



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERÍA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA
DE RUEDAS BASADO EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS
ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA “CARLOS GARBAY”**

**Trabajo de Titulación para optar al título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

Autores:

**CUSHPA CAJO ERIKC ALEXANDER
VELASCO AUCAPIÑA JULISA DAMARIS**

Tutor:

PhD. Rentería Leonardo

Riobamba, Ecuador. 2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Velasco Aucapiña Julisa Damaris, con cédula de ciudadanía 165005710-0 y Cushpa Cajo Erikc Alexander, con cédula de ciudadanía 060510056-9 autores del trabajo de investigación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADO EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA "CARLOS GARBAY"**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 08 de marzo de 2024.



Velasco Aucapiña Julisa Damaris
C.I: 1650057100



Cushpa Cajo Erikc Alexander
C.I: 0605100569

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADA EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA "CARLOS GARBAY", presentado por Erikc Alexander Cushpa Cajo, con cédula de identidad número 0605100569, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 06 de marzo de 2024.

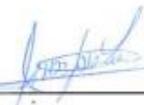
Deysi Inca, Mcs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Klever Torres, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



José Jinez, Mcs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Leonardo Rentería, PhD.
TUTOR



DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADA EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA "CARLOS GARBAY", presentado por Julisa Damaris Velasco Aucapiña, con cédula de identidad número 1650057100, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 06 de marzo de 2024.

Deysi Inca, Mcs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Klever Torres, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



José Jinez, Mcs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Leonardo Rentería, PhD.
TUTOR

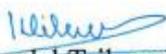


CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADA EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA “CARLOS GARBAY”, presentado por Erikc Alexander Cushpa Cajo, con cédula de identidad número 0605100569, bajo la tutoría de PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 06 de marzo de 2024.


Presidente del Tribunal de Grado
Mcs. Deysi Vilma Inca Balseca


Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Klever Hernán Torres Rodríguez


Miembro del Tribunal de Grado
Mcs. José Luis Jinez Tapia

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADA EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA "CARLOS GARBAY", presentado por Julisa Damaris Velasco Aucapiña, con cédula de identidad número 1650057100, bajo la tutoría de PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 06 de marzo de 2024.


Presidente del Tribunal de Grado
Mcs. Deysi Vilma Inca Balseca


Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Klever Hernán Torres Rodríguez


Miembro del Tribunal de Grado
Mcs. José Luis Jinez Tapia



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **VELASCO AUCAPIÑA JULISA DAMARIS** con CC: **1650057100**, estudiante de la Carrera **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADO EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA CARLOS GARBAY**", cumple con el **3%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 28 de febrero de 2024



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO FABIAN
RENTERIA BUSTAMANTE**

PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante
TUTOR



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **CUSHPA CAJO ERIK ALEXANDER** con CC: **0605100569**, estudiante de la Carrera **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTÓNOMO PARA UNA SILLA DE RUEDAS BASADO EN PLATAFORMAS DE HARDWARE ABIERTO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA CARLOS GARBAY**", cumple con el **3%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 28 de febrero de 2024



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO FABIAN
RENTERIA BUSTAMANTE**

PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante
TUTOR

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis es dedicado a mis padres y hermanos por ser el pilar fundamental durante mi formación académica y personas, a ellos les ofrezco este trabajo como una ofrenda por tanto sacrificio, paciencia y amor que me han brindado siempre.

A mi segunda familia quienes me han educado con amor y respeto desde mi niñez.

A mis amigos por llenarme de tanto amor, paciencia y sobre todo respeto.

Julisa Velasco

A mi madre Paola Cajo que con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño y meta más en mi vida e impulsarme a ser una mejor persona. A mi padre David Cushpa por ser un pilar fundamental, creer en mí y por darme su apoyo incondicional.

A mis hermanos Maykel Ariel y Rommel Omar Cushpa Cajo por su cariño y apoyo incondicional, durante toda esta etapa de mi vida y por siempre estar conmigo en las buenas y malas.

A mi compañera de vida Tania Vimos por el amor, apoyo incondicional y sobre todo la confianza en los peores momentos de mi vida.

A mis familiares por darme consejos y guiarme por el buen camino y a mis amigos por ser parte de la etapa universitaria.

Erikc Cushpa

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a mi Dios Todopoderoso por las bendiciones recibidas alrededor de todos estos años, tanto en mi vida personal como estudiantil.

A mis padres, Miguel Velasco por ser un hombre trabajador, honesto y amoroso, por enseñarme a no rendirme cuando hay obstáculos en el camino, a mi madre Gladys Aucapiña, quien es mi mejor amiga y compañera de vida, con su amor, paciencia e incondicionalidad ha sido mi apoyo todos los días, a ellos por hacer todo lo posible para que mis sueños siempre pueda hacerlos realidad.

A mis hermanos Estefanía, Flavio, Erick, Elder y Michael, que con su amor y paciencia he podido cultivar las mejores enseñanzas de vida, tanto personales como profesionales

A mi tía Marlene Velasco y a mis primos Danny y Jonathan por ser mi segunda familia y haberme educado desde muy pequeña, inculcando los mejores valores para ser una persona de bien, por haber confiado y apoyado desde antes de inicios de mi carrera, quienes me han enseñado a perseguir y cumplir mis sueños.

A mi compañero de vida Javier Gamboa, por ser quien me ha impulsado a lograr todos mis objetivos y estar presente desde el principio.

Por último, a mis amigos Marco, Kevin, Juan Carlos, Juan Pablo, Byron, Fabian, Dennis, Cristian y Walter, quienes han compartido buenos y malos momentos junto a mí, a mi querida amiga Lorena quien ha sido la amiga incondicional en tiempos buenos y malos, por todas las enseñanzas recibidas durante todo el tiempo de amistad, demostrándome que la amistad verdadera existe.

Julisa Velasco

Agradezco a Dios y a mi familia por ser un pilar fundamental en el transcurso de esta etapa, por ser mi fuente de inspiración para ser mejor persona y por siempre apoyarme en cada paso que doy en mi vida.

A mi compañera de vida por su infinito apoyo, por ser fuente de alegría y por creer en mí durante mi etapa universitaria.

A mis amigos que me brindaron su apoyo, motivación y por las experiencias compartidas durante toda la carrera. A mis familiares por siempre aconsejarme y darme ánimos en todo momento para siempre seguir adelante.

Erike Cushpa

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUDITORIA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	19
1.4 OBJETIVOS	20
1.4.1 GENERAL	20
1.4.2 ESPECÍFICOS	20
CAPÍTULO II.....	21
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	21
2.1.1. DISCAPACIDAD	22
2.1.2. TIPOS DE DISCAPACIDAD.....	23
2.1.3. SILLA DE RUEDAS	23
2.1.4. ACTUADORES	24
2.1.5. SENSORES	24
2.1.6. INDICADORES	25
2.1.7. COMPUTADORES EMBEBIDOS	25
CAPÍTULO III.....	26
3.1. METODOLOGIA.....	26
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	26

3.1.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	26
3.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	49
3.1.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA.....	50
3.1.6. MUESTRA.....	50
3.1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	50
3.1.8. HIPÓTESIS	51
CAPÍTULO IV	52
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1.1. PRUEBA SEGÚN LOS TIPOS DE OBSTÁCULOS.....	52
4.1.2. PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS	53
4.1.3. PRUEBA DE MANN-WHITNEY.....	53
4.1.4. PRUEBA DE MANN-WHITNEY.....	54
4.1.5. DIAGRAMA DE CAJAS	57
CAPÍTULO V.....	59
5.1. CONCLUSIONES	59
5.2. RECOMENDACIONES.....	59
CAPÍTULO VI.....	61
6.1. PROPUESTA.....	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de sensores ultrasónicos.....	27
Tabla 2: Características del sensor ultrasónico HC-SR04.....	28
Tabla 3: Tipos de sensores infrarrojos.....	28
Tabla 4: Características del sensor infrarrojo E18-D80NK	29
Tabla 5: Tipo de motores.....	30
Tabla 6: Características del Motor RS550 DC	30
Tabla 7: Tipos de controladores de motores.....	31
Tabla 8: Características del controlador Sabertooth 2x25.....	32
Tabla 9: Tipos de microcontroladores	32
Tabla 10: Características del microcontrolador Arduino Mega 2560	33
Tabla 11: Tipos de baterías.....	33
Tabla 12: Características de batería hidrogel	34
Tabla 13: Tipos de cámaras compatibles para la tarjeta Jetson Nano	34
Tabla 14: Características de la cámara Logitech Brio 100 Full HD.....	35
Tabla 15: Tipos de computadores embebidos	35
Tabla 16: Características de la tarjeta Jetson Nano	37
Tabla 17: Estados de los sensores infrarrojos.....	42
Tabla 18: Fuentes de información	50
Tabla 19: Variables dependientes e independientes	50
Tabla 20: Prueba de normalidad.....	52
Tabla 21: Prueba de Kruskal-Wallis.....	53
Tabla 22: Comparación entre porcentaje de detección de obstáculos entre conos y personas	54
Tabla 23: Comparación entre porcentaje de detección de tipos de obstáculos conos y sillas de ruedas	54
Tabla 24: Comparación entre porcentaje de detección de tipos de obstáculos sillas de ruedas y personas	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño de investigación por fases.....	27
Figura 2: Controlador Sabertooth 2x25.....	31
Figura 3: Tarjeta Jetson Nano	36
Figura 4: Diseño de la aplicación para el proyecto	39
Figura 5: Bloque de programación del bluetooth.....	40
Figura 6: Bloque de programación para cada botón	40
Figura 7: Estado de desconexión del bluetooth.....	41
Figura 8: Comunicación del Sabertooth con el Arduino.....	41
Figura 9: Librería adicional para el Arduino.....	41
Figura 10: Programación de modo revisión de todos los sensores	43
Figura 11: Programación para la tarjeta Jetson Nano	44
Figura 12: Trayectoria pintada en el patio del área de motriz	44
Figura 13: Conexión entre el bluetooth y la aplicación del proyecto.....	45
Figura 14: Estado de los sensores infrarrojos.....	45
Figura 15: Estado de los sensores ultrasónicos	46
Figura 16: Modo revisión.....	46
Figura 17: Prueba de detección de obstáculos con sillas de ruedas	47
Figura 18: Prueba de detección de obstáculos con conos.....	48
Figura 19: Prueba de detección de obstáculos de tipo personas	48
Figura 20: Socialización y capacitación al personal docente del área de motriz.	49
Figura 21: Comparación entre porcentaje de detección de tipos de obstáculos conos y sillas de ruedas.....	57
Figura 22: Gráfico lineal con los porcentajes de cada tipo de obstáculo	58

RESUMEN

Mediante el presente proyecto se presenta la ejecución e implementación de un sistema autónomo para una silla de ruedas basado en plataformas de hardware abierto para los estudiantes de la Unidad Educativa Especializada Carlos Garbay Montesdeoca. Para el desarrollo del proyecto, se ha realizado en cuatro fases. La primera etapa se utilizó técnicas de autonomía para la movilidad de la silla, los sensores de proximidad industriales que permite la detección de la trayectoria y sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos. Por consiguiente, en la segunda etapa de la implementación del sistema se utilizó visión artificial, mediante la cual, por medio de instrucciones de la tarjeta Jetson Nano que recibe información del Arduino, cuando los sensores infrarrojos industriales detectan que no está dentro de la trayectoria, la cámara adaptada a la tarjeta Jetson se enciende de manera automática y comienza a detectar y leer los códigos QR.

Implementado el prototipo se procede con la realización de las pruebas en la institución, para realizar se tuvo que trazar la trayectoria en el patio de motriz para iniciar con las pruebas correspondientes, dentro de los resultados encontrados en las pruebas, se procedió a poner obstáculos como conos, personas y sillas de ruedas para verificar el porcentaje de detección de cada una de ellas, siendo así que las personas son quienes tienen un menor rango de porcentaje de detección debido a la posición en que se encuentran las personas, en la última fase se brinda la capacitación al personal de la institución.

Palabras claves: autonomía, visión artificial, comunicación digital, códigos QR.

ABSTRACT

Through this project, the execution and implementation of an autonomous system for a wheelchair based on open hardware platforms is presented to the Carlos Garbay Montesdeoca Specialized Educational Unit students. For the development of the project, it has been carried out in four phases. The first stage used autonomy techniques for the chair's mobility, industrial proximity sensors that allow trajectory, and ultrasonic sensors for obstacle detection. Therefore, in the second stage of the system implementation, artificial vision was used, through which, through instructions from the Jetson Nano card that receives information from the Arduino, when the industrial infrared sensors detect that it is not within the trajectory, The camera adapted to the Jetson card turns on automatically and begins to detect and read QR codes.

Once the prototype was implemented, we carried out the tests in the institution. To begin with the corresponding tests, the trajectory had to be traced in the motor yard. Within the results found in the tests, we proceeded to place obstacles such as cones, people, and wheelchairs to verify the detection percentage of each of them, being that people are the ones who have a lower range of detection percentage due to the position in which the people are, in the last phase Provides training to the institution's staff.

Keywords: Autonomy, artificial vision, digital communication.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Las discapacidades en los niños y jóvenes son cada vez más complejas debido a que presentan deficiencias físicas y mentales teniendo en cuenta que se complica realizar ciertas actividades diarias [1]. Por este motivo se han realizado campañas en las cuales se han manifestado que todos los niños con discapacidades tienen los mismos derechos de gozar de una vida digna e inclusiva sin distinción alguna.

A nivel mundial, la tecnología sigue evolucionando de manera sorprendente en varios campos, avanzando de una manera muy rápida en la búsqueda de soluciones directas, donde la automatización y las telecomunicaciones en la sociedad son necesarias, debido a que juega un papel importante en la industria, se está realizando una labor enorme en lo que respecta al sistema electrónico [2], hardware libre [3], los cuales mejoran la calidad de vida de diferentes tipos de sociedad.

La unidad educativa especializada “Carlos Garbay” brinda su atención a 235 niños/as y adolescentes con diferentes tipos de discapacidad como: autismo, discapacidad motriz, discapacidad intelectual y multidiscapacidad [1]. De modo que los estudiantes que tiene discapacidad motriz y multidiscapacidad son un 30% lo que equivale a 45 estudiantes que presentan problemas de movilidad por lo que utilizan sillas de ruedas.

La razón principal por la que se estableció la propuesta fue para mejorar la movilidad y seguridad de todos los estudiantes de la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay” con las discapacidades anteriormente mencionadas, de modo que se realizó un sistema de control autónomo de una silla de ruedas, mediante sensores de proximidad, sensores ultrasónicos y la ayuda de visión artificial, las mismas que han permitido lograr implementar un sistema autónomo para la silla de ruedas, con la finalidad de lograr su traslado hacia los diferentes lugares con lo que consta la institución y a cada una de sus actividades escolares, por consiguiente dar autonomía a los estudiantes.

El interés de este trabajo recayó en solventar algunas de las necesidades de los estudiantes y también de los docentes, quienes están al cuidado de los niños que utilizan una silla de ruedas dentro de la institución, aplicando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de telecomunicaciones, además de presentar las aplicaciones que tiene la automatización en

el desarrollo de las personas con discapacidad motriz y multidiscapacidad para mejorar su calidad de vida.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El informe presentado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), calcula que aproximadamente el 15% de personas a nivel mundial experimentan discapacidad [4]. En el Ecuador el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) presenta datos estadísticos de personas con discapacidad en el país, donde resulta que 476.360 personas tienen distintos tipos de discapacidades. De manera que la discapacidad física es la de mayor prevaencia con 219.781 personas que corresponde al 46.14% [5].

La Unidad Educativa Especializa “Carlos Garbay” tiene estudiantes con diferentes tipos de discapacidades. Razón por la cual los estudiantes con discapacidad motriz [1] y multidiscapacidad necesitan de una persona para trasladarse a diferentes tipos de actividades escolares. Cabe resaltar que el establecimiento no cuenta con suficiente personal para trasladar a cada uno de los estudiantes hacia diferentes puntos de la institución que utilizan una silla de ruedas.

En el mercado, existen accesorios y dispositivos que permiten la movilidad de las personas con discapacidad como por ejemplo la silla de ruedas eléctrica de control manual que tiene un precio muy elevado el cual es aproximadamente de 2.449 dólares en comparación con el costo de la silla de ruedas tradicional que es aproximadamente de 220 dólares [6]. Además, la adquisición de este tipo de silla de ruedas automáticas en el Ecuador son muy escasas debido a que son importadas, teniendo en cuenta así que adquirir una silla de ruedas es muy costoso y mucho más para una escuela que tiene varios estudiantes que lo necesitan para poder realizar sus actividades sin depender de otra persona.

El establecimiento tiene una geografía irregular lo que dificulta el traslado de un estudiante con una silla de ruedas, en vista que en su trayecto presenta diferentes tipos de obstáculos como: curvas, subidas, bajadas y gradas las cuales ponen en riesgo la seguridad e integridad del estudiante, ya que muchos de ellos no tienen la capacidad de controlar la silla de ruedas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo implementar un sistema de control autónomo de una silla rueda para solventar el problema de movilización de los estudiantes de la Unidad Educativa Especializada” Carlos Garbay”, debido a que poseen discapacidad motriz y multidiscapacidad. En este sentido se muestra imperativa la necesidad del traslado a lo largo de las diferentes localidades de la institución y realizar así sus actividades cotidianas. Se solventó la falta de personal del establecimiento permitiendo la autonomía a los estudiantes mediante la silla de ruedas autónoma.

Para salvaguardar la seguridad e integridad de los estudiantes del establecimiento se utilizó sensores de proximidad, sensores ultrasónicos, quienes ayudaron a prevenir posibles caídas, choques, mal uso de la silla de ruedas y fallas mecánicas, dando al estudiante autonomía por lo tanto mejorando su calidad de vida.

También, esta indagación académica fue factible desarrollarla, debido a que, mediante una revisión de contenidos bibliográficos, fichas de datos, libros, artículos científicos y encuestas se ha hecho posible mejorar la movilidad de los estudiantes que utilizan una silla de ruedas, aplicando los conocimientos y nuevas tecnologías en el campo de Telecomunicaciones para automatizar una silla de ruedas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Implementar un sistema de control autónomo para una silla de ruedas basado en plataformas de hardware abierto para los estudiantes de la Unidad Educativa Especializa “Carlos Garbay”.

1.4.2 Específicos

- Realizar un estudio comparativo de los tipos de sillas de ruedas, dispositivos electrónicos y tecnológicos para seleccionar los más adecuados mediante la búsqueda de información en libros, fichas técnicas, revistas y artículos científicos.
- Diseñar e implementar el prototipo de la silla de ruedas autónoma en función de la búsqueda de información y selección de materiales más idóneos.
- Verificar el funcionamiento de la silla de ruedas de control autónomo, mediante pruebas de campo en el patio central de la institución.
- Socializar y capacitar a los docentes, estudiantes y personal del establecimiento para garantizar un uso seguro y eficiente del sistema.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO.

2.1. ESTADO DEL ARTE

Coexisten varios trabajos de investigación que contribuyen con el desarrollo de mejoramiento de movilidad para personas con discapacidad motriz y multidiscapacidad, donde cada una de sus investigaciones lleva diferentes técnicas para mejorar la autonomía de las personas, las cuales se las presenta a continuación:

En [7], se expone el proyecto de titulación denominado, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA, APLICANDO MOTORES BRUSHLESS SIN ESCOBILLAS (OUTRUNNER)**”, fue elaborado en el año 2018, el cual presenta el uso de un joystick y un sistema de control basado en Arduino, motores de corriente continua tipo brushless con un 79% de eficiencia energética el cual permite optimizar parámetros como espacio, peso, ruido y vibraciones, para lograr controlar los motores se acopló un driver EM-151B BRUSHLESS DC que es comandado desde un Arduino Mega y dirigido por un sistema omnidireccional a través de un joystick industrial que permite realizar la modificaciones que se crea convenientes. Para la alimentación de energía del sistema de potencia y de control, se empleó una batería eléctrica recargable de fosfato de hierro de litio de última generación y amigable con el medio ambiente. Se incluyó un control por voz para detener la silla de ruedas y prevenir colisiones.

En [8], denominado **PROTOTIPO DE SILLA DE RUEDAS DIRIGIDAS USANDO PARPADEOS**, elaborado en el año 2019, describe sobre el prototipo de silla de ruedas que es dirigido hacia en frente y atrás, mediante el uso de 203 parpadeos, que mediante ciertos niveles de atención es detenido el prototipo, el objetivo de este prototipo recae en que las personas con discapacidad motora puedan usar sus extremidades para que puedan desplazarse. Para la captación de parpadeos se ha utilizado la diadema MindWave Mobile de Neurosky, el que permite complementar la ejecución del accionamiento del prototipo. Para establecer los resultados se ha hecho la prueba con 10 personas, lo cual el 80% de los casos han sido efectivos.

Se expone en proyecto de titulación [9], denominado **AUTOMATIZAR UNA SILLA DE RUEDAS CONVENCIONAL QUE PERMITA REDUCIR COSTO DE FABRICACIÓN Y MEJORAS EN EL CONTROL ELÉCTRICO**, realizado en el año 2018, que manifiesta

mejorar la estructura de silla de ruedas convencional para convertirla en un sistema automatizado, misma que permite transformar el prototipo en semiautomático para ser controlado por el usuario sin mayor esfuerzo físico, así podría desplazarse a mayores distancias. Será comandado por un hardware libre (microcontrolador PIC), en el que se programa con un lenguaje de programación de bajo nivel y enlaza una comunicación con el joystick y el motor.

Los autores en [10], presentan un proyecto de titulación denominado, “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA EL CONTROL DE MOVIMIENTO BÁSICO DE UNA SILLA DE RUEDAS DESARROLLADO EN ANDROID, EN EL PERIODO 2021”, por medio de botones que se añadió en la silla de ruedas se logra controlar la silla de ruedas por medio de una aplicación móvil. Se utiliza la aplicación App Inventor 2 la cual permite crear interfaces para el control de la silla.

En el proyecto de titulación [11] denominado, SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO, realizado en el año 2021, manifiesta que se construye un sistema de control de lazo abierto, quien se encarga de generar dos señales para ser ingresadas en el ATMEGA 328 para realizar la conversión a señales PWM, mismas que ingresan al driver del motor, para que por última acción los motores permitan el movimiento mecánico de las ruedas traseras propulsores de la silla, logrando así la movilidad de la silla bipedestadora.

2.1.1. Discapacidad

La discapacidad se refiere a una condición en la que una persona tiene dificultades para realizar actividades diarias debido a una limitación física, mental, intelectual o sensorial. La discapacidad puede ser temporal o permanente, y puede ser causada por una variedad de factores, como lesiones, enfermedades, discapacidades congénitas o trastornos neurológicos [1], [12].

2.1.2. Tipos de discapacidad

2.1.2.1. Discapacidad motriz

La discapacidad motriz hace referencia a una alteración de la capacidad del movimiento que implica en distinto grado a las funciones de desplazamiento y/o de manipulación, 30 bucos fonatorias, o de la respiración que limita a la persona en su desarrollo personal y social. Generalmente son la consecuencia de lesiones medulares, parálisis cerebral, distrofias musculares, esclerosis múltiple. Las personas con discapacidad motriz pueden requerir ayuda para realizar las actividades diarias, y pueden utilizar una variedad de dispositivos y tecnologías para ayudarles a moverse, como sillas de ruedas, muletas, andadores, entre otros [13] .

2.1.2.2. Multidiscapacidad

La multidiscapacidad se refiere a una combinación de varias discapacidades, ya sea física, sensorial, intelectual, mental, entre otras, que afectan a una persona al mismo tiempo. Esta combinación de discapacidades puede tener un efecto acumulativo en la capacidad de una persona para realizar actividades diarias, y puede requerir una atención médica, educativa y social especializada. La multidiscapacidad también puede causar problemas de accesibilidad, ya que las personas con multidiscapacidad pueden tener dificultades para acceder a lugares o utilizar servicios y equipamientos que no estén adaptados para personas con discapacidad [1], [13] .

2.1.3. Silla de ruedas

La silla de ruedas es uno de los medios de asistencia de uso más frecuente para mejorar la movilidad personal, condición previa para disfrutar de los derechos humanos y una vida digna, y ayuda a las personas con discapacidad a convertirse en miembros más productivos de sus comunidades. Para muchos, una silla de ruedas adecuada, bien diseñada y armada puede constituir el primer paso hacia la inclusión y participación en la sociedad [14] .

2.1.3.1. Tipos de sillas de ruedas

2.1.3.1.1. Silla de ruedas eléctrica

Una silla de ruedas eléctrica es un dispositivo de movilidad asistida que permite a las personas con discapacidades físicas moverse de manera autónoma [14], [15] .

2.1.3.1.2. Silla de ruedas convencionales

Las sillas de ruedas convencionales son aquellas que poseen dos ruedas delanteras, las cuales facilitan el giro completo de la silla y también ayudan con la estabilidad de acuerdo con el diámetro de sus ruedas, mientras que las otras dos ruedas traseras facultan con la ejecución de cada uno de los movimientos de la silla [14], [15] .

2.1.4. Actuadores

Son todos los dispositivos que acatan cada una de las órdenes que ejecuta una unidad de control, es decir, efectúan una acción en respuesta a la petición solicitada [16] .

2.1.4.1. Tipos de actuadores

A continuación, se muestra cómo se encuentran clasificados los actuadores:

2.1.4.2. Actuadores hidráulicos

El funcionamiento de los actuadores hidráulicos es semejante a los actuadores hidráulicos, con la principal diferencia que en los actuadores hidráulicos el fluido a presión es cualquier tipo de aceite mineral, entre los actuadores hidráulicos más conocidos tenemos: cilindros hidráulicos, motores y válvulas hidráulicas [16] .

2.1.4.3. Actuadores neumáticos

Transforman la energía acumulada del aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento, ejemplos: cilindros neumáticos, motores y válvulas neumáticos [16].

2.1.4.4. Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos, son aquellos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, sea rotacional o lineal, los actuadores eléctricos más usados en el mercado son los motores de corriente continua, motores de corriente directa y motores paso a paso [16].

2.1.5. Sensores

Dispositivos de entrada, son los encargados de proporcionar información frente a señales físicas, químicas o biológicas que son generadas en el entorno [17].

2.1.5.1. Tipos de sensores

2.1.5.1.1. Sensores Infrarrojos

Constan de un emisor y receptor, su mayor ventaja es la capacidad de captar radiación electromagnética infrarroja [16], [17].

2.1.5.1.2. Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos utilizan un sonido predeterminado para determinar la distancia entre el sensor y el objeto más cercano, para detectar el obstáculo, el sensor envía una onda sonora a una frecuencia definida, luego de ello, el sensor empieza a realizar una supervisión del tiempo entre el envío y el retorno de la onda sonora [17], [18].

2.1.5.1.3. Sensores de temperatura

Son capaces de medir todas las propiedades térmicas de un cuerpo o del ambiente [16].

2.1.6. Indicadores

Se denominan indicadores a todos los dispositivos que pueden dar respuesta visible hacia el ser humano, se utilizan en procesos de control para mostrar su estado, los indicadores se pueden observar a través de una luz, pantalla, buzzer, entre otros [16].

2.1.7. Computadores embebidos

Son microcomputadores que son diseñados para ejecutar tareas específicas dentro de un dispositivo [19], [20].

CAPÍTULO III.

3.1. METODOLOGIA.

3.1.1. Tipo de investigación

Mediante el presente proyecto se realiza la ejecución de un sistema que permita el control autónomo de una silla de ruedas, para los estudiantes con discapacidad motriz y multidiscapacidad en la Unidad Educativa “Carlos Garbay”. Con este dispositivo se pudo calcular el porcentaje de detección de obstáculos, sin importar de que tipo de obstáculos sean, los mismos que se estaban dentro y fuera de la trayectoria trazada, el mecanismo de control es el que detecta todo tipo de obstáculos, siempre y cuando se encuentren dentro del rango de detección que le corresponde a cada uno de los sensores.

Para la elaboración del proyecto, se utilizó el tipo de investigación descriptiva y experimental, donde la investigación descriptiva se basó en mejorar la movilidad de los estudiantes con discapacidad motriz y multidiscapacidad de la institución antes mencionada y la investigación experimental estaba sujeta a la implementación de un sistema de control autónomo de la silla de ruedas.

3.1.2. Método de investigación

3.1.2.1. Experimental

Se utilizó para establecer relación causa-efecto entre la trayectoria trazada y el tipo de obstáculos, se basó en el principio de controlar las variables para medir su efecto en esta investigación se manipularon el número de obstáculos en diferentes trayectorias para recolectar datos de las pruebas de campo, e interpretar los resultados obtenidos.

3.1.2.2. Descriptiva

A través del método de investigación descriptiva, se añade el método analítico, mediante el cual se ha podido estudiar las variaciones y características de cada uno de los dispositivos, que, mediante técnicas estadísticas y matemáticas, se analizó si el sistema de control mejora la movilidad de los estudiantes.

3.1.3. Diseño de la investigación

En este proyecto se desarrolló en cuatro fases, como se muestra en la figura 1.

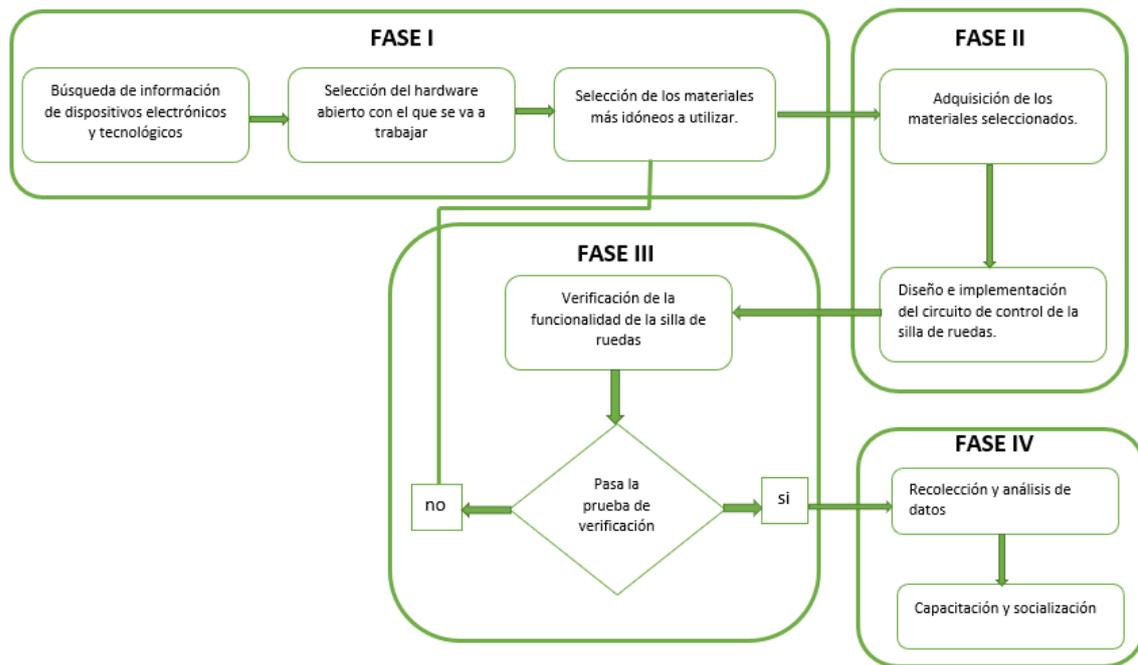


Figura 1: Diseño de investigación por fases

Fase I: trata de la búsqueda de información de todos los dispositivos electrónicos, materiales y hardware con que se trabajó, los cuales son: tipos de silla de ruedas, sensores infrarrojos, sensores ultrasónicos, microprocesadores, regulador de voltaje, tarjetas para visión artificial, baterías, tipos de Arduino, módulo de bluetooth, motores, driver dual para los motores, cada una de la información recopilada se realizó por medio de revistas científicas y fichas de datos, a continuación se procedió con la selección de los tipos de software con los que se trabajó, materiales y dispositivos tecnológicos adecuados para realizar el proyecto.

3.1.3.1. Sensores ultrasónicos

Para este proyecto se consideró este sensor, debido a las características presentadas a continuación [18]:

Tabla 1: Tipo de sensores ultrasónicos

Sensor Características	HC-SR04	MB1000 LV- MaxSonar-EZ0	GY-US42	SRF08
Rango de distancia	2cm-400cm	0cm-645cm	1cm-300cm	3cm-6cm
Tipo de comunicación	PWM	Serial, PWM	Serial, I2C, PWM	I2C

Corriente de trabajo	15mA	2mA	9mA	15mA
costo	\$1,80	\$29,95	\$11,68	\$39,38

Después de haber realizado la información en libros, fichas técnicas, hojas de datos y datasheet de cada uno de los sensores ultrasónicos, se ha elegido el sensor HC-SR04, debido a que es el sensor que tiene un rango de distancia para detectar objetos hasta 400cm, siendo el más común en el mercado por su fácil uso y costo [18].

3.1.3.1.1. Sensor ultrasónico HC-SR04

A continuación, se presenta las especificaciones acerca de este sensor [21] :

Tabla 2: Características del sensor ultrasónico HC-SR04

Voltaje de operación	5V
Rango de detección	2 – 450cm
Corriente de trabajo	15mA
Ángulo de apertura	15°
Pulsos de ultrasonidos	8 pulsos, equivalente a 40KHz
Aplicaciones	Robótica

Para determinar la distancia requerida por los usuarios se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Distancia(m) = (tiempo de pulso) * \left(\frac{340m}{s}\right) / 2$$

3.1.3.2. Sensores infrarrojos

Respecto a los sensores infrarrojos, mediante libros se ha realizado una tabla comparativa, con las características más importantes de cada uno de ellos, a continuación, se muestran algunos tipos de sensores infrarrojos [17], [22].

Tabla 3: Tipos de sensores infrarrojos

Sensor Características	Sensor break beman	E18-D80NK	TCRT5000
-------------------------------	---------------------------	------------------	-----------------

Rango de distancia	2cm-400cm	0cm-645cm	1cm-300cm
Tipo de comunicación	PWM	Serial, PWM	Serial, I2C, PWM
Corriente de trabajo	15mA	2mA	9mA
costo	\$1,80	\$29,95	\$11,68

3.1.3.2.1. Sensor infrarrojo E18-D80NK

Un sensor es un dispositivo que detecta y responde a una variedad de señales o cambios en su entorno, convirtiendo estos cambios en una forma de señal eléctrica o de otro tipo de señal de salida. Los sensores se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde dispositivos electrónicos y sistemas de automatización en el hogar hasta sistemas de navegación y control de motores en automóviles y aeronaves. Los sensores pueden medir una variedad de variables, como la luz, el sonido, la humedad, la temperatura, la presión, la proximidad, la velocidad y la posición. En esta ocasión se utiliza el sensor infrarrojo industrial E18-D80NK, es utilizado en robótica móvil y automatización industrial [23].

Tabla 4: Características del sensor infrarrojo E18-D80NK

Rango de operación	3 – 80cm
Voltaje de operación	5V
Corriente de trabajo	20mA
Ajuste de rango de apertura	Potenciómetro
Emisor de luz	Led infrarrojo
Salida	Tipo NPN

3.1.3.3. Motores

En base a la búsqueda de información acerca de los motores, se ha encontrado tres tipos de motores más conocidos en el mercado por sus aplicaciones, a continuación, se muestra algunas características de ellos [16].

Tabla 5: Tipo de motores

	RS550	Nema 17	Pei Pei PWEWM82M
Rango de voltaje	12V	3.6V	24V
Revoluciones por minuto	11.000	600	4600
Aplicaciones	Autos eléctricos, sillas de ruedas	Impresoras 3D, CNC	Sillas de ruedas

3.1.3.3.1. Motor RS550 DC

Para la selección de los motores que se utilizó, nos enfocamos en el rango de voltaje y en las aplicaciones a las que más se utilizaban este tipo de motores, por tal motivo, se ha elegido los motores RC550 [24] .

Tabla 6: Características del Motor RS550 DC

Potencia	100V
Voltaje de operación	12V
Velocidad	22000RPM
Intensidad nominal	4.5 ^a
Par nominal	0,02NM
Aplicaciones	Robots, fotocopiadoras, maquinas CNC, sillas de ruedas.

3.1.3.4. Controlador de motores

Existen diferentes tipos de controladores de motores, según las especificaciones que requiera el usuario, los controladores más conocidos son para aplicaciones de automatización [15] .

Tabla 7: Tipos de controladores de motores

	L298n	Sabertooth 2x25
Voltaje	5Va 35V	6V a 30V
Amperaje	2A por canal	50A por canal
Precio	\$5,00	\$150,00
Modos de entrada	Analógico	Analógico, R/C, Serial simplificado
Aplicaciones	Control de giro, velocidad de motores, seguidor de línea	Automatización, control de velocidad, transportadores, robot de combate, vehículos eléctricos.

3.1.3.4.1. Controlador de motores Sabertooth 2x25

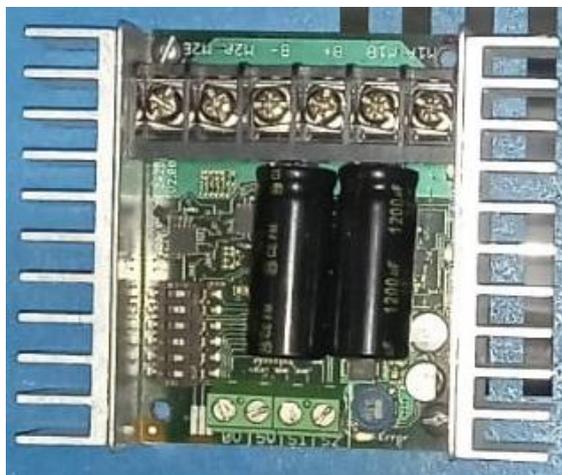


Figura 2: Controlador Sabertooth 2x25

Conocido como uno de los controladores más eficientes y versátiles para usar, esta tarjeta permite controlar motores DC con escobillas, con este controlador cada motor puede soportar 25A, es decir que los dos motores soportan 50A.

Con estas características hicieron que esta tarjeta sea la indicada en la aplicación del sistema de control, específicamente en los motores. Algunas de las características de conexión en la implementación del sistema [25], [26]:

Tabla 8: Características del controlador Sabertooth 2x25

GND	0V
Arduino	5V
Terminal de entrada de la señal de los motores	S1 y S2
Conectado a la batería (+)	B+
Conectado a la batería (-)	B-
Conectado al motor 1 (+)	M1A
Conectado al motor 1 (-)	M1B
Conectado al motor 2 (+)	M2A
Conectado al motor 2 (-)	M2B

3.1.3.5. Microcontroladores

En base a la búsqueda de información en revistas tecnológicas, se realizó una tabla de comparación de los microcontroladores más conocidos en el mercado, de los cuales se escogió el microcontrolador con el que se trabajó en el proyecto [2].

Tabla 9: Tipos de microcontroladores

	MSP430	AVR	ARM	Arduino
Modo de programación	Media	complejo	Complejos	Fácil
Número de bits	8bits	8bits	32 bits	10 bits
Aplicaciones	Sensores Sistemas embebidos	Robótica Control de motores	IoT Sistemas embebidos	Electrónica Robótica Sensores
Consumo de energía	Ultra-baja	Alta	Media	Baja

Para la selección del microcontrolador se ha tomado en cuenta varios aspectos, el consumo de energía, sus aplicaciones y el número de pines que contienen. Mediante las características anteriormente mencionadas, se ha seleccionado el microcontrolador de la familia Arduino, a continuación:

3.1.3.5.1. Arduino Mega 2560

Plataforma o microcontrolador basado para la creación electrónica de código abierto, con un software y hardware fácil de usar, al hablar de software libre hacer referencia al Arduino

IDE , mediante el cual podemos se logra crear códigos según las necesidades de cada uno de los usuarios para la placa de Arduino, es importante recordar que el software es compatible con Windows, GNU Linux y MacOS de forma gratuita, a esto se le añade como está compuesta la placa consta de 54 pines, los cuales están divididos de la siguiente manera, 16 pines para entradas PWM, 16 pines analógicos, 4 UART[21], [27].

Tabla 10: Características del microcontrolador Arduino Mega 2560

Pines digitales	54
Pines analógicos	16
Voltaje de funcionamiento	5V
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión USB • Fuente de alimentación externa
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora • Otro Arduino • Otros microcontroladores

3.1.3.6. Baterías

Existen diferentes tipos de baterías, cada una con características y principios de funcionamiento diferentes [28].

Tabla 11: Tipos de baterías

Baterías características	Batería de ácido plomo	Baterías gel	Batería de litio
Densidad de energía	Baja	alta	baja
Vida útil	Hasta 5 años	15 años	20 años
Aplicaciones	Carros	<ul style="list-style-type: none"> • Silla de ruedas • Paneles solares 	carros

3.1.3.6.1. Batería de gel

En la tabla 12 se muestra las características de la batería de gel [29].

Tabla 12: Características de batería hidrogel

Voltaje por unidad	12V
Máxima corriente de carga	11,0A
capacidad	55Ah a 20ah
Rango de temperatura normal	25°C ±5°C
Vida útil	15 años
Vida cíclica	Dos veces mayor
aplicaciones	Sistemas solares, eólicos, marinos Ups de descarga profunda, etc.

3.1.3.7. Cámaras compatibles para la tarjeta Jetson Nano

Para la selección de la cámara compatible para la tarjeta Jetson Nano [30], es indispensable conocer que la cámara tenga una excelente resolución en espacios interiores y espacios exteriores para que puedan detectar de inmediato el código QR.

Tabla 13: Tipos de cámaras compatibles para la tarjeta Jetson Nano

	Logitech Brio 100 Full HD	IMX219	Cámara PTZ
Megapíxeles	8M	8M	8M
Compatibilidad	Jetson nano Raspberry	Jetson Nano	Jetson Nano
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none">• Inteligencia artificial• Detección de códigos QR	Inteligencia artificial	Vigilancia Noción nocturna
Protocolo de conectividad	USB	Wifi	USB Wifi

Para la selección de la cámara se ha revisado cada una de las características más importantes, su ángulo de visión, la resolución en espacios interiores y exteriores, y su compatibilidad. Para lo que se ha elegido a la cámara Logitech Brio 100 Full HD, a continuación, sus especificaciones

3.1.3.7.1. Cámara Logitech Brio 100 Full HD

Esta cámara es ideal para detección de códigos QR en espacios interiores y espacios exteriores, con enfoque de iluminación automática, a continuación, presentamos sus características [31]:

Tabla 14: Características de la cámara Logitech Brio 100 Full HD

Resoluciones	<ul style="list-style-type: none"> • 1080p/30 fps (1920 x 1080 píxeles) • 720p/30 fps (1280 x 720 píxeles)
Campo de visión	58°
Iluminación	Automática

3.1.3.8. Computadores embebidos

En el mercado existen diferentes tipos de computadores embebidos, a continuación, se presenta cada una de las características de los computadores embebidos [19], [20]:

Tabla 15: Tipos de computadores embebidos

	Google Coral	Raspberry PI 4B	Jetson Nano
Almacenamiento	8GB	4GB	16GB
Memoria	1GB	1GB	4GB
Aplicaciones	Inteligencia artificial	Domótica	Visión artificial Robótica

Decodificación de video	400MP/s	264MP/s	500MP/s
Número de núcleos	4	4	4
Valor	\$150,00	\$84,65	\$149,00

Para este proyecto se optó por seleccionar la minicomputadora Jetson nano debido a su capacidad de procesamiento y el enfoque a visión artificial [32].

3.1.3.8.1. Jetson nano 4Gb

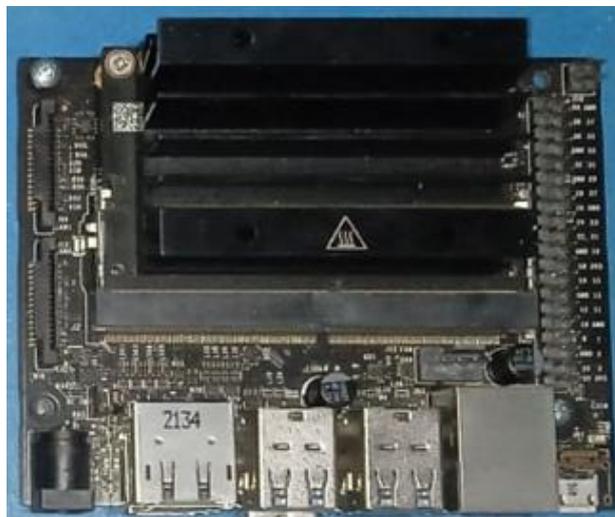


Figura 3: Tarjeta Jetson Nano

La plataforma NVIDIA Jetson Nano, dispositivo invaluable para desarrollar aplicaciones de IA[33] . Ya que es posible instalar una gran cantidad de herramientas como Jetson-Stats, OpenCV o Qt, que ofrecen una gran versatilidad en el desarrollo de aplicaciones, las interfaces disponibles o utilizadas están determinadas por el diseño del mapa y dependen de los detalles del mapa, la decisión la toma el usuario final Implementación de diseño y detalles que son conector M.2 para interfaz Wifi y conector MIPI-CSI adicional para cámara, es compatible con cámaras Raspberry Pi, también incluye conector UART, adecuado para resaltar la compatibilidad con Jetson Nano Most frameworks de IA populares en el mercado, como Keras, PyTorch, TensorFlow, Caffe y MXNet [30], [33], [34] .

Tabla 16: Características de la tarjeta Jetson Nano

Conectividad	<ul style="list-style-type: none">• Se requiere un chip externo para WIFI• Entrada para cable ethernet
Memoria	4GB
Almacenamiento	16Gb
Decodificador de video	500 MP/s
Procesador	MPCore ARM A57
Número de núcleos	Cuatro
Voltaje de operación	5V
Arquitectura	Nvidia Maxwell
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none">• Visión artificial• Robótica• IoT integradas• Enlaces inteligentes

Fase II: como se explicó en la fase anterior se había ya seleccionado con que materiales y dispositivos tecnológicos y electrónicos se trabajó, en esta segunda fase se procede con la adquisición de manera física de cada uno de ellos, seguido de la adquisición se procede a realizar el diseño e implementación del sistema de control y visión artificial en la silla de ruedas. Con respecto al sistema de control se logró realizar el funcionamiento de un seguidor de línea aplicado en la silla de ruedas, mientras que la parte de visión artificial se añadió el detector de códigos QR para tomar decisiones concretas.

Para evaluar el funcionamiento del proyecto de investigación , lo primero que se ha realizado es el sistema de control, el mismo que está compuesto por dos sensores infrarrojos que detectan la trayectoria, teniendo en cuenta que son dos sensores, existen cuatro posibilidades de estados de los sensores, netamente programados en Arduino, en cambio, los sensores ultrasónicos que detectan obstáculos, estos sensores están ubicados en la parte inferior de la silla de ruedas configurados para que detecten el obstáculo a 30cm, mientras que los otros dos sensores ultrasónicos restantes están situados en la parte superior derecha e izquierda con una distancia de 17cm, cada uno de estos sensores también van conectados al Arduino

y programados en el software Arduino IDE. A esta primera ejecución se lo denomina como sistema de control, a continuación se realizó la visión artificial, para esta parte se integró la tarjeta Jetson nano, en la que se integró la cámara Logitech para que pueda detectar los códigos QR, seguido de esto para que exista comunicación entre el Arduino y la Nvidia Jetson Nano se realizó mediante la comunicación serial, es decir con el cable USB del Arduino hacia la tarjeta, cuando existe conexión entre estas dos tarjetas, se procedió a incorporar un módulo bluetooth para que este pueda enviar un dato hacia el Arduino y que realice todo el funcionamiento, antes de que se pueda enviar el dato por medio del bluetooth, se creó y diseñó una aplicación para poder enviar desde ahí el dato hacia el Arduino.

Aplicación Móvil

Mediante el software App Inventor 2 se diseñó la aplicación (creando), acorde a nuestras necesidades:

Botones:

- Conectar
- Desconectar

Cuadro de texto:

- Ver el estado del bluetooth, si se encuentra conectado o desconectado

Botones para elegir la ruta deseada:

Cada uno de estos botones tienen su propio nombre, dependiendo de cada una de las rutas que tiene la institución, para que la silla de ruedas juntamente con el sistema de control pueda movilizarse con el estudiante desde un punto de partida hasta el punto de llegada. Las rutas establecidas son las siguientes:

- Baño
- Cocina
- Patio
- Aula
- Estadio
- Bar
- Aula de informática
- Aula de inglés
- Rectorado

En la imagen que se muestra, es la interfaz gráfica de la aplicación creada con el software App Inventor2.

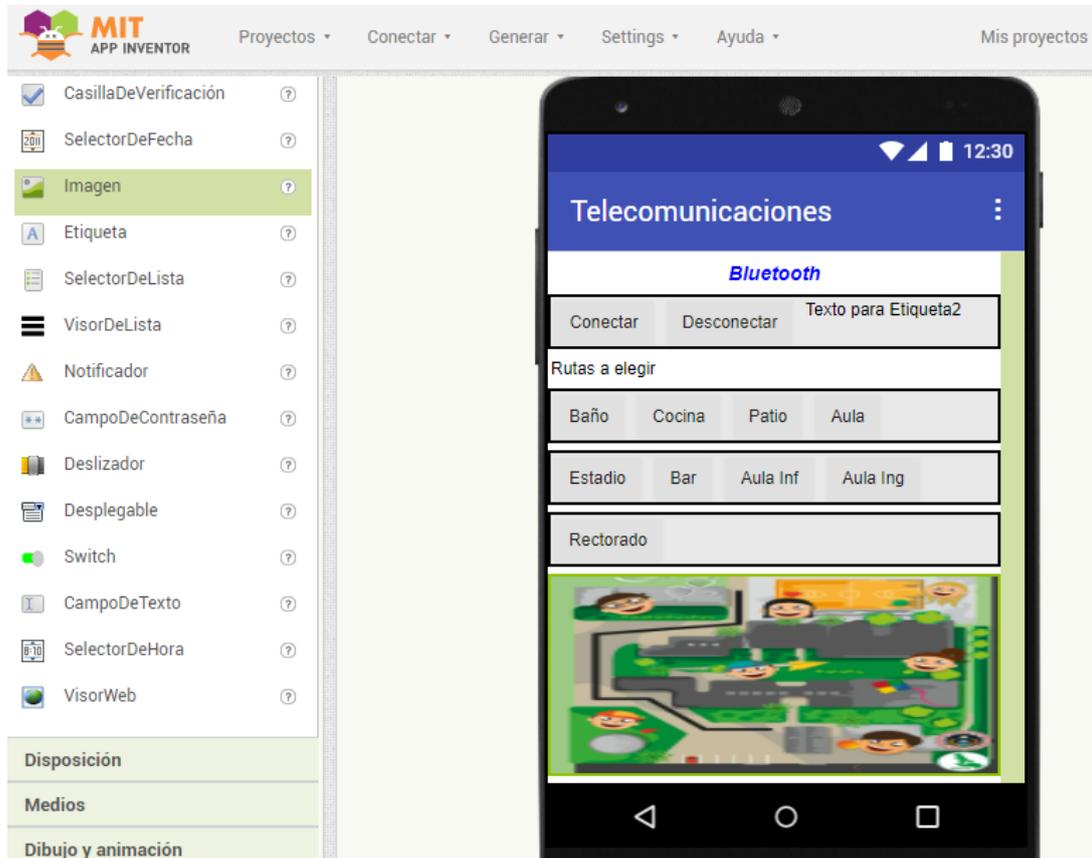


Figura 4: Diseño de la aplicación para el proyecto

En lo que se refiere a la programación por bloques del diseño de la aplicación se muestra en la siguiente imagen:

En esta primera parte de la programación, está establecida para la verificar el estado de la conexión entre la aplicación y el módulo bluetooth, luego se añade el siguiente bloque para poder conectarnos o desconectarnos del bluetooth.

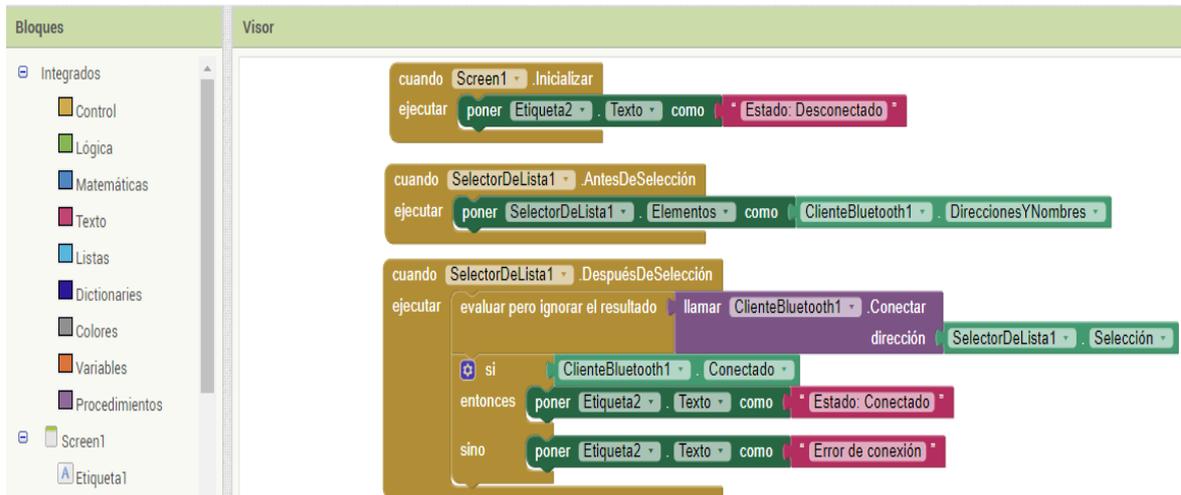


Figura 5: Bloque de programación del bluetooth

En el siguiente bloque de programación, contiene cada una de las opciones de ruta para elegir,



Figura 6: Bloque de programación para cada botón

Finalmente tenemos el último diagrama de programación, el cual funciona para poder desconectarnos del bluetooth



Figura 7: Estado de desconexión del bluetooth

Programación para la ejecución del sistema de control

La ejecución de control va en diferentes ciclos:

- Comunicación serial entre el Arduino y el controlador de motores Sabertooth:
Para que exista comunicación entre la placa Arduino y el Sabertooth 2x25 se necesita añadir una nueva librería en el Arduino IDE, esta librería se denomina SabertoothSimplified.h



```
1 #include <SabertoothSimplified.h>
2 // Crear un objeto Sabertooth en el pin de transmisión
3 SabertoothSimplified ST(Serial1); // TX Serial
```

Figura 8: Comunicación del Sabertooth con el Arduino

Adicional a esto se debe incluir la aplicación original del controlador Sabertooth, primero se la debe descargar de la página oficial y luego instalarla



Figura 9: Librería adicional para el Arduino

- Programación del sistema de control

Luego de haber añadido la librería, se procede con la programación de los sensores infrarrojos, sensores ultrasónicos quienes miden la distancia de los obstáculos e integramos también el módulo bluetooth hc06.

Se incorporó dos sensores infrarrojos para detectar la trayectoria, igual como un seguidor de línea, produciendo así cuatro estados del sensor, mediante una tabla de verdad.

Tabla 17: Estados de los sensores infrarrojos

Sensor 1	Sensor2	Estado1	Estado 2
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	1	1

Seguido de la instalación de la aplicación, procedimos a realizar un código en Arduino para que por medio de la aplicación se pueda observar el estado de los sensores, a continuación, en la figura se muestra la programación realizada.

```
64 estado1 = digitalRead(boton1); //para ver si presionaron el boton1
65 //Para revisar las distancias del ULTRASONICO
66 if (estado1 == 1){
67   Serial2.println("MODO REVISION");
68   int salir = 0;
69   Serial2.println("MODO REVISION ULTRASONICOS");
70   while (salir == 0){
71     estado2 = digitalRead(boton2); //para ver si presionas boton2
72     //Para revisar las distancias de LOS INFLARROJOS
73     if (estado2 == 1){
74       int inflarrojos = 0;
75       Serial2.println("MODO REVISION INFLARROJOS");
76       while (inflarrojos == 0){
77         estado3 = digitalRead(boton3); //para ver si presionas boton3
78         //Para salir del MODO REVISION
79         if (estado3 == 1){
80           inflarrojos = 1;
81           salir = 1;
82           Serial2.println("SALISTE DEL MODO REVISION");
83         }
84         else{
85           sensado1 = digitalRead(SENSOR1);
86           sensado2 = digitalRead(SENSOR2);
87           if (sensado1 == LOW){
88             Serial2.println("INFLARROJO 1 = LINEA NEGRA ");
89           }
90           else{
91             Serial2.println("INFLARROJO 1 = LINEA BLANCA ");
92           }
93           if (sensado2 == LOW){
94             Serial2.println("INFLARROJO 2 = LINEA NEGRA ");
```

Figura 10: Programación de modo revisión de todos los sensores

Para ver el estado de los sensores, se añade tres pulsadores, el primer pulsador indica el estado de los sensores infrarrojos e18-d80nk, el segundo pulsador muestra cual es el estado de los sensores ultrasónicos y, por último, el tercer pulsador será para salir del modo de revisión de los pulsadores.

- A continuación, se realiza la programación para la comunicación entre el Arduino y la Jetson Nano, incluido la detección de códigos QR.

En la tarjeta Jetson Nano se incluye la comunicación serial con el Arduino, luego añadimos las opciones de rutas que se tiene en la aplicación App Inventor2.

```

6 opciones = ["B", "C", "E", "F", "H", "J", "K", "G", "M"]
7 #vuelve a preguntar por la ruta pero cerrando el puerto serial con
  arduino
8 while True:
9     #inicia LA COMUNICACION SERIAL
10    ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600, timeout=10)
11    #ESPERA LA CONEXION DELA NVIDIA AL ARDUINO AQUI SE PUEDE PONER
      MAS TIEMPO PARA QUE FUNCIONE MEJOR
12    time.sleep(15)
13    print("conectado con arduino")
14    ardui = None
15    #RECIBIR EL DATO DE BLUETOOTHO
16    while ardui is None:

```

Figura 11: Programación para la tarjeta Jetson Nano

- Obtenida la ruta, la silla empieza a seguir la trayectoria, al momento en el que se encuentra con la trayectoria de color blanco, la silla se detiene y la cámara se prende para detectar los códigos QR.
- En el instante en que la cámara detecta los códigos QR, el mensaje se decodifica, y en base a la ruta que se había escogido, la silla sabe ese momento si tiene que girar hacia la derecha, izquierda, adelante, atrás o detenerse, hasta llegar al punto de final.

Fase III: durante esta fase se implementó el sistema de control en la institución, específicamente en el patio área de discapacidad motriz.

Para iniciar con la fase de funcionamiento de todo el sistema, primero se ha trazado una trayectoria en la Unidad Educativa Carlos Garbay.

- Patio del área de motriz

Se trazó una trayectoria cerrada en el patio



Figura 12: Trayectoria pintada en el patio del área de motriz

Trazada la trayectoria, se procedió con la incorporación de la silla

Comprobación técnica del funcionamiento del sistema de control.

Luego de incorporar la silla en la trayectoria, se procede con la conexión entre la aplicación móvil y el bluetooth.

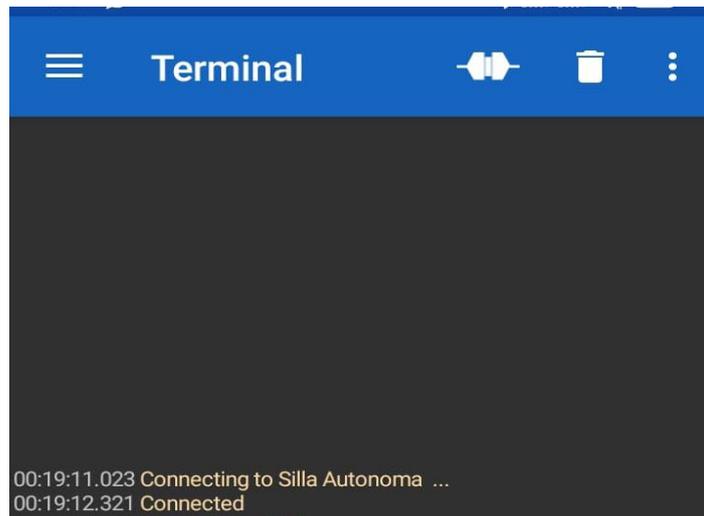


Figura 13: Conexión entre el bluetooth y la aplicación del proyecto

Establecida la conexión, se procede a verificar el estado en los que se encuentran cada uno de los sensores, en nuestro caso tenemos sensores ultrasónicos y sensores infrarrojos.

Verificación del estado de los sensores

- Pulsador 1: sensores infrarrojos

En la figura se puede observar el estado de cada sensor infrarrojo, en este caso está detectando la trayectoria trazada, el sensor envió el estado que se encuentra sobre la línea negra.

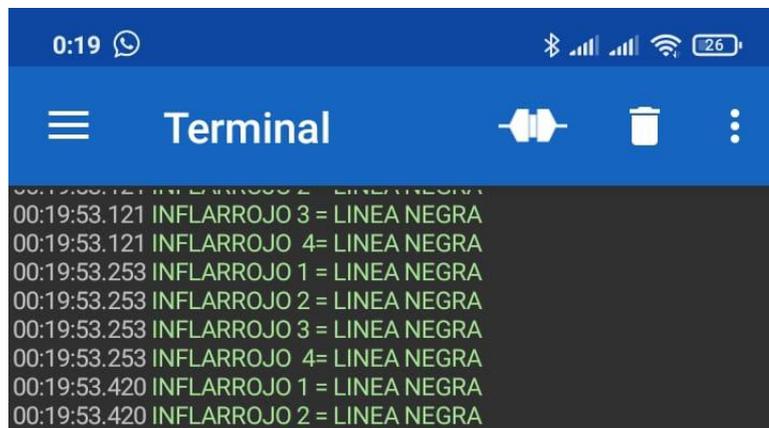
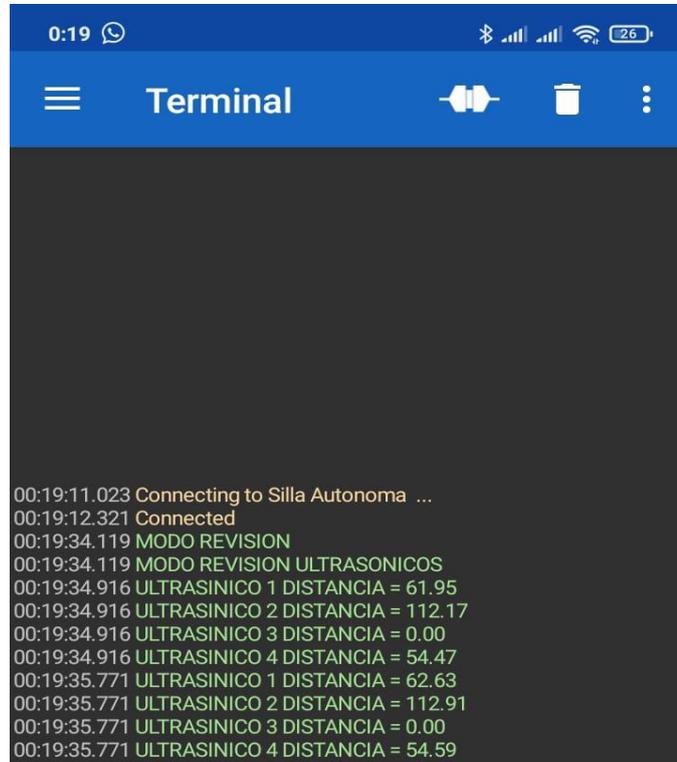


Figura 14: Estado de los sensores infrarrojos

- Pulsador 2: sensores ultrasónicos

Se observó que al verificar el estado de los sensores ultrasónicos este nos envía la distancia que detectan cada uno de los sensores, sus distancias están configuradas en valores de cm.

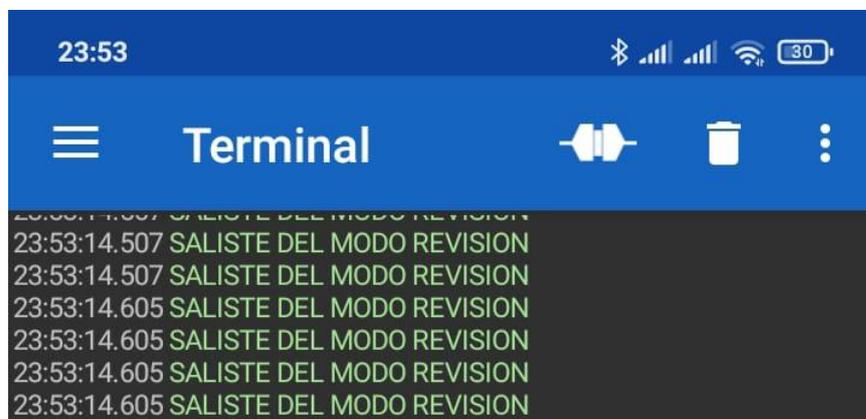


```
00:19:11.023 Connecting to Silla Autonomia ...
00:19:12.321 Connected
00:19:34.119 MODO REVISION
00:19:34.119 MODO REVISION ULTRASONICOS
00:19:34.916 ULTRASINICO 1 DISTANCIA = 61.95
00:19:34.916 ULTRASINICO 2 DISTANCIA = 112.17
00:19:34.916 ULTRASINICO 3 DISTANCIA = 0.00
00:19:34.916 ULTRASINICO 4 DISTANCIA = 54.47
00:19:35.771 ULTRASINICO 1 DISTANCIA = 62.63
00:19:35.771 ULTRASINICO 2 DISTANCIA = 112.91
00:19:35.771 ULTRASINICO 3 DISTANCIA = 0.00
00:19:35.771 ULTRASINICO 4 DISTANCIA = 54.59
```

Figura 15: Estado de los sensores ultrasónicos

- Pulsador 3: salir de modo revisión

Cuando ya no deseamos estar verificando ningún estado de los sensores, se procedió a salir del modo de revisión solo con oprimir el pulsador tres, y nos envía un texto que ya salimos del modo revisión, y de nuevo se puede enviar algún dato que exista dentro de las opciones de ruta.



```
23:53:14.507 SALISTE DEL MODO REVISION
23:53:14.507 SALISTE DEL MODO REVISION
23:53:14.605 SALISTE DEL MODO REVISION
```

Figura 16: Modo revisión

Revisado cada estado de los sensores, enviamos el dato por bluetooth y la silla empieza a funcionar.

En esta ocasión se envió el dato “B” que significa la palabra BAÑO, la silla empieza a funcionar como un seguidor de línea.

Verificación del funcionamiento.

En el caso de que exista cualquier tipo de obstáculo, la silla se detendrá hasta que no exista el obstáculo a la distancia establecida en la programación.

Las pruebas se han realizados con diferentes tipos de obstáculos, el primero se lo realizó de la siguiente manera:

- Obstáculo: sillas de ruedas

Cuando la silla empieza a seguir la trayectoria, se puso una silla de ruedas para comprobar si detecta a la silla de ruedas como un obstáculo.



Figura 17: Prueba de detección de obstáculos con sillas de ruedas

- Obstáculo: conos

El tipo de obstáculo para la segunda prueba se ha hecho con un cono, de la misma manera que la prueba anterior, mientras la silla con el sistema de control estaba siguiendo la trayectoria, se ha puesto un cono, al poner en frente el cono, la silla se detuvo.



Figura 18: Prueba de detección de obstáculos con conos

- Obstáculo: personas

De la misma manera que en las pruebas anteriores, mientras la silla seguía su trayectoria, una persona se colocó frente a la silla de ruedas, de inmediato los sensores detectaron a la persona como un obstáculo y se detuvo hasta el momento en que esa persona se retire de la trayectoria.



Figura 19: Prueba de detección de obstáculos de tipo personas

Fase IV: se realizó la recolección y análisis de los datos que se ha obtenido durante las pruebas de campo realizadas en el patio del área de motriz, con estos datos y análisis de la funcionalidad de la silla de ruedas de control autónomo, se ejecutó la socialización y capacitación a todo el personal del establecimiento sobre el uso y manejo de la silla de ruedas, para que puedan efectuar el uso correcto del sistema de control.



Figura 20: Socialización y capacitación al personal docente del área de motriz.

3.1.4. Técnicas de recolección de datos

3.1.4.1. Fuentes de información

En la ejecución del proyecto se efectuó un metaanálisis por intermedio de búsqueda y análisis de información en diferentes sitios virtuales y producciones científicas, donde se encontró proyectos acerca de sistema de control de la silla de ruedas, adaptaciones de joystick en la silla, monitoreo de la silla mediante un GPS incorporado en la silla, y varios proyectos relacionados al tema de investigación, a continuación como se muestran algunos de los sitios virtuales donde se ha podido encontrar información concreta:

Tabla 18: Fuentes de información

Scopus
Web of science
Google scholar
Proquest

3.1.5. Población de estudio y tamaño de muestra

3.1.5.1. Población

En la unidad educativa Especializada Carlos Garbay Montesdeoca se divide a los estudiantes según el tipo de discapacidad, el mismo está compuesto por cuatro discapacidades que son: motriz, multidiscapacidad, intelectual y autismo, de los cuales solo se trabajó con dos grupos, el de discapacidad motriz y multidiscapacidad, debido a que son quienes utilizan sillas de ruedas.

No obstante, la población está compuesta por los datos porcentaje de detección de obstáculos generados por un estudiante quien ha utilizado la silla de ruedas recorriendo una trayectoria con diferentes tipos de obstáculos, con un total de 20 pruebas por tipo. El experimento fue desarrollado en el patio del área de motriz de la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”

3.1.6. Muestra

En este proyecto no se ha considerado la muestra y se ha utilizado el total de los datos[35] .

3.1.7. Operacionalización de variables

Tabla 19: Variables dependientes e independientes

VARIABLES DEPENDIENTE	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Porcentaje de detección de obstáculos	Es el porcentaje de obstáculos detectados por el sistema.	Porcentaje (%).	Observación.
VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Tipos de obstáculos	Es el cualquier elemento físico que dificulte la movilidad de una silla de ruedas.	Nominal tipo conos, sillas de ruedas, mixtos.	Observación directa.
---------------------	--	---	----------------------

3.1.8. Hipótesis

El porcentaje de error de los obstáculos detectados depende del tipo de obstáculo presentes en la trayectoria de la silla de ruedas con el sistema de control.

- Hipótesis nula

μ_0 : *la media del porcentaje de error de la detección de obstáculos es igual con los diferentes tipos*

- Hipótesis alternativa

μ_1 : *la media del porcentaje de error de la detección de obstáculos no es igual con los diferentes tipos*

CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar el funcionamiento del prototipo, fue puesto a prueba en un lapso de siete días. Las pruebas de funcionamiento se ejecutaron en base a distintos tipos de obstáculos como: personas, sillas de ruedas y conos, cada una de ellas con 20 ejemplares.

4.1.1. Prueba según los tipos de obstáculos.

Para determinar que tipo de prueba se va a ejecutar para la visualización de los resultados, se tomó en cuenta el número de datos que se ha obtenido en base a cada uno de los tipos de obstáculos, que en nuestro caso son 20 datos, lo que corresponde a realizar la prueba Shapiro-Wilk [36], [37], que por definición se conoce que para aplicar este tipo de pruebas se debe considerar que las muestras deben ser datos menores a 30, la misma que se presenta en la tabla 20.

Tabla 20: Prueba de normalidad

<i>Pruebas de normalidad</i>							
	Tipo de obstáculos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<i>Porcentaje de detección de obstáculos</i>	CONOS	,153	20	,200*	,940	20	,236
	SILLAS DE RUEDAS	,243	20	,003	,841	20	,004
	PERSONAS	,128	20	,200*	,956	20	,461

Para comprobar que se rechaza la hipótesis es nula, en la siguiente tabla se presenta el ρ valor 0,001, sabiendo que el grado de significancia es 0,05, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, lo que quiere decir, que al menos una es diferente, en nuestro caso.

Las hipótesis son las siguientes:

H_1 : los datos analizados siguen una distribución normal.

H_0 : los datos analizados siguen una distribución no normal.

Teniendo en cuenta que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, se debe aplicar la prueba ANOVA no paramétrica, en la que existen varios tipos de pruebas, dentro de ellas esta la prueba Kruskal-Wallis, en la que se aplica cuando hay tres o mas grupos de datos que son independientes y no están distribuidos normalmente, permite comparar las medianas de los grupos y determinar si existen diferencias significativas, por lo tanto, se aplica este tipo de prueba para cada uno de los tipos de obstáculos, a continuación, se presenta la tabla general con todos los tipos de obstáculos.

4.1.2. Prueba de Kruskal-Wallis

Tabla 21: Prueba de Kruskal-Wallis

Rangos			
	Tipo de obstáculos	N	Rango promedio
Porcentaje de detección de obstáculos	CONOS	20	36,08
	SILLAS DE RUEDAS	20	43,35
	PERSONAS	20	12,08
	Total	60	

En la tabla 21, se comprueba que tenemos tres tipos de obstáculos cada uno con 20 datos diferentes, y con un rango de promedio diferente.

En consecuencia, de los resultados obtenidos no se pudo tener suerte de la aplicación de los contrastes post hoc, sin embargo, para obtener contrastes de los datos de la distribución no normal, que en esta ocasión son tres, se aplica la prueba de Mann Whitney[38].

Grupo CONOS - PERSONAS

4.1.3. Prueba de Mann-Whitney

En la tabla 22, se realiza una comparación entre dos tipos de obstáculos, CONOS y SILLAS DE RUEDAS, para comprobar quien de los tipos tiene un mejor porcentaje de detección de obstáculos, obtenidos los resultados de las pruebas mediante Mann-Whitney [38] con el mismo numero de datos, el resultado es diferente, el porcentaje de detección de obstáculos con los CONOS es mayor al porcentaje de detección de obstáculos con las personas.

Tabla 22: Comparación entre porcentaje de detección de obstáculos entre conos y personas

Rangos				
	Tipo de obstáculos	N	Rango promedio	Suma de rangos
Porcentaje de detección de obstáculos	CONOS	20	29,40	588,00
	PERSONAS	20	11,60	232,00
	Total	40		

Estadísticos de prueba^a	
	Porcentaje de detección de obstáculos
U de Mann-Whitney	22,000
W de Wilcoxon	232,000
Z	-4,843
Sig. asin. (bilateral)	<,001
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	<,001 ^b
a. Variable de agrupación: Tipo de obstáculos	
b. No corregido para empates.	

Grupo CONOS – SILLAS DE RUEDAS

4.1.4. Prueba de Mann-Whitney

En la tabla 23, se muestra la diferencia de rangos de detección que se presentó entre el tipo de obstáculos CONOS y SILLAS DE RUEDAS, en la que, observándolos resultados, se muestra que el rango de detección de obstáculos con las SILLAS DE RUEDAS es mejor en comparación al porcentaje de detección con los tipos de obstáculos CONOS.

Tabla 23: Comparación entre porcentaje de detección de tipos de obstáculos conos y sillas de ruedas

Rangos				
	Tipo de obstáculos	N	Rango promedio	Suma de rangos
Porcentaje de detección de obstáculos	CONOS	20	17,18	343,50
	SILLAS DE RUEDAS	20	23,83	476,50
	Total	40		

Estadísticos de prueba ^a	
	Porcentaje de detección de obstáculos
U de Mann-Whitney	133,500
W de Wilcoxon	343,500
Z	-1,834
Sig. asin. (bilateral)	,067
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,072 ^b
a. Variable de agrupación: Tipo de obstáculos	
b. No corregido para empates.	

Grupo SILLAS DE RUEDAS – PERSONAS

Prueba de Mann-Whitney

Como última prueba realizada con Mann-Whitney, ejecutamos la comparación entre los dos tipos de obstáculos faltantes, entre SILLAS DE RUEDAS y PERSONAS, verificando cada uno de los resultados arrojados por las pruebas, se comprueba que el porcentaje de detección de obstáculos con las SILLAS DE RUEDAS es mejor que el porcentaje de detección de obstáculos con las personas, ya que anteriormente se mencionó que al realizar las pruebas con las PERSONAS se obtuvo un porcentaje de detección menor a los otros dos tipos de obstáculos.

Tabla 24: Comparación entre porcentaje de detección de tipos de obstáculos sillas de ruedas y personas

Rangos				
	Tipo de obstáculos	N	Rango promedio	Suma de rangos
Porcentaje de detección de obstáculos	SILLAS DE RUEDAS	20	30,03	600,50
	PERSONAS	20	10,98	219,50
	Total	40		

Estadísticos de prueba^a	
	Porcentaje de detección de obstáculos
U de Mann-Whitney	9,500
W de Wilcoxon	219,500
Z	-5,192
Sig. asin. (bilateral)	<,001
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	<,001 ^b
a. Variable de agrupación: Tipo de obstáculos	
b. No corregido para empates.	

En la tabla 24, se demuestra que existen dos tipos de grupos, el grupo 1 corresponde al tipo de obstáculos personas, mientras que el grupo dos corresponde al grupo de conos y sillas de ruedas, por lo que se puede comprobar que al menos una de ellas debe ser diferente a la otra, en nuestro caso el grupo uno es diferente al grupo dos.

4.1.5. Diagrama de cajas

Obtenido el diagrama de cajas, se procedió con las pruebas de hipótesis para determinar si se cumple una distribución normal o una distribución no normal con las variables obtenidas, esta prueba se lo realizó mediante el método de Shapiro-Wilk, con 20 datos, debido a esto se ha resuelto que se utilizará la distribución no normal en base al número de datos.

En el diagrama de cajas se puede visualizar el porcentaje de detección con cada tipo de obstáculo.

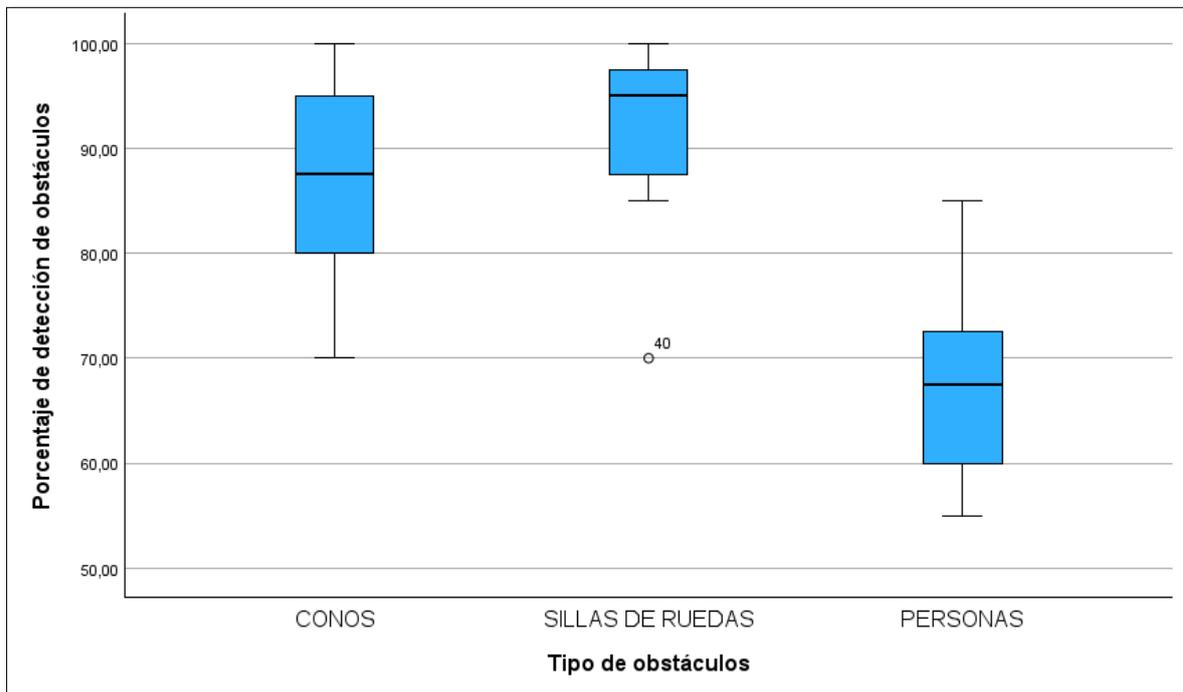


Figura 21: Comparación entre porcentaje de detección de tipos de obstáculos conos y sillas de ruedas

Al observar la figura 21, se demuestra una vez mas el porcentaje diferente de cada uno de los tipos de obstáculos, sabiendo que las personas son el tipo de obstáculo con el menor porcentaje de detección con un valor de 67,50%, en comparación de los tipos de obstáculos como sillas de ruedas con un porcentaje de 92,25% y conos que tienen un porcentaje de 87,25%. El motivo de que el porcentaje de detección hacia las personas es mas bajo que los otros tipos de obstáculos, se debe a la posición en la que se encuentra la persona, teniendo en cuenta que es una posición aleatoria.

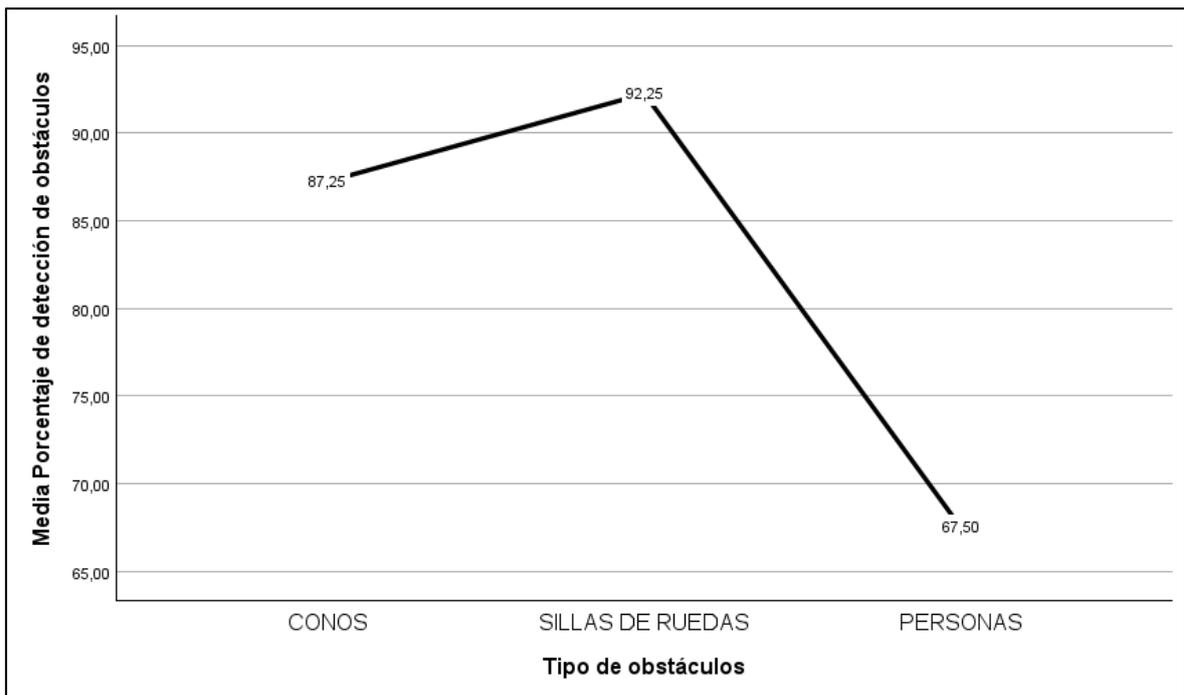


Figura 22: Gráfico lineal con los porcentajes de cada tipo de obstáculo

CAPÍTULO V.

5.1. CONCLUSIONES

En este proyecto se implementó un sistema de control autónomo para una silla de ruedas basadas en plataformas de hardware abierto que funciona bajo los mismos principios de un robot seguidor de línea. El prototipo implementado, tiene la capacidad de seguir una trayectoria trazada en el piso, detectar obstáculos de diferentes tipos y tomar decisiones para alcanzar una posición de destino.

El funcionamiento del sistema propuesto fue evaluado en la Unidad Educativa Especializada Carlos Garbay y se determinó que el porcentaje de detección de obstáculos depende del tipo. Es así como, el porcentaje de detección de obstáculos como sillas de ruedas, alcanzo el 92,25% de efectividad, mientras que con conos y personas se alcanzó el 87,25% y 67,50%, respectivamente.

Si bien, los sensores utilizados para la detección de línea son industriales, el sistema al funcionar en un entorno exterior fue afectado significativamente por los efectos de la radiación solar, provocando que el dispositivo pierda la trayectoria en múltiples ocasiones; este problema se resolvió cubriendo el área de detección de la línea con un material semirrígido obscuro.

5.2. RECOMENDACIONES

Reemplazar las llantas delanteras de la silla de ruedas, debido a que las llantas de las sillas de ruedas tradicionales tienen el giro de 360° o 180°, lo cual, es perjudicial para realizar los giros en las curvas en L, por lo que se recomienda cambiar a unas llantas omnidireccionales, para que, al momento de seguir la trayectoria en línea recta estas no puedan ir de derecha a izquierda, así la silla no se balancee a todos lados.

Para mejorar el porcentaje de detección de obstáculos sobre todo en personas, se puede combinar con una técnica de visión artificial, debido a que cuando se utilizan los sensores ultrasónicos la detección de personas es más baja, por esta razón cuando se

utilice la cámara mejorará la detección de todo tipo de obstáculos por el ángulo de visión que tiene la misma.

CAPÍTULO VI.

6.1. PROPUESTA

La cámara puede ser utilizada no solo para leer códigos QR sino también para leer la trayectoria, por lo tanto, los sensores infrarrojos se podrían utilizar o no, para así mejorar la detección de la línea negra y evitar la radiación solar en los sensores infrarrojos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mondragón V y Lobera J, «Discapacidad motriz», 2010. [En línea]. Disponible en: www.conafe.gob.mx
- [2] E. Mandado Pérez y Y. Mandado Rodríguez, *Sistemas electrónicos digitales*, 9a. ed. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas, 2012. doi: 10.1128/jb.126.3.1351-1354.1976.
- [3] R. Arias, «Hardware Libre». Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://medium.com/crux-learnings/hardware-libre-fc436691be46>
- [4] OMS, «Discapacidad». 7 de marzo de 2023. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- [5] ediciónmédica, «Ecuador registra 476.360 personas con discapacidad». 3 de diciembre de 2020. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.edicionmedica.ec/secciones/salud-publica/ecuador-registra-476-360-personas-con-discapacidad--96819>
- [6] Ocompra, «Busca SILLA DE RUEDAS ELECTRICA a la venta en Ecuador. - Ocompra.com Ecuador». Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocompra.com/ecuador/buscar/item/silla-de-ruedas-electrica/>
- [7] Cuasqui A y Defas M, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA, APLICANDO MOTORES BRUSHLESS SIN ESCOBILLAS (OUTRUNNER)», Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2018.
- [8] M. Morín, A. Santillán, S. Sainos, y J. Oliveros, «Prototipo de Silla de Ruedas Dirigida Usando Parpadeos», *Revista Mexicana de Ingenieria Biomedica*, vol. 40, n.º 1, ene. 2019, doi: 10.17488/RMIB.40.1.2.
- [9] J. Avilés y J. Jiménez, «Automatizar una silla de ruedas convencional que permita reducir costo de fabricación y mejoras en el control eléctrico», Universidad Tecnológica del Perú, Lima, 2018.
- [10] C. Chamba, «DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA EL CONTROL DE MOVIMIENTO BÁSICO DE UNA SILLA DE RUEDAS DESARROLLADO EN ANDROID, EN EL PERIODO 2021», Instituto Superior Tecnológico «San Gabriel», Riobamba, 2021.
- [11] D. Garcés, «SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.

- [12] P. Rea, «Psicología positiva: La autoestima, el auto-concepto y el sentido del humor en personas con discapacidad motriz», Universidad de Valladolid, 2015. Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/211094670>
- [13] O. Castellero, «Tipos de discapacidad física (y características)», 30 de enero de 2017. Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://psicologiyamente.com/salud/tipos-de-discapacidad-fisica>
- [14] B. Bernal y N. Martínez, «SILLA DE RUEDAS». México, 2011.
- [15] M. Olivo y E. Gallegos, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA CON UBICACIÓN GPS Y MANDO LOCAL O REMOTO A TRAVÉS DE UNA APLICACIÓN CELULAR (ANDROID), PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ REDUCIDA EN MIEMBROS INFERIORES.», Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2018.
- [16] L. Corona, G. Abarca, y J. Mares, «Sensores y actuadores», 2014.
- [17] F. Torres y C. Fernández, «Sensores y detectores». Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18433/1/Tema%20_Sensores%20y%20Detectores.pdf
- [18] E. J. Morgan, «Sensores ultrasónicos HCSR04», 2014. [En línea]. Disponible en: www.onlinedoctranslator.com
- [19] S. Pedre, «Sistemas embebidos», oct. 2012.
- [20] D. Retana, «Edge computing con Nvidia Jetson Nano». Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.paradigmadigital.com/dev/edge-computing-con-nvidia-jetson-nano/>
- [21] P. Orlando y M. Sinisterra, «Diseño e implementación de sistemas domóticos demostrativos», 2020.
- [22] Industrias GSL, «Sensor infrarrojo». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-infrarrojo>
- [23] D. Sulino, G. Sales, y K. Gomes, «INFRARED PROXIMITY SENSOR STUDY TO SMALL DISTANCES AND DISCONTINUITIES IN FLAT SURFACES», 2015.
- [24] Nafcom, «Rs550 motor standard 12vdc alta velocidad para taladros». Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nafcom.es/motores-v/rs550-motor-standard-12vdc-alta-velocidad-para-taladros/gmx-niv513-con8785.htm>
- [25] Dimension Engineering, «Sabertooth 2x25 V2 User's Guide», 2012.

- [26] GrupoElectrostore, «SABERTOOTH 2X25 MÓDULO CONTROLADOR DE MOTOR DUAL 25A». Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/controladores-de-motores/sabertooth-2x25-modulo-controlador-de-motor-dual-25a/>
- [27] J. Guerra, «Arduino Mega 2560 el hermano mayor de Arduino UNO». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-mega-2560/>
- [28] Ritar, «DG12-55(12V55Ah)». [En línea]. Disponible en: www.ritarpower.com
- [29] Hiper Shops, «Baterías - tipos y usos 2023». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-2023-b50.html>
- [30] Nvidia Developer, «JetPack SDK | NVIDIA Developer». Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetpack>
- [31] Logitech, «Cámara web Brio 100 Full HD». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.logitech.com/es-roam/products/webcams/brio-100-webcam.960-001615.html>
- [32] IBM, «¿Qué es la visión artificial?». Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/topics/computer-vision>
- [33] Sistemas Inteligentes, «Video #1. Nvidia Jetson Nano. Instalación Jetpack. Configuración inicial», Youtube. Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=6uqM6ltCLIE&list=PLsjK_a5MFguIUJJ1GPt1I2eN6c ihKg2kG
- [34] Nvidia, «Bringing the Power of Modern AI to Millions of Devices», 2022, Accedido: 18 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: www.nvidia.com/JetsonNano
- [35] Ina, «Fórmulas para calcular la muestra». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ina-pidte.ac.cr/pluginfile.php/15090/mod_resource/content/10/idm-2/pdf/pdf-formulas.pdf
- [36] M. Molina, «Análisis de normalidad. Una imagen vale más que mil palabras». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://anestesiario.org/2022/analisis-de-normalidad-una-imagen-vale-mas-que-mil-palabras/>
- [37] «CONTRASTES DE NORMALIDAD». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-6.htm
- [38] C. Camacho, «ALTERNATIVAS NO PARAMÉTRICAS AL ANÁLISIS DE LA VARIANZA». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://personal.us.es/vararey/no-parametrica-varianza.pdf>

ANEXOS



- Etiquetación de cables

