapacidad han permitido la construcción de herramientas que facilitan su forma de vida; el proyecto implementa un sistema de control de movimiento para que el paciente no dependa del personal de salud o de algún familiar para realizar sus actividades; el principal beneficiario es un paciente del “Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones”.

En la actualidad ya existen equipos para personas con capacidades especiales que han sido automatizadas sin embargo el costo de adquisición es muy elevado lo cual es una limitación para varias personas minusválidas de escasos recursos.

Para el desarrollo del proyecto se diseñó e implemento un sistema de control de lazo abierto; donde la entrada está determinada por un joystick que genera dos señales analógicas que representan las posiciones de los motores DC, esas señales son ingresadas al microcontrolador ATMEGA 328 donde se realiza una conversión de las señales analógicas a dos señales PWM que ingresan al driver de motor mediante un filtro RC. Finalmente, los motores ejercerán acción sobre el proceso mecánico permitiendo el movimiento de las ruedas traseras propulsores de la silla bipedestadora. Como una señal de entrada adicional se tiene un ultrasónico el cuál mide la distancia utilizando ondas ultrasónicas, que es procesado por el microcontrolador y a cierta distancia emite frecuencias de sonido distintas

El presente trabajo implementa un prototipo de sistemas de control de movimiento para una silla bipedestadora, la cual pueda ser fácilmente manejada por el paciente y se pueda obtener datos de usabilidad para el mejoramiento que la silla pueda tener el mercado.

Palabras clave: Automatización, control, joystick, sistema electrónico, sistema motor-catalina-cadena.

ABSTRACT

Research and the technological growth of mobility equipment for people with disabilities have allowed the construction of tools that facilitate their way of life; The project implements a movement control system so that the patient does not depend on health personnel or a family member to carry out their activities; the main beneficiary is a patient from the "Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones".

At present there are already equipment for people with special abilities that have been automated, however the acquisition cost is very high, which is a limitation for several disabled people with limited resources.

For the development of the project, an open loop control system was designed and implemented; where the input is determined by a joystick that generates two analog signals that represent the positions of the DC motors, these signals are input to the ATMEGA 328 microcontroller where a conversion of the analog signals is made to two PWM signals that enter the motor driver through an RC filter. Finally, the motors will exert an action on the mechanical process allowing the movement of the rear driving wheels of the standing chair. As an additional input signal there is an ultrasonic which measures the distance using ultrasonic waves, which is processed by the microcontroller and at a certain distance emits different sound frequencies.

The present work implements a prototype of motion control systems for a standing chair, which can be easily managed by the patient and usability data can be obtained for the improvement that the chair may have on the market.

Keywords: Automation, control, joystick, electronic system, engine-catalyst-chain system.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de Investigación

SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO.

1.2 Antecedentes Investigativos

1.2.1 Contextualización del Problema

Se considera que Ecuador es uno de los países más pequeños de Sudamérica y según datos publicados por el Banco Mundial el país alcanzo los 17,373,662 de habitantes en el año 2019 [1]. Desde el año 2007 se tuvo una cifra clara de personas con discapacidad cuando se puso en marcha la Misión Solidaria Manuela Espejo que tiene entre sus funciones el diagnóstico geo referencial de las personas con discapacidad en el país [2].

El Consejo Nacional Para La Igualdad De Discapacidades CONADIS en su página web indica que existen 481,392 habitantes con discapacidad, de los cuales la mayor prevalencia se encuentra en los hombres (56.04%), en las mujeres existe un porcentaje menor del 43.96%; por grupos de edad se tiene secciones de entre 0 y 3 años que son los que menos discapacidad tienen (0.43%) y la fracción de personas de 36 a 64 años

son las que más han desarrollado alguna discapacidad (40.11%), la discapacidad física es la más común y el mayor grado es del 30% al 49% [3].

La prioridad de la atención a las personas discapacitadas en la mayor parte del mundo y especialmente en Ecuador ha pasado de ser un sistema de salud asistencialista e irrelevante para convertirse en una prioridad de un sistema social, centrado en la atención inclusiva de las personas con discapacidad, orientado hacia el desarrollo de sus capacidades individuales y colectivas y la eliminación de las barreras que dificultan su plena participación [2].

Conforme a datos publicados en el año 2020 en la página web del CONADIS, en la provincia de Tungurahua existen 13,542 personas con discapacidad y en la ciudad de Ambato 7,949 de los cuales 3,041 presentan discapacidad física, por lo que este proyecto surge ante la necesidad de contribuir y como principal beneficiario el Señor Cristian Núñez paciente del “Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones” a mejorar su calidad de vida desarrollando el control de movimiento de una silla bipedestadora que reduzca la dificultad para moverse [3].

Es necesario implementar un sistema de control automático de movimiento para una silla bipedestadora con el fin de mejorar los métodos de rehabilitación, técnicas de recuperación y garantizar la salud de los pacientes. La importancia del control de movimiento de la silla bipedestadora es para que las personas con limitación para caminar se sientan autosuficientes y no dependan del personal de salud o algún familiar para realizar sus actividades diarias, eliminando en cierta medida las dificultades de desplazamiento de un lugar a otro en sillas mecánicas que obligan a un elevado esfuerzo de otras partes del cuerpo humano.

El proyecto de investigación es factible de realizar ya que para el desarrollo de la investigación se cuenta con información actualizada como tesis, libros, artículos científicos, antecedentes investigativos, etc., asimismo existen sillas bipedestadoras que han sido automatizadas, pero tienen un costo elevado y no están al alcance de todas las personas con discapacidad por lo que se propone hacerlo optimizando recursos y a un bajo costo.

1.2.2 Estudio del Arte

El estudio de la discapacidad en todas sus manifestaciones ha sido un impulso para el desarrollo de distintos proyectos de investigación que ayudan de alguna manera sea más llevadera creando prototipos, automatizando, creando modelos a menor costo y que permitirán un mejor movimiento y rehabilitación de las personas, se analizaron investigaciones de gran relevancia que se presentan a continuación [4].

- Luis Fernando Bedón en su tesis “Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación” (Universidad Técnica de Ambato – Ecuador 2017) describe que el sistema de control que desarrolló consta principalmente de cinco bloques.

En el bloque de sensores y señales de control se encuentran los dispositivos que interactúan con el medio físico donde un joystick y un botón permiten la bipedestación de la silla; el bloque de alimentación del sistema es el encargado de suministrar la energía necesaria para que los dispositivos de potencia y de control funcionen correctamente; se tiene un bloque de control de motores los cuales son configurados y puestos en acción a través de una interface con que utiliza tecnología SPI; el beneficiario que deba operar el botón que actúa en la extensión de la silla pertenece al bloque de control de extensión y el último bloque es el de control y toma de decisiones cuya principal función es ejecutar todas las operaciones de control sobre el sistema mediante un microcontrolador de Arduino.

Dentro del ultimo bloque se encuentra la transferencia de datos que sirve para tener una estadística de los sensores presentes en la silla como son el estado de la batería, la temperatura del sistema y la extensión de la silla, esta transferencia de datos se lo realiza mediante comunicación serial entre el microcontrolador de Arduino y un Raspberry PI. El sistema de mandos asociado al sistema de control de la silla, lo basó en sistemas análogos que le dan una lectura más exacta, en el joystick se ajustaron señales linealizadas del conversor ADC que

permitieron que los movimientos de los motores y por ende de la silla no sean rudos, para el sistema de carga de baterías se diseñó un circuito de desconexión lo que les da una vida útil más larga. [4].

- José Luis Varela en su tesis “Sistema de Control Automático para el Posicionamiento de una Silla de Ruedas Eléctrica” (Universidad Técnica de Ambato – Ecuador 2014) expone que utilizó dos modelos para el sistema de control automático para el posicionamiento de una silla de ruedas eléctrica, el modelo cinemático el cuál se refiere al movimiento que puede ser desarrollado con cualquier tipo de silla de ruedas del tipo unicycle y que posee como característica fundamental dos motores controlados independientemente; para medir la velocidad ocupó codificadores ópticos lineales que manejan tecnología TTL Y HTL y el método dinámico que es el que admite el funcionamiento de la silla de ruedas tomando en consideración las fuerzas internas y externas que están presentes en el sistema silla-hombre [5].

Dentro de esta silla se implementó el circuito de control el cual permite monitorizar la velocidad lineal y velocidad angular que es aplicado de forma similar en los robots comerciales móviles, para el control de posición manejó el método Lyapunov que afirmó la estabilidad asintótica, el ocupar un sistema en cascada proporcionó un control independiente tanto en la parte cinemática como en la parte dinámica [5].

- Los investigadores O. Tambaco, D. Ortiz y F. Valencia en su artículo científico “Silla de ruedas mecatrónica bipedestadora para personas parapléjicas” (Universidad Técnica del Norte, Ibarra -Ecuador 2016) exponen que para un movimiento adecuado es necesario utilizar motores de kits de bicicletas eléctricas del tipo Brushless ya que estos permiten una mejor eficacia de las baterías; indican que es necesario la utilización de actuadores eléctricos lineales porque permiten una mejor precisión del control de la bipedestación y frenado de la silla esto para que los usuarios no presenten mareos u otras

molestias por el movimiento brusco de posición [6].

Para el desarrollo de la silla de ruedas utilizaron herramientas computacionales que prometen un mecanismo eficaz como son CAD, CAE, FEA y que se aprueban con el método de elementos finitos, la silla de ruedas bipedestadora cumplió con los parámetros apropiados de ergonomía, seguridad y funcionalidad para un movimiento controlado. [6].

- Las investigadoras Johanna Armijos y Tania Criollo relatan en su proyecto de titulación “Diseño y construcción de una silla de bipedestación eléctrica para personas cuadripléjicas activada por voz, de bajo costo” (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito-Ecuador 2018) la importancia de un sistema estable y seguro compuesto por un mecanismo de paralelogramo y motor lineal que permite el movimiento de bipedestación, en este sistema la silla puede trasladarse de forma independiente utilizando motores principales especiales y una placa de control diseñada especialmente para los mismos [7].

Para que los motores varíen su velocidad sin que se pierda fuerza o capacidad de tracción se aplica una modulación por ancho de pulso, esta funcionalidad está presente en un transistor de tecnología MOSFET y que al activarse los motores principales debido a la variación de ancho de pulso se obtuvo un ligero sonido, pero no hubo calentamiento de los mismos: en el motor lineal no existe ninguna clase de interferencia por lo que funciona correctamente [7].

El módulo de control por voz consiguió respuesta en menos de un segundo, el mecanismo de bipedestación trabajó correctamente y completó su movimiento en 25 segundos esto para evitar que el paciente sufra algún accidente; se realizaron pruebas con un paciente parapléjico y los resultados fueron favorables por lo que el sistema fue adecuado. [7].

- Sreejith. T, Vishnu. J, Gopika Vijayan en su artículo científico “Trackball

Controlled Novel, Cost Effective Electric Wheelchair” (Conference on control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT, Kannur-India 2018) exponen una silla de ruedas económicamente inteligente controlada por un motor de CC utilizando un sensor trackball que es un dispositivo apuntador de entrada compuesto de una bola sostenida por un accesorio que contiene sensores para distinguir un giro de la bola en dos ejes y que el cliente lo manipula usando el dedo pulgar o la palma de la mano.

La regulación de la velocidad se lo realiza mediante un control de lazo cerrado con pwm para tener una velocidad constante, consta de un microcontrolador Arduino, sensores ultrasónicos, 2 motores de CC, circuito de potencia y controladores. El sistema es de bajo costo y asequible para cualquier paciente [8].

1.3 Fundamentación Teórica

1.3.1 Centro De Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones

El centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones de la ciudad de Ambato ofrece atención a niños y adultos con secuelas de lesiones neurológicas, parálisis cerebral, accidente cerebro vascular y síndromes, se encuentra en constante crecimiento con el fin de mejorar los métodos de rehabilitación y técnicas de recuperación garantizando la salud de los pacientes.

1.3.2 Discapacidad

Se conoce como discapacidad a una situación diversa que involucra la interacción de una persona en sus aspectos físico o psíquicos con los elementos de la sociedad en la que se desenvuelve y vive [9].

Dentro del término de discapacidad se incluyen un sin número de dificultades, como problemas en la estructura o función del cuerpo humano como la sordera, sordoceguera, ceguera, parálisis, etc [9].

Pasando a limitaciones en la dificultad o limitación en la realización de tareas o acciones, estas limitaciones dificultan la participación del hombre en situaciones de la vida cotidiana, aproximadamente 600 millones de personas en el mundo y 85 millones en América latina que es cerca del 10% de la población mundial muestra alguna discapacidad; de estas el 80% vive en países pobres y pertenece a personas de bajos recursos; la mayoría no tienen acceso a servicios de rehabilitación y procuran en su vida diaria satisfacer sus necesidades básicas, como la alimentación y la vivienda. Los índices de discapacidad aumentan por distintos motivos: desnutrición, conflicto armado, VIH-sida, minas antipersona, desastres naturales enfermedades crónicas, entre otros lo que ha causado una gran demanda en los servicios de salud [9].

El significado de discapacidad ha evolucionado a través de la historia con el tipo de discapacidad y posiblemente con el acuerdo de posición y aceptación de la sociedad respecto a cada una de ellas. La entidad rectora de la salud en el mundo OMS indica la clasificación que las distingue entre deficiencia, incapacidad y minusvalía (ver Tabla 1): [9].

- **Deficiencia**

Hace referencia a la pérdida o deformidad de una función o estructura anatómica, psicológica o fisiológica. Las deficiencias son perturbaciones en cualquier miembro u órgano, que contienen defectos en extremidades, órganos u otras partes del cuerpo, también en alguna función mental, o la pérdida de cualquiera de los órganos o funciones [9].

- **Incapacidad**

Es la limitación o inexactitud para para ejecutar una actividad en la forma o dentro del margen que se piensan normales para un ser humano debido a una

insuficiencia de la capacidad, esto abarca las restricciones funcionales o los impedimentos para ejecutar una actividad que se originan de una deficiencia [9].

- **Minusvalía**

Hace referencia a un suceso desventajoso para una persona considerando factores como la edad, el género, factores sociales y/o culturales, dando resultados de una deficiencia o incapacidad, que lo restringe o le imposibilita de redimir una función estimada normal en su caso [9].

Este término se lo puede denominar como una clasificación de “las situaciones en las que es posible que se localicen las personas discapacitadas”. La minusvalía refiere al contexto social y económico de las personas discapacitadas, perjudicial en comparación con la de otras personas. Este escenario de desventaja sale a través de la interacción de la persona con ambientes y culturas determinados [9].

Tabla 1. Deficiencias, Incapacidades y Minusvalías [9]

Deficiencias	Intelectuales. Psicológicas. Lenguaje Órgano de la audición. Órgano de la visión. Musculoesqueléticas, Sensitivas y otras.
Incapacidades	Conducta. Comunicación. Cuidado personal. Locomoción. Disposición del cuerpo. Destrezas y aptitudes.
Minusvalías	Orientación. Independencia física. Movilidad. Ocupacional. Integración social. Autosuficiencia económica. Otras minusvalías.

1.3.3 Discapacidad Física

La definición de discapacidad física es bastante amplia ya que los tipos, causas y forma

en que impactan en la vida de una persona son bastante extensas y usualmente ilimitadas, puntualmente se podría decir que es una condición que afecta considerablemente a una o más actividades significativas de la vida [10].

1.3.4 Tipos de Discapacidades Físicas

Dentro de las discapacidades físicas se incluye los trastornos hereditarios o genéticos además de las lesiones graves; estas discapacidades físicas pueden afectar, ya sea temporal o permanentemente, la capacidad física y/o movilidad de una persona, dentro de estas discapacidades se encuentran las siguientes [10]:

- **Daño cerebral adquirido**

Las contusiones cerebrales adquiridas corresponden al daño que le ocurre al cerebro posterior del nacimiento y que pueden ser permanentes o temporales. Se dice que podrían ser causados por una extensa gama de factores como golpes en la cabeza, accidentes cerebrovasculares, alcohol o drogas, infecciones, enfermedades como el SIDA o cáncer, o la falta de oxígeno. Es frecuente que diversas personas con una lesión cerebral hayan desarrollado problemas para analizar información, planificar y resolver problemas. Se pueden notar cambios en su conducta y personalidad, destrezas físicas y sensoriales, o pensamiento y aprendizaje [10].

- **Lesión de la médula espinal (LME)**

Esta discapacidad además de afectar a la capacidad de moverse a través de la parálisis, consigue afectar diversas partes del cuerpo de las personas, como los sistemas cardiovascular y respiratorio, el funcionamiento de la vejiga y los intestinos, la temperatura y las respuestas sensoriales. Aquí está comprometida la médula espinal por lo que puede lesionarse si se emplea una excesiva presión y/o si se impide el suministro de sangre y oxígeno a la misma; cuando esta se ha dañado, conduce a una pérdida de funciones necesarias, como la movilidad o la

sensación. Para la mayoría de personas, una lesión de la médula espinal causa paraplejía (pérdida de la función debajo del tórax), y para otras conduce a tetraplejía (pérdida de la función debajo del cuello). Los accidentes principalmente causados por automóviles y caídas provocan el 79% lesiones en la médula espinal. Existen otras causas que provocan estas lesiones y son el cáncer la artritis, infecciones, coágulos sanguíneos y afecciones espinales degenerativas [10].

- **Espina bífida**

La causa de este tipo de discapacidad no se conoce perfectamente, se dice que puede ser ocasionada por factores ambientales y genéticos. Uno de los importantes descubrimientos hasta la actualidad es que puede ser generada por la ingesta inadecuada de ácido fólico de la madre durante los primeros meses de gestación [10].

La espina bífida es la formación inconclusa de la columna vertebral y la médula espinal en el útero, se dice que la médula espinal y los nervios están ubicados en la superficie de la espalda, en vez de estar dentro de un conducto de hueso contenido de músculo [10].

Las personas con espina bífida perciben una complejidad de discapacidades físicas de ligeros a graves, como parálisis o extenuación en las piernas, incontinencia intestinal y vesical, hidrocefalia (excesivo líquido en las cavidades cerebrales), desproporciones de la columna vertebral y problemas de aprendizaje [10].

1.3.5 Plejía

Se conoce como plejía a la afectación motora de grado superior que provoca poca o ninguna movilidad de los músculos del cuerpo humano conocida como parálisis muscular. Las plejías según su complejidad se clasifican en: [11].

- **Tetraplejía o tetraparesia**

Se produce la tetraplejía o tetraparesia cuando las cuatro extremidades del cuerpo humano son afectadas [11].

- **Triplejía o triparesia**

Esta condición se produce cuando tres de las cuatro extremidades del cuerpo humano son afectadas. La mayoría de las veces el miembro que no se ve afectado corresponde al tren motor superior [11].

- **Hemiplejía o hemiparesia**

Se conoce como hemiplejía o hemiparesia cuando se ve afectada la función motora de un hemisferio del cuerpo humano ya sea el derecho o el izquierdo [11].

- **Diplejía o diparesia**

La diplejía se conoce como una pérdida motora de las cuatro extremidades del cuerpo humano, produce una mínima afectación el tren motor superior [11].

- **Monoplejía o monoparesia**

Esta plejía se produce cuando la disminución del movimiento se localiza en un solo miembro del cuerpo humano [11].

1.3.6 Silla de Ruedas

Las sillas de ruedas ayudan y facilitan el desplazamiento de personas que no pueden movilizarse por sí mismos, estos equipos son parte de las ayudas técnicas o dispositivos físicos que facilitan el trabajo del aparato locomotor, son vehículos individuales que benefician a las personas que han perdido, de forma permanente, total

o parcial, la capacidad de desplazarse [12].

1.3.7 Sillas de ruedas de transporte

Es una silla de ruedas manual operada por un acompañante. Está formada por un chasis rígido, reposapiés y reposabrazos, estos pueden ser abatibles y removibles, los asientos suelen ser acolchados y de material impermeable (ver Figura 1) [12].



Figura 1. Sillas de ruedas de transporte [13]

1.3.8 Sillas de posicionamiento

Estos dispositivos son adecuados para personas que tienen poca o nula movilidad y que no pueden ejecutar los cambios de postura de forma independiente (ver Figura 2). El objetivo de estas sillas es mantener la postura de las personas de forma adecuada [12].



Figura 2. Silla de Posicionamiento [12]

1.3.9 Sillas de ruedas eléctricas

Son sillas que son programadas mediante una consola informática, tienen características importantes que se adaptan a las necesidades de los usuarios como son la regulación de velocidad, el control de la aceleración y desaceleración. Se conducen mediante un joystick y cuentan con motores de 24V entre 100 y 450W de potencia, se alimentan con baterías de 12V que deben ser recargadas constantemente y existen de dos tipos con chasis fijo (ver Figura 3) y con chasis plegable (ver Figura 4) [12].



Figura 3. Silla eléctrica con chasis fijo [12]



Figura 4. Silla eléctrica con chasis plegable [12]

1.3.10 Silla de Ruedas Bipedestadora

Es un tipo de silla que le permite al usuario levantarse en forma de bipedestación, es decir, una posición en la que el cuerpo este derecho y sujetado por reposapiés, correas

respaldos, reposabrazos, etc. como se muestra en la Figura 5 [14].



Figura 5. Silla de Ruedas Bipedestadora [14]

1.3.11 Partes de una silla Bipedestadora

Los componentes de la silla de bipedestación dependen de la marca, del tipo y del diseño. Las partes más importantes son:

- **Asiento.** - Da soporte al tronco del usuario y debe ser acorde a las medidas antropométricas de las personas (ver Figura 6) [14].



Figura 6. Asiento de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

- **Respaldo.** – Cumple la función de apoyo y confort para la espalda del usuario, tiene agarraderas para sostener el torso del paciente (ver Figura 7) [14].



Figura 7. Respaldo de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

- **Reposapiés.** – Permite que el usuario coloque los pies y sirve para realizar algunas acciones como subir gradas y el traslado de la persona (ver Figura 8) [14].



Figura 8. Reposapiés de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

- **Reposabrazos.** – Ayuda en la facilidad del movimiento de los brazos del usuario (ver Figura 9) [14].



Figura 9. Reposabrazos de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

- **Ruedas delanteras giratorias.** – Son las encargadas de conducir y generar la movilidad de la silla de ruedas (ver Figura 10) [14].



Figura 10. Ruedas delanteras giratorias de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

- **Ruedas traseras propulsoras.** – Estas ruedas son las que dan el impulso a la silla de ruedas (ver Figura 11) [14].



Figura 11. Ruedas traseras propulsoras de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

- **Aros propulsores.** – Estos aros son los que permiten el desplazamiento de la silla, ven sujetas a las ruedas traseras propulsoras (ver Figura 12) [14].



Figura 12. Aros propulsores de la silla bipedestadora
Elaborado por: Investigadora

- **Frenos.** – Sirven para parar el movimiento de la silla (ver Figura 13) [14].



Figura 13. Aros propulsores de la silla bipedestadora
Elaborado por: Investigadora

1.3.12 Automatización

La automatización establece uno de los objetivos más importantes de las empresas que siempre se encuentran en una búsqueda constante de la competitividad en un entorno cambiante, se trata de la unión de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que certifiquen su control y un buen comportamiento de la producción [15].

Históricamente la automatización se ha enfocado en la reducción de costos de fabricación, mejorar constantemente la calidad de los procesos de producción y lo más importante de liberar al ser humano de las tareas peligrosas, innecesarias e insalubres [15].

La tecnología de la automatización junto con la aparición de la microelectrónica y el computador han permitido que sea posible un mayor nivel de interacción entre el sistema productivo y los centros de política empresarial. La tecnología de la automatización se basa en automatismos, dispositivos de aplicaciones específica y dispositivos lógicos de control [15].

1.3.13 Modelo estructural de un sistema automatizado

En la Figura 14 se aprecia el modelo estructural de un sistema automatizado el cual se clasifica en dos partes: parte operativa y parte de control o mando. La parte operativa se encarga de realizar funciones determinadas para la fabricación de operaciones de mecanizado y está formada por un conjunto de máquinas, subprocesos y dispositivos. La parte de mando coordina las distintas operaciones que le permiten a la parte operativa permanecer funcional [16].

En cada parte del modelo estructural del sistema automatizado se tienen dispositivos que aseguran el control y correcto funcionamiento del sistema [16].

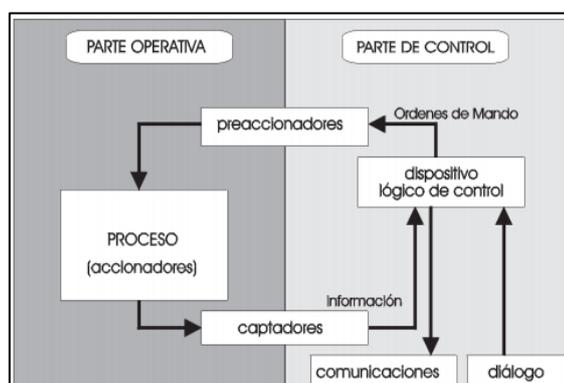


Figura 14. Modelo Estructural de un Sistema Automatizado [16]

1.3.14 Sistemas de Control

Un sistema de control es una configuración formada por la interconexión de elementos que se denomina sistema y se tiene un arreglo resultante que puede controlarse por sí mismo. Un componente del sistema o sistema $g(t)$ se representa mediante bloques y es susceptible de ser controlado, se aplica una señal de entrada $r(t)$ y se obtiene una salida o respuesta $y(t)$ (ver Figura 15) [17].

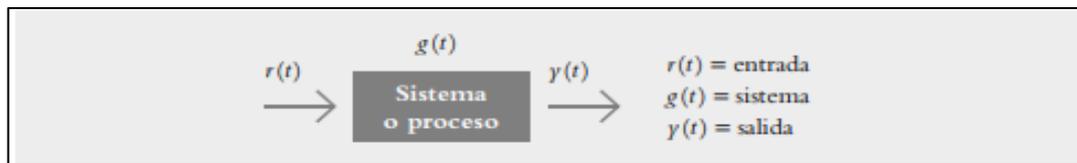


Figura 15. Sistema de Control [17]

La relación entrada-salida se considera como un proceso de causa y efecto con el sistema, en donde la salida está relacionada con la entrada. Como señales de entrada adecuadas de los sistemas de control se tiene el escalón, rampa e impulso (ver Figura 16). Si se ingresa una señal escalón se puede conocer que el comportamiento de la entrada del sistema es constante, mientras que si se introduce una rampa el comportamiento de la entrada es continuo en el tiempo, la señal impulso se dice que es una señal de prueba con magnitud grande y de corta duración [17].

Como representación matemática del sistema se tiene una función de transferencia o una respuesta a la función impulso. Fundamentalmente, el problema de control radica en escoger y ajustar un conjunto determinado de elementos tal que, al interconectarse, el sistema resultante tendrá que comportarse de un modo específico [17].

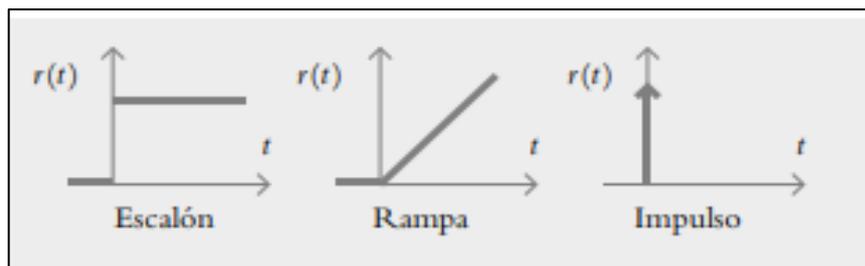


Figura 16. Distintos tipos de entrada aplicados a los sistemas de control [17].

1.3.15 Componentes de un sistema de Control

En la actualidad tiene gran preeminencia la aplicación de los sistemas de control automático en las empresas ya que permite tener vigiladas algunas variables como la temperatura, humedad, luz, viscosidad, presión, densidad, entre otras. El objetivo del sistema de control es cuidar que estas variables estén estables y cuyos elementos básicos son los siguientes [18].:

- Transductor (Sensor/Transmisor).
- Controlador.
- Actuador.

Estos tres elementos nombrados son importantes ya que cada uno realiza una función necesaria, estos dispositivos ser parte de cualquier sistema de control que se tenga, las operaciones son las siguientes [18]:

- **Medición**

Se la realiza mediante la combinación entre sensor y transmisión [18].

- **Decisión**

El controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea, se lo puede realizar en un sistema de lazo abierto o en un sistema de lazo cerrado [18].

- **Acción**

Es el resultado de la decisión del controlador y se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es ejecutada por el elemento final de control [18].

1.3.16 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y en sistemas de lazo cerrado; se los aplica según la función y diseño requerido [18].

- **Sistema de Control en Lazo Abierto**

Se menciona de lazo abierto ya que la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir, la salida no es medida ni es realimentada para compararla con la entrada. Cada entrada opera con una condición de operación fija por lo tanto una correcta calibración permite la precisión correcta del sistema, si se presentan perturbaciones el sistema de control en lazo abierto no trabaja correctamente. En la práctica este sistema se lo utiliza cuando no haya perturbaciones externas ni internas y solo si se conoce la relación entrada-salida [19].

El diagrama de bloques del sistema de control de lazo abierto (ver Figura 17) está formado por la señal de mando que es la que indica que existe una acción que está haciendo que el sistema funcione, existe una unidad de control que tiene un componente llamado transductor el cual se encarga de descifrar la señal de mando es decir el valor de la señal de entrada, esta señal de entrada es interpretada por el sistema lo que lo hace funcionar y se tiene la salida que indica el resultado del funcionamiento u operación del sistema [20].

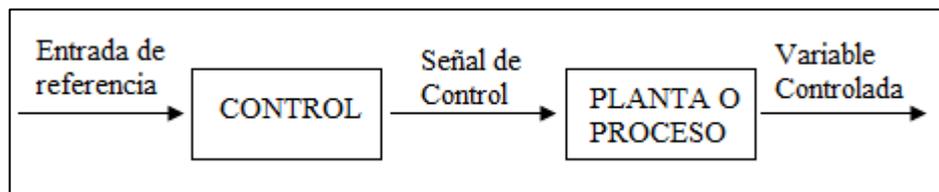


Figura 17. Diagrama de bloques de sistema de control en lazo abierto [20].

- **Sistemas de Control en lazo cerrado**

Se denominan de lazo cerrado porque tiene realimentación, este término implica el

uso de una realimentación de control para disminuir el error del sistema [18].

La diferencia entre una señal de entrada y una señal de retroalimentación es la señal de error de activación con la que se alimenta al controlador, esto con el propósito de disminuir el error y tener una señal de salida del sistema del lazo cerrado en un valor deseado. Puede ser que la señal de retroalimentación sea la misma que la señal de salida o a su vez una función de las derivadas o integrales [19].

1.3.17 Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación se encarga de transformar el voltaje alterno de la red a una tensión o voltaje continuo, el objetivo primordial de una fuente de alimentación es brindar el voltaje apropiado para el funcionamiento adecuado de los dispositivos electrónicos [21].

1.3.18 Fuente de Alimentación Fijas

Una fuente de alimentación fija es aquella que suministra un voltaje o corriente fijo o continuo es decir el flujo de carga se desplaza en una sola dirección [22].

Las fuentes de voltaje de cd pueden dividirse en tres categorías: baterías, generadores y fuentes de alimentación [22].

1.3.19 Batería

La batería es la fuente de corriente directa más común; es la composición de dos o más celdas semejantes, conociendo a una celda como la fuente esencial de energía eléctrica proveniente de la transformación de energías ya sea solar o química. Las celdas se dividen en tipo primario y tipo secundario [22].

Las celdas conocidas como de tipo primario no son recargables a diferencia del tipo secundario que si lo son porque su reacción química logra ser invertida para reponer su capacidad lo que indica una gran ventaja al reducir el costo de reemplazar regularmente celdas primarias descargadas [22].

Las baterías de tipo secundario más conocidas son las de ácido-plomo que se las utiliza en automóviles y las baterías de níquel-cadmio que se las utiliza en rasuradoras eléctricas, calculadoras, etc [22].

Cada batería está formada por dos electrodos, uno positivo y otro negativo; un electrolito que completa el circuito entre los electrodos que se encuentran adentro de la batería y que es un componente de contacto y fuente de iones indispensable para que se realice conducción entre los terminales [22].

La batería que se utilizó en el proyecto de investigación se muestra en el Figura 18.



Figura 18. Batería del Proyecto de Investigación

Elaborado por: Investigadora

1.3.20 Motor

Es una máquina que mediante la transformación de energía realiza un trabajo, los motores se identifican por el tipo de transformación de energía que realiza puede ser térmica, eléctrica, etc. [23].

1.3.21 Motor de Corriente Continua

Es una máquina capaz de transformar corriente continua entregada como energía eléctrica a energía mecánica, su funcionamiento está relacionado con el efecto dinámico que es la fuerza electromagnética aplicada a un conductor atravesado por una corriente eléctrica cuando está bajo el efecto de un campo magnético; la máquina de corriente continua logra funcionar como generador o como motor por lo que tiene la característica de ser una máquina reversible [24].

La máquina de corriente continua como generador transforma la energía mecánica a eléctrica y la máquina de corriente continua como motor transforma la energía eléctrica a mecánica, este tipo de funcionamiento del motor se utiliza la mayor parte de veces ya que es más económica la rectificación de la corriente alterna [24].

El motor de corriente continua está formado de dos partes:

- **Estator**

Está formado por un circuito eléctrico conocido como devanado inductor por el cual la corriente circula y se crea un flujo magnético conocido como electroimán, el estator es la parte fija de la máquina de corriente continua [24].

- **Rotor**

Está formado por un circuito eléctrico denominado devanado del inducido que interactúa con el flujo magnético del inductor produciendo el giro de la máquina de corriente continua [24].

1.3.22 Clasificación de los motores de corriente continua

Para la clasificación de los motores de corriente continua (motor DC utilizado en el proyecto de investigación Figura 19) se toma en consideración la composición del

devanado inducido e inductor y son [24]:

- De excitación independiente
- Autoexcitados:
 - De excitación serie
 - De excitación derivación o shunt
 - De excitación compound



Figura 19. Motor de Corriente Continua YALU

Elaborador por: Investigadora

1.3.23 Joystick

El uso de una palanca de mando se inició en la aviación para evitar despliegues accidentales, más adelante se lo comenzó a implementar en submarinos, cohetes, aviones controlados por radio hasta terminar en sillas de ruedas eléctricas, en la actualidad a un joystick se lo conoce como un instrumento de entrada de datos de computadora que funciona en dos planos verticales, en la electrónica se considera la posición del mango y a través de un software se envían los datos de las tres coordenadas, un joystick consta de más partes que aumentan su funcionalidad como interruptores, botones, controles deslizantes, y se lo utiliza en robots, teléfonos móviles, sillas de ruedas, etc (ver Figura 20) [25].



Figura 20. Joystick para Arduino [25].

1.3.24 Dispositivos lógicos de control

Los dispositivos lógicos de control están formados por un puerto digital que se lo utiliza como entrada o salida de datos, se lo puede configurar con programación o mediante interfaces gráficas. Dentro de los sistemas de control existe una alta complejidad del diseño de dispositivos lógicos para obtener procesos más exactos y consecuencia de la complejidad se tiene dispositivos más potentes, de mayor alcance, y además la facilidad de pasar de un lenguaje de programación de bajo nivel a uno de alto nivel [4].

1.3.25 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable con las funciones de programación en el sistema (ISP) y que está formado interiormente por tres unidades: CPU que es la unidad central de procesamiento, periféricos de entrada/salida y la memoria; el diagrama de bloques se muestra en la Figura 21 [26].

Comúnmente el chip contiene memoria que está en forma de flash ROM y una pequeña cantidad de RAM. Un microcontrolador posee puertos generalmente bidireccionales que sirven para proporcionarle acceso al mundo exterior y se utilizan para realizar algunas funciones como la conversión analógica a digital, un sistema de temporización flexible y comunicación en serie, la base de tiempo está entregado por un resonador de cristal externo o un oscilador y trabaja a frecuencias bajas de 4 KHz lo que indica

un bajo consumo de energía. [26].

Los microcontroladores son útiles y muy manejados en sistemas automáticos, electrodomésticos, dispositivos médicos, dispositivos informáticos, herramientas eléctricas, sistemas de control, máquinas de oficina, etc. [26].

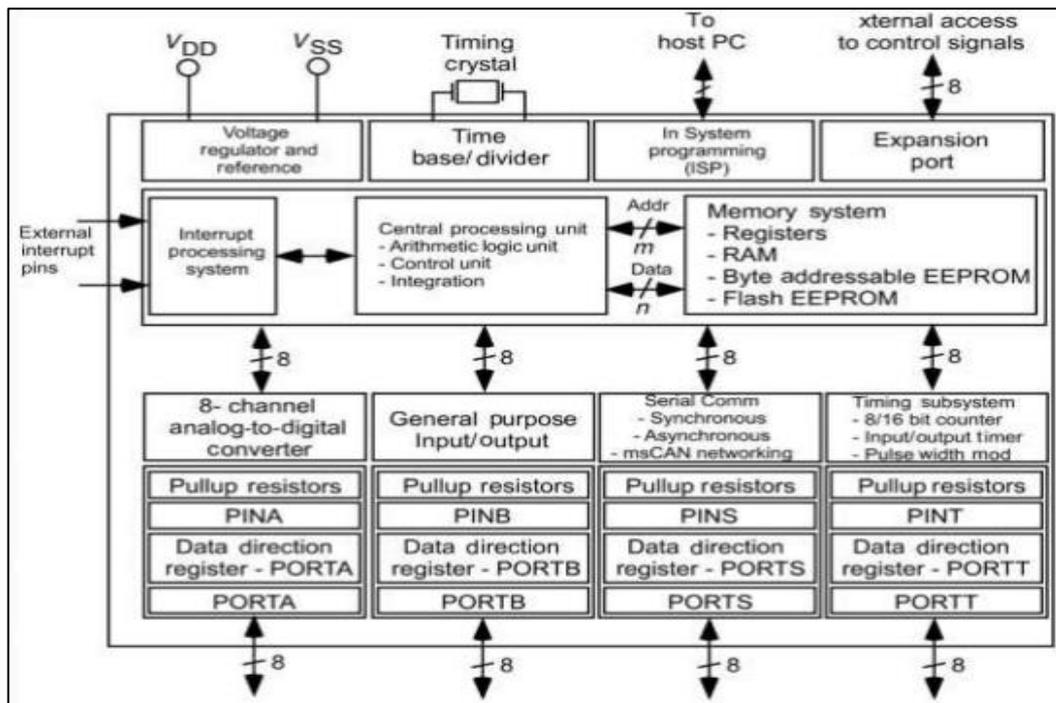


Figura 21. Diagrama de bloques de un microcontrolador [26]

1.3.26 Sensor

Sensor es un dispositivo que transforma una señal eléctrica en una señal de otra forma física diferente por lo tanto es un dispositivo que transforma energía. Comenzando en la energía del medio en el que se mide proporciona una señal de salida transducible en función de la variable que se midió. Un sensor implica el desarrollo de los sentidos para lograr una comprensión de cantidades física que por el tamaño o su naturaleza no logran ser percibidas claramente por los sentidos [27].

1.3.27 Tipos de Sensor

Existen un sin número de sensores por lo que no se puede realizar una clasificación general, sin embargo, existen criterios adicionales que exponen la clasificación de la siguiente manera (ver Tabla 2):

- Por el suministro de energía se tiene sensores moduladores en los cuales la energía de la señal de salida proviene mayormente de una fuente de energía auxiliar y la entrada solamente controla la salida y los sensores generadores en donde la energía de la salida es entregada por la entrada [27].
- Por la señal de salida se clasifican en sensores análogos en donde la salida varia continuamente y en sensores digitales en donde la salida varía en tiempos discretos es decir en valores de 0 y 1 [27].
- Por el modo de operación se clasifican en sensores de comparación y de deflexión en el cual la magnitud medida causa cierto efecto físico afín con una variable útil; en los sensores de comparación se trata de obtener nula la deflexión con la aplicación de un efecto contrario a la magnitud a medir [27].

En la electrónica existe una clasificación que es conforme al parámetro variable del sensor, es decir: capacitancia resistencia e inductancia, sin embargo, esta clasificación es poco habitual, pero se puede estudiar mejor los acondicionamientos de señal [27].

Tabla 2. Clasificación de los sensores [27].

Criterio	Clases	Ejemplos
Aporte de Energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
Señal de Salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición

Modo de Operación	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servoacelerómetro
-------------------	--------------------------------	--

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar un sistema de control de movimiento en silla bipedestadora para el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones de la ciudad de Ambato.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la estructura y componentes de una silla bipedestadora.
- Determinar los elementos que permitirán el control de movimiento de una silla bipedestadora.
- Construir un prototipo de sistema de control para el movimiento de una silla bipedestadora.

1.5 Descripción de Objetivos

El objetivo principal del proyecto de investigación es implementar un sistema de control de movimiento de lazo abierto en una silla bipedestadora para el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones de la ciudad de Ambato.

Para el cumplimiento del objetivo general se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Mediante el análisis de la estructura y componentes de la silla bipedestadora se estableció las partes específicas que la conforman, así como el peso de la silla,

el movimiento que tiene, peso y grado de discapacidad del usuario. Con esos antecedentes se estableció las condiciones para poder realizar la adaptación del sistema de control de movimiento mediante un joystick.

- Se determinaron los elementos que permiten el control de movimiento de la silla bipedestadora, esto con la búsqueda bibliográfica y disponibilidad de los dispositivos necesarios para poder realizar el sistema de control como: motores, microcontrolador, joystick, baterías; estos dispositivos se eligieron y adquirieron conforme las características técnicas y adecuaciones de la silla bipedestadora determinadas en el primer objetivo específico.
- Para construir el prototipo del sistema de control para el movimiento de la silla bipedestadora se dividió el desarrollo en dos partes, en parte mecánica que son las adecuaciones en la silla para la instalación de los motores y las baterías, y en parte electrónica que es el microcontrolador programable que permite realizar el control de movimiento con el joystick, adicionalmente se realizaron pruebas tanto mecánicas como eléctricas para probar la movilidad de la silla.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación “Sistema de control de movimiento en silla bipeDESTADORA para el centro de rehabilitación física y neurológica Bendiciones de la ciudad de Ambato” por la modalidad corresponde a un proyecto de desarrollo, por cuanto está encaminado a resolver problemas presentes en la movilidad de las personas con discapacidad, se aplicó la investigación aplicada, bibliográfica y experimental dada la interpretación y alcance de la problemática a analizar.

Para el desarrollo del proyecto primeramente se realizó un análisis de materiales el cual fue necesario para escoger los modelos y marcas de dispositivos electrónicos a utilizarse; el procesamiento y análisis de datos permitió escoger las alternativas de solución a la problemática como la tecnología a utilizarse y las alternativas de solución, finalmente se organizó por actividades como se va a desarrollar el proyecto de investigación en mención.

2.1 Materiales

Para el desarrollo e implementación del proyecto de investigación a más de la silla bipeDESTADORA se requieren materiales de uso frecuente como una computadora personal e internet, dentro de los dispositivos eléctricos que se usaron fue motores y baterías; dispositivos electrónicos como: microcontrolador, joystick, driver para motor, sensor y materiales adicionales que son necesarios para la conexión de todos los dispositivos electrónicos y eléctricos; equipos informáticos como una impresora

3D para la construcción de cajas donde se colocó los elementos integrados. Para la programación del microcontrolador se utilizó un Software de código abierto como lo es arduino IDE, adicionalmente se requiere de datos bibliográficos como libros, tesis, revistas y artículos científicos que son de apoyo para el desarrollo del proyecto.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de Investigación

Para el desarrollo del trabajo de investigación se aplicó la modalidad de investigación aplicada puesto que se emplea la experiencia adquirida durante la carrera de pregrado especialmente conocimientos en automatización y control los que fomentaron directamente el desarrollo del proyecto ayudando así a los problemas asociados a las personas con discapacidad física.

En el proyecto de investigación se necesitó la investigación bibliográfica es decir de tesis, artículos científicos, libros, revistas que facultaron conocer los componentes de una silla bipedestadora, como es su movimiento además de temas asociados con la programación y materiales que se requirieron para la construcción del sistema como motores, baterías, microcontrolador y joystick.

Se aplicó la investigación experimental tanto el diseño de la parte mecánica de la silla es decir en la colocación de los motores y las baterías como en el diseño de la parte electrónica es decir en el circuito, la programación del microcontrolador para finalmente realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de control de movimiento de una silla bipedestadora.

2.2.2 Recolección de Información

Para la recolección de información y datos se dispone de medios físicos como libros y

electrónicos como internet, artículos científicos, proyectos de titulación orientados a la asistencia de la discapacidad física con los sistemas de control que junto con las guías del tutor serán de utilidad en el progreso de la investigación.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de datos se siguió una serie de pasos:

- Análisis y síntesis de la información recopilada.
- Comparación de equipos y tecnologías adecuadas para el sistema de control de movimiento de silla bipedestadora.
- Elección de alternativas de solución para el desarrollo del proyecto de Investigación.
- Desarrollo de los pasos expuestos.
- Obtención de pruebas piloto
- Control de errores
- Ensamblaje del sistema de control de movimiento.

2.2.4 Desarrollo del Proyecto

Las actividades que se realizaron para cumplir con la investigación son las siguientes:

- Comprobación del estado de la silla bipedestadora del centro de rehabilitación física y neurológica Bendiciones.
- Recopilación de información para el desarrollo del sistema de movimiento de silla bipedestadora.
- Identificación de parámetros que conforman un sistema de movimiento de una silla bipedestadora.
- Determinación de equipos a utilizarse en el proyecto de investigación.

- Comparación de características, análisis de disponibilidad y precios de los equipos a utilizarse.
- Elección del microcontrolador y lenguaje de programación.
- Diseño del circuito de control a implementarse en la silla de ruedas bipedestadora.
- Ejecución de pruebas, detección y corrección de errores del sistema de control de la silla bipedestadora.
- Implementación del proyecto en un ambiente controlado para realizar pruebas de funcionamiento, rendimiento y extracción de datos.
- Análisis de Fallas.
- Elaboración de Informe de final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

Con la implementación de un sistema de control de movimiento en una silla bipedestadora se pudo facilitar el desplazamiento de una persona limitada en su capacidad para caminar. Inicialmente la silla se desplazaba en base a un esfuerzo manual realizado por la persona discapacitada para mover las llantas traseras de la silla o a su vez con asistencia de terceras personas quienes empujaban la silla. Esto dificultaba el trabajo autónomo de la persona.

Como parte del sistema de control de movimiento se instaló un joystick ubicado en un tubo metálico adicional del lado derecho de la silla para facilitarle al usuario la manipulación del control brindándole así autonomía en su desplazamiento.

3.2 Análisis de Factibilidad

El proyecto de investigación cuenta con factibilidad técnica ya que se tiene las habilidades, conocimientos, además de materiales tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos con disponibilidad en el país que fueron utilizados para el desarrollo del proyecto.

El proyecto posee factibilidad bibliográfica ya que existe información de libre acceso como: libros repositorios digitales, artículos científicos, revistas, etc.

Los gastos del desarrollo del proyecto son a cargo del investigador por lo que es económicamente factible.

3.3 Desarrollo de la propuesta

3.3.1 Requerimientos para el desarrollo del sistema

Para que el sistema de control de movimiento de la silla bipedestadora cumpla con los objetivos planteados se deben cumplir ciertas acciones como lo es la automatización del movimiento de las ruedas traseras empleando motores y el sistema de control de movimiento utilizado un joystick; por lo cual se han de efectuar ciertos requerimientos:

- Se deben adecuar motores a las ruedas traseras propulsoras de la silla bipedestadora para que permitan el movimiento de forma automática y ya no con una fuerza externa aplicada.
- El sistema de control con el joystick debe permitir la movilidad y dirección del desplazamiento de la silla, además de emitir una señal sonora cuando un objeto este muy cercano.

3.3.2 Análisis de la silla de Ruedas Bipedestadora

La silla bipedestadora está formada por las siguientes partes (ver Figura 22):

- Asiento
- Respaldo
- Reposapiés
- Reposabrazos

- Ruedas delanteras giratorias
- Ruedas traseras propulsoras
- Aros propulsores
- Frenos



Figura 22. Silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

Cada una de estas partes son importantes para que la silla bipedestadora sea ergonómica y brinde facilidades a las personas con capacidades especiales, los movimientos de la silla hacia adelante, atrás, izquierda, y derecha lo realiza el paciente ejerciendo fuerza sobre las llantas traseras o a su vez necesita ayuda de una tercera persona que empuje el respaldo de la misma dirigiéndola hacia la dirección que requiera ir, para evitar que la silla se desplace sola se ajusta la palanca de freno que sostiene las llantas traseras.

La silla de ruedas bipedestadora en la que se va a implementar el sistema de control de movimiento pertenece al Señor Cristian Enrique Núñez Salazar paciente del Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones que tiene un diagnóstico de mieloradiculopatía transversal múltiple ascendente y una discapacidad del 92%, la silla fue diseñada de acuerdo a las características físicas del beneficiario que posee una

altura de 186 cm y tiene un peso de 85 Kg, la estructura de la silla y los reposabrazos están contruidos totalmente en tubo metálico redondo y cuadrado, el asiento y el respaldar esta confeccionado de forros de tela con esponja, en el respaldo cuenta con dos soportes y un cinturón de transferencia para sostener el torso del paciente (ver Figura 23), para colocar los mandos de control se adicionó un soporte de tubo metálico al lado derecho de la silla tomando en consideración que en esa extremidad presenta más movilidad (ver Figura 24).



Figura 23. Estado de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigadora



Figura 24. Joystick instalado en la silla de ruedas bipedestadora

Elaborado por: Investigadora

3.3.3 Diagrama de bloques del sistema

Para el desarrollo del proyecto se diseñó e implemento un sistema de control de lazo abierto (ver Figura 25); la entrada está determinada por el joystick marca arduino que genera dos señales analógicas que representan las posiciones adelante, atrás, izquierda y derecha del movimiento de los motores DC marca YALU, esas señales son ingresadas al microcontrolador ATMEGA 328 donde se realiza la conversión de las señales analógicas a dos señales PWM que ingresan al driver de motor sabertooth 2*25V2 mediante un filtro RC. Finalmente, los motores ejercerán acción sobre el proceso mecánico permitiendo el movimiento de las ruedas traseras propulsoras de la silla bipedestadora.

Como una señal de entrada adicional se utilizó un sensor ultrasónico el cuál sirve para medir distancia mediante ondas ultrasónicas, valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco. La señal de este sensor es procesada por el microcontrolador y a cierta distancia emite distintas frecuencias de sonido.

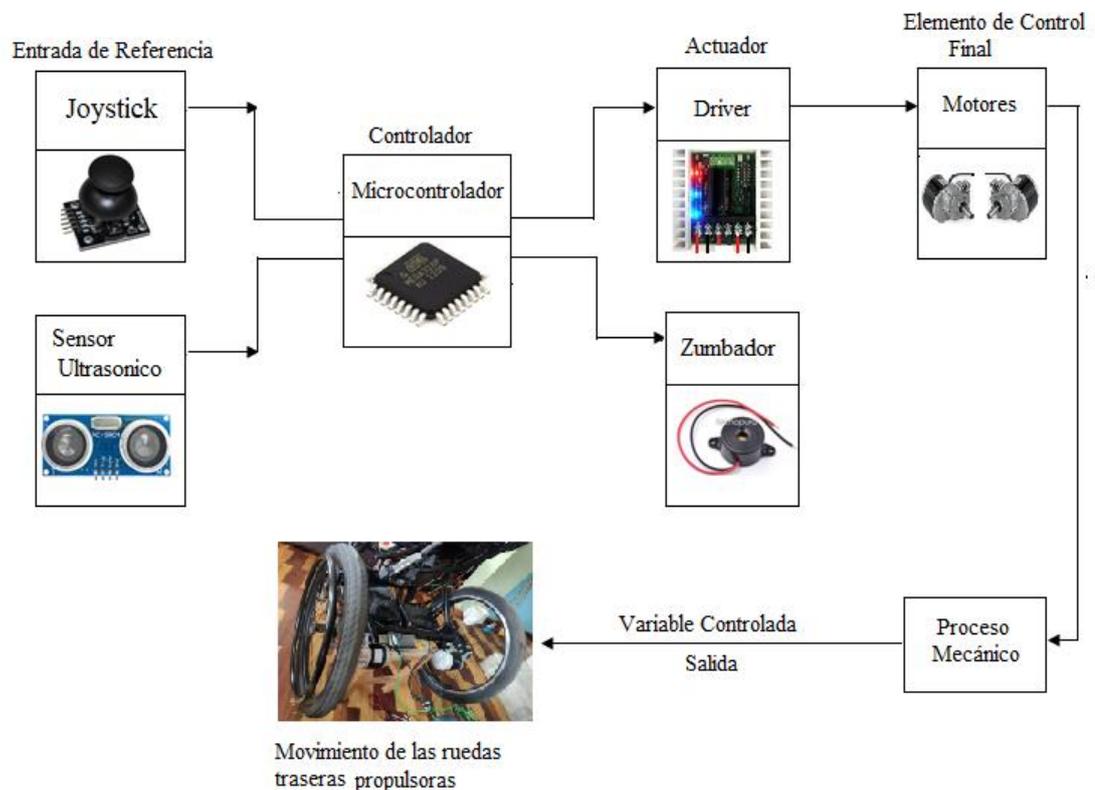


Figura 25. Diagrama de bloques de control de movimiento de silla bipedestadora
Elaborado por: Investigadora

3.3.4 Selección de los elementos para la implementación del sistema del control de movimiento

Se realizó un análisis técnico de cada elemento para escoger la opción más adecuada tomando en cuenta características, disponibilidad de componentes en el país y precio.

Los componentes que fueron necesarios para el sistema de control de movimiento de la silla bipedestadora se seleccionaron de acuerdo al diagrama de bloques presentado en la figura 23 y se detallan a continuación:

3.3.4.1 Motores

Los motores se ocupan en la automatización del movimiento de las ruedas traseras propulsoras, para evaluar la cantidad de energía que se necesita para poner en movimiento los motores acoplados a la silla bipedestadora es necesario tomar en cuenta datos importantes (ver Tabla 3) como el peso del paciente, peso de la silla y peso de los componentes a acoplarse; posteriormente se realizó los cálculos de fuerza y torque que facilitan la decisión al elegir al motor adecuado.

Datos:

Peso de la Silla Bipedestadora: $23\ Kg$

Peso del Paciente: $85\ Kg$ (Proporcionado por el paciente)

Peso del Motor: $2,6Kg\ c/u = 2,6Kg * 2 = 5,2\ Kg$

Peso de La Batería: $4,5\ Kg\ c/u = 4,5Kg * 2 = 9Kg$

Peso del driver de motor: $90g = 0,09\ Kg$

Sistema Mecánico: $1,5Kg$

Sistema de Control: $500g = 0,5Kg$

Tabla 3. Detalle de pesos de la silla bipedestadora

Detalle	<i>Peso (Newton) = P(Kg) * gravedad</i>
Silla Bipedestadora	225,4
Paciente	833
Motores	50,96
Baterías	88,2
Driver de Motor	0,882
Sistema Mecánico	14,7
Sistema de Control	4,9
Total:	1218,042

Elaborado por: Investigadora

3.3.4.1.1 Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie plana (ver Figura 26)



Figura 26. Diagrama de cuerpo libre para el dimensionamiento de potencia del motor en una superficie plana

Elaborado por: Investigadora

Sumatoria de fuerzas en el plano X

$$\sum F_X = 0 \quad (1)$$

$$Fuerza - Fuerza \text{ de rozamiento} = 0 \quad (2)$$

$$Fuerza = Fuerza \text{ de rozamiento} \quad (3)$$

Es necesario realizar el cálculo de la fuerza de rozamiento, para ello se necesita el dato del coeficiente de rozamiento cinético (μ_k) entre el neumático de la llanta cuyo material es de hule y el concreto de cemento del suelo; este coeficiente tiene el valor de $\mu_k = 0,55$ [28]

$$Fuerza \text{ de rozamiento} = \mu_k * fuerza \text{ normal} \quad (4)$$

$$Fuerza \text{ de rozamiento} = 0,55 * fuerza \text{ normal} \quad (5)$$

N: es el valor normal de reaccion entre los cuerpos en contacto

Sumatoria de fuerzas en el plano Y

$$\sum F_Y = 0 \quad (6)$$

$$Peso - fuerza \text{ normal} = 0 \quad (7)$$

$$Peso = fuerza\ normal \quad (8)$$

$$Peso = 1218,042 [N] \quad (9)$$

reemplazando(9)en (5)

$$Fuerza\ de\ rozamiento = 0,55 * 1218,042 \quad (10)$$

$$Fuerza\ de\ rozamiento = 669,923 \quad (11)$$

$$Fuerza = 669,923\ N \quad (12)$$

Este valor representa la fuerza para lograr el movimiento de la silla en una superficie plana.

3.3.4.1.2 Dimensionamiento de potencia del motor en un plano inclinado (ver Figura 28)

Para el dimensionamiento de potencia del motor en un plano inclinado es necesario conocer la norma NTE INEN 2245 “ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO. RAMPAS” del año 2016, cuyo objeto es establecer las características que deben obedecer las rampas que se cimenten en entornos edificados urbanos para proporcionar facilidad de transporte a las personas [29].

En el punto de pendientes longitudinales se establecen rangos máximos de elevación a distancias establecidas (ver Figura 27) [29]:

- Distancias de hasta 10m una elevación máxima del 8%
- Distancias de hasta 2m una elevación máxima del 12%
- Distancias de hasta 3m una elevación máxima del 12%

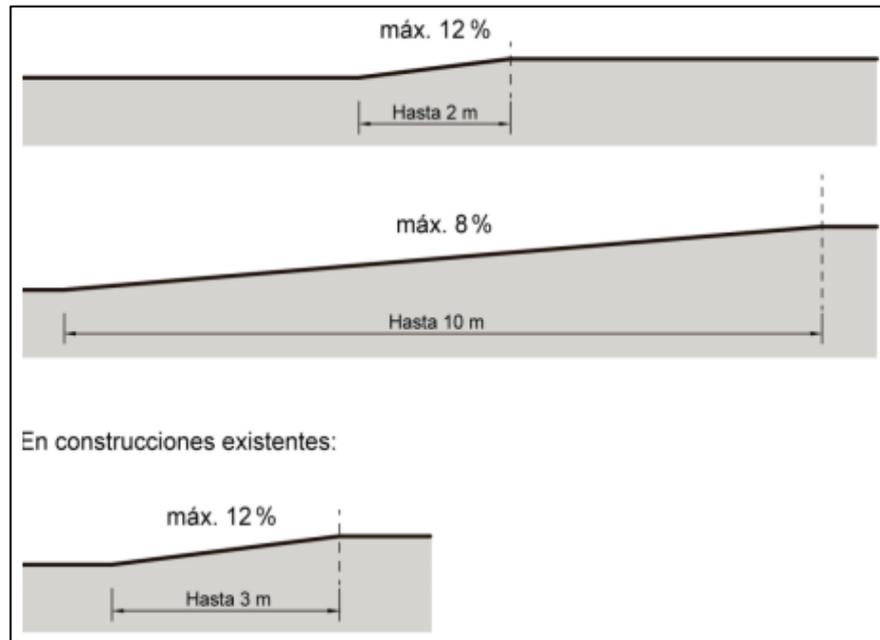


Figura 27. Pendientes longitudinales establecidas en la norma NTE INEN 2245 [29].

Para el dimensionamiento de potencia del motor se tomó el valor más frecuente de pendientes longitudinales en construcciones existentes que es de hasta 3m a una elevación del 12%.

$$\tan \theta = 12 \% \quad (13)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0,12) \quad (14)$$

$$\theta = 6.84^\circ \text{ (ángulo de elevación de la rampa)} \quad (15)$$

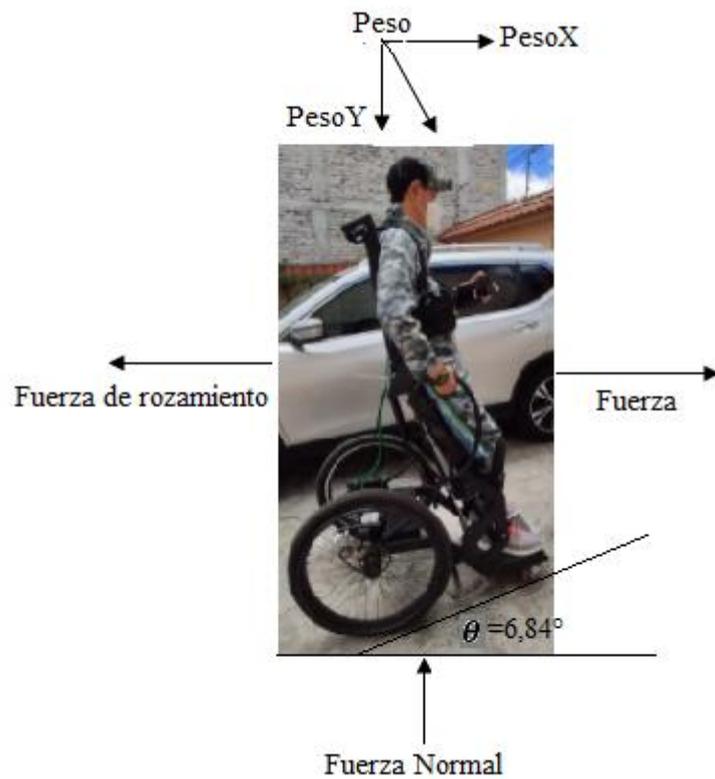


Figura 28. Diagrama de cuerpo libre para el dimensionamiento de potencia del motor en un plano inclinado

Elaborado por: Investigadora

Sumatoria de fuerzas en el plano X

$$\sum F_x = 0 \tag{16}$$

$$Fuerza - Fuerza\ de\ rozamiento - PesoX = 0 \tag{17}$$

$$Fuerza = Fuerza\ de\ rozamiento + PesoX \tag{18}$$

$$Fuerza = \mu_k * fuerza\ normal + Peso * \sin \theta \tag{19}$$

Sumatoria de fuerzas en el plano Y

$$\sum F_Y = 0 \quad (20)$$

$$Fuerza normal - PesoY = 0 \quad (21)$$

$$Fuerza normal = PesoY \quad (22)$$

$$Fuerza normal = Peso * \cos \theta \quad (23)$$

$$Fuerza normal = 1218,042 * \cos(6,84) \quad (24)$$

$$Fuerza normal = 1209,372 \quad (25)$$

reemplazando (25) en (19)

$$Fuerza = 0,55 * 1209,375 + 1218,042 * \sin(6,84) \quad (26)$$

$$Fuerza = 810,22N \quad (27)$$

Este valor representa la fuerza para lograr el movimiento de la silla en un plano inclinado.

3.3.4.1.3 Torque de motor

La mayor fuerza que necesita el motor es cuando se encuentra en un plano inclinado es decir de $810,22N$, este valor de fuerza va a ser tomado como referencia para el cálculo del torque.

Cada motor va a tener que aplicar una fuerza de $405,11N$, este valor transformándolo a kilogramo fuerza considerando que 1 Newton equivale a $0,102\text{ Kg}$ se tiene como resultado un valor de $41,21\text{Kg}$, para el cálculo del torque es necesario tener como dato el diámetro de la rueda que es de 53 cm que equivale a $0,53m$.

$$\tau = 41,21N * 0,53 \quad (28)$$

$$\tau = 21,84Nm \text{ por cada motor} \quad (29)$$

Tomando en cuenta los datos calculados y comparando características entre motores se desarrolló la siguiente tabla comparativa:

Tabla 4. Cuadro comparativo de motores

Marca Modelo Características	BG MOTOR Bg-1109-800w	YALU MY1016Z	BG MOTOR DCBL-353	YALU YLD1
Especificación	Motor DC Brushless	Motor DC de imán permanente	Motor DC sin escobillas	Motor de engranaje CC
Voltaje	36 V	24 V	48V	24V
Potencia	800 W	250 W	200W	250W
Corriente	$\leq 23\text{ A}$	13.4 A	3 A	10.6/7.1 A
Torque	2.2Nm	24Nm	20Nm	0.58Nm
Velocidad (rpm)	3100	120	3000	3250-4200

Descripción Gráfica				
--------------------------------	---	--	---	---

Elaborado por: Investigadora

El motor que se eligió para el desarrollo del sistema es de marca YALU modelo MY1016Z (ver Figura 29), este motor fue de fácil adquisición ya que hubo disponibilidad del equipo, este motor cuenta con la fuerza y torque necesario para poder realizar un correcto movimiento de la silla tanto en superficies planas como en planos inclinados.

El motor se alimenta con un voltaje de 24V, alcanza una potencia de salida de 250W, tiene un torque de $24Nm$ que está dentro del parámetro que se calculó; gira a 120 revoluciones por minuto y tiene una corriente nominal de 13.4A.



Figura 29. Motor YALU MY1016Z

Elaborado por: Investigadora

3.3.4.1.4 Montaje de Motores en la silla de Rueda bipedestadora

Para acoplar los motores en la silla de ruedas se utilizó un mecanismo motor-catalina-cadena (ver figuras 30 y 31). El sistema está compuesto por las siguientes partes:

- Catalina del eje motriz o conductor (motor)
- Catalina del eje conducido (eje reductor)
- Cadena que es el medio de transmisión entre catalinas.

Relación de Transmisión

La relación de transmisión por cadena tiene como propósito transferir fuerza y movimiento a un mecanismo de motores; también para aumentar o disminuir velocidad. Cuando el movimiento se transforma de rápido a lento se conoce como transmisión y se lo expresa mediante datos numéricos [30].

La relación de transmisión que se tiene en la adecuación de los motores es de:

Datos:

Número de dientes de la catalina grande: 36

Número de dientes de la catalina pequeña es: 12

$$i : \text{relacion de transmisión} \quad (30)$$

$$i = \frac{36}{12} = \frac{3}{1} \rightarrow i = 3:1 \quad (31)$$

Se tiene una relación de transmisión de 3: 1 es decir que por cada 3 revoluciones de la catalina pequeña la catalina grande va a tener una revolución.

Según la hoja de datos el motor gira a una 120 rev/min , tomando en cuenta la relación de transmisión se va a tener una velocidad máxima de:

$$V_n = 120 \text{ rev/min} \quad (32)$$

$$V_n = \frac{120}{3} = 40 \text{ rev/min} \quad (33)$$



Figura 30. Vista de catalinas y motor ensamblado en la silla de ruedas bipedestadora

Elaborado por: Investigadora



Figura 31. Motor acoplado al mecanismo catalina-cadena

Elaborado por: Investigadora

Diseño en 3D del acople de motores

La simulación del acople de motores en las ruedas traseras propulsoras se realizó en el programa cocodrile el cual permite simular entornos reales. Para esto se tomó en cuenta la cadena, el número de dientes tanto de la catalina grande como de la pequeña, los motores y las llantas traseras propulsoras (ver Figura 32).

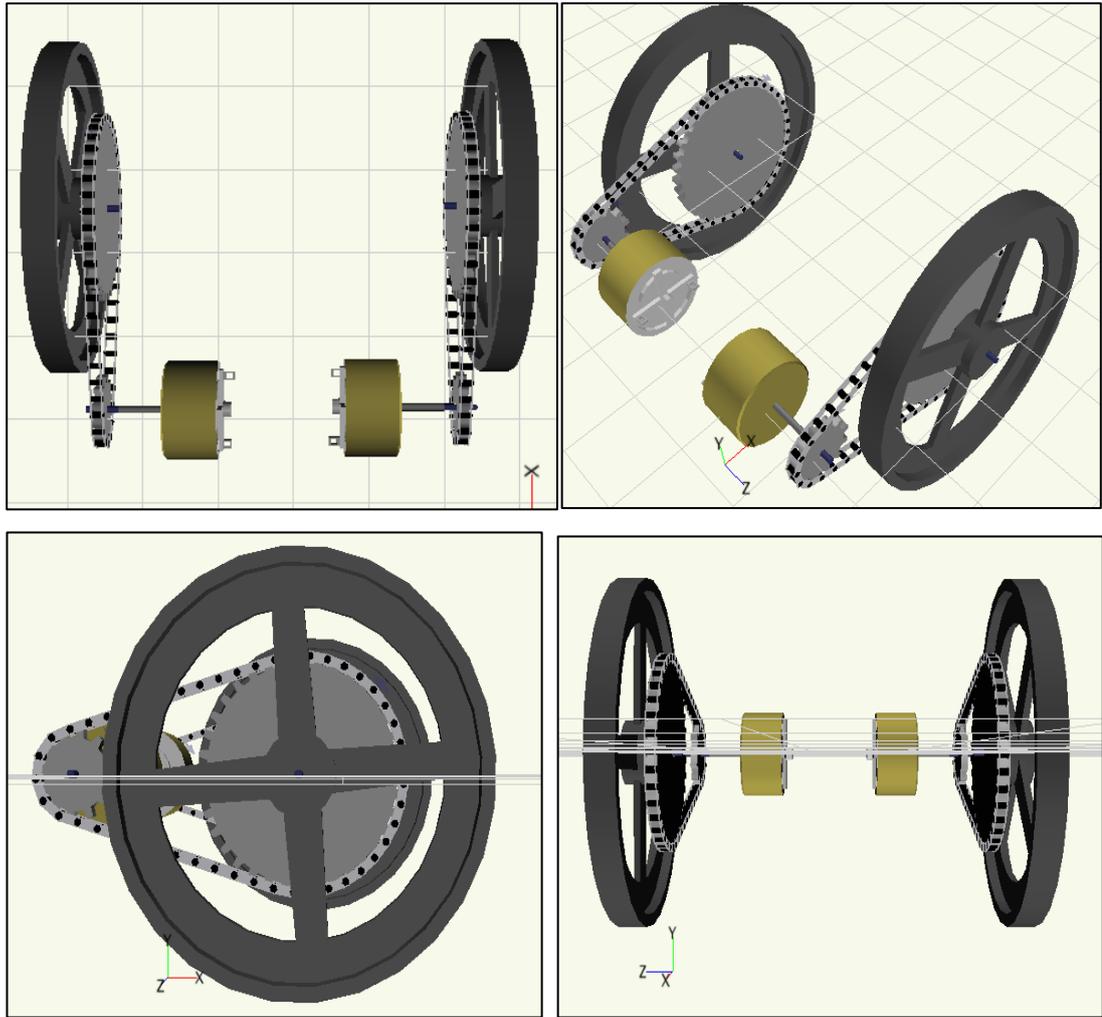


Figura 32. Simulación 3D acople de motores en programa cocodrile

Elaborado por: Investigadora

El esquema de conexión que se muestra en la siguiente figura está formado por el driver de motor y los dos motores DC de 24V, cada uno se conecta al driver de motor.

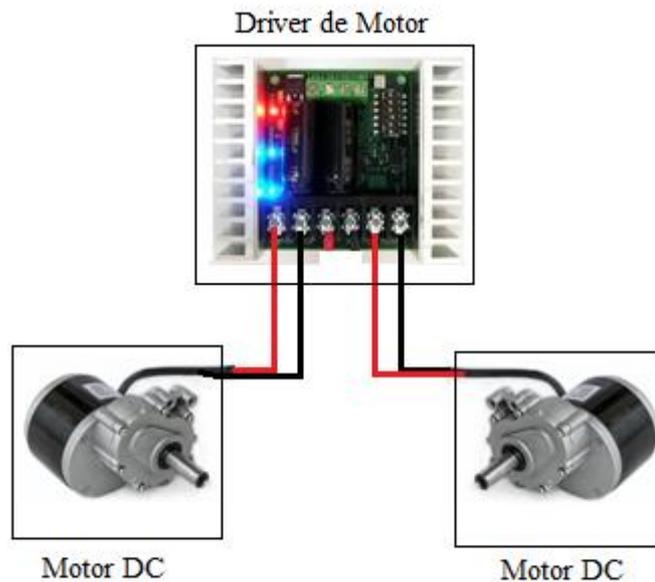


Figura 33. Esquema de conexión de motores
Elaborado por: Investigadora

3.3.4.2 Driver de Motor

El driver de motor permite controlar los dos motores mediante dos señales PWM (una para cada motor) provenientes del microcontrolador; este driver de motor va a leer señales analógicas de 0 a 5V provenientes de un filtro RC y a su vez del joystick; en función de esos valores se da el movimiento de los motores ya sea más rápido o más lento.

El driver de motor va a suministrar 5V a los dispositivos electrónicos como el joystick, microcontrolador, sensor, zumbador y demás materiales electrónicos utilizados en el diseño del circuito de control.

En función de los valores de voltaje y corriente de los motores se debe analizar los drivers encontrados y elegir al más adecuado para evitar sobrecalentamientos, sobrecarga y cortocircuitos. Se realizó una tabla comparativa de los driver más adecuados (ver Tabla 5).

Tabla 5. Cuadro comparativo de controladores de motor

Controlador	Controlador De Motores Dc Hasta 50 Amperios 30vdc	Megatronica Controlador De Velocidad Motor Dc Pwm 6a90v 15a	Dimension Engineering Sabertooth 2*25V2	Dimension Engineering Sabertooth dual 12A
Características				
Voltaje	60 V	6 V – 90 V	6 – 30 V	24 V
Amperaje	35 A	15A	50 A	12A
Aplicaciones	Control con potenciómetro Cambio de Giro Control de motor con placas Arduino, microchips, otros	Control con potenciómetro Control de motor con placas Arduino Cambio de giro	Robots de combate Robots de manejo Vehículos eléctricos Juguetes para montar Control de velocidad	Vehículos Controlados por radio Robots, automóviles y barcos de potencia media
Descripción Grafica				

Elaborado por: Investigadora

El driver de motor más conveniente, eficiente y versátil para el control de los motores es el Sabertooth 2*25V2, este controlador es capaz de soportar picos de corriente de 50A por canal y 25A continuos durante unos segundos; tiene protección térmica y sobrecorrientes por si se conecta un motor muy grande, trabaja a una frecuencia de 32KHz que indica un funcionamiento silencioso [32].

Tiene la funcionalidad de controlar dos motores con voltaje analógico, además de proporcionar energía a un microcontrolador a través de un BEC de 5V 1A [32].

En este controlador viene incorporado un dipswitch de 6 micro-interruptores los cuales

establecen el modo de operación; se configuró de acuerdo a la información proporcionada en el datasheet [32] y las características de los equipos y datos que se manejó para el desarrollo del proyecto (ver Figura 36).

- El micro-interruptor que se encuentra en la posición tres es para controlar baterías de litio. Si se tiene este tipo de baterías el micro-interruptor debe estar en la posición OFF del dipswitch y si se tiene otro tipo de batería como es en el caso del presente proyecto que se tiene una batería de ácido-plomo la posición debe estar en ON.
- Los micro-interruptores de la posición 1 y 2 del diswitch son para controlar si se tiene señales analógicas o señales RS-232, en este caso se tiene señales analógicas de 0 a 5V por lo que los micro-interruptores deben estar en la posición ON.
- El micro-interruptor de la posición 4 indica si se trabaja en modo mixto o en modo independiente. El modo independiente significa que cada motor está controlado por una sola señal del controlador.

En el caso del proyecto se trabajó en modo mixto es decir que la señal uno controla los movimientos hacia adelante y atrás; la señal dos controla los movimientos izquierda y derecha de los motores. Cuando se trabaja en modo mixto este micro-interruptor debe estar en la posición ON.

- En el micro-interruptor de la posición 5 del dipswitch se escoge como se quiere que sea la respuesta ya sea lineal o exponencial del arranque de los motores.

La empresa fabricante del driver ha desarrollado un programa denominado DEScribe versión 3.7 en el cuál escogiendo el modelo de driver en este caso Sabertooth 2*25V2 se puede observar en modo gráfico la respuesta lineal o exponencial del arranque de los motores.

En el modo lineal si se envía un porcentaje los motores se mueven al mismo

valor y se tiene una respuesta como se observa en la figura 34; no se seleccionó esta forma de respuesta ya que al mover el joystick los motores tuvieron un arranque brusco.

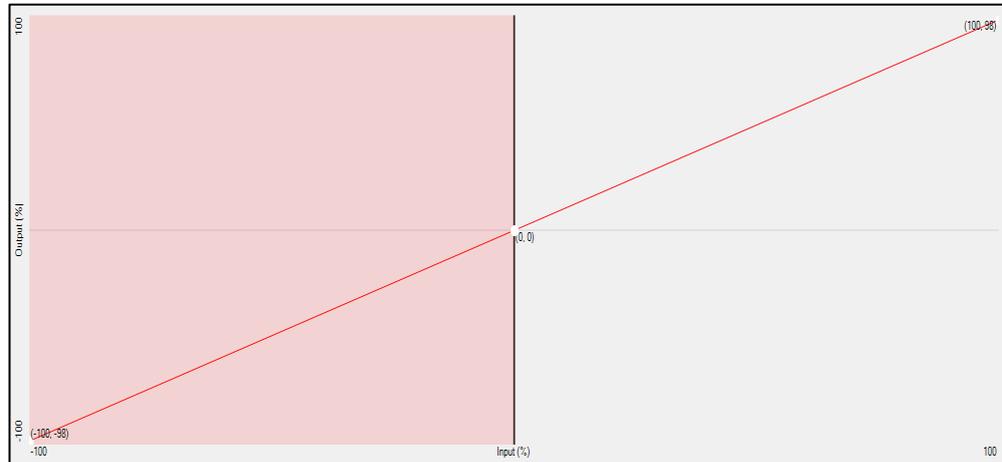


Figura 34. Respuesta lineal del arranque de los motores

Elaborado por: Dimension Engineering programa DEScribe 3.7

El modo exponencial si se trabaja a una fuerza del motor del 100%, se envía un porcentaje cualquiera, los motores no arrancan en ese porcentaje sino a un valor menor como indica el fabricante en la gráfica de la figura 35; para el proyecto se seleccionó este modo de respuesta ya que se requirió de un arranque suave. Para este modo de operación el micro-interruptor debe estar en la posición OFF

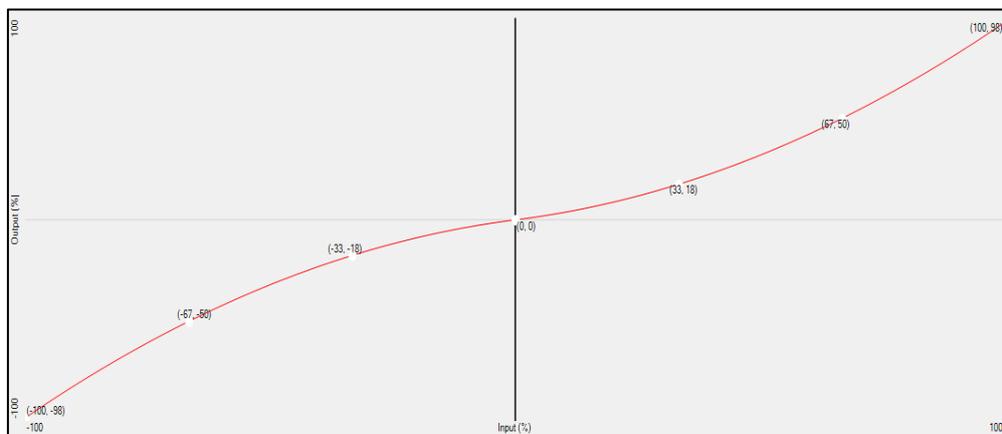


Figura 35. Respuesta lineal del arranque de los motores

Elaborado por: Dimension Engineering programa DEScribe 3.7

- El último micro-interruptor 6 sirve para multiplicar la sensibilidad $\times 4$, no se requiere de ese modo de operación por lo que la posición debe estar en ON.

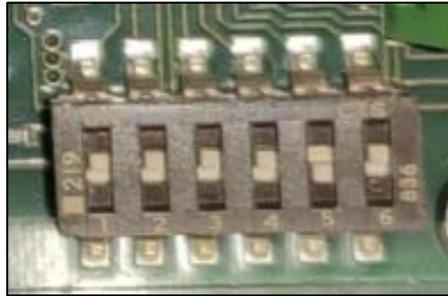


Figura 36. Configuración de los micro-switch del driver de motor

Elaborado por: Investigadora

El esquema de conexión del driver de motor consta de los dos motores DC de 24V, las baterías de ácido-plomo de 12V, el switch y la placa de control que está formada por el sensor, joystick, zumbador y microcontrolador (ver Figura 37).

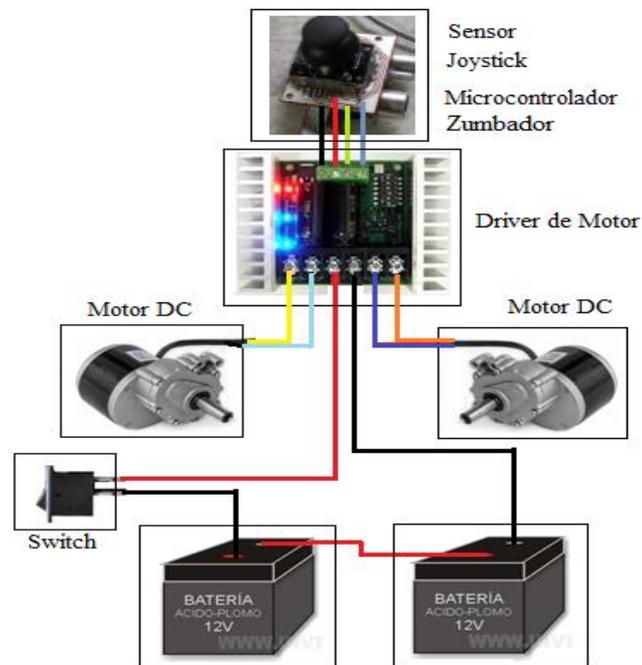


Figura 37. Esquema de conexión del driver de motor

Elaborado por: Investigadora

3.3.4.3 Baterías

Para la alimentación de todos los componentes que forman parte del sistema de control de movimiento se ocupó dos baterías de plomo-ácido que tienen en su interior algunos pares de electrodos sumergidos en una sustancia denominada electrolito; estas baterías son muy usadas en vehículos convencionales como baterías de arranque, acostumbran suministrar intensidades de corriente relativamente elevadas lo que las hace ideales para los motores DC.

Para para la puesta en marcha de los motores DC se necesita un voltaje de 24V para que trabajen al 100%; estas baterías deben tener un amperaje mínimo de 13.4 amperios necesarios para el movimiento de los motores.

Se desarrollo una tabla comparativa donde se presentan cada uno de los modelos de baterías que se podían emplear en el proyecto de investigación:

Tabla 6. Cuadro comparativo de baterías

Marca Modelo Características	KITZUMA 6FM21	KITZUMA 6DM18	TENERGY NiMH	UPG UB12350
Material	Plomo-Ácido	Plomo-Ácido	Litio	Plomo-Ácido
Voltaje	12 V	12 V	12 V	12 V
Amperaje	21 A	16 A	10 A	35 A
Peso	Elevado	Elevado	Bajo	Elevado
Costo	Medio	Medio	Medio	Alto
Disponibilidad	SI	No	No	Si
Descripción Gráfica				

Elaborado por: Investigadora

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron dos baterías, cada batería tiene un voltaje de 12V y un amperaje dentro del rango requerido. Lo que las ubica como posibles alternativas ya que sus especificaciones se encuentran dentro de los parámetros dados por el motor, pero se seleccionó la batería marca KITZUMA modelo 6FM21 por su disponibilidad y costo.

Las baterías se conectaron en serie para obtener un voltaje de 24V; se incorporó un switch que es el encargado de cortar o permitir el paso de energía al circuito. El esquema de conexión eléctrica de las baterías se muestra en la Figura 38.

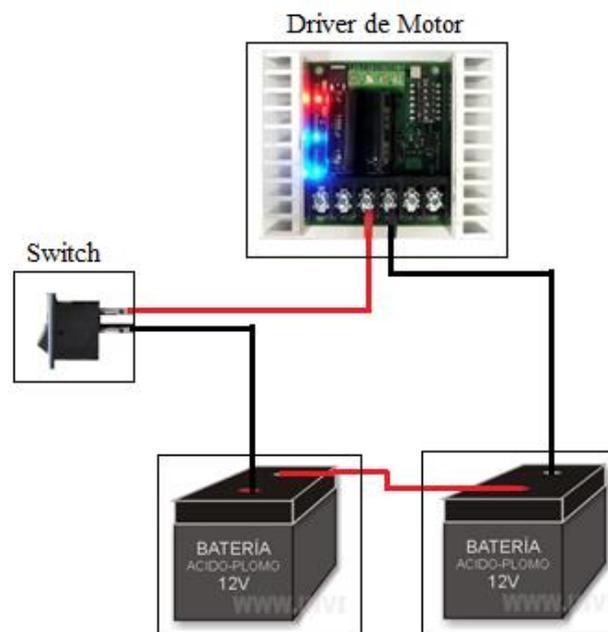


Figura 38. Esquema de conexión de las baterías

Elaborado por: Investigadora

3.3.4.4 Cargador de Baterías

Para cargar las baterías de ácido-plomo marca KITZUMA modelo 6FM21 utilizadas en el proyecto se necesita de cargadores especiales para ese tipo de material ya que cuando la batería está totalmente descargada se considera que los electrodos se descomponen y para ponerlos funcionales nuevamente se debe suministrar energía

eléctrica haciendo que la corriente circule en sentido opuesto al habitual. Los modelos encontrados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Cuadro comparativo de cargador de batería [31]

Marca Modelo Características	HAOLEI CB-10	HAOLEI CB-15	HAOLEI CB-20	HAOLEI CB-30
Voltaje de Alimentación	Hasta 230	Hasta 230	Hasta 230	Hasta 230
Frecuencia	50/60	50/60	50/60	50/60
Cargador de Salida nominal de voltaje	6-12 V 6V/4.5A 12V/4.5A	12-24 V 12V/7.1A 24V/5.8A	12-24 V 12V/9.6A 24V/7.5A	12-24 V 12V/16A 24V/14A
Cargador actual Max(A)	10	15	20	30
Descripción Grafica				

Elaborado por: Investigadora

Por una de las salidas de voltaje nominal que es de 24V y la máxima corriente de carga que es de 30A se utilizará el cargador HAOLEI CB-30.

3.3.4.5 Joystick

Para el desarrollo del sistema de control se empleó un joystick el cual permite controlar los motores DC, el joystick es un arreglo físico de dos potenciómetros uno para cada plano de desplazamiento (*X* y *Y*) los cuales envían una señal analógica de 0 a 5V hacia el microcontrolador para ser procesada y generar señales de control PWM.

Hay distintos tipos de joystick que se pueden utilizar para el proyecto, los más

comunes se muestran en la siguiente tabla comparativa.

Tabla 8. Cuadro comparativo de joystick

Joystick Características	Joystick Arcade	Joycon 4.0	Logitech extreme 3d pro	Joystick Arduino
Tipo	Análogo	Análogo	Digital	Análogo
Pines			Programables	
Análogos	2	2	8	2
Digitales		1	12	1
Descripción Grafica				

Elaborado por: Investigadora

El joystick que se seleccionó es de arduino por su cómoda implementación, versatilidad y fácil manejo por parte de la persona discapacitada.

Tiene 5 pines de conexión de los cuales dos pines son analógicos y un pin digital; dos pines de alimentación 5V y GND.

Trabaja en dos ejes independientes X y Y analógicos y en el eje Z que se puede conectar a un pin digital o análogo de cualquier microcontrolador.

Para tener un mayor control de los motores y por ende de la silla bipedestadora las señales provenientes del joystick han sido linealizadas en función de la señal analógica, PWM y conversor ADC del microcontrolador.

El joystick proporciona una señal analógica de 0 a 5V, las cuales han sido procesadas por el conversor ADC del microcontrolador para posteriormente linealizarlas en un rango de 0 a 255 y que puedan ser utilizadas por la señal digital de control PWM (Modulación de ancho de pulso), esta ocupa una variable de 8 bits y controla el trabajo

del motor en un porcentaje de 0 a 100% de duty cycle; el conversor ADC ocupa una variable de 10 bits.

En la Tabla 9 se muestra los valores del joystick, señal PWM y conversor ADC encargados del control de potencia de los motores; conforme el movimiento del joystick la señal varía de 0 a 5V, cuando llegue a la posición máxima hacia adelante tendrá un valor de 5V, cuando este en reposo 2,5V y cuando llegue a la posición máxima en reversa 0V. La señal PWM varia de 0 a 255 y la señal de conversor ADC varia de 0 a 1023.

Para la representación en la tabla se emplean las siglas de las señales analógicas Vrx y Vry las cuales representan la definición de los pines de entrada tanto en X como en Y de los dos potenciómetros que conforman el joystick.

Tabla 9.Valores de posiciones del joystick

Joystick [V]		PWM $2^8 = 255 \text{ bytes}$		ADC $2^{10} = 1023 \text{ bytes}$		Posición
Vrx:5	Vry:5	100% Vrx: 255	100% Vry:255	Vrx:1023	Vry:1023	Posición máxima hacia adelante
Vrx:2,5	Vry:2,5	50% Vrx:127	50% Vry:127	Vrx:512	Vry:512	Reposo
Vrx:0	Vry:0	0% Vrx:0	0% Vry:0	Vrx:0	Vry:0	Posición máxima en reversa

Elaborado por: Investigadora

La señal que controla la velocidad de los motores es la señal PWM la cual está en un rango de 0 a 255, en la siguiente figura se muestra los valores de velocidad de los motores los cuales están linealizados para un rango de -24V a 24V correspondientes a su voltaje de operación (ver Figura 39).

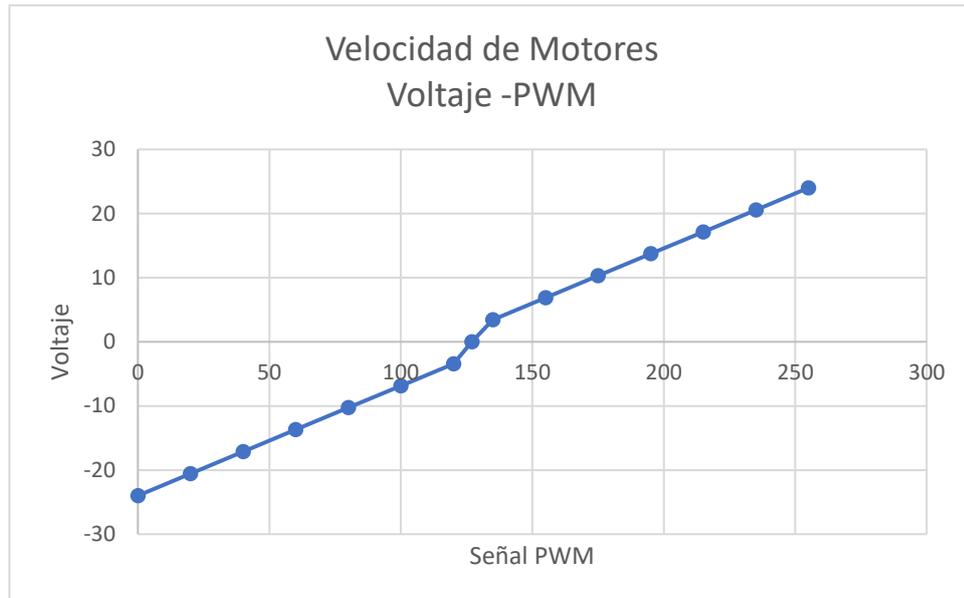


Figura 39. Grafica de velocidad de motores

Elaborado por: Investigadora

La señal analógica del joystick proporciona un voltaje de 0 a 5V, en la gráfica siguiente se muestra la variación del voltaje en relación con la señal PMW que es de 0 a 255 (ver Figura 40).

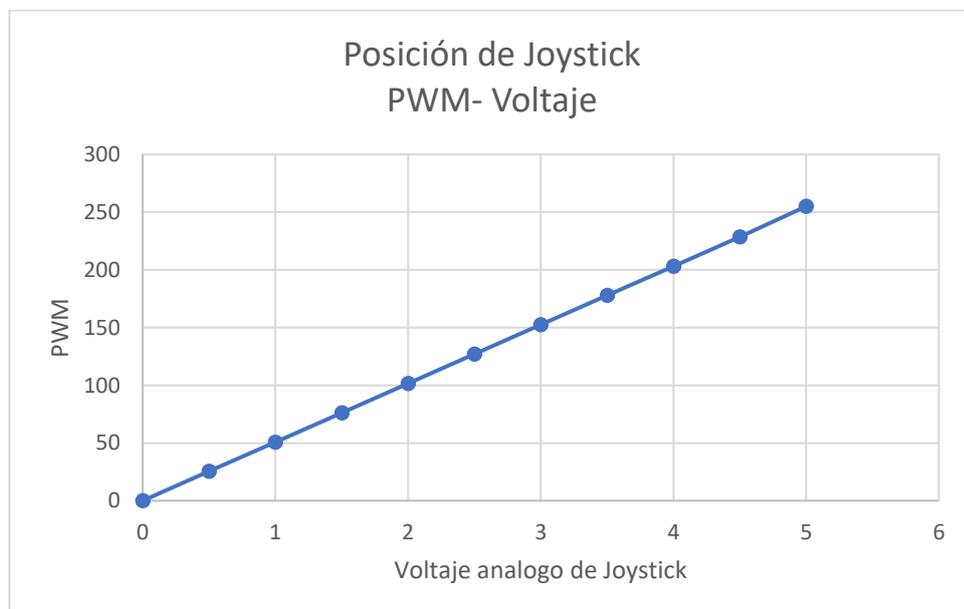


Figura 40. Grafica de valores intermedios de posición de joystick

Elaborado por: Investigadora

3.3.4.6 Microcontrolador

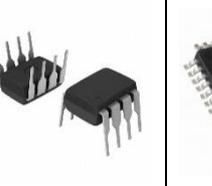
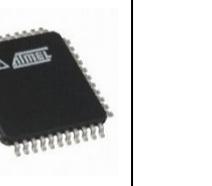
El microcontrolador es un chip electrónico capaz de automatizar procesos, gestionar información y controlar variables de entrada y salida.

Es responsable de procesar las señales análogas provenientes del joystick aplicando diferentes conversiones para obtener señales de control PWM que actuarán sobre el driver de motor; además el microcontrolador se encarga de procesar la señal procedente de un sensor ultrasónico el cual mide distancia por medio de ondas ultrasónicas y calcula la distancia a la que se encuentran los objetos y a determinado rango emite diferentes tipos de frecuencias de sonido mediante un zumbador alertando al usuario de la proximidad o lejanía de dichos objetos.

Para la elección del microcontrolador es necesario que trabaje a una frecuencia de 20Ghz, tenga un voltaje de suministro mínimo de 5V, una memoria aproximadamente de 32Kb, un pin para interfaz SPI, un mínimo de dos canales PWM y dos canales ADC y un mínimo de tres entradas y salidas programables; los posibles microcontroladores a utilizar en el proyecto se muestran a continuación.

Tabla 10. Características de Microcontroladores [33]

Marca Modelo Características	ATMEL ATMEGA328P -AU	ATMEL ATMEGA2560 -16AU	ATMEL ATTINY85- 20PU	ATMEL ATMEGA32 U4-AU
Memoria Flash	32Kb	256Kb	8Kb	32Kb
Tamaño de datos RAM	2Kb	8Kb	8Kb	2.5KB
Interfaz	2-wire, SPI, USART	2-wire, SPI, USART	USI	2C, SPI, UART/USAR T, USB.
Velocidad	20MHz	16MHz	20Mhz	16MHz.
Puertos de entrada/salida programables	23	86	6	26

Temporizadores	3	6	2	5
Canales de ADC	8 canales de 10 bits	16 canales de 10 bits	4 canales de 10 bits	12 canales de 10 bits.
Empaquetado	TQFP-32	TQFP-100	Tube	TQFP-44.
Descripción Gráfica				

Elaborado por: Investigadora

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el microcontrolador marca ATMEL modelo ATMEGA328P-AU en formato SMD para que el diseño de la placa de control sea más ergonómico y de fácil implementación en la silla bipedestadora además de contar con la cantidad necesaria de pines, 3 entradas dos de canales ADC y una digital del pin EC del ultrasónico y 4 salidas dos de canales PWM y dos digitales uno para el pin trigger del sensor ultrasónico y otra para el zumbador. Este microcontrolador es el más comercial y es utilizado en las placas de Arduino uno.

3.3.4.6.1 Diseño de circuito de control

Para el diseño del circuito de control se ocupó el microcontrolador ATMEGA328P-AU en formato SMD es decir en montaje superficial, para el circuito oscilador externo del microcontrolador se ocupa uno tipo XT compuesto por un cristal y dos capacitores del mismo valor; el cristal es de 20MHz y los dos capacitores son de 22pF, estos valores se colocaron conforme el datasheet del microcontrolador [34].

Adicionalmente a la alimentación del microcontrolador se le conectó a un capacitor de 100n F para controlar que el voltaje no se baje y una resistencia de 10 K Ω para el pin RESET, estos valores de resistencia y capacitor son proporcionados por el fabricante en su hoja de datos (ver Figura 41) [34].

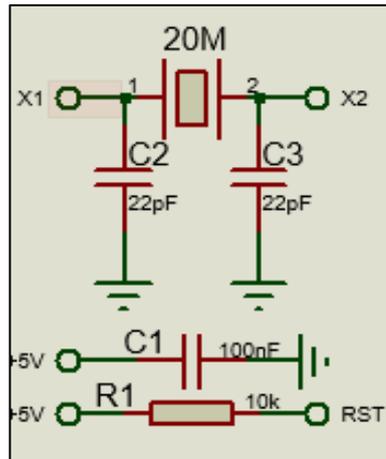


Figura 41. Oscilador externo tipo XT, conexión de reset y control de voltaje del microcontrolador

Elaborado por: Investigadora

Se alertó al usuario con el sonido de un zumbador, cuando hay la presencia de un objeto la distancia a la cual este empieza a emitir frecuencias de sonidos es 60cm, conforme la distancia va disminuyendo el sonido se hace más repetitivo, esto por la variación de tiempo del sensor ultrasónico. Para ello se diseñó un circuito con el transistor BJT 2N3904 y para calcular la resistencia en la base del transistor se tomaron los datos del datasheet [35] , en paralelo al zumbador está conectado un diodo para que se descargue y no permanezca sonando (ver Figura 42).

Los datos más importantes del transistor se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Datos de transistor 2N3904

2N3904	
V_{CE0MAX}	40V
I_{CMAX}	0.2A
$\beta(h_{FE})$	30-100

Elaborado por: Investigadora

Se conoce las siguientes ecuaciones para un transistor BJT:

$$I_C = \beta * I_B \quad (34)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (35)$$

los valores maximos de corriente y ganancia se reemplaza de la tabla 11

$$I_B = \frac{0.2}{100} \quad (36)$$

$$I_B = 2mA \quad (37)$$

*como medida de proteccion es necesario multiplar el valor * 2*

$$I_B = 2mA * 2 \quad (38)$$

$$I_B = 4mA \quad (39)$$

se calcula R_B aplicando la ley de OHM

$$V_B = I_B * R_B \quad (40)$$

*se toma en cuenta que la base esta conectada a una salida del microcontrolador
por lo que se tiene un voltaje de 5V
el transistor es compuesto de material de silicio por lo que el potencial de barrera
es de 0,7*

$$5V - 0,7V = I_B * R_B \quad (41)$$

$$4,3V = 4mA * R_B \quad (42)$$

$$R_B = \frac{4,3V}{4mA} \quad (43)$$

$$R_B = 1,075k\Omega \quad (44)$$

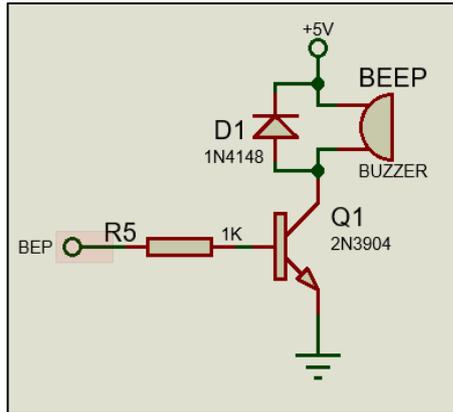


Figura 42. Circuito de transistor BJT para zumbador

Elaborado por: Investigadora

Los microcontroladores pueden leer las señales analógicas y generar señales digitales de control PWM (Modulación por ancho de pulso), es decir las señales de 0 a 5V provenientes del joystick son procesadas por el microcontrolador y posteriormente generan las señales de control. Al driver de motor no puede ingresar una señal digital, por lo que se acopla un filtro pasa bajo RC para transformar la señal digital de PWM proveniente del microprocesador y obtener una señal analógica (ver Figura 43).

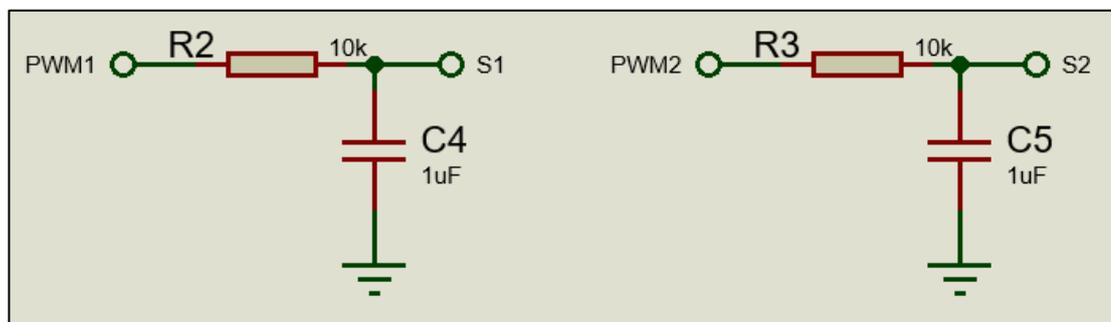


Figura 43. Filtro RC de señales PWM

Elaborado por: Investigadora

La programación se realiza en el entorno de desarrollo integrado de arduino y se carga el programa a través de los pines MOSI, MISO SCK, y RESET del microcontrolador utilizando una interfaz SPI.

El sensor ultrasónico va a medir la distancia a la que se encuentra un objeto y se va a alertar mediante el sonido de un zumbador, se conecta a dos pines digitales y el joystick que va a controlar el movimiento se conecta a dos pines analógicos del microcontrolador a más de la alimentación propia de cada dispositivo.

El diseño y simulación del circuito de control se lo realizó en el software Proteus como se muestra en la siguiente figura.

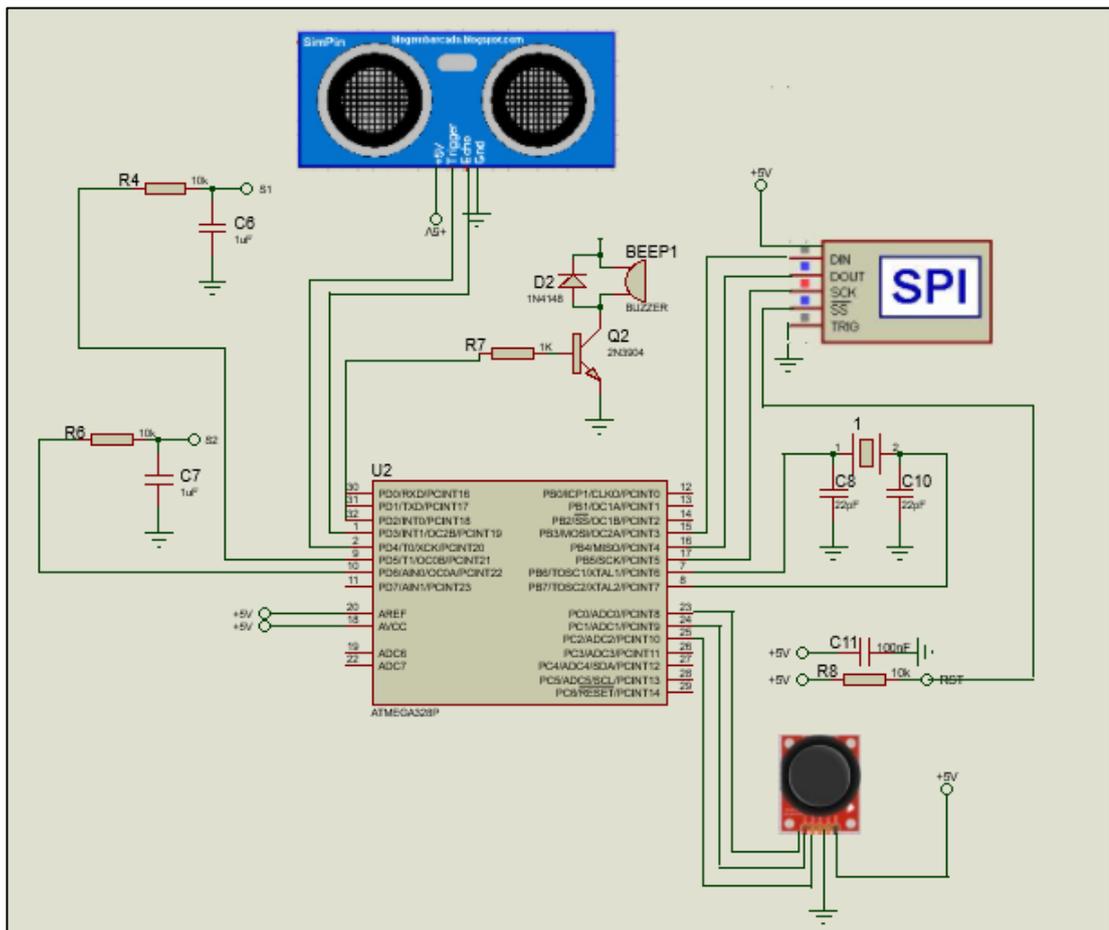


Figura 44. Diagrama electrónico del sistema de control de movimiento

Elaborado por: Investigadora

La programación del microcontrolador está desarrollada en dos etapas:

3.3.4.6.1.1 Etapa de control de movimiento

La etapa más trascendental del desarrollo del proyecto es la del control de movimiento (ver Figura 45), primeramente se crean las variables y definen los pines de entrada de los dos potenciómetros del joystick como señales analógicas denominadas VRX Y VRX en los pines ADC1 Y ADC0 respectivamente, los pines digitales de salida PWM para cada motor (PWMR , PWML) en los pines 5 y 6 respectivamente.

void setup()

Esta función se ejecuta una sola vez y es donde se inicializan todas las variables y periféricos del microcontrolador que se van a utilizar, además se indica si los pines son de entrada o de salida, las señales digitales PWM son de salida y funcionan del 0 al 100% pero estos valores no procesa el microcontrolador; por lo que se linealiza de 0 a 255, tomando como reposo el valor de 127, movimiento máximo hacia adelante 255 y movimiento máximo en reversa 0.

Se declararon 4 variables de tiempo las cuales van a ser para controlar el ciclo de movimiento de los motores, estos tiempos se inicializan en la variable millis la cual mide el tiempo desde que el microcontrolador se enciende; y las variables del joystick en X y Y en cero para que no haya movimiento de los motores.

void loop()

La función void loop es la que se ejecuta continuamente y es donde se utilizan las variables declaradas anteriormente, primeramente, para leer los valores del joystick se estableció que cada 100 milisegundos se vayan actualizando, a continuación se efectúa un analogRead de los valores en X y en Y, el conversor adc del microcontrolador de 10 bits, indica que el valor máximo al que va a variar el joystick es 1023 y el valor mínimo 0 y finalmente se realiza un map de los valores tanto en X como Y. Estos valores se colocaron de acuerdo a las pruebas realizadas para controlar la velocidad de

los motores en función del paciente discapacitado.

Finalmente, para enviar las señales PWM a los motores se estableció un tiempo de 20ms para que se actualicen los voltajes en el driver; para que los motores no tengan un arranque y frenado brusco se hizo que la variable VRX aumente de uno en uno y la variable VRY se reste de uno en uno conforme se va moviendo el joystick. Se actualiza el valor del PWM de cada motor en un analogWrite realizando un map de 0 a 100 que es el trabajo que realiza del motor a 0 y 255.

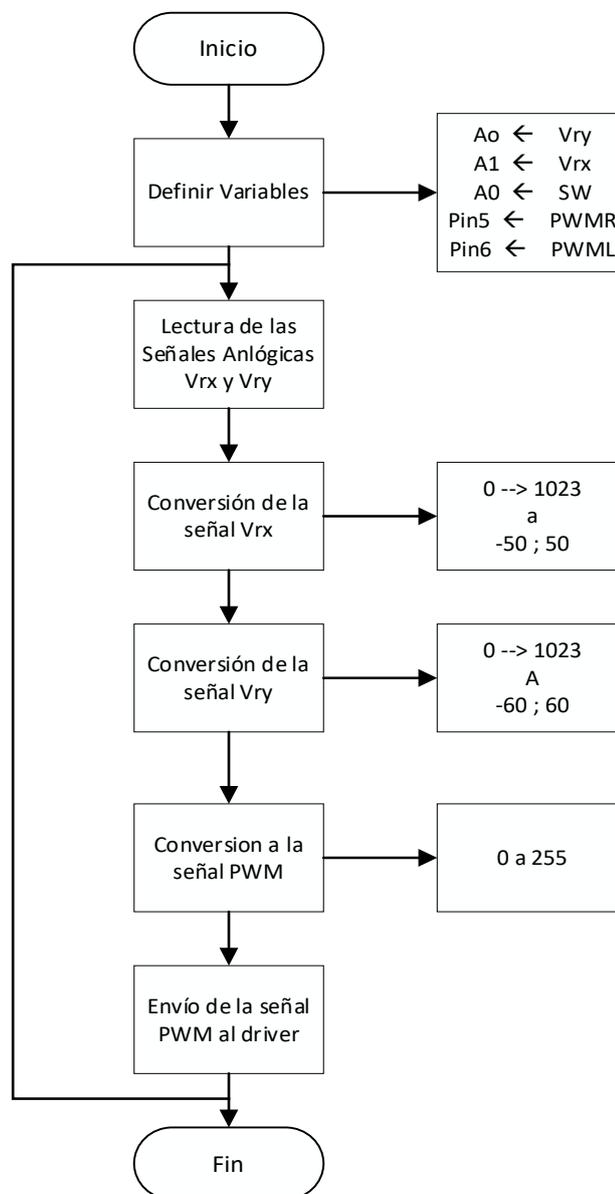


Figura 45. Flujograma etapa de control de movimiento

Elaborado por: Investigadora

3.3.4.6.1.2 Etapa de detección de proximidad de objetos

Para la etapa de detección de proximidad de objetos se tiene un ultrasónico que consta de 4 pines, dos pines de alimentación, un pin denominado trigger de salida que envía el pulso de medición de distancia y un pin denominado echo de entrada que es el que envía el tiempo en el que el sonido viaja.

En el entorno de programación de arduino se crean las variables y se definen los pines de cada dispositivo, TG, TE, BEEP con pines 4, 3 y 2 respectivamente. En la Figura 46 se muestra el flujograma de esta etapa.

void setup()

En esta función que se ejecuta una sola vez se inicializa la variable de distancia a 2000 *mm* para que el zumbador no inicie con sonido, se agregó una variable denominada *dt* la cual indica el tiempo en el que el zumbador se va prendiendo o apagando.

Para emitir el sonido de alarma se activa el zumbador el cual dependiendo de la distancia emite diferentes frecuencias de sonido que dependen de la variación de tiempo del sensor ultrasónico (ver Tabla 12).

Tabla 12. Datos de distancia a la que el zumbador se activa

Distancia (mm)	Variación de Tiempo (<i>dt</i>)
< 300	125
< 400	250
< 500	500
< 600	1000

Elaborado por: Investigadora

void loop()

Esta función se ejecuta continuamente y cada segundo se lee la distancia, se llama a una función denominada leerDistancia que activa el trigger por un tiempo de $10\mu seg$, se envía el pulso de $10\mu seg$ se observa cuanto tiempo estuvo el echo activado y se calcula la distancia. En función de la distancia que se encuentre el objeto el zumbador emite dísticos tipos de frecuencias de sonido.

Para calcular la distancia se multiplica el valor del echo activado por la velocidad del sonido que es 0,17 y se obtiene la distancia en milímetros.

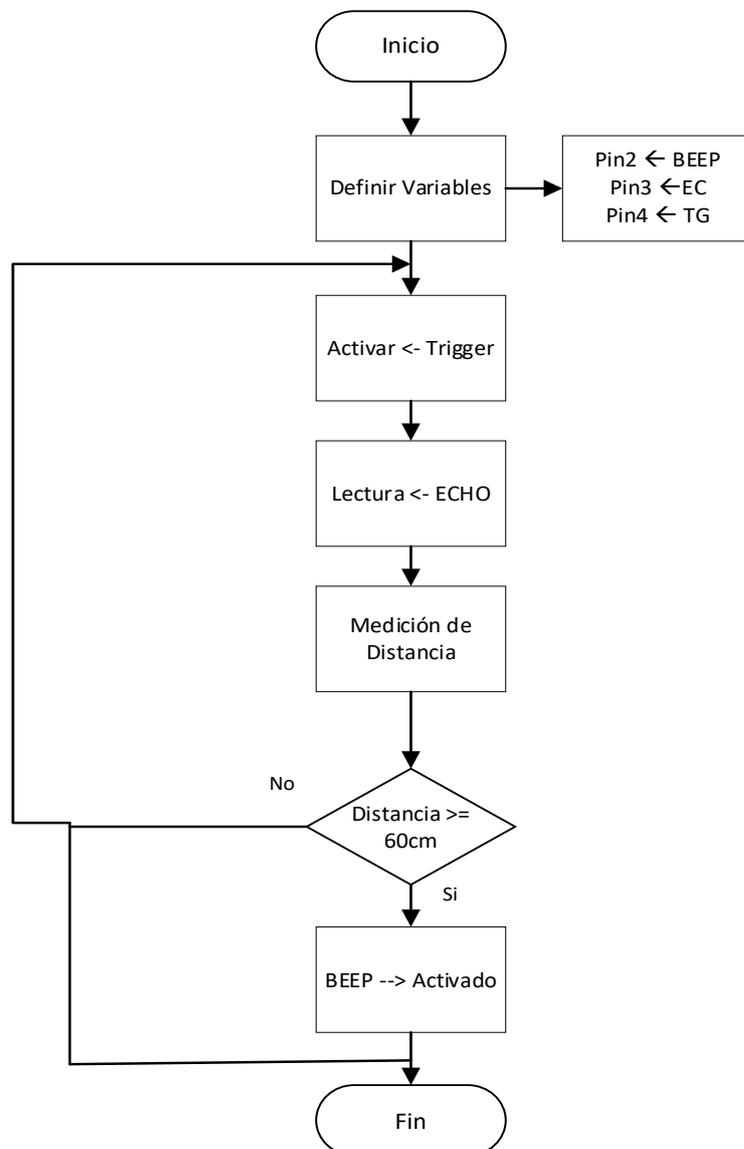


Figura 46. Flujograma etapa de detección de proximidad de objetos

Elaborado por: Investigador

El diagrama eléctrico del sistema de control se muestra en la siguiente figura:

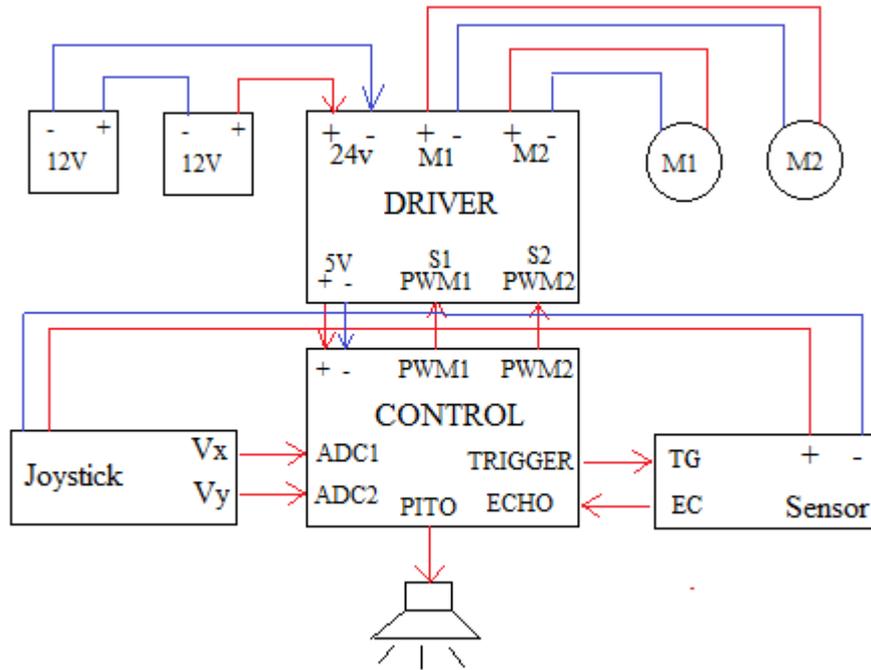


Figura 47. Esquema eléctrico del sistema de control de movimiento

Elaborado por: Investigadora

La simulación y diseño del circuito de control y de la placa PCB se realizó en el programa Proteus utilizando las herramientas schematic capture, PCB layout y 3D visualizer (ver figuras 48 y 49).

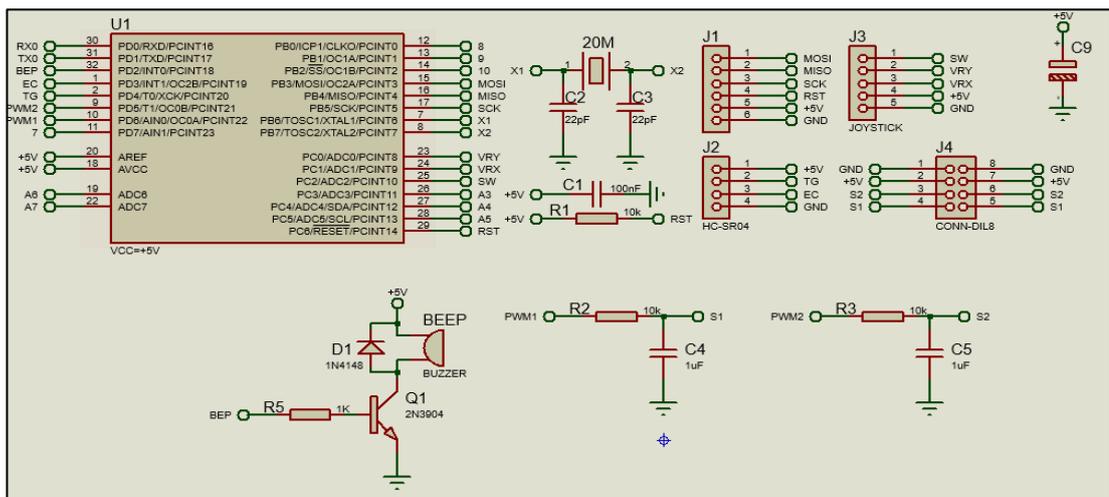


Figura 48. Diseño de placa de Control programa Proteus

Elaborado por: Investigadora

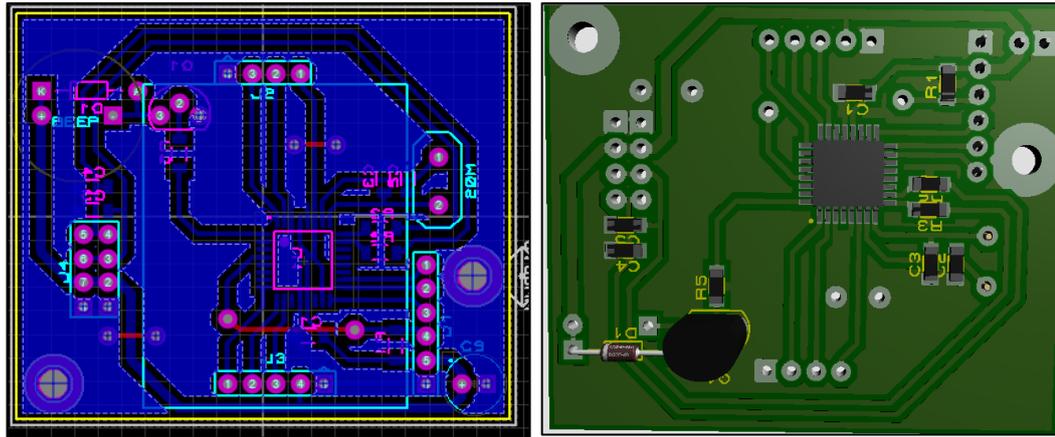


Figura 49. Diseño de placa de Control programa Proteus PCB layout y 3D Visualizer

Elaborado por: Investigadora

Se imprimió los diseños en una placa PCB y se procedió a la soldadura de todos los dispositivos electrónicos como se muestra a continuación:

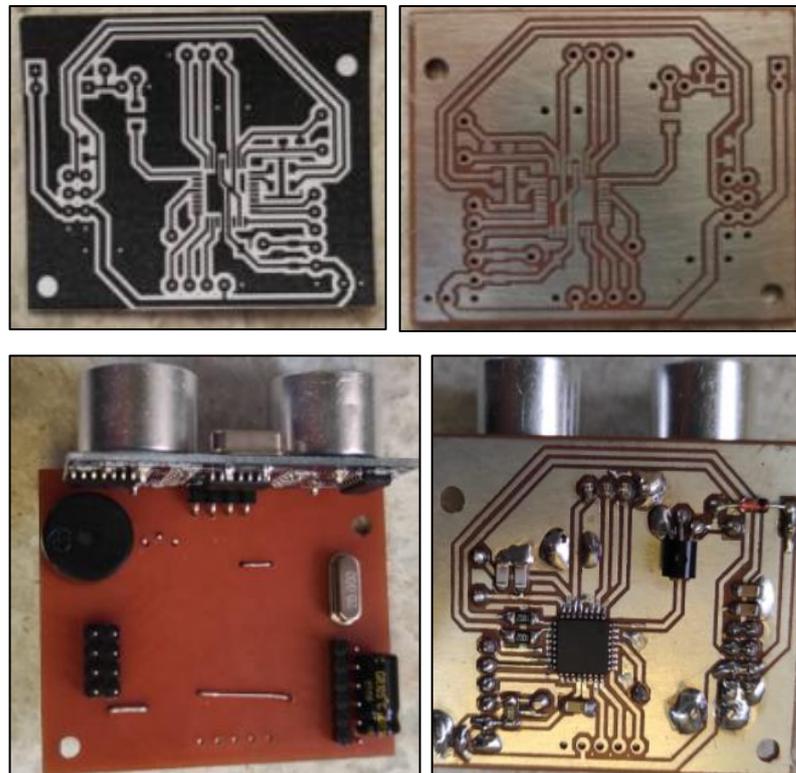


Figura 50. Impresión de circuito y soldadura de elementos electrónicos

Elaborado por: Investigadora

Para la colocación de la placa de control y driver de motor se realizó diseños de cajas en el programa solidworks para posteriormente imprimirlas en una impresora 3D. La figura 51 muestra el diseño de la caja para el circuito de control y la figura 52 el diseño de la caja para el driver de motor. La impresión 3D se muestra en la figura 53

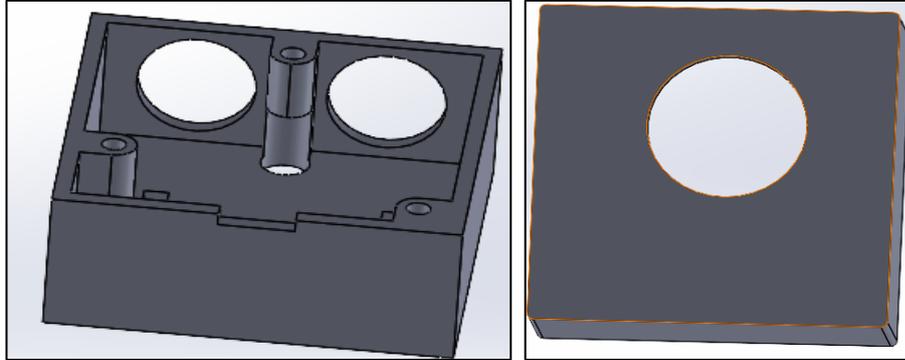


Figura 51. Diseño de caja para joystick programa SolidWorks

Elaborado por: Investigadora

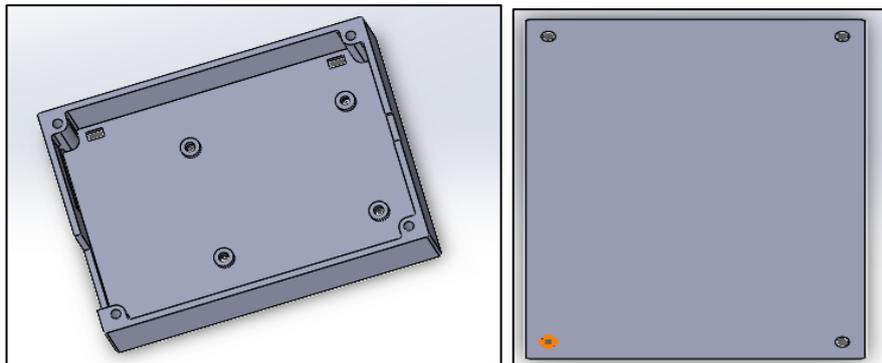


Figura 52. Diseño de caja para driver de motor en programa SolidWorks

Elaborado por: Investigadora

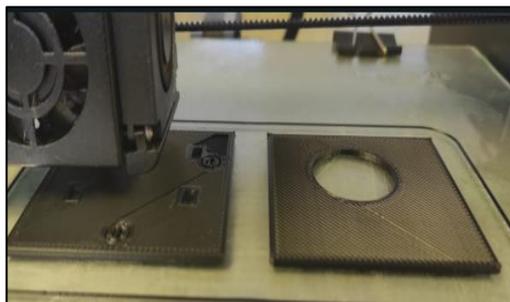


Figura 53. Impresión en 3D de cajas para materiales

Elaborado por: Investigadora

3.4 Análisis de Resultados

La implementación del sistema de control de movimiento en la silla bipedestadora para el centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones permite que el usuario sea autónomo en su desplazamiento ya que no necesita de terceras personas para que lo muevan de un lugar a otro.

El usuario antes de que la silla sea automatizada, utilizaba la fuerza de sus brazos para mover las ruedas traseras propulsoras lo que traía consecuencias de agotamiento en sus extremidades.

Se implementó y adecuaron los componentes del sistema de control de movimiento en la silla bipedestadora y se realizaron pruebas con el paciente para ajustar la velocidad a la que se sienta cómodo dada su discapacidad además de la facilidad del manejo del joystick.

El paciente pudo fácilmente controlar el joystick y al decidir la velocidad que era la más adecuada se tomaron tiempos de desplazamiento de la silla en el patio de su domicilio que es el lugar donde mayormente el paciente permanece, este tiene una superficie plana (ver figuras 54, 56 y tabla 13 y 15) y un plano inclinado (ver figuras 55, 57 y tabla 14 y 16).

Las mediciones de tiempo sirven para comprobar la fuerza de los motores para mover la silla cuando se coloca el peso del usuario.

Como la silla es bipedestadora se tomaron tiempos de desplazamiento cuando esta esta levantada (ver figuras 54 y 55) y cuando esta como una silla normal (ver figuras 56 y 57).

3.4.1 Pruebas en superficie plana con bipedestador



Figura 54. Prueba de sistema de control en silla levantada superficie plana

Elaborado por: Investigadora

Tabla 13. Tiempos tomados en un recorrido de 9m en superficie plana

Tiempo (seg)	Distancia (m)
40	9
37	9
38	9
40	9
37	9

Elaborado por: Investigadora

3.4.2 Pruebas en plano inclinado con bipedestador

La inclinación del patio del domicilio es una rampa que en su inicio es de 5° y termina en 10°.



Figura 55. Prueba de sistema de control con bipedestador en plano inclinado

Elaborado por: Investigadora

Tabla 14. Tiempos tomados en un recorrido de 19m en plano inclinado

Medición	Tiempo (seg)	Distancia (19m)
1	65	19
2	62	19
3	64	19
4	51	19
5	63	19

Elaborado por: Investigadora

La silla con bipedestador activado en una superficie plana se demora en recorrer los 9m un tiempo promedio de 38,4 *seg* y cuando recorre un plano inclinado de ida y regreso de 19m se demora un tiempo promedio de 61*seg* lo que indica que hay un incremento de 22,6*seg*; considerando la diferencia de distancias entre la superficie plana y el plano inclinado no se tendría una variación importante; pero hay que tomar en cuenta que al regreso es una bajada por lo que ocurre una perturbación y el motor presenta una mínima aceleración. Se observa que los motores trabajan correctamente tanto en superficies planas como en planos inclinados aun cuando el suelo no es totalmente regular.

3.4.3 Pruebas en superficie plana en silla normal



Figura 56. Prueba de sistema de control en silla normal superficie plana

Elaborado por: Investigadora

Tabla 15. Tiempos tomados en un recorrido de 9m en superficie plana

Medición	Tiempo (seg)	Distancia (m)
1	35	9
2	33	9
3	34	9
4	33	9
5	35	9

Elaborado por: Investigadora

3.4.4 Pruebas en plano inclinado en silla normal



Figura 57. Prueba de sistema de control en silla normal plano inclinado

Elaborado por: Investigadora

Tabla 16. Tiempos tomados en un recorrido de 19m en plano inclinado

Tiempo (seg)	Distancia (19m)
55	19
50	19
53	19
52	19
54	19

Elaborado por: Investigadora

La silla en su composición normal al desplazarse 9m en una superficie plana se demora un promedio de 34 seg, y en el plano inclinado una distancia de 19m un promedio de 46,8 seg . En contraste con las mediciones de la silla con bipedestador en la superficie plana se tiene el mismo tiempo, mientras que en el plano inclinado se demora menos. Los motores funcionan correctamente, tienen la fuerza de moverse tanto en superficies planas, planos inclinados y con un peso del paciente de 85Kg.

Para determinar la eficiencia de la usabilidad del sistema de control de movimiento implementado en la silla bipedestadora, se utilizó la escala de usabilidad del sistema SUS (System Usability Scale) el cual proporciona una herramienta confiable para medir la usabilidad, consiste en un cuestionario de 10 preguntas con cinco opciones de respuesta, de totalmente de acuerdo a totalmente en desacuerdo; se realizó utilizando un grupo de diez preguntas que se muestran en la Tabla 17 y fue respondido por el paciente con una ponderación varía de uno a cinco, con total desacuerdo y completo acuerdo, respectivamente [36].

Tabla 17. Preguntas escala de usabilidad del sistema SUS [36].

Pregunta	Valor
1. ¿Creo que usaría esta silla frecuentemente?	5
2. ¿Encuentro esta silla innecesariamente compleja?	1
3. ¿Creo que la silla fue fácil de usar?	5
4. ¿Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar esta silla?	1
5. ¿Las funciones de esta silla están bien integradas?	5
6. ¿Creo que la silla es muy inconsistente?	1
7. ¿Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar esta silla en forma muy rápida?	5
8. ¿Encuentro que la silla es muy difícil de usar?	1

9. ¿Me siento confiado al usar silla?	4
10. ¿Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar esta silla?	1
TOTAL	97.5

Elaborado por: Investigadora

El cálculo del valor SUS se obtiene sumando cada valor de respuesta de las preguntas impares, en este caso se tiene un total de 24 y se le resta 5 dando como resultado 19, y a las respuestas impares se resta la sumatoria de las mismas de un valor de 25, en este caso se obtiene 20; se suma estos dos valores y se obtiene un total de 39 este valor se multiplica por 2,5 y se obtiene el valor SUS.

En consecuencia, el resultado promedio del SUS es 97.5%, lo que demuestra que la silla bipedestadora es muy fácil de usar por el paciente, además resultados experimentales demuestran la viabilidad y facilidad de uso.

3.4.5 Pruebas de Distancia y Sonido

Para las pruebas de distancia se colocó la silla con objetos adelante del sensor ultrasónico y se tomó el tiempo en el que el zumbador empezaba a emitir frecuencias de sonido.

Tabla 18. Pruebas de Distancia y sonido

Distancia	Tiempo de Respuesta de Zumbador
3 metros	No hubo respuesta
2 metros	No hubo Respuesta
1 metro	No hubo Respuesta
60 cm	2.3 seg
50 cm	1,8 seg
40 cm	1,2 seg
30 cm	1 seg
15 cm	Respuesta inmediata

Elaborado por: Investigadora

Como resultado de las pruebas realizadas se concluye que mientras más alejado está el objeto del sensor ultrasónico, el zumbador tarda más tiempo en dar una respuesta, y mientras más cercano está el objeto la respuesta del zumbador es inmediata.

3.5 Presupuesto

Tabla 19. Presupuesto utilizado en el proyecto

Presupuesto					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Motres DC YALU MY1016Z	c/u	2	\$175	\$350
2	Baterías KITZUMA 6FM21	c/u	2	\$42,50	\$85
3	Cargador de Batería HAOLEI CB-30	c/u	1	\$45	\$45
4	Driver de Motor Sabertooth 2*25V2	c/u	1	\$150	\$150
5	Microcontrolador Atmel atmega 328	c/u	1	\$6	\$6
6	Joystick	c/u	1	\$2	\$2
7	Resistencias, diodo, transistor	c/u	1	\$2	\$2
8	Placa PCB	c/u	1	\$2,50	\$2,50
9	Cables, terminales	c/u	4	\$7	\$7
10	Impresión 3D	c/u	2	10	\$20
Total:					669,50

Elaborado por: Investigadora

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se implementó un sistema de control de movimiento eficiente que utilizando un joystick para el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones con el cual se pudo facilitar el desplazamiento de una persona limitada en su capacidad para caminar brindándole autonomía en el total control de movimiento de la silla bipedestadora.
- Se determinó que las partes más importantes a estudiar para el desarrollo del proyecto fueron el reposabrazos derecho donde se añadió un tubo metálico que es en el que se implementó el sistema de control de mando (joystick) el cuál es de fácil extracción para facilitar la salida del paciente de la silla bipedestadora y las ruedas traseras propulsoras que es donde se acopló los motores DC marca YALU, el sistema motor-catalina-cadena fue el más apropiado para tener un movimiento equilibrado de los ejes de las ruedas, además se realizaron ciertas adecuaciones adicionales como el soporte para las baterías.
- Se analizó que los elementos que permitirán el control de movimiento de la silla bipedestadora son una entrada de control de mando joystick compuesto de dos potenciómetros uno para X y otro para Y perteneciente a Arduino, un microcontrolador marca Atmel modelo ATMEGA 328 en formato SMD, un controlador o driver de motor Sabertooth 2*25V2 marca dimension engineering y un elemento final de control que son los motores DC Marca YALU modelo MY1016Z.

- Se construyó el prototipo del sistema de control de movimiento dividiéndolo en distintas etapas, primero el sistema mecánico que es la adecuación de los motores a las ruedas traseras propulsoras, este se lo realizó con el sistema motor-catalina-cadena y tomando en cuenta la relación de transmisión. Como segunda etapa el diseño, construcción de la placa de control y programación de del microcontrolador ATMEGA328, en la tercera etapa se conectaron todos los componentes y se realizó las pruebas de programación como el giro adecuado de los motores, lectura de las señales del joystick, del sensor ultrasónico y activación de zumbador. Finalmente se calibro los valores de la velocidad de los motores conforme las pruebas realizadas con el paciente y se realizó el diseño de cajas en impresión 3D para que el diseño del prototipo quede completo.

4.2 Recomendaciones

- Para la automatización de las ruedas traseras propulsoras de la silla bipedestadora es necesario dimensionar lo motores que se vayan a utilizar tomando en cuenta el peso del paciente, peso de la silla bipedestadora y peso de cada componente para tener un adecuado control de movimiento de la silla ya sea en superficies planas y en planos inclinados.
- Para el diseño de circuito de control es necesario tomar en cuenta las hojas de datos de cada dispositivo ya que proporcionan información sobre las características, funcionamiento, formas de conexión que son necesarias el diseño de circuitos.
- Tener en cuenta la polarización de cada dispositivo ya que pueden producir daños en los equipos.
- En trabajos futuros se podría implementar el sistema de control de movimiento mediante control inalámbrico y a través de un mando de pantalla táctil de cualquier dispositivo smartphone.

- El presente sistema de control puede ser analizado con respecto a cada usuario y en función de estas medidas se consiga innovar progresos concretos para cada tipo de usuario, debido a que el sistema consta de licencias libres para la modificación de cada uno de los componentes.
- El principal reto que se presentó en el desarrollo de la investigación fue en el acople de motores ya que se tuvieron ciertos inconvenientes para obtener el valor del número de dientes de las catalinas adecuados, así como el tamaño de la cadena. Esta adecuación tenía que ser conforme la reducción de velocidad de los motores conveniente para el paciente.
- En la programación se debió considerar el incremento de la variable que controla la velocidad de los motores ya que presentaba arranque y frenado bruscos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Mundial, 2020 Grupo del Banco Mundial, [En línea]. Available: <https://databank.bancomundial.org/reports.aspx?source=2&country=ECU>. [Último acceso: 2 agosto 2020].
- [2] C. Valencia y M. . E. Bernal, «<https://repositorio.cepal.org/>,» Marzo 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39995/S1600203_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 2 agosto 2020].
- [3] CONADIS, «<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>,» Gobierno de la republica del Ecuador , julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 2 agosto 2020].
- [4] L. F. Bedón Vásquez, «<repositorio.uta.edu.ec>,» Julio 2017. [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26094/1/Tesis_%20t1289ec.pdf. [Último acceso: 02 Agosto 2020].
- [5] J. L. Varela Aldás, «<https://repositorio.uta.edu.ec/>,» Abril 2014. [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7342/1/Tesis_t881id.pdf. [Último acceso: 02 Agosto 2020].
- [6] O. Tambaco, . D. Ortiz y F. Valencia, «<http://repositorio.utn.edu.ec/>,» 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7205/2/ARTICULO.pdf>. [Último acceso: 21 agosto 2020].
- [7] J. C. Armijos Comina y T. A. Criollo Simbaña, «<http://repositorio.espe.edu.ec/>,» 2 Julio 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14728/1/T-ESPE-040116.pdf>. [Último acceso: 3 Agosto 2020].

- [8] T. Sreejith, J. Vishnu y G. Vijayan, «Trackball Controlled Novel, Cost Effective Electric Wheelchair,» *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*, pp. 205-209, 23-24 March 2018.
- [9] A. Padilla Muñoz, «Discapacidad: Contexto, Concepto y Modelos,» *International Law: Revista Colombiana de Derecho Internacional*, n° 16, pp. 381-414, 2010.
- [10] C. Clause, «Study.com.,» 2 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://study.com/academy/lesson/what-is-a-physical-disability-definition-types-quiz.html>. [Último acceso: 3 agosto 2020].
- [11] T. Puentes de Armas, «Almacen de Archivos Digitales,» 2005. [En línea]. Available: <https://rc.upr.edu.cu/jspui/handle/DICT/2833>. [Último acceso: 5 diciembre 2020].
- [12] B. A. Bernal Moncivaiz, «<http://ri.uaemex.mx/>,» 2013. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14305/405594.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 3 agosto 2020].
- [13] J. Gorgues, «Selección y adaptación de sillas de ruedas convencionales,» *OFFAR*, vol. 24, n° 8, pp. 148-152, 2005.
- [14] J. I. Barbero Palacios y L. A. Ortega Bustamante, «<https://dspace.ups.edu.ec/>,» Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11394/3/UPS-KT01207.pdf>. [Último acceso: 3 Agosto 2020].
- [15] E. Garcia Moreno, «<https://www.academia.edu/>,» 1999. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/download/54693882/automatizacion_de_procesos_industriales.pdf. [Último acceso: 3 Agosto 2020].
- [16] E. Garcia Moreno, *Automatización de Procesos Industriales*, Valencia: Alfaomega, 2001.

- [17] R. Hernández Gaviño, *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB*, Aguas Calientes: Pearson Educacion, 2010.
- [18] S. Moya, «Conceptos Básicos: Sistemas de Control,» *Revista InTech México Automatización*, 2018.
- [19] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, Madrid: Pearson Educación, 2010.
- [20] A. Lopez Rodriguez, «StuDocu,» 18 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-veracruz/electric-circuits-analysis/apuntes/examen-cn-u4-6f2a-alecxis-lopez-rodriguez/10870316/view>.
- [21] D. Ramírez, 2012. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/download/55127429/SASE2011-Fuentes_de_alimentacion.pdf. [Último acceso: 3 Agosto 2020].
- [22] R. L. BOYLESTAD, *Introduccion al Analisis de Circuitos*, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [23] J. A. Andrino Cebrián, «dgt,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XVIII-Curso-de-Profesores/Mecanica-Ed.-2015.pdf>.
- [24] F. FORMACION, «My electronic,» [En línea]. Available: http://myelectronic.mipropia.com/CICLO_2/M08_04_MOTORES_DE_CORRIENTE.PDF?i=1. [Último acceso: 5 diciembre 2020].
- [25] P. Andrey , «<http://www.electrolibrary.info/>,» 17 febrero 2020. [En línea]. Available: <http://www.electrolibrary.info/es/112-joystick.html>. [Último acceso: 5 diciembre 2020].

- [26] M. A. Peña Gaibor, «repositorio.ucsg,» 28 febrero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14316/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-109.pdf>. [Último acceso: 5 diciembre 2020].
- [27] R. Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Mexico: Marcombo, 2007.
- [28] C. Robinson Lucero, D. Carlos Wahr y C. Arancibia Galea. [En línea]. Available: http://www2.udec.cl/~provia/trabajos_pdf/45RobinsonLuceroCoeficientedefriccion.pdf. [Último acceso: 5 diciembre 2020].
- [29] S. E. d. N. INEN, «Servicio Ecuatoriano de Normalizacion,» junio 2016. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2245-1.pdf. [Último acceso: 5 diciembre 2020].
- [30] W. Bartsch, *Alrededor del torno*, Barcelona: Reverte, 1981.
- [31] L. Zhejiang Haolei Mechanics & Electrical Co., «Made-In-China,» 2006. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_chinahaolei/product_Battery-Charger-CB-30-CB-50-12V-24V_hsrnyueyg.html. [Último acceso: 7 enero 2021].
- [32] D. Ingeneering, «dimensionengineering,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.dimensionengineering.com/info/describe>. [Último acceso: 7 enero 2021].
- [33] E. I+D, «Electrónica I+D,» [En línea]. Available: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/microcontroladores/atmel>. [Último acceso: 7 enero 2021].
- [34] Atmel, «DigiKey,» 2015. [En línea]. Available: https://octopart.com/atmega328pu-microchip-77760210?gclid=Cj0KCQiA3smABhCjARIsAKtrg6KPGA62CbHtEJqIVfbxRudsybw3RZY6HCxUY_cYzthstl2THt8ORu0aAnNdEALw_wcB. [Último acceso: 7 enero 2021].

- [35] J. Electronics, «Octopart,» 2001. [En línea]. Available: <https://datasheet.octopart.com/2N3904%28FSC%29-Fairchild-datasheet-7285131.pdf>. [Último acceso: 7 enero 2021].
- [36] Y. P. Erazo, C. P. Chasi y M. A. L. , «Machine Learning for Acquired Brain Damage Treatment,» *Springer Nature Suiza AG*, vol. 11613, pp. 362-375, 2019.

ANEXOS



Anexo 1. Adecuación de Motores en la silla bipedestadora



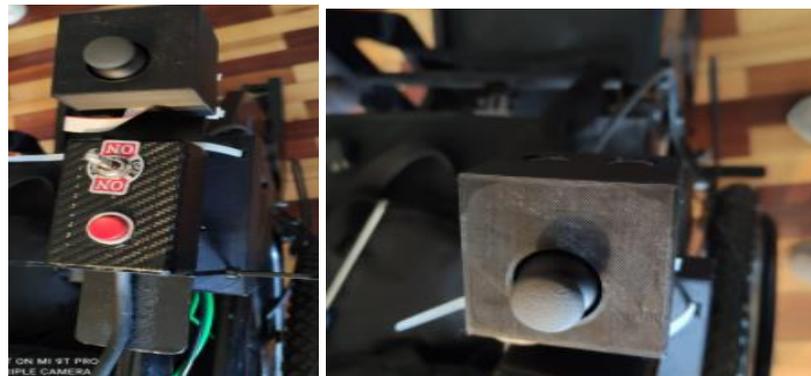
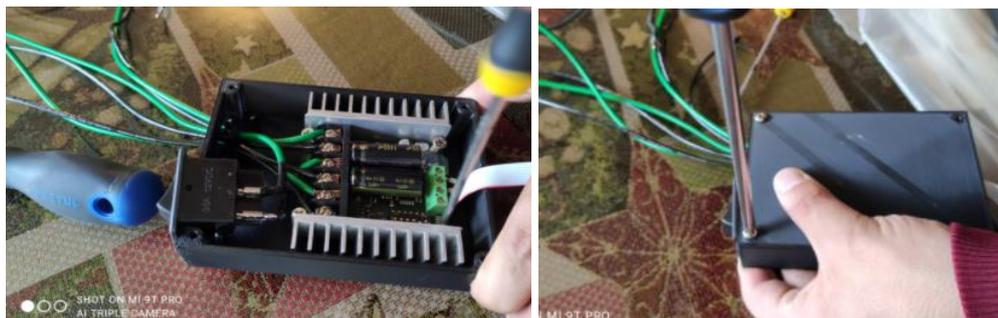
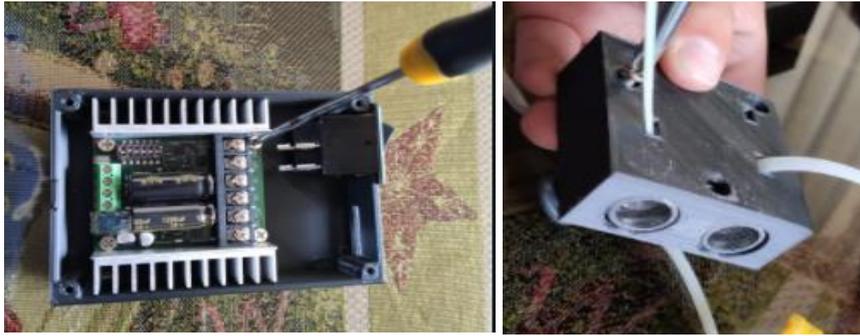


Anexo 2. Conexión de dispositivos y colocación en la silla pidedestadora



Anexo 3. Primera prueba de programación y movimiento





Anexo 4. Montaje de placa de control en cajas de impresión 3D



Anexo 5. Pruebas finales realizadas con el paciente

Anexo 6. Código de programación Arduino IDE

```

#define VRX  A1
#define VRY  A0
#define SW   A3
#define PWMR 5
#define PWML 6
#define TG   4
#define EC   3
#define BEEP 2
uint32_t distancia, t0, t1, t2, t3, dt;
int16_t vx, vy, vrx, vry;

```

```

void setup() {
  pinMode( SW, INPUT_PULLUP );
  pinMode( PWMR, OUTPUT );
  analogWrite( PWMR, 127 );
  pinMode( PWML, OUTPUT );
  analogWrite( PWML, 127 );
  pinMode( TG, OUTPUT );
  pinMode( EC, INPUT );
  pinMode( BEEP, OUTPUT );
  distancia = 2000; // 2MM O 2M
  dt = 500;
  t0 = millis();
  t1 = millis();
  t2 = millis();
  t3 = millis();
  vx = 0;
  vy = 0;
  vrx = 0;
  vry = 0;
}
void loop() {
  if( millis()-t2 > 100 ) {
    t2 = millis();
    uint16_t adc;
    adc = analogRead( VRX );
    delay( 1 );
    vrx = map( adc, 0, 1023, -35, 35 );
    adc = analogRead( VRY );
    delay( 1 );
    if( adc < 511 ) {
      vry = map( adc, 0, 1023, -50, 50 );
    } else {
      vry = map( adc, 0, 1023, -60, 60 );
    }
  }
}

```

```

}
delay( 1 );
}
if( millis()-t3 > 20 ) {
    t3 = millis();
    if( vx<vrX ) {
        vx++;
    } else if( vx>vrX ) {
        vx--;
    }
    if( vy<vrY ) {
        vy++;
    } else if( vy>vrY ) {
        vy--;
    }
    analogWrite( PWMR, ( uint8_t ) map( vx, -100, 100, 0, 255 ));
    analogWrite( PWML, ( uint8_t ) map( vy, -100, 100, 0, 255 ));
}
if( millis()-t0 > 1000 ) {
    t0 = millis();
    distancia = leerDistancia();
}
if( distancia < 300 ) {
    dt = 125;
} else if( distancia < 400 ) {
    dt = 250;
} else if( distancia < 500 ) {
    dt = 500;
} else if( distancia < 600 ) {
    dt = 1000;
} else {
    dt = 1000;
    t1 = millis();
}

```

```

}
if( millis()-t1 > dt ) {
    t1 = millis();
    beep();
}
}
void beep() {
    digitalWrite( BEEP, HIGH );
    delay( 5 );
    digitalWrite( BEEP, LOW );
}
uint32_t leerDistancia() {
    // Clear trigger
    digitalWrite( TG, LOW );
    delayMicroseconds( 2 );
    // Sets trigger HIGH state for 10 us
    digitalWrite( TG, HIGH );
    delayMicroseconds( 10 );
    digitalWrite( TG, LOW );
    noInterrupts();
    uint32_t t = pulseIn( EC, HIGH );
    interrupts();
    uint32_t v = ( uint32_t ) ( t*0.17 );
    return v;
}

```