UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PROYECTO TÉCNICO:

"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."

AUTOR(ES):

MELANIE MICHELLE OLIVO ARROYO
ENRIQUE GERARDO GALLEGOS DÍAZ

TUTOR:

MSC. LUIS SILVIO CÓRDOVA RIVADENEIRA

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018

CERTIFICADOS DE RESPONSABLILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TIULACIÓN

Nosotros, **MELANIE MICHELLE OLIVO ARROYO** y **ENRIQUE GERARDO GALLEGOS DÍAZ**, autorizamos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, 29 de Agosto de 2018

f) _____ f) _____

Autor: _____ Autor: _____

Cédula: _____ Cédula: _____

CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Nosotros, **MELANIE MICHELLE OLIVO ARROYO**, con documento de identificación N°_____, y **ENRIQUE GERARDO GALLEGOS DÍAZ**, con documento de identificación N° _____, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado "**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.**" mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de Agosto de 2018

f) _____	f) _____
Autor: _____	Autor: _____
Cédula: _____	Cédula: _____

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

SUSCRITO POR EL TUTOR

Yo, **LUIS SILVIO CÓRDOVA RIVADENEIRA**, director del proyecto de Titulación denominado "**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.**" realizado por los estudiantes, **MELANIE MICHELLE OLIVO ARROYO** y **ENRIQUE GERARDO GALLEGOS DÍAZ**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 29 de Agosto de 2018

f) _____

Msc. Luis Silvio Córdova Rivadeneira

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, que me ha sido el pilar fundamental durante toda mi vida, siempre me impulsó a ser mejor cada día y a hacer el mayor esfuerzo por cumplir todas mis metas. A mi padre, con su fuerte carácter siempre me supo guiar por el buen camino. A mi abuelo, por ser mi ejemplo a seguir desde pequeño. Finalmente, a mis hermanas que siempre me apoyaron en los momentos más difíciles y, por supuesto, a mi querida Melanie, por su amor y apoyo incondicional en todo momento.

Enrique Gerardo Gallegos Díaz

Dedico este trabajo a Dios, por darme la fortaleza, salud y guía para culminar con éxito mis estudios. A mi madre, por su amor, paciencia y dedicación, por ser el pilar fundamental en mi vida e impulsarme en el cumplimiento de mis metas. A mi padre, que, gracias a sus sabios consejos me motivó a la excelencia y jamás darme por vencida. A mi hermana, por animarme a continuar el camino que inicié y por siempre creer en mí. A mi amigo, novio y compañero de tesis, por su compromiso y entrega a lo largo de este proyecto, por su amor, sus consejos y apoyo incondicional.

Melanie Michelle Olivo Arroyo

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más profundos sentimientos de gratitud a quienes nos brindaron su apoyo para poder culminar la carrera y aportaron en nuestro crecimiento.

- A Dios, sobre todas las cosas.
- A nuestras familias, por su infinito apoyo y entrega durante nuestra vida.
- A los amigos que nos brindaron su apoyo y motivación durante la carrera.
- A los profesores y profesionales que se ganaron nuestro respeto por ser personas de calidad y nos motivaron a continuar y colaboraron con nuestra formación académica.

Melanie Michelle Olivo Arroyo

Enrique Gerardo Gallegos Díaz

RESUMEN

Tema: 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.

Palabras Claves:
Arduino, joystick, silla de ruedas eléctrica, controlador, PCB, GPS, GSM

En el país existe una gran cantidad de personas con discapacidad motriz, según las estadísticas, un gran porcentaje de éstas, no se encuentran laboralmente activas y no cuentan con los recursos suficientes para tener estándar de vida óptima. Los autores, como futuros profesionales con calidad humana, decidieron aportar con un grano de arena desarrollando un proyecto orientado a la problemática planteada, donde, se seleccionó un beneficiario, y se personalizó el proyecto en base a sus necesidades.

El presente trabajo de titulación se enfoca en diseñar e implementar un controlador electrónico basado en arduino para una silla de ruedas eléctrica (Silla de ruedas convencional modificada), con dos modos de operación:

- Control local, a través de un mando central integrado que permite el control de la silla a través de un joystick y una serie de componentes con diferentes funciones, tales como, regulador de velocidad, control remoto, botón de pánico, claxon y mesa automática.
- Control remoto, a través de un celular con comunicación Bluetooth y una aplicación diseñada que contiene un joystick y regulador de velocidad que permite controlar los movimientos y velocidad de la silla.

La integración de un módulo GSM/GPS permite al controlador, recibir/enviar mensajes de texto y solicitar las coordenadas de posición geográfica.
Para la implementación del proyecto se realizaron varios diseños de tarjetas electrónicas que permitan integrar los diferentes sistemas anteriormente planteados. Se diseñaron algoritmos de control de movimiento y velocidad para controlar la silla de ruedas tanto local como remotamente.

El diseño de una aplicación multifuncional para celulares Android, permite al usuario de la silla y un tutor tener varias opciones:

- Control remoto, explicado con anterioridad.
- Ubicación, permite al tutor recibir y visualizar las coordenadas geográficas de la silla de ruedas en el momento solicitado.
- Seguridad: Permite realizar bloqueos de seguridad de las funciones de la silla de ruedas con o sin reportes de coordenadas, en caso de robo, emergencias o casos fortuitos.

Se realizaron pruebas de funcionamiento, con diferentes individuos, donde, se obtuvieron resultados satisfactorios que permiten al beneficiario, Robert Hidalgo, utilizar la silla de ruedas eléctrica con una autonomía de 14 horas y un rendimiento aproximado de 25 kilómetros, satisfaciendo sus necesidades de movilización y las de su madre, brindándole la seguridad de saber dónde está su hijo cuando esté fuera de casa.

ABSTRACT

Theme: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ELECTRONIC CONTROL OF AN ELECTRIC WHEELCHAIR WITH LOCAL CONTROL AND REMOTE THROUGH AN ANDROID APPLICATION FOR MOBILES, FOR PEOPLE WITH MOTOR DISSABILITIES IN LOWER EXTREMITIES.

Keywords:
Arduino, joystick, wheelchair, controller, PCB, GPS, GSM.

In Ecuador there are a large number of people with motor disabilities, according to statistics, a large percentage of these, aren't working and don't have enough money to have optimal standard of living. The authors, as future professionals with human quality, decided to contribute with a grain of sand developing a project oriented to the faced dilemma, for that reason a beneficiary was selected, and the project was customized based on their needs.

The present degree work is focused on designing and implementing an electronic controller based on Arduino for an electric wheelchair (Modified conventional wheelchair), with two modes of operation:

- Local control, through an integrated master controller that allows control of the chair through a joystick and a series of components with different functions, such as, speed controller, remote control, panic button, horn and automatic table.
- Remote control, through a cellphone with bluetooth communication and an application that contains a joystick and speed regulator, that allows to control the movements and speed of the chair.

The integration of a GSM / GPS module allows the controller to receive / send text messages and request geographical position coordinates.
For the implementation of the project several designs of printed circuits board were made to integrate the different systems previously proposed. Motion and speed control algorithms were designed to control the wheelchair locally and remotely.
The design of a multifunctional application for Android phones, allows the chair's user and a legal guardian to have several options:

- Remote control, explained previously.
- Location, allows the user's guardian to receive and visualize the geographical coordinates of the wheelchair at the requested time.
- Security: Allows security locks of the functions of the wheelchair with or without coordinate reports, in case of theft, emergencies or fortuitous events.

Functionality tests were performed, with different individuals, and satisfactory results were obtained that allow the beneficiary, Robert Hidalgo, to use the electric wheelchair with an autonomy of 14 hours and an approximate performance of 25 kilometers,

satisfying his needs for mobilization and those of his mother, giving her the security of knowing where her son is, when he is away from home.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. EL PROBLEMA 1
1.1. Descripción del problema 1
1.2. Importancia y alcances 3
1.3. Delimitación 3
1.3.1. Tecnológica 3
1.3.2. Espacial 3
1.3.3. Temporal 4
1.4. Objetivos 4
1.4.1. Objetivo general 4
1.4.2. Objetivos específicos 4
1.5. Marco metodológico 5
2. MARCO TEÓRICO 5
2.1. Antecedentes 5
2.2. Tipos de discapacidad: física e intelectual. 5
2.2.2. Discapacidad intelectual o mental 5
2.2.3. Discapacidad motriz a nivel de extremidades inferiores 6
2.3. Silla de ruedas 6
2.3.1. Silla de ruedas manuales 6
2.3.2. Silla de ruedas eléctricas 6
2.4. Motores de corriente continua. 7
2.4.1. Tipo de Motores de corriente continua. 7
2.4.2. Motores Paso a Paso 8
2.4.2.1. Tipos de Motores Paso a Paso 9
2.4.3. Motor Paso a Paso Nema 17 10
2.4.4. Motores Peipei Scooter modelo PEWM82M 11
2.5. Microcontroladores 15
2.5.1. Arduino 15
2.5.1.1. Arduino Mega 2560 15
2.6. Joystick 18
2.6.1. El principio de operación 18
2.6.2. Joystick de efecto Hall 19
2.6.3. Joystick APEM TS-3A1G00A 20
2.7. Comunicación Electrónica 23
2.7.1. Comunicación bluetooth 23
2.7.2. Modulo Bluetooth HC-05 23
2.7.3. Comandos AT 25

2.8. Driver Sabertooth 2X25 26
2.8.1. Modo Serial simplificado 27
2.8.2. Modo Serial Simplificado estándar 28
2.8.3. Modo Serial Simplificado con selección de esclavo 28
2.9. DRIVER A4988 29
2.9.1. Selección de Micropaso. 30
2.10. Módulo Regulador de Voltaje XL6009 31
2.11. GPS 31
2.11.1. Funcionamiento del sistema 32
2.12. GSM 32
2.13. GPRS 32
2.14. Modulo GPS/GSM SIM808 32
2.14.1. Comandos AT para SIM808 34
2.15. Baterías 34
2.15.1. Características: 35
2.15.2. Tipos de Baterías 35
2.15.3. Baterías AGM 35
2.16. Batería CSB GP12340 36
2.17. APP INVENTOR 2 37
2.17.1. Modo Diseñador 38
2.17.2. Editor de Bloques 38
3. MARCO PROCEDIMENTAL 39
3.1. Diagrama de bloques 39
3.2. Diseño de tarjetas de circuitos impresos (PCB) 39
3.2.1. PCB Controladora 40
3.2.2. Alimentación 44
3.2.3. PCB Mando Principal 45
3.2.4. PCB Mesa Automática 46
3.3. Construcción de PCB’s y montaje de componentes. 47
3.4. Construcción de estructuras. 48
3.5. Conexiones eléctricas 53
3.6. Montaje de silla de ruedas eléctrica 58
3.7. Lógica de programación. 59
3.8. Diseño de la aplicación 65
3.9. Pantalla principal 65
3.10. Pantalla de Inicio de sesión 66
3.11. Pantalla de control 68

3.12. Pantalla ubicar 70
3.13. Pantalla de seguridad 71
3.14. Pantalla de información 73
4. RESULTADOS 74
4.1. Consumo de energía 74
4.2. Consumo de corriente de circuito de control. 74
4.3. Consumo de corriente de circuito de fuerza 75
4.4. Autonomía 79
4.5. Posición Geográfica 85
5. CONCLUSIONES 87
6. RECOMENDACIONES 88
7. ANEXOS 89
7.1. Anexo #1: Fotografías 89
7.2. Anexo #2: Datasheet Batería CSB GP12340 94
7.3. Anexo #3: Datasheet APEM TS SERIES 94
7.4. Anexo #4: Diagrama eléctrico del sistema de control de la silla de ruedas. 94
BIBLIOGRAFÍA Y LINCOGRAFÍA 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estudiantes de la escuela Dean de Henríquez. (SERLI, 2017)..... 2
Figura 2: Robert Hidalgo y compañeros. Escuela Lidia Dean De Henríquez. Fuente Los Autores. 2
Figura 3: Silla de ruedas convencional (Sunrise Medical, 2018)..... 6
Figura 4: Silla de rueda eléctrica. (Sunrise Medical, 2018)..... 6
Figura 5: Tipos de motores de corriente continua. Fuente: Los Autores..... 7
Figura 6: Constitución básica de un motor paso a paso. (Domínguez & Ferrer, 2018)8
Figura 7: Esquema motor paso a paso unipolar de 8 cables. (Loureiro Varela, 2018) 9
Figura 8: Esquema motor paso a paso bipolar, con 4 cables. (Loureiro Varela, 2018)9
Figura 9: Motor paso a paso Nema17. Fuente: Los autores..... 10
Figura 10: Motores DC con escobillas para silla de ruedas modelo pewm82m. (PEI PEI SCOOTER, 2011) 11
Figura 11: Medidas de motor lado derecho. (PEI PEI SCOOTER, 2011)..... 12
Figura 12: Medidas de motor lado izquierdo (PEI PEI SCOOTER, 2011) 12
Figura 13: Grafico de relaciones de potencia, torque, velocidad y corriente de los motores PEWM82M. (PEI PEI SCOOTER, 2011) 13
Figura 14: Logo de arduino. (ARDUINO, 2018)..... 15
Figura 15: Arduino mega 2560 . Fuente: Los Autores..... 15
Figura 16: Diseño esquemático de arduino mega 2560 (Arduino, 2000) 17
Figura 17: Joystick analógico simple. (Huzij, Spano, & Bennet, 2013)..... 18
Figura 18: Estructura interna de joystick común, por contacto. (Huzij, Spano, & Bennet, 2013) 19
Figura 19:Típico Joystick profesional para manejo de maquinarias. (Huzij, Spano, & Bennet, 2013) 19
Figura 20: Especificaciones técnicas de joysticks de efecto Hall serie TS. (APEM, 2017) 20
Figura 21: Información de especificaciones técnicas de las diferentes series TS de joystick . (APEM, 2017) 20
Figura 22: Tipo de superficie de contacto, cónica. (APEM, 2017)..... 21
Figura 23: Tipos de montaje. (APEM, 2017)..... 21
Figura 24: Salida de 0 - 5 V. (APEM, 2017) 22
Figura 25: Logo de Bluetooth. (Bluetooth SIG, Inc., 2018) 23
Figura 26: Módulo bluetooth HC-05. (ELECTRONICLAB, 2014)..... 23
Figura 27: Sabertooth 2X25. (Engineering, 2004)..... 27
Figura 28: Modo serial simplificado y selección de Baud rate. (Dimension Engineering LLC., 2004)..... 27
Figura 29: Serial simplificado estándar. (Dimension Engineering LLC., 2004) 28
Figura 30: Serial simplificado con selección de esclavo. (Dimension Engineering LLC., 2004)..... 28
Figura 31: Pseudo código demostrativo de serial simplificado con selección de esclavo. (Dimension Engineering LLC., 2004) 29
Figura 32: Driver A4988. Fuente: Los autores. 29
Figura 33: Diagrama de conexiones del Driver A4988 (MODO FULL STEP). (Pololu Corporation, 2014)..... 29
Figura 34: BUCK XL6009. Fuente: Los Autores. 31
Figura 35: Funcionamiento del GPS para obtener nuestra posición. (Arnalich & Urruela, 2012) 32
Figura 36: Módulo GSM/GPRS GPS SIM808. (Prometec, 2018) 33

Figura 37: Diferentes tipos de baterías en el mercado. (Sociedad Renobat Ecoenergia S.L., 2014) 34
Figura 38: Principales tipos de baterías. (Hiper Shops, 2016) 35
Figura 39: Logo de MIT App Inventor. (Massachusetts Institute of Technology, 2017) 37
Figura 40:Pantalla de Diseño de la APP "FREEDOM CHAIR". Fuente: Los Autores 38
Figura 41: Pantalla de Editor de Bloques de la APP "FREEDOM CHAIR". Fuente: Los Autores 38
Figura 42: Diagrama de bloques del control electrónico de la silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores 39
Figura 43: Distribución de pines arduino mega 2560. Fuente: Los Autores 41
Figura 44: Distribución de pines de periféricos. Fuente: Los Autores. 42
Figura 45: Salidas transistorizadas para frenos electromagnéticos. Fuente: Los Autores. 42
Figura 46: Diseño de tarjeta de circuito impreso en Ares Proteus. Fuente: Los Autores. 43
Figura 47: Vista superior e inferior de la tarjeta controladora. Fuente: Los Autores. 43
Figura 48: Diseño esquemático de circuito de alimentación. Fuente: Los Autores... 44
Figura 49: Diseño de rutas de la PCB de alimentación. Fuente: Los Autores. 44
Figura 50: Vista superior e inferior de la PCB de alimentación. Fuente: Los Autores. 45
Figura 51: Diseño esquemático de mando principal. Fuente: Los Autores. 45
Figura 52: Diseño de rutas de tarjeta de circuito impreso de mando principal. Fuente: Los Autores. 46
Figura 53: Vista superior e inferior de la PCB de mando principal. Fuente: Los Autores. 46
Figura 54: Diseño esquemático de PCB mesa automática. Fuente: Los Autores. 46
Figura 55: Diseño de rutas de PCB mesa automática. Fuente: Los Autores..... 47
Figura 56: Vista superior e inferior de PCB mesa automática. Fuente: Los autores. 47
Figura 57: Tarjetas de circuitos impresos. Fuente: Los Autores..... 47
Figura 58: Montaje y soldadura de tarjetas de circuito impreso. FUENTE: Los Autores 48
Figura 59: Tarjetas de circuitos impresos terminadas. Fuente: Los Autores 48
Figura 60: Silla de ruedas convencional utilizada para el proyecto. Fuente: Los autores. 48
Figura 61: Estructura de la caja contenedora de las baterías. Fuente: Los Autores... 49
Figura 62: Bandeja de soporte para caja de baterías y controladores, hecha en varilla lisa de 5.5mm. Fuente: Los Autores..... 49
Figura 63: Diseño de extensión de estructura de silla para colocación de bandeja. Fuente: Los Autores. 50
Figura 64: Pieza de extensión para parante de silla de ruedas. Fuentes: Los Autores50
Figura 65: Diseño de bases de soporte para bandeja. Fuente: Los Autores 50
Figura 66: Acople para soporte de bandeja para las baterías hecha en nylon. Fuente: Los Autores 51
Figura 67: Montaje de estructuras y acoples sobre estructura de la silla de ruedas. Fuente: Los autores. 51
Figura 68: Mecanismo utilizado para la mesa automática, tornillo, tuerca, chumaceras, motor y acople. Fuente: Los autores. 51
Figura 69: Montaje de mecanismo de la mesa. Fuente: Los Autores 52

Figura 70: Instalación de sistema de mesa automática. Fuente: Los Autores..... 52
Figura 71: Diseño 3D de mando de control central para la silla de ruedas. Fuente: Los Autores 52
Figura 72: Impresión 3D del mando central de la silla de ruedas y montaje de componentes. Fuente: Los Autores. 53
Figura 73: Diagrama unifilar de banco de baterías. Fuente: Los Autores. 53
Figura 74: Cableado interno de banco de baterías, fusible, interruptores y puerto de carga. Fuente: Los autores..... 53
Figura 75: Montaje de placas electrónicas sobre base de acrílico. Fuente: Autores.. 54
Figura 76: Diagrama unifilar de caja de control. Fuente: Los Autores..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 77: Conexiones de circuito de fuerza del Sabertooth . Fuente: Los Autores.. 55
Figura 78: Conexión de periféricos, señales y energía. Fuente: Los Autores..... 55
Figura 79: Distribución de placa de alimentación de control. Fuente: Los Autores.. 55
Figura 80: Cableado final del controlador. Fuente: Los Autores. 56
Figura 81: Cableado interno del mando principal. Fuente: Los autores. 56
Figura 82: Diagrama unifilar de mando de control. Fuente: Los Autores. 56
Figura 83: Componentes de mando de control principal. Fuente: Los Autores..... 57
Figura 84: Conexión de tarjeta de mesa automática. Fuente: Los Autores..... 57
Figura 85: Diagrama de conexión de sistema de mesa automática. Fuente: Los Autores. 57
Figura 86: Ubicación de caja de control y baterías. Fuente: Los Autores. 58
Figura 87: Vista delantera de silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores. 58
Figura 88: Movimiento multidireccional del joystick. Fuente: Los Autores. 59
Figura 89: Diagrama de flujo de algoritmo de Control de velocidad y movimiento. Fuente: Los autores. 63
Figura 90: Diagrama de flujo de algoritmo de Procesamiento de SMS y envío de coordenadas. Fuente: Los autores. 64
Figura 91: Imagen de la pantalla de inicio de la aplicación. Fuente: Los Autores. ... 65
Figura 92: Botón de ingreso a pantallas de control y ubicación. Fuente: Los Autores. 65
Figura 93:Pantalla de inicio de sesión de la aplicación. Fuente: Los Autores..... 66
Figura 94: Pantalla de inicio de sesión de la aplicación con datos de ingreso. Fuente: Los Autores 66
Figura 95: Pantalla de programación para inicio de sesión. Fuente: Los Autores..... 67
Figura 96: Notificación de error por usuarios o contraseña incorrectos. Fuente: Los Autores. 67
Figura 97: Notificación de error por no elegir una pantalla de ingreso . Fuente: Los Autores. 67
Figura 98: Pantalla de control de la aplicación. Fuente: Los Autores 68
Figura 99: Botón Bluetooth de la aplicación. Fuente: Los Autores. 68
Figura 100: Botón desconectar de la aplicación. Fuente: Los Autores..... 68
Figura 101: Elementos de la paleta de animación y dibujo. Fuente: Los Autores..... 69
Figura 102: Bloque para escalamiento de datos del Joystick. Fuente: Los Autores. 69
Figura 103: Bloque de escalamiento de datos para el slider. Fuente: Los Autores. .. 69
Figura 104: Pantalla de ubicación de la aplicación. Fuente: Los Autores. 70
Figura 105: Pantalla de solicitud de ubicación. Fuente: Los Autores. 70
Figura 106: Recepción de ubicación de la silla de ruedas. Fuente: Los Autores..... 71
Figura 107: Bloque para condicionar el destinatario de los SMS . Fuente: los Autores. 71

Figura 108: Pantalla de seguridad del usuario. Fuente: Los Autores. 72
Figura 109: Pantalla de seguridad del tutor. Fuente: Los Autores. 72
Figura 110: Pantalla de información del proyecto. Fuente: Los Autores. 73
Figura 111: Botón de sitio web de la Universidad Politécnica Salesiana. Fuente: Los Autores. 73
Figura 112: Pantalla de la página web de la Universidad Politécnica Salesiana. Fuente: Los Autores. 73
Figura 113: Medición de corriente consumida por el circuito de control. Fuente: Los autores. 75
Figura 114: Melanie y Robert durante la prueba y medición de consumo sobre terreno con inclinación de 0°. Fuente: Los Autores. 75
Figura 115:Consumo de corriente en cada velocidad sobre terreno con inclinación 0°. Fuente: Los Autores. 77
Figura 116:Consumo de corriente en cada nivel velocidad sobre terreno con inclinación 35°. Fuente: Los Autores. 78
Figura 117:Autonomía de la silla de rueda para cada velocidad sobre terreno con inclinación de 0° y 35°. Fuente: Los Autores. 80
Figura 118:Autonomía de la silla de ruedas al 100% de la velocidad sobre terrenos con inclinación de 0° y 35°. Fuente: Los Autores. 80
Figura 119:Autonomía de la silla de ruedas con 30% , 50% , 70% y 100% de operatividad por hora, cuando es operada por Robert, beneficiario del proyecto Fuente: Los Autores 83
Figura 120:Autonomía de la silla de ruedas con 30% , 50% , 70% y 100% de operatividad por hora, cuando es operada por Melanie. Fuente: Los Autores 83
Figura 121:Autonomía de la silla de ruedas con 30% , 50% , 70% y 100% de operatividad por hora, cuando es operada por Eudoxia. Fuente: Los Autores 84
Figura 122:Rendimiento al 100% de operatividad en uso combinado. Fuente: Los Autores. 84
Figura 123: Solicitud de ubicación de la silla de ruedas. Fuente: Los Autores. 85
Figura 124: Respuesta de ubicación dentro del rango de dos minutos. Fuente: Los autores. 86
Figura 125: Visualización de posición geográfica de la silla de ruedas, después de enviada la solicitud. Fuente: Los autores. 86
Figura 126: Mensaje de texto enviado por la silla de ruedas luego de presionar el botón de pánico. 86
Figura 127: Manufactura de primeras PCB's, método del planchado y quemado por ácido. Fuente: Los Autores. 89
Figura 128: Prototipo inicial de PCB de control. Fuente: Los Autores. 89
Figura 129: Pruebas iniciales de movimiento y velocidad. Fuente. Los Autores. 89
Figura 130: Diseño 3D de extensión de estructura de silla para colocación de bandeja. Fuente: Los Autores. 90
Figura 131: Diseño 3D de bases de soportes para bandeja. Fuente: Los Autores. 90
Figura 132: Montaje de extensión de estructura y colocación de motor. Fuente. Los Autores. 90
Figura 133: Montaje de soporte para colocación de bandeja. Fuente: Los Autores. 91
Figura 134: Construcción de estructura de la mesa automática. Fuente: Los Autores. 91
Figura 135: Estructura y mecanismo de mesa automática montado en la silla de ruedas. Fuente: Los Autores. 91
Figura 136: Vista Posterior de Silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores. 92

Figura 137: Vista Frontal de silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores. 92
Figura 138: Pruebas y medición de consumo de corriente con Robert, beneficiario.. Fuente. Los Autores. 93
Figura 139: Robert Hidalgo utilizando la mesa automática para escribir sobre un cuaderno. Fuente: Los autores..... 93
Figura 140: Pruebas y medición de consumo con Melanie sobre terreno con inclinación de 0°. Fuente: Los Autores..... 93
Figura 141: Pruebas y medición de consumo con Eudoxia sobre terreno con inclinación de 35°. Fuente: Los Autores..... 94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Personas con discapacidad en Ecuador. (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2018) 1
Tabla 2: Personas con discapacidad física en Guayaquil. (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2018) 1
Tabla 3: Ventajas de los motores de corriente continua (Roldán Viloria, 2014) 7
Tabla 4: Ventajas y Desventajas de los motores paso a paso. (Loureiro Varela, 2018) 8
Tabla 5: Características Principales Motor NEMA 17. (Rambaud, 2018) 10
Tabla 6: Especificaciones técnicas motor PEWM82M. (PEI PEI SCOOTER, 2011)11
Tabla 7: Relaciones de potencia, torque, velocidad y corriente de los motores PEWM82M. (PEI PEI SCOOTER, 2011) 13
Tabla 8: Especificaciones técnicas arduino mega 2560. (ARDUINO, 2018) 16
Tabla 9: Distribución de pines módulo bluetooth HC-05. (ELECTRONICLAB, 2014) 24
Tabla 10: Especificaciones técnicas módulo bluetooth HC-05. (ELECTRONICLAB, 2014) 24
Tabla 11: Comandos AT del Bluetooth HC-05. (ELECTRONICLAB, 2014) 25
Tabla 12: Especificaciones técnicas Sabertooth 2X25 (Engineering, 2004) 26
Tabla 13: Especificaciones generales del Driver A4988. (Pololu Corporation, 2014) 30
Tabla 14: tabla lógica de resolución de micropasos. (Allegro MicroSystems LLC, 2014) 30
Tabla 15: Características del Buck XL6009. (Techmake Solutions S.A., 2017) 31
Tabla 16. Características del SIM808. (SIMCom Wireless Solutions Co, 2015) 33
Tabla 17: Comando AT más utilizados en la SIM808. (SIMCom Wireless Solutions Co., 2015) 34
Tabla 18: Especificaciones técnicas batería GP12340. (Hitachi Chemical Energy Technology Co. Ltd, 2016) 36
Tabla 19: Relaciones de tiempo vs corriente y potencia de descarga. (Hitachi Chemical Energy Technology Co. Ltd, 2016) 37
Tabla 20: Distribución de pines en arduino mega, tarjeta de control. Fuente: Los Autores. 40
Tabla 21: Continuación. Distribución de pines en arduino mega, tarjeta de control. Fuente: Los autores. 41
Tabla 22: Mapeo de entradas del Joystick, valores para el eje "Y" filas y "X" columnas respectivamente. Fuente: Los Autores. 59
Tabla 23: Rango de valores utilizados para la velocidad de avance de los motores. Fuente: Los Autores. 60
Tabla 24: Rango de valores utilizados para la velocidad de reversa de los motores. Fuente: Los Autores. 61
Tabla 25: Tabla de velocidad Nivel 1, representada en porcentajes de cada motor. Fuente: Los Autores 61
Tabla 26: Tabla de velocidad 1, con valores predeterminados para cada motor. Fuente: Los autores. 62
Tabla 27: Tabla de consumo de corriente de circuito de control. Fuente: Los Autores. 74
Tabla 28: Consumos de corriente en cada nivel de velocidad sobre un terreno plano de cemento. Fuente: Los Autores. 76

Tabla 29: Promedio de Consumos corriente por niveles de velocidad sobre terreno de 0° de inclincación. Fuente: Los Autores. 76
Tabla 30: Consumos de corriente en cada nivel de velocidad sobre terreno con 35° de inclinación. Fuente: Los Autores. 77
Tabla 31: Promedio de Consumos de corriente por niveles de velocidad sobre terreno con 35° de inclinación. Fuente: Los Autores. 78
Tabla 32: Autonomía de la silla de ruedas por niveles de velocidad sobre terreno con 0° y 35° de inclinación. Fuente: Los Autores. 79
Tabla 33: Consumo combinado de corriente promedio, considerando un 70% del uso en terreno plano y un 30% sobre un terreno con 35° de Inclinación. Fuente: Los Autores 81
Tabla 34: Autonomía de la silla de ruedas con 30% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores 81
Tabla 35:Autonomía de la silla de ruedas con 50% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores 82
Tabla 36: Autonomía de la silla de ruedas con 70% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores 82
Tabla 37:Autonomía de la silla de ruedas con 100% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores 82

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1) Ecuación de velocidad lineal……14
(2) Conversion de rpm a rad/seg……...14
(3) Velocidad lineal expresada en m/s ……..14
(4) Velocidad lineal expresada en Km/h…….14

INTRODUCCIÓN

El tema del presente Proyecto de Titulación es “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”, el cual, está enfocado a mejorar la movilización de aquellas personas que más lo necesiten.

En el Ecuador, los gobiernos de los últimos años han abordado el tema de las personas con discapacidad realizando campañas de inclusión social e implementando sistemas y reglamentos que permitan la inserción laboral de dichas personas, pero lamentablemente, las estadísticas reflejan que solo un pequeño porcentaje de personas con discapacidad se encuentran laboralmente activas, dando a entender que muchas de estas personas no cuentan con una fuente de ingresos considerable que les permita tener un estándar de vida óptimo.

El primer capítulo de este trabajo, trata sobre la problemática planteada, específicamente, personas con discapacidad motriz, nos da a conocer las estadísticas dentro del nuestra ciudad, Guayaquil, donde, la investigación se centró en una persona en específico, Robert Hidalgo, un joven de 17 años con discapacidad motriz e intelectual. El proyecto fue diseñado y personalizado acorde a las necesidades y capacidades del joven y las de su madre, que juega un papel importante dentro de su cuidado y seguridad.

Este proyecto consiste en la implementación de un sistema de control electrónico basado en arduino que permita al usuario controlar el movimiento y la velocidad de una silla de ruedas eléctrica de manera local o remota. La integración de un sistema de ubicación geográfica permite al tutor del usuario, conocer la posición geográfica de la silla de ruedas, solicitándola y visualizándola a través de una aplicación, la misma que permite, también, realizar el control remoto de la silla de ruedas mediante bluetooth y bloqueo de funciones por seguridad de diferentes tipos.

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), en el Ecuador hay 440.910 personas con discapacidad registradas, de las cuales 205.664 tienen discapacidad física-motora. (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2018)

Tabla 1: Personas con discapacidad en Ecuador. *(Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2018)*

Tipo de Discapacidad Actual	Población
AUDITIVA	62.425
FISICA	205.664
INTELECTUAL	99.066
PSICOSOCIAL	21.282
VISUAL	52.473
TOTAL GENERAL	440.910

En la provincia del Guayas cantón Guayaquil, existen 32.986 personas que corresponden al 16.03% de las personas con discapacidad física-motora en todo el Ecuador.

Tabla 2: Personas con discapacidad física en Guayaquil. *(Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2018)*

Provincia	Cantón	Porcentaje de Discapacidad	Femenino	Masculino	Total General
GUAYAS	GUAYAQUIL	30% a 49%	6.255	9.806	16.061
		50% a 74%	5.307	6.740	12.047
		75% a 84%	1.546	1.903	3.449
		85% a 100%	633	796	1.429
Total			**13.741**	**19.245**	**32.986**

Estas cifras no ayudan a determinar el número de personas con discapacidad motriz reducida a nivel de las extremidades inferiores, pero si nos da una idea del gran número de personas discapacitadas en nuestra sociedad que quizás necesiten ayuda.

Muchas de estas personas no cuentan con los recursos suficientes para tener un estándar de vida óptimo. La necesidad de movilizarse para realizar sus actividades diarias como trasladarse al trabajo, escuelas, lugares recreativos e incluso cruzar a través de pasos peatonales elevados, requieren un notable esfuerzo físico y en muchos

de los casos, ayuda de terceros para poder superar todos aquellos obstáculos que se pueden presentar a diario.

La escuela Lidia Dean de Henríquez, perteneciente a la sociedad ecuatoriana pro rehabilitación de los lisiados (SERLI), ubicada en Guayaquil (Guayas-Ecuador), José de Antepara 7900 y Bolivia, es una escuela especial de integración e inclusión, a cargo de más de 200 niños con diferentes discapacidades. (SERLI, 2017)

Figura 1: Estudiantes de la escuela Dean de Henríquez. *(SERLI, 2017)*

Robert Hidalgo Monar, estudiante del 8avo año, quien sufre de una discapacidad físico motora en sus extremidades inferiores a causa de una complicación médica durante el período de gestación de su madre, Narcisa Monar, debido a esta complicación a pesar de que tiene 15 años, su edad mental es de 10 años. Por tal motivo su madre cuida de él la mayoría del tiempo y ayudaría a su tranquilidad, saber dónde está su hijo, mientras no está con él.

Figura 2: Robert Hidalgo y compañeros. Escuela Lidia Dean De Henríquez. Fuente Los Autores.

Narcisa y Robert cada mañana se trasladan cerca de 10 cuadras hasta llegar a la estación de metro vía más cercana a su casa, ubicada en los alrededores del Hospital Teodoro Maldonado, tarea que nos comenta, suele ser agotadora tanto para Robert como para ella.

1.2. Importancia y alcances

Se buscó solucionar estas limitaciones con tecnología, implementando un sistema de control de movimiento y velocidad de una silla de ruedas eléctrica diseñando un controlador basado en tecnología arduino, con mando local (dirigido por el usuario) o remoto (dirigido por un tercero), a través de una aplicación de celular Android, la misma que contará con una opción para solicitar la posición geográfica instantánea de la silla de ruedas, mas no, un monitoreo constante.

1.3. Delimitación

1.3.1. Tecnológica

El diseño del controlador para la silla de ruedas se realizó con la tecnología Arduino, una tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 basado en el controlador ATMEL 2560. Se utilizó un banco de 2 baterías de 12 V 34AH para la alimentación de energía de todos los circuitos, donde, la parte de fuerza, motores eléctricos, serán controlados por un driver Sabertooth dual de 25 amperios.

Se utilizó un joystick de efecto hall que tiene mayor precisión ante los resistivos, además, mayor durabilidad debido a su empaquetado industrial. Se utilizaron módulos bluetooth y GPS comerciales, tales como HC-05 y Shield SIM808 V3.2 respectivamente. Cabe recalcar que para poder controlar el movimiento de la silla a través de la aplicación se requiere una distancia menor a 5 metros (preferible) y para la localización GPS se requiere que ambos dispositivos se encuentren bajo cobertura GSM.

La silla de ruedas eléctrica se desarrolló realizando las adecuaciones necesarias a una silla de ruedas convencional para adaptar dos motores DC con sus respectivas ruedas y una estructura de soporte acoplada a la misma para colocar las baterías y controladores, tarea que se llevó a cabo en un taller metalmecánico por personas especializadas.

Solo los aspectos antes mencionados serán tratados en este trabajo, cualquier otro, queda fuera del alcance del proyecto. A pesar de que existen proyectos similares, se busca solucionar una necesidad particular, diferenciándose en diseño, tecnología y funcionalidad.

1.3.2. Espacial

El proyecto se llevó a cabo en Ecuador, provincia del Guayas, ciudad Guayaquil, donde el papel principal lo juega el beneficiario del proyecto, Robert Hidalgo Monar,

estudiante de la escuela Dean de Henríquez, perteneciente a la Sociedad Ecuatoriana de pro- Rehabilitación de Lisiados, localizada en José de Antepara 7900 y Bolivia.

1.3.3. Temporal

Se tiene como meta realizar el proyecto en el transcurso del año 2017 finalizándolo a mediados del año 2018. Una vez finalizado, se realizará la entrega del mismo al joven Robert Hidalgo Monar con C.I. 0925505430 quien hará uso de ella para suplir aquellas necesidades antes mencionadas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control electrónico de una silla de ruedas eléctrica basada en la tecnología Arduino, con ubicación GPS y mando local o remoto a través de una aplicación para celular (Android), para personas con discapacidad motriz reducida en sus miembros inferiores.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar una PCB para el sistema de mando que incluye: interruptor de encendido, interruptor de selección local/ remoto, joystick, potenciómetro de regulación de velocidad y tres pulsadores para activación de mesa, claxon y botón de emergencia respectivamente.
- Implementar el sistema de fuerza de la silla de ruedas mediante el uso de un driver (puente H) y dos motores DC con cajas de reducción.
- Integrar un módulo GSM/GPS y BLUETOOTH para la conexión de del mando remoto y localización GPS.
- Programar un controlador Arduino Mega 2560 para realizar el control del movimiento y velocidad de la silla mediante el sistema de mando acoplado a la misma y mediante una conexión bluetooth para el mando remoto.
- Programar el controlador arduino para enviar y recibir vía SMS los datos de localización GPS y emergencia al número de celular asociado.
- Diseñar e implementar un mecanismo que permita el acople automático de una mesa a través de la activación de un pulsante.
- Diseñar e implementar una aplicación para celulares con sistema operativo Android que permita al usuario o un tercero controlar el movimiento de la silla de ruedas mediante su conexión por bluetooth y recibir las coordenadas vía SMS para visualizar la posición del mismo mediante una aplicación externa, Google Maps.
- Instalar los sistemas de mando, control, mesa automática, comunicación y energía estratégicamente en la silla modificada.

1.5. Marco metodológico

En el presente proyecto se emplean varios métodos de la investigación. A través del método inductivo, se pudo aplicar la propuesta solución principalmente hacia las personas con una discapacidad motriz reducida a nivel de sus miembros inferiores, ya que les permite movilizarse sin generar ningún tipo de esfuerzo físico y en determinado momento permitir que un tercero o en su defecto, él mismo, pueda manipular el movimiento de la silla remotamente a través de la aplicación, las conclusiones obtenidas a partir de la inducción tienen un carácter probable.

El método sintético se empleó para poder reconstruir el todo y volver a integrar las partes fragmentadas por el análisis en una perspectiva de totalidad; con este método se pudo lograr la comprensión de la esencia del proyecto y sus particularidades.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A lo largo de los últimos años, la tecnología ha ido evolucionando sustancialmente, utilizando cada vez componentes más pequeños y rápidos, simplificando la vida de las personas para realizar ciertas tareas, por ello, el precio de adquisición es muy alto y, con mayor razón, la tecnología empleada en equipos para ayudar a personas con discapacidad, sabiendo que un gran porcentaje de estas personas pertenecen a un nivel socioeconómico bajo, haciendo que sea inalcanzable para la mayoría de ellos.

2.2. Tipos de discapacidad: física e intelectual.

2.2.1. Discapacidad física

Es una discapacidad que afecta directamente a las extremidades o al aparato locomotor, puede ser ocasionado por deformaciones, irregularidades físicas o por algún trastorno en el sistema nervioso que produzcan tullimiento de extremidades (poliomielitis, hemiplejias, paraplejias, etc.). (El blog de la salud, s.f.).

2.2.2. Discapacidad intelectual o mental

La discapacidad intelectual o mental es una limitación en las funciones intelectuales del individuo, esto genera que la inteligencia sea menor a la media establecida. Según expertos un individuo es considerado discapacitado mental cuando su coeficiente intelectual es menor a 70. (El blog de la salud, s.f.).

2.2.3. Discapacidad motriz a nivel de extremidades inferiores

La discapacidad motriz a nivel de extremidades inferiores o diplejía está comprometida básicamente la manipulación fina. Algunas personas con este tipo de afectación pueden manipular, escribir, realizar las actividades cotidianas, pero para el desplazamiento requieren ayudas como muletas, andadores, sillas autopropulsadas o con motor, etc. (ROSELL, 2010) .

2.3. Silla de ruedas

2.3.1. Silla de ruedas manuales

Estas sillas de ruedas son impulsadas por la fuerza física del usuario o un tercero. Generalmente tienen unas ruedas traseras que van entre 20 y 26 pulgadas de diámetro las cuales facilitan el movimiento de manera en que el usuario pueda tirar hacia abajo por unos bordes especiales para empujar. Por lo cual la velocidad de la silla dependerá de la fuerza con la que cuente el usuario. (CHAIRDEX, s.f.).

Figura 3: Silla de ruedas convencional *(Sunrise Medical, 2018)*

2.3.2. Silla de ruedas eléctricas

Las sillas de ruedas eléctricas facilitan la movilización de los usuarios, les brinda más independencia y para aquellas personas que no poseen la fuerza física o tienen alguna limitación motora en sus miembros superiores, es de mucha ayuda. (CHAIRDEX, s.f.)

Figura 4: Silla de rueda eléctrica. *(Sunrise Medical, 2018)*

2.4. Motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua son aquellos que generan una potencia mecánica rotativa cuando se les suministra una alimentación con corriente continua.

A pesar de que tienen más de 125 años se han adaptado y evolucionado a las exigencias del mercado. Una de sus principales aplicaciones es la tracción de trenes, tranvías, trolebuses, automóviles, camiones, etc. Otras variantes del motor CC se utilizan en muchos aparatos, como robots, modelismo, accionamientos diversos, etc. (Roldán Viloria, 2014)

Tabla 3: Ventajas de los motores de corriente continua *(Roldán Viloria, 2014)*

MOTORES CC
VENTAJAS
Permite controlar el par del motor
Permite el control de la aceleración y desaceleración
Se ajusta relativamente más fácil a las necesidades del proceso
Permite posicionamiento de alta precisión
Economizar energía

2.4.1. Tipo de Motores de corriente continua.

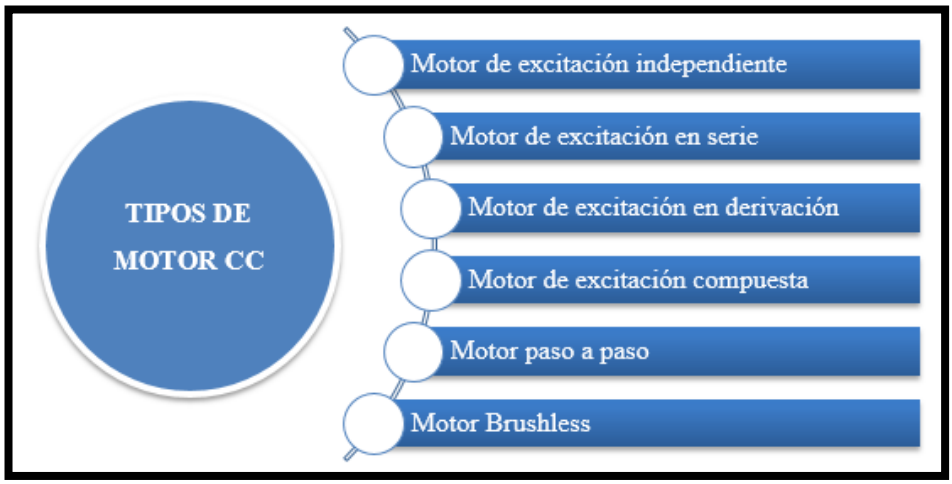

Figura 5: Tipos de motores de corriente continua. Fuente: Los Autores

2.4.2. Motores Paso a Paso

Los motores paso a paso se utilizan para aplicaciones que requieran giros de mucha precisión, por ejemplo, impresoras 3D, maquinas CNC, motores de los faros de bixeón con luz de viaje, estabilizadores de ralentí, etc.

Están constituidos básicamente por:

- Rotor donde van montados los imanes permanentes
- Estator y sus bobinas excitadoras.

La excitación de las bobinas es controlada por un módulo de gestión es decir un controlador o driver.

El giro del motor dependerá de los grados y paso que se requieran es decir si es un motor que gira a 90º por paso solo requerirá 4 pasos para completar los 365º o la vuelta completa, pero si la aplicación requiere precisión se puede girar a 1.8º grados por paso lo cual tomaría 200 pasos para completar la vuelta completa. (Domínguez & Ferrer, 2018)

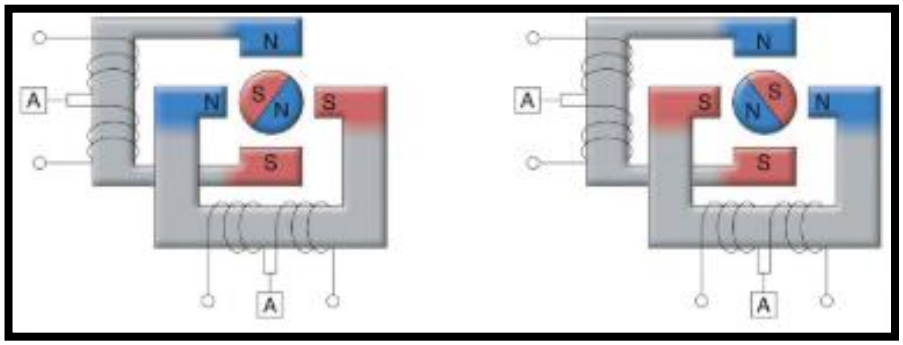

Figura 6: Constitución básica de un motor paso a paso. *(Domínguez & Ferrer, 2018)*

Tabla 4: Ventajas y Desventajas de los motores paso a paso. *(Loureiro Varela, 2018)*

MOTOR PASO A PASO	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
Control de la posición	Poco eficientes, derrochan energía
Control de la velocidad	Son lentos
Pueden quedar fijos en una misma posición	No tienen feedback, no conocen su ubicación en todo momento.
Máxima fuerza a baja velocidad	Tienen poca fuerza en altas velocidades

2.4.2.1. Tipos de Motores Paso a Paso

- **Motor Unipolar:**

Son los motores más sencillos de programar siendo que se componen internamente por dos pares de bobinas. El driver permite que pase la corriente por la bobina que magnetiza hacia el polo norte, y en el siguiente se enciende la que magnetiza hacia el polo sur. Es decir, el driver tiene que encender y apagar cada bonina.

Los motores unipolares son los menos potentes. (Loureiro Varela, 2018)

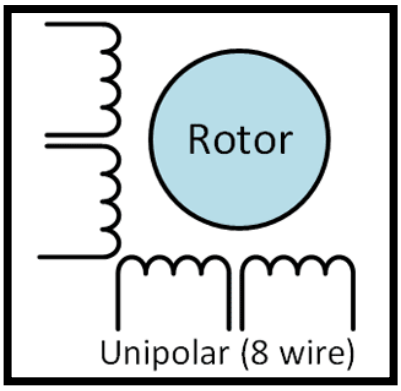

Figura 7: Esquema motor paso a paso unipolar de 8 cables. *(Loureiro Varela, 2018)*

- **Motor Bipolar:**

Los motores bipolares solo tienen dos bobinas. Su complejidad está en el controlador, ya que debe permitir el paso de la corriente por la bobina y además debe cambiar la polaridad de la corriente. Así inicialmente la corriente viaja en una dirección, creando un campo magnético norte/sur, y en el siguiente momento la dirección de la corriente se invierte, creando un campo magnético sur/norte. (Loureiro Varela, 2018)

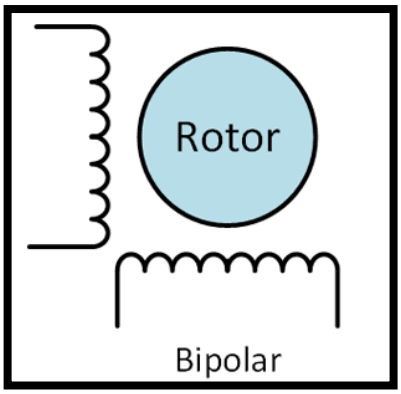

Figura 8: Esquema motor paso a paso bipolar, con 4 cables. *(Loureiro Varela, 2018)*

2.4.3. Motor Paso a Paso Nema 17

El motor paso a paso Nema17 es un motor bipolar, utilizado en impresoras 3D por su robustez y torque. Un controlador compatible a este motor es el conocido Pololu A4988.

Figura 9: Motor paso a paso Nema17. Fuente: Los autores.

Tabla 5: Características Principales Motor NEMA 17. *(Rambaud, 2018)*

MOTOR NEMA 17	
Especificaciones Técnicas	
Modelo	KS42STH40
Dimensión	42.3x42.3x40mm
Voltaje estándar	3.6V
Corriente de Fase	1.2A
Resistencia de fase	3ohmios
Par de motor	4000g.cm
Resistencia de fase	3ohmios
Resolución del motor	1.8º/paso (+/-5%)
Temperatura y humedad de trabajo	-20ºC / 50ºC
Aplicaciones	Impresoras 3D, CNC, etc.

2.4.4. Motores Peipei Scooter modelo PEWM82M

Son motores eléctricos diseñados especialmente para su uso en sillas de ruedas, pues, ofrecen una potencia total de 640W (320 W cada uno) y cuentan con frenos electromagnéticos.

Se trata de motores DC de 24 voltios con escobillas y una caja de engranajes de reducción, esto permite reducir la velocidad de entrada proveniente del motor eléctrico y obtener a la salida, eje final, una velocidad menor y con un torque alto, siendo perfectos para aplicaciones de sillas de ruedas, además, una palanca permite desacoplar el eje final de la caja de engranajes, permitiendo que la silla sea manipulada manualmente sin afectar los motores.

Figura 10: Motores DC con escobillas para silla de ruedas modelo pewm82m. *(PEI PEI SCOOTER, 2011)*

Tabla 6: Especificaciones técnicas motor PEWM82M. *(PEI PEI SCOOTER, 2011)*

Especificaciones Técnicas	
Modelo	PEWM82M
Voltaje	24 V DC
Potencia	320 W
Velocidad	4600 ±100 rpm
Relación	32:1

Estos motores cuentan con un soporte para acoplarse a la estructura, la cual debe ser tipo tubo circular de una pulgada de diámetro exterior.

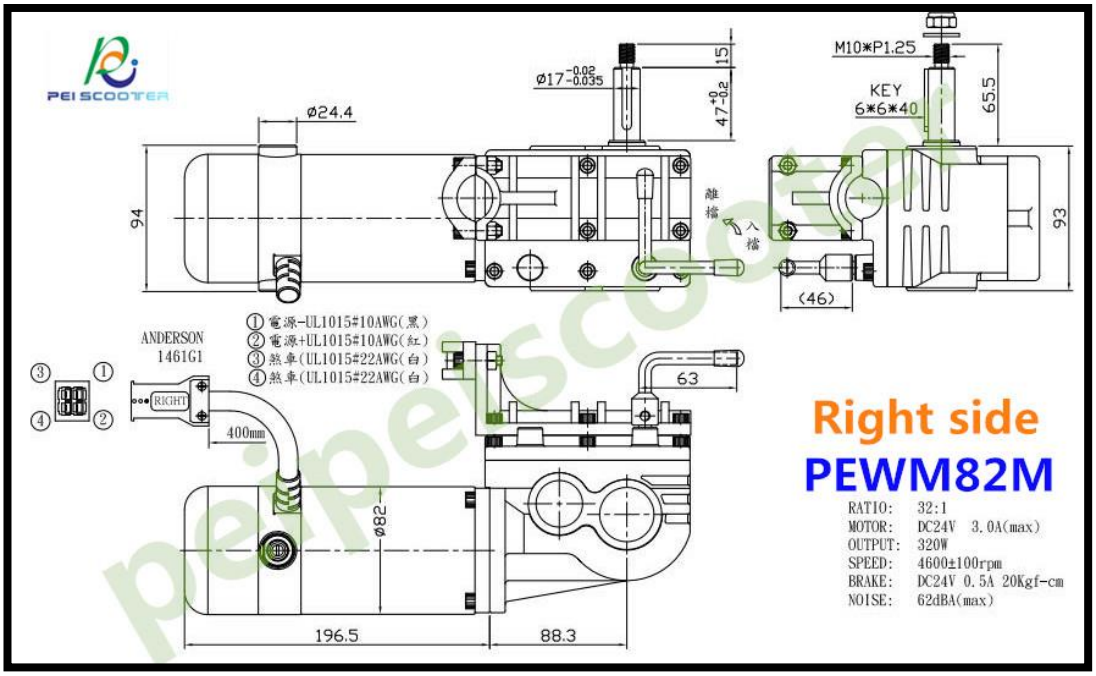

Figura 11: Medidas de motor lado derecho. *(PEI PEI SCOOTER, 2011)*

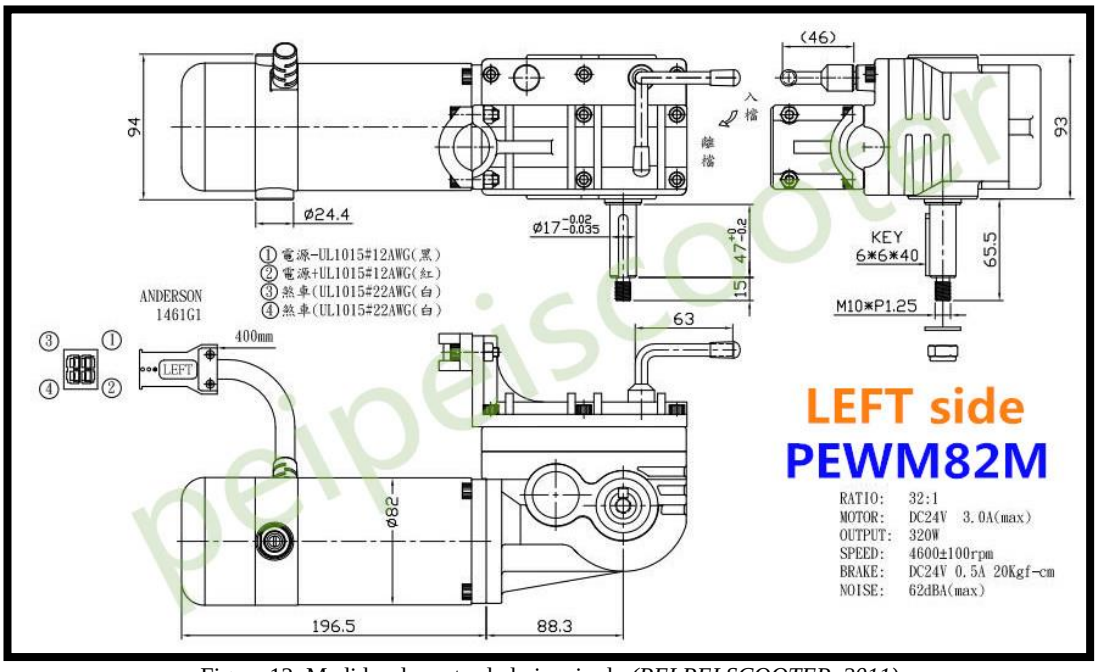

Figura 12: Medidas de motor lado izquierdo *(PEI PEI SCOOTER, 2011)*

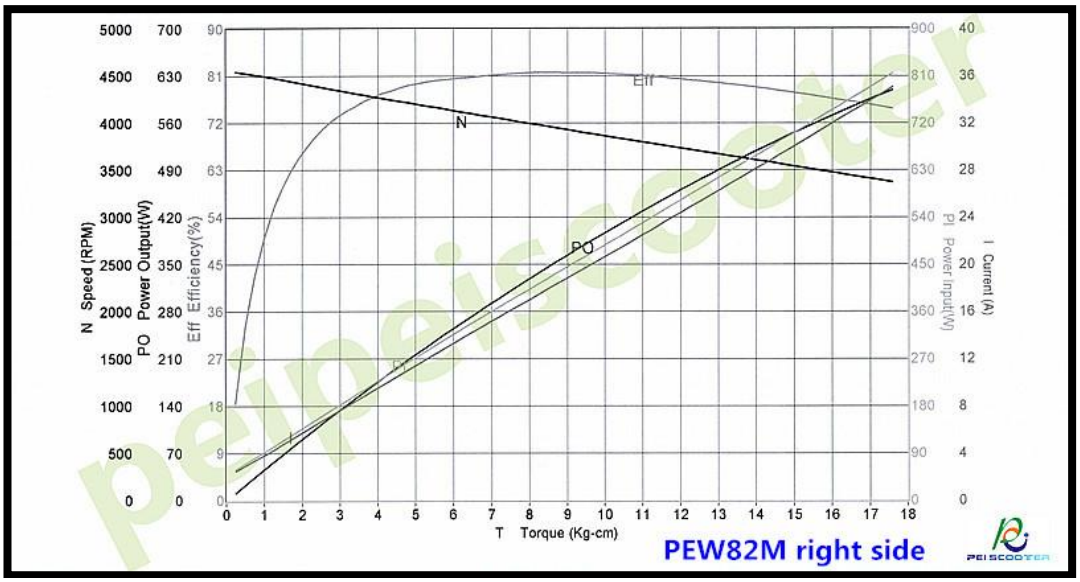

Figura 13: Grafico de relaciones de potencia, torque, velocidad y corriente de los motores PEWM82M. *(PEI PEI SCOOTER, 2011)*

Tabla 7: Relaciones de potencia, torque, velocidad y corriente de los motores PEWM82M. *(PEI PEI SCOOTER, 2011)*

	Amps	Volts	Win	Speed	Kg-cm	Wout	Eff	PF	HP
1	2.46	24.06	58.7	4544	0.23	10.7	18.30	0.992	0.014
2	2.94	24.04	70.2	4527	0.50	23.3	33.13	0.993	0.031
3	3.89	24.00	93.1	4494	1.02	47.1	50.59	0.997	0.063
4	4.32	23.99	103.5	4477	1.26	58.0	56.01	0.999	0.078
5	5.13	23.97	122.8	4444	1.68	76.7	62.47	0.999	0.103
6	5.95	23.96	142.2	4411	2.11	95.6	67.26	0.997	0.128
7	6.76	23.94	161.5	4378	2.54	114.3	70.76	0.998	0.153
8	7.57	23.92	180.8	4345	2.97	132.6	73.34	0.998	0.178
9	8.39	23.91	200.5	4312	3.40	150.7	75.14	0.999	0.202
10	8.85	23.90	211.3	4295	3.65	161.1	76.24	0.999	0.216
11	9.74	23.88	232.3	4262	4.12	180.4	77.68	0.999	0.242
12	10.63	23.85	253.3	4229	4.59	199.5	78.75	0.999	0.267
13	11.52	23.83	274.3	4196	5.06	218.2	79.54	0.999	0.292
14	12.42	23.81	295.3	4163	5.53	236.6	80.11	0.999	0.317
15	12.87	23.80	306.2	4146	5.77	245.8	80.28	1.000	0.330
16	13.76	23.78	327.2	4113	6.24	263.7	80.60	1.000	0.354
17	14.66	23.76	348.1	4080	6.72	281.7	80.94	0.999	0.378
18	15.56	23.74	369.0	4047	7.21	299.8	81.26	0.999	0.402
19	16.46	23.71	389.9	4014	7.70	317.6	81.46	0.999	0.426
20	17.36	23.69	410.7	3981	8.20	335.4	81.68	0.999	0.450
21	17.83	23.68	421.5	3964	8.45	344.2	81.66	0.998	0.461
22	18.73	23.65	442.4	3931	8.94	361.1	81.63	0.999	0.484
23	19.63	23.63	463.2	3898	9.44	378.1	81.63	0.999	0.507
24	20.53	23.60	484.1	3865	9.93	394.4	81.47	0.999	0.529
25	21.44	23.58	505.2	3832	10.43	410.7	81.30	0.999	0.551
26	22.41	23.55	527.4	3799	10.95	427.5	81.05	0.999	0.573
27	22.91	23.54	538.9	3782	11.22	436.0	80.91	0.999	0.585
28	23.89	23.52	561.1	3749	11.73	451.9	80.54	0.999	0.606
29	24.86	23.49	583.3	3716	12.25	467.8	80.19	0.999	0.627
30	25.83	23.47	605.6	3683	12.77	483.3	79.80	0.999	0.648
31	26.81	23.44	627.8	3650	13.29	498.5	79.40	0.999	0.668
32	27.31	23.43	639.3	3633	13.56	506.2	79.18	0.999	0.679
33	28.28	23.40	661.5	3600	14.08	520.9	78.74	1.000	0.698
34	29.25	23.38	683.5	3567	14.58	534.4	78.19	0.999	0.716
35	30.22	23.36	705.4	3534	15.09	548.0	77.69	0.999	0.735
36	31.19	23.33	727.4	3501	15.59	560.9	77.11	1.000	0.752
37	32.17	23.31	749.3	3468	16.09	573.4	76.52	0.999	0.769
38	32.67	23.30	760.6	3451	16.35	579.8	76.23	0.999	0.777
39	33.64	23.28	782.6	3418	16.86	592.2	75.67	0.999	0.794
40	35.08	23.24	815.2	3369	17.60	609.3	74.74	1.000	0.817
Max. Eff	18.26	23.66	431.6	3948	8.69	352.5	81.68	0.999	0.473
Max. HP	35.08	23.24	815.2	3369	17.60	609.3	74.74	1.000	0.817
Max. Kgcm	35.08	23.24	815.2	3369	17.60	609.3	74.74	1.000	0.817
Max. Speed	2.46	24.06	58.7	4544	0.23	10.7	18.30	0.992	0.014
Max. Amps	35.08	23.24	815.2	3369	17.60	609.3	74.74	1.000	0.817

La velocidad lineal máxima que podría alcanzar la silla de ruedas, es determinada por la capacidad de revoluciones de los motores y el diámetro de la rueda, en este caso los motores operan máximo a 4600 ±100 rpm con una reducción de 32:1, obteniendo 143,75 rpm en el eje de salida. Las ruedas que se utilizaron para la silla de ruedas tienen un diámetro de 12 pulgadas, equivalentes a 30,48 centímetros.

Según (Lent, 2003), se tiene la ecuación para hallar la velocidad lineal:

$$V = \omega r \tag{1}$$

Donde, ω Velocidad angular, está dada en rad/seg y r en metros.

Transformando la velocidad angular, de revoluciones por minutos, a radianes/segundos, se obtiene:

$$\omega = 143{,}75 \frac{rev}{1\ min} \cdot \frac{1\ min}{60\ seg} \cdot \frac{2\ \pi\ rad}{1\ rev} = 4{,}7917\pi\ {}^{rad}/_{seg} \tag{2}$$

Con los datos en sus respectivas unidades, se realizó el cálculo de la velocidad lineal obtenida en metros/segundos.

$$V = 4{,}7917\pi \frac{rad}{seg} \cdot 0{,}1524\ m = 2{,}2942\ {}^{m}/_{seg} \tag{3}$$

Por último, se expresó la velocidad lineal en las unidades Kilómetros/hora:

$$V = 2{,}2942\ \frac{m}{seg} \cdot \frac{3600\ seg}{1\ h} \cdot \frac{1\ Km}{1000\ m} = 8{,}26\ {}^{Km}/_{h} \tag{4}$$

2.5. Microcontroladores

Los microcontroladores constituyen una de las principales áreas de la electrónica aplicada porque facilitan la introducción de los procesadores digitales en numerosos productos industriales. Los microcontroladores se clasifican en cuatro gamas: Gama baja, gama media, gama alta y gama mejorada. (Mandado, Menendez, Ferreira, & Lopez, 2007)

2.5.1. Arduino

Arduino es una gama de circuitos electrónicos open source, basados la mayor parte de un microcontrolador del fabricante Atmel. Estos circuitos integran los componentes necesarios para permitir un uso rápido y sencillo del microcontrolador. Esta simplificación está orientada a hacer accesible a toda la creación y la programación de objetos o dispositivos interactivos (GOILAV, 2016).

Figura 14: Logo de arduino. *(ARDUINO, 2018)*

2.5.1.1. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 es una tarjeta de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada o salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, Y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador. (ARDUINO, 2018)

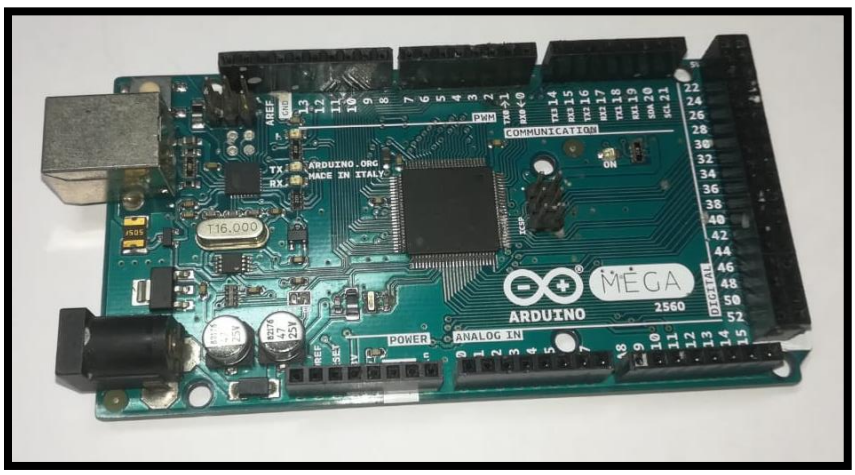

Figura 15: Arduino mega 2560 . Fuente: Los Autores.

En la siguiente tabla, se muestra las especificaciones técnicas de la tarjeta de desarrollo, Arduino Mega 2560.

Tabla 8: Especificaciones técnicas arduino mega 2560. (ARDUINO, 2018)

Especificaciones Técnicas	
Controlador	
ATmega2560	
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de alimentación	7 - 12 V
Entradas o salidas digitales	54 15 de ellas PWM
Corriente DC por canal de entrada o salida	20 mA
Entradas analógicas	16
Corriente DC Pin de 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB 8 utilizadas para Bootloader
EEPROM	4 KB
SRAM	8 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Medidas	101.52 mm Largo 53.3 mm Ancho
Peso	37 gramos

Así mismo, en la figura 16, se muestra el circuito esquemático de la tarjeta Arduino Mega 2560, proporcionado por los fabricantes.

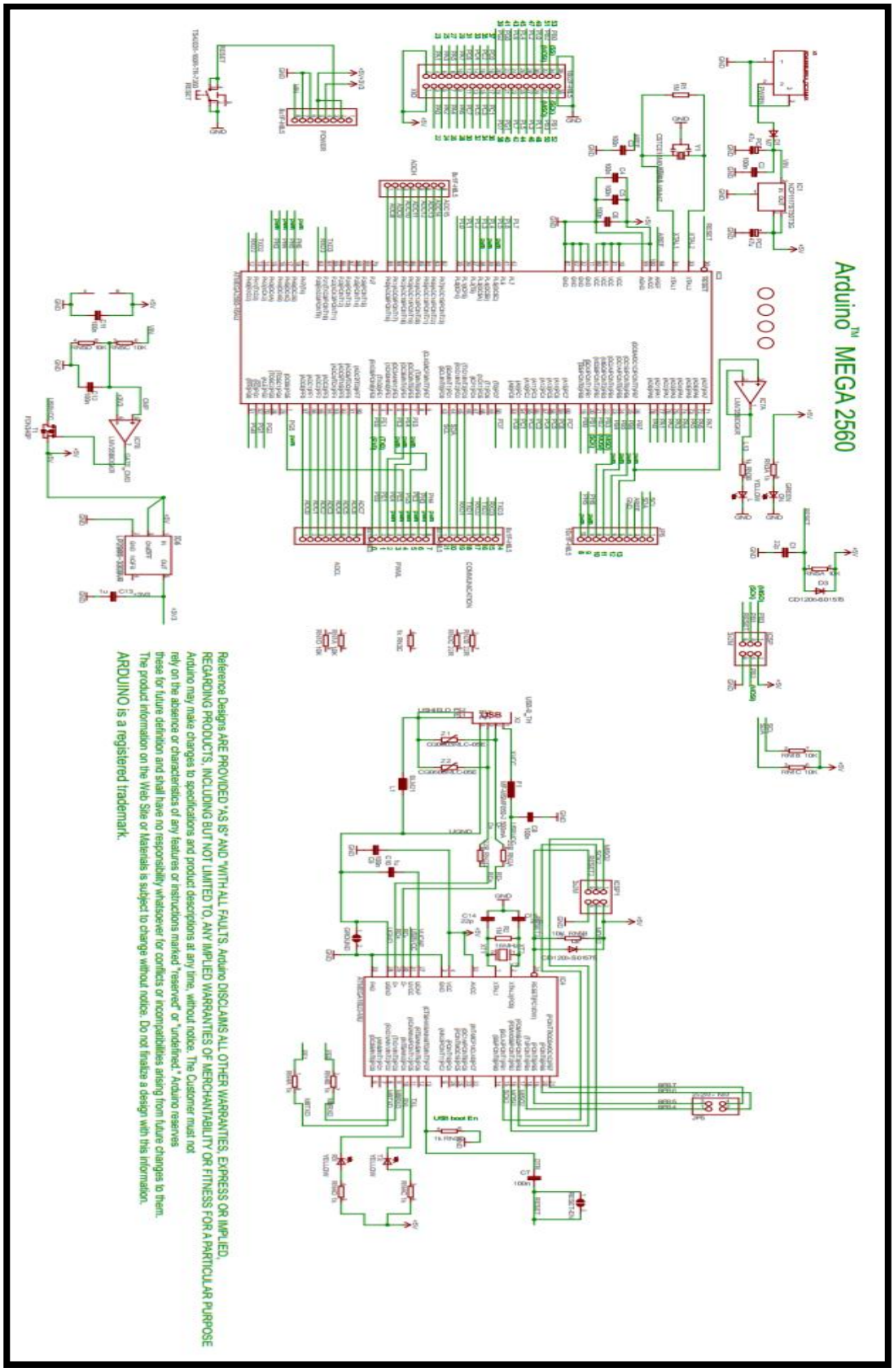

Figura 16: Diseño esquemático de arduino mega 2560 *(Arduino, 2000)*

2.6. Joystick

Los joysticks, hoy en día son la clave de los dispositivos de control de maquinarias, donde, la primera generación de estos, eran dispositivos solo de entrada. A pesar de que la función primaria de un joystick moderno es manejar comandos de entradas o mensajes, es también, un dispositivo de salida, permitiendo que el sistema de gestión brinde una retroalimentación táctil en tiempo real al operador.

El principio de operación de los joysticks digitales es similar al de los analógicos, los datos de las salidas son entregados con una mayor rapidez y precisión. (Huzij, Spano, & Bennet, 2013)

2.6.1. El principio de operación

La interfaz usuario-máquina del joystick es el mango "stick", el mismo que está montado sobre una bola fija que permite movimientos lineales y axiales. El mango puede estar equipado con dispositivos de conmutación, tales como interruptores o botones en el centro de la palma para mejorar su capacidad de control y gestión del sistema.

Su funcionamiento se basa en una sección de caja fija, dentro, un par de ejes giratorios ranurados están montados en los pivotes, cada eje giratorio es diametralmente opuesto (Huzij, Spano, & Bennet, 2013)

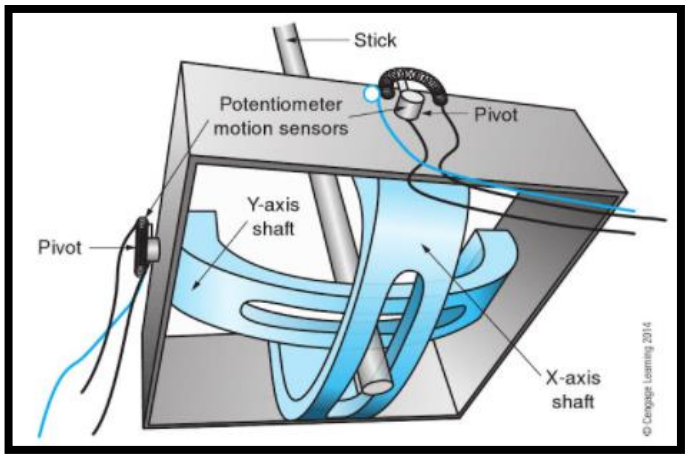

Figura 17: Joystick analógico simple. *(Huzij, Spano, & Bennet, 2013)*

Los potenciómetros comunes, tienen una resistencia variable respectivamente polarizada y cuyo valor es determinado por la vincha de contacto, que representa la salida del joystick con el valor de voltaje referencial de la posición física del mismo.

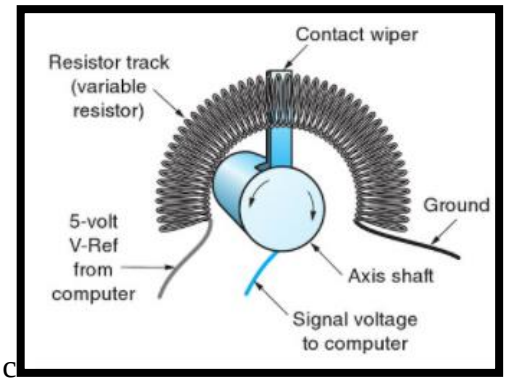

Figura 18: Estructura interna de joystick común, por contacto. *(Huzij, Spano, & Bennet, 2013)*

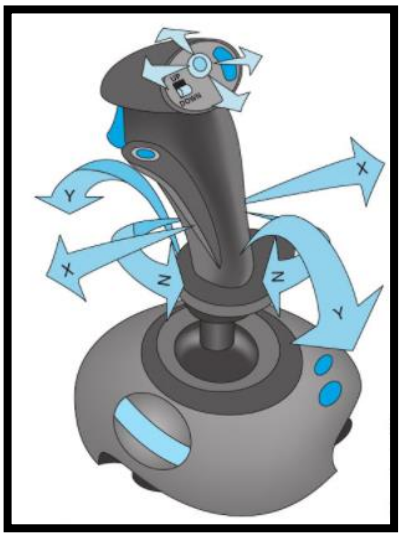

Figura 19:Típico Joystick profesional para manejo de maquinarias. *(Huzij, Spano, & Bennet, 2013)*

2.6.2. Joystick de efecto Hall

Los joysticks de efecto hall fueron introducidos en los años 80, llenando una necesidad de procedimientos de joysticks de precisión y confiables. Estos joysticks utilizan sensores digitales de efecto hall, los mismos que ofrecen una respuesta de precisión en tiempo real.

La función mecánica de los joysticks digitales, es la misma que los joysticks analógicos, la diferencia está en que los potenciómetros son reemplazados por sensores de efecto hall, sin contacto. Estos sensores proveen una larga vida operacional y una excelente precisión. (Huzij, Spano, & Bennet, 2013)

2.6.3. Joystick APEM TS-3A1G00A

La serie TS son controles de pulgar miniatura proporcionales de 1 o 2 ejes, utilizan la tecnología de efecto Hall, sin contacto, para una larga duración y alto rendimiento. Esta serie tiene múltiples opciones de salidas lineales, incluyendo salidas simples y dobles (redundantes), tiene un tamaño similar a los controles de "gamepad", pero con un empaquetado robusto e industrial. (APEM, 2017)

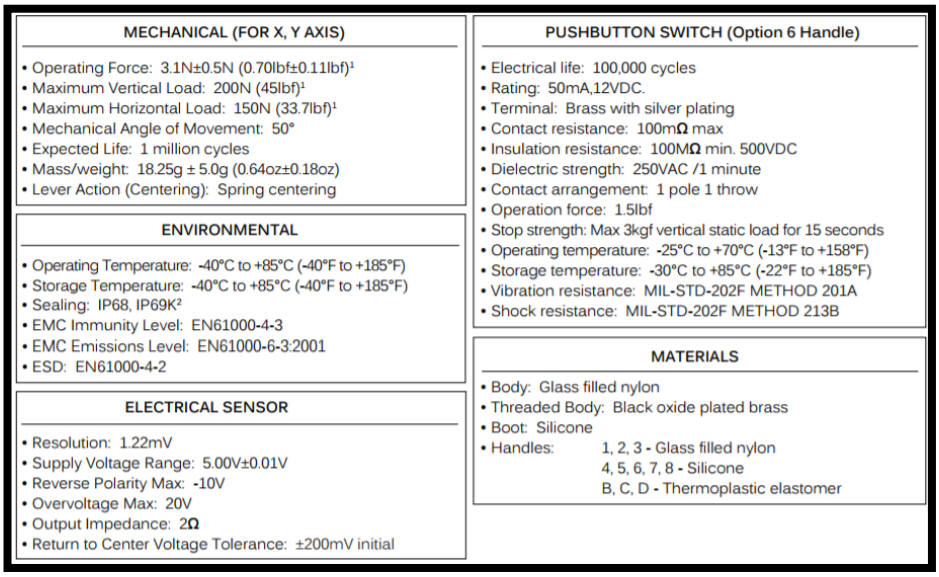

Figura 20: Especificaciones técnicas de joysticks de efecto Hall serie TS. *(APEM, 2017)*

Para la selección del joystick, el fabricante proporciona una tabla con las diferentes especificaciones técnicas existentes para obtener el número de serie requerido.

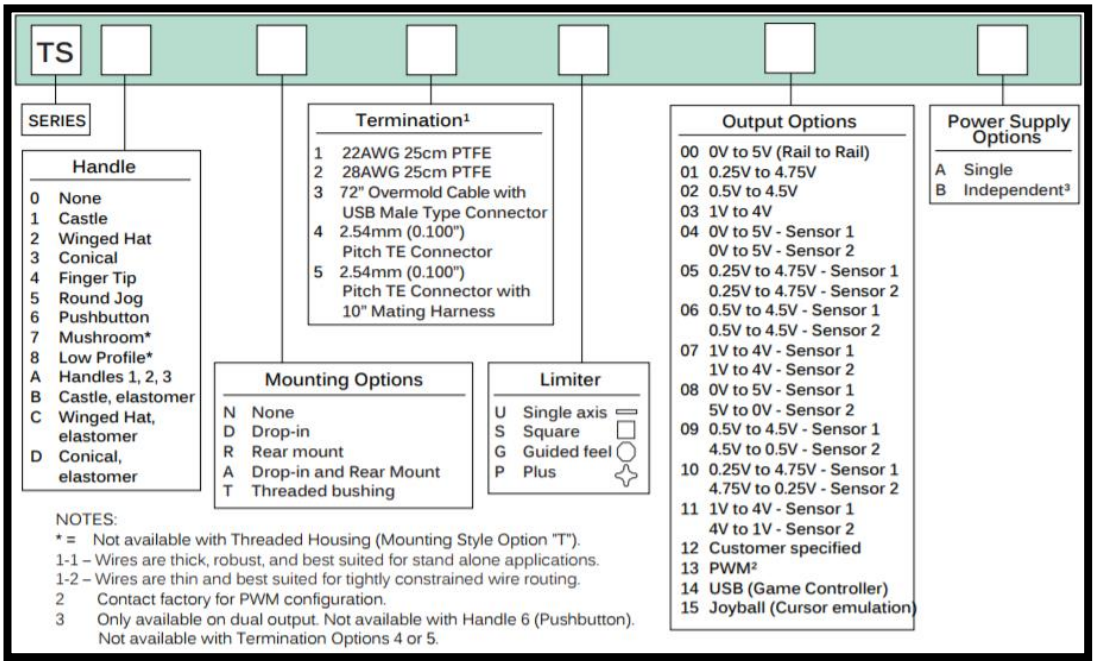

Figura 21: Información de especificaciones técnicas de las diferentes series TS de joystick . *(APEM, 2017)*

Los aspectos tomados en cuenta para la selección del joystick se tienen a continuación:

a) Superficie de contacto (Handle)

La selección del tipo de superficie de contacto se realizó en base a la disponibilidad del fabricante, ya que no es un detalle importante. Opción 3, Conical.

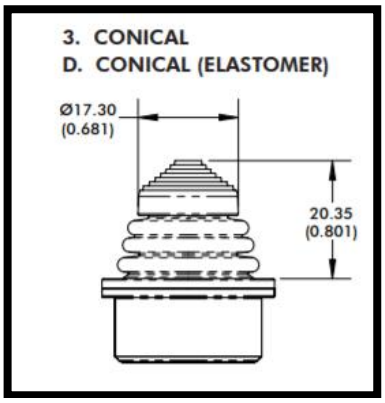

Figura 22: Tipo de superficie de contacto, cónica. *(APEM, 2017)*

b) Opciones de Montaje

El joystick se va a colocar en una caja "mando principal", por lo cual puede sobrepuesto o de montaje trasero. Opción A, Drop-in and Rear Mount.

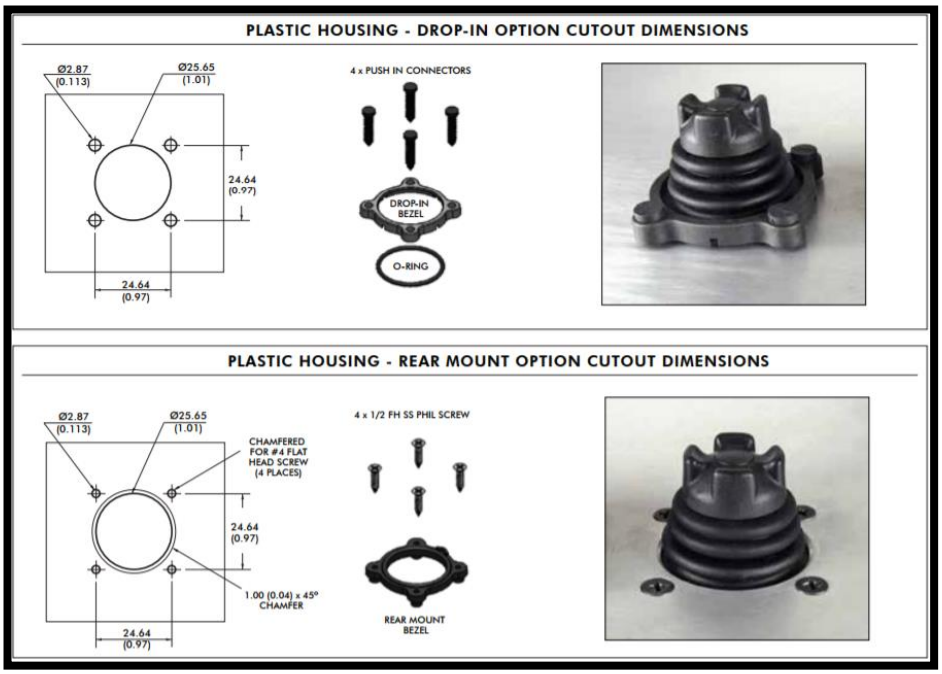

Figura 23: Tipos de montaje. *(APEM, 2017)*

c) Terminación

Cable. Opción 1, 22AWG 25cm PTFE.

d) Limitador

La placa limitadora debe ser circular ya que se trabaja con dos ejes y el movimiento de la silla puede tomar cualquier dirección. (Opción G, Guided feel).

e) Opción de salida

La entrada analógica del controlador trabaja en un régimen de voltaje de 0 a 5 voltios. Opción 00, 0V to 5V (Rail to Rail)

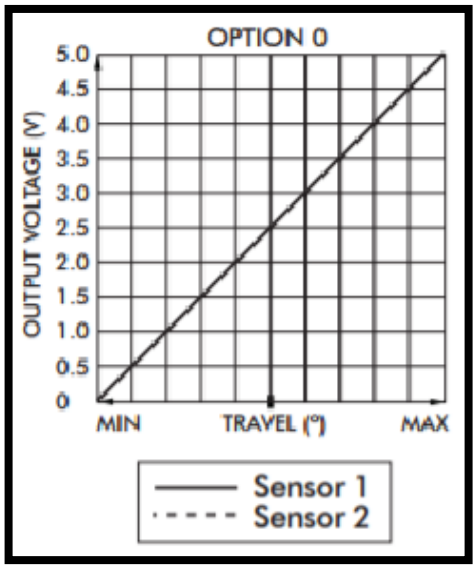

Figura 24: Salida de 0 - 5 V. *(APEM, 2017)*

f) Opciones de alimentación

Opción A, Single.

Serie: TS-3A1G00A

2.7. Comunicación Electrónica

El objetivo fundamental de un sistema electrónico de comunicaciones, es transferir información de un lugar a otro, es decir es el proceso de transmisión, recepción y procesamiento de datos de un lugar a otro. (Tomasi, 2003)

2.7.1. Comunicación bluetooth

EL bluetooth es un estándar abierto para comunicación de radio frecuencias de corto alcance, es usada principalmente para establecer redes inalámbricas personales. Bluetooth ha sido integrada en muchos tipos de negocios y dispositivos de consumo, incluyendo dispositivos médicos, impresoras, periféricos de computadoras, celulares, laptops, carros, etc. (Scarfone, Chen, & Smithbey, 2017)
Esta tecnología permite la conexión entre dispositivos que estén dentro de un rango de 10m, pero puede ser extendido a un rango de hasta 100m si se utilizan amplificadores especiales. (Bagad, 209)

Figura 25: Logo de Bluetooth. *(Bluetooth SIG, Inc., 2018)*

2.7.2. Modulo Bluetooth HC-05

El módulo bluetooth HC-05 permite una conexión bidireccional gracias a su característica más importante: puede funcionar como Maestro o esclavo, es decir el dispositivo puede transferir y recibir información de acuerdo a la aplicación.

Este módulo es de bajo costo y fácil implementación por lo que su uso es basto en aplicaciones con comunicación inalámbrica., además posee un regulador interno que permite una alimentación de 3.6 a 6V. (ELECTRONICLAB, 2014)

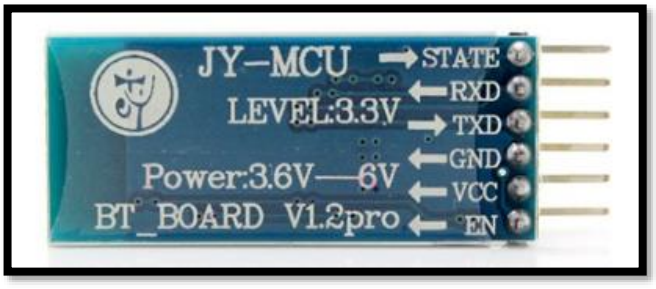

Figura 26: Módulo bluetooth HC-05. *(ELECTRONICLAB, 2014)*

En la tabla 9, se muestra la distribución de pines del módulo Bluetooth HC-05 y en la tabla 10, se muestra las especificaciones técnicas,

Tabla 9: Distribución de pines módulo bluetooth HC-05. *(ELECTRONICLAB, 2014)*

Modelo:	
BLUETOOTH HC-05	
PINES	
EN	Pin para entrar en el modo de configuración del módulo.
VCC	Alimentación del módulo entre 3,6V y 6V.
GND	Pin de tierra
TX	Pin para la transmisión de datos.
RX	Pin para la recepción de datos.
STATE	Pin de estado (salida) para conectar un led y visualizar cuando se está comunicando el módulo

Tabla 10: Especificaciones técnicas módulo bluetooth HC-05. *(ELECTRONICLAB, 2014)*

Modelo:	
BLUETOOTH HC-05	
Especificaciones técnicas	
Corriente de operación	<40 mA
Voltaje de Operación	3.3 VDC
Modos de configuración	Maestro o esclavo
Protocolo de Comunicación	UART RS 232
Baud rate ajustable:	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.
Baud rate por defecto:	9600
Ventajas	• Económico. • De fácil conexión. • Tiene conexión bidireccional, lo cual permite transferir y recibir información.
Tamaño	44 x 16 x 7 mm
Aplicaciones	• Aplicaciones inalámbricas. • Mandos a distancia.

2.7.3. Comandos AT

Los comandos AT son un estándar abierto universal que todos los módems utilizan, su nombre original es Comandos Hayes, por la empresa que los invento. Pero son conocidos por AT (que significa atención) ya que después de estas primeras letras, el modem espera una serie que permita su configuración o parametrización.

Estos comandos suelen ser estándar, pero puede que la configuración cambie de un modelo a otro según el fabricante.

Tabla 11: Comandos AT del Bluetooth HC-05. *(ELECTRONICLAB, 2014)*

COMANDOS AT	
BLUETOOTH HC-05	
COMANDO AT	Descripción
AT	Test de comunicación.
AT+UART= X,Y,Z	Configura la velocidad de transmisión del módulo según el valor de "x": 1200bps, 2400 bps, 4800 bps, 9600 bps, 19200 bps, 38400 bps (por defecto), 57600 bps, 115200 bps, 230400 bps, 460800 bps, 921600 bps, 1382400 bps. Con el valor “Y” se configura el bit de parada: 0 -> 1bit. 1 -> 2 bits. Con el valor de “Z” se configura el bit de paridad: 0 -> Sin paridad. 1 -> 2 Paridad impar. 2 -> Paridad Par. AT+UART=38400,0,0 Configura el módulo a una velocidad de 38400 bps, con un bit de parada y sin paridad
AT+NAME=XXXX	Configura el nombre con el que se visualizara el modulo. Soporta hasta 20 caracteres. AT+NAME=Hc_05
AT+PIN=XXXX	Configura el Pin de acceso al módulo (password). 1234 por defecto
AT+ROLE=X	Cambia el modo de trabajo del bluetooth, según el valor de "X": AT+ROLE=0 --> MODO ESCLAVO. AT+ROLE=1 --> MODO MAESTRO.
AT+ORGL	Restaura los valores por defecto del módulo Bluetooth HC-05

2.8. Driver Sabertooth 2X25

El Sabertooth 2X25 es un controlador de motor dual diseñado para robots de alta potencia, entre su categoría se pueden destacar su uso particular en robots de combate hasta 100 libras o robots de uso general de hasta 300 libras. Tiene características que le permiten operar motores DC con escobillas que consuman hasta 25 amperios de manera continua y una corriente máxima (pico) de 50 amperios por canal durante unos segundos. Sabertooth permite controlar dos motores a través de varios tipos de operación: voltaje analógico, radio control, serial y serial paquetizado. Tiene modos de operación y controles de velocidad y dirección independientes, perfecto para la operación de robots con accionamiento diferencial.

Cabe destacar que este dispositivo brinda varias protecciones al usuario, tales como protección térmica y sobre corrientes, por la cual no hay que preocuparse si se conecta un motor de mayor capacidad o se realiza una mala maniobra. (Engineering, 2004)

Tabla 12: Especificaciones técnicas Sabertooth 2X25 *(Engineering, 2004)*

Modelo:	
Sabertooth 2X25 V2	
Especificaciones técnicas	
Corriente	25 A continuos, 50 A pico por canal
Voltaje	6 - 30 V nominal, 33.6V máximo absoluto.
Modos de control	Análoga, Radio control, Serial simplificado, Serial paquetizado.
Ventajas	Drive regenerativo sincronizado. Frecuencia de switcheo ultrasónica. Protección térmica. Modo de protección de Litio.
Tamaño	65 x 80 x 21 mm
Aplicaciones	Robots batalla hasta 100 lb. Robots normales y diversión hasta 300 lb. Drive robots diferenciales. Vehículos eléctricos, juguetes de paseo, scooters. Fácil control de velocidad / dirección para bombas, transportadores, automatización y cualquier aplicación que use motores DC con escobillas.

El modo de operación del driver viene dado a través de un dip-switch de 6 posiciones, las cuales se realiza combinaciones para obtener el modo requerido y la velocidad de transmisión de datos a la que desea trabajar. En este apartado se enfatizará el modo de operación que seleccionado para la implementación del proyecto.

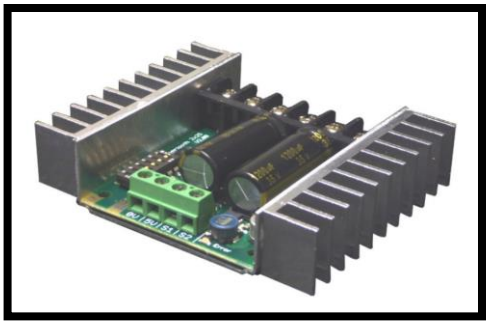

Figura 27: Sabertooth 2X25. *(Engineering, 2004)*

2.8.1. Modo Serial simplificado

El modo serial simplificado utiliza el nivel lógico de voltaje de 0 - 5V TTL para la transmisión de datos en un solo byte, que comanda tanto la dirección como la velocidad de cada motor, creando una interfaz fácil de usar con microcontroladores sin la necesidad de implementar un protocolo de comunicación intermedio para ello. La línea de transmisión es unidireccional, desde el micro controlador hasta el driver Sabertooth en el puerto S1, el puerto de recepción del microcontrolador no se conecta al Sabertooth por lo cual se puede conectar más drivers en la misma línea de transmisión.

Para la selección de la velocidad de transmisión del modo serial simplificado viene dado por la combinación de los interruptores 4 y 5, a continuación, se ilustra en la figura los diferentes" baud rates" para trabajar con el driver.

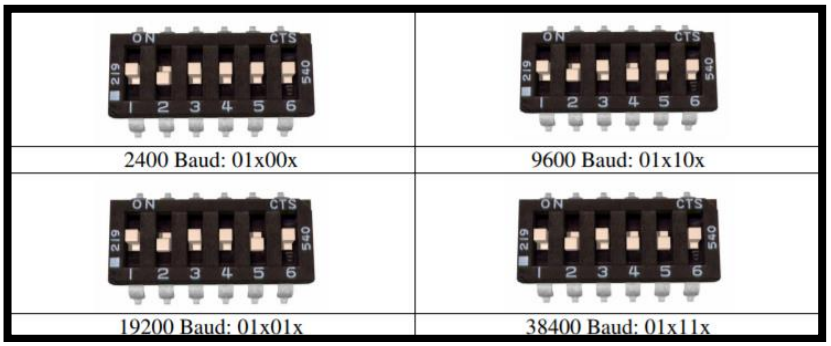

Figura 28: Modo serial simplificado y selección de Baud rate. *(Dimension Engineering LLC., 2004)*

Hay dos tipos de operación para el modo serial simplificado que se seleccionan a través del interruptor 6.

2.8.2. Modo Serial Simplificado estándar

Ya que el Sabertooth controla dos motores a través de un solo byte (8 bits), cada motor utiliza 7 bits de resolución. Enviando caracteres entre 1 y 127 se controla el motor 1, donde, 1 es total reversa, 64 es detenido y 127 es total avance. Enviando caracteres entre 128 y 255 se controla el motor 2, donde, 128 es total reversa, 192 es detenido y 255 es total avance. El carácter 0 es un comando especial que se encarga de apagar los 2 motores.

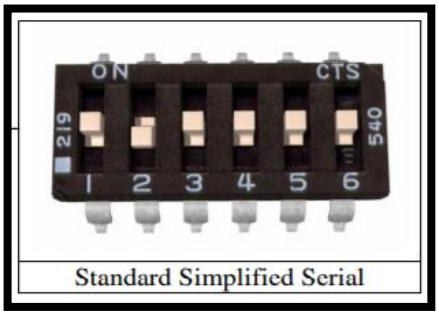

Figura 29: Serial simplificado estándar. *(Dimension Engineering LLC., 2004)*

2.8.3. Modo Serial Simplificado con selección de esclavo

Este modo se utiliza cuando se desea tener varios drivers Sabertooth conectados con la misma línea de trasmisión serial y no se desea utilizar una comunicación serial paquetizada.

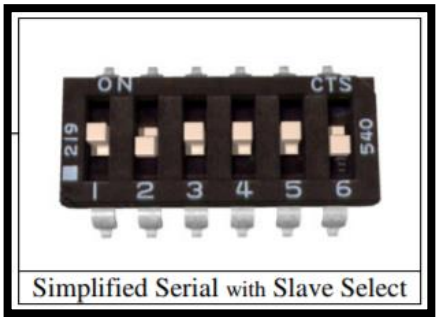

Figura 30: Serial simplificado con selección de esclavo. *(Dimension Engineering LLC., 2004)*

Esto se logra alimentando la entrada S2 de cada driver conectado al microcontrolador con una señal de 0 a 5V, cuando la señal se encuentra en un valor alto lógico (5v) y se envía la trama de comandos, este la procesa cambiando de velocidad, pero, al encontrarse la señal S2 en bajo lógico (0v) y se envía la trama de comandos, este la ignora manteniendo su estado anterior. Una vez enviados los datos con un alto lógico se debe realizar una pausa de al menos 50 microsegundos para el procesamiento de los datos en el driver y luego enviar el bajo lógico. (Dimension Engineering LLC., 2004)

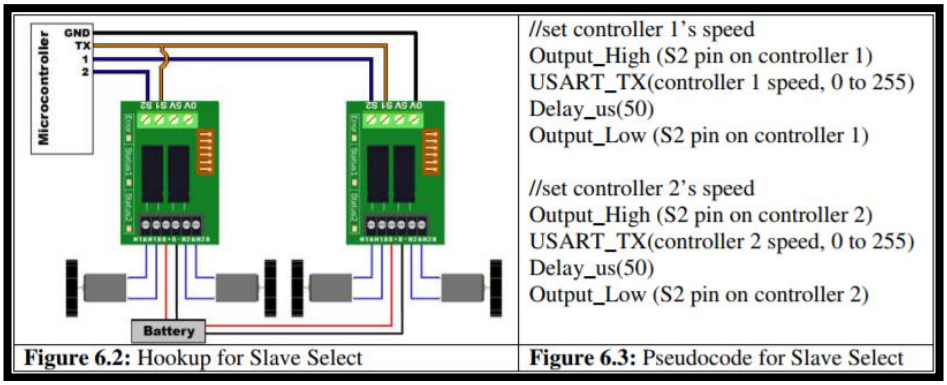

Figura 31: Pseudo código demostrativo de serial simplificado con selección de esclavo. *(Dimension Engineering LLC., 2004)*

2.9. DRIVER A4988

El A4988 es un controlador diseñado para operar motores paso a paso bipolares a una corriente de salida máx. de 2A por bobina. (Allegro MicroSystems LLC, 2014)

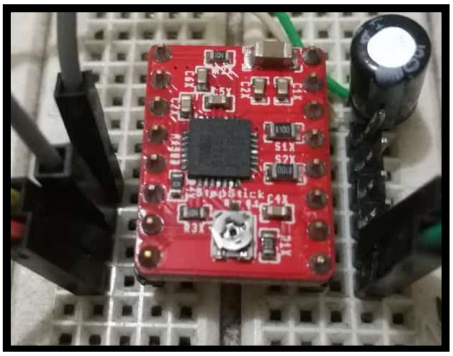

Figura 32: Driver A4988. Fuente: Los autores.

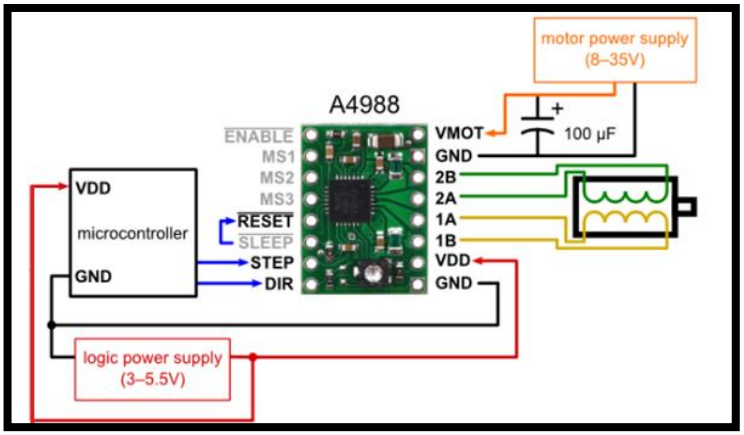

Figura 33: Diagrama de conexiones del Driver A4988 (MODO FULL STEP). *(Pololu Corporation, 2014)*

En la siguiente tabla, se muestran las especificaciones técnicas del driver A4988.

Tabla 13: Especificaciones generales del Driver A4988. *(Pololu Corporation, 2014)*

Modelo:	
DRIVER A4988	
Especificaciones técnicas	
Voltaje mínimo de operación	8V
Voltaje máximo de operación	35V
Corriente continua por fase	1A
Corriente máxima por fase	2A
Voltaje lógico mínimo	3V
Voltaje lógico máximo	5.5V
Resolución de Micro pasos	Full, $1/2$, $1/4$, $1/8$ y $1/16$
Voltaje lógico máximo	5.5V
Voltaje lógico máximo	5.5V

2.9.1. Selección de Micropaso.

La resolución del micropaso es establecido por el voltaje lógico en las entradas MSx, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14: tabla lógica de resolución de micropasos. *(Allegro MicroSystems LLC, 2014)*

MS1	**MS2**	**MS3**	**Resolución de Micropasos**	**Modo de Excitación**
L	L	L	**Full Step**	2 Fases
H	L	L	**Half Step**	1-2 Fase
L	H	L	**Quarter Step**	W1-2 Fase
H	H	L	**Eighth Step**	2W1-2 Fase
H	H	H	**Sixteenth Step**	4W1-2 Fase

Los pines MS1 y MS3 tienen una resistencia pull-down de 100Kohm y el pin MS2 una resistencia pull-down de 50Kohm. Cuando se cambia el modo del paso este no tendrá efecto hasta el siguiente paso en flanco positivo.

Si se hace un cambio de modo de paso este no surtirá efecto hasta que termine el paso del modo anterior y se reciba el flanco positivo del siguiente paso.
Se seleccionó el modo FULL STEP ya que es un modo donde se puede aprovechar el máximo torque del motor.

2.10. Módulo Regulador de Voltaje XL6009

Es un regulador-elevador de voltaje capaz de generar un voltaje de salida constante regulable. Este módulo es bastante robusto y preciso soporta corrientes de hasta 4A si se usa un disipador, tiene un rango amplio de voltaje de entrada (5V a 32V) y de salida (7V a 32V). Para regular el voltaje de salida tiene un potenciómetro de precisión en la placa. Se muestra el módulo en la siguiente figura.

Figura 34: BUCK XL6009. Fuente: Los Autores.

Tabla 15: Características del Buck XL6009. *(Techmake Solutions S.A., 2017)*

REGULADOR DE VOLTAJE	
Especificaciones Técnicas	
Modelo	XL6009
Dimensión	43x21x14mm
Voltaje de entrada	3V – 32 V
Voltaje de salida	5 V – 35V ajustable
Intensidad máxima de entrada	4 A (se recomienda usar disipador)
Intensidad máxima de salida	3 A
Frecuencia de trabajo	400Khz
Rango de Temperatura de trabajo	-40ºC a 85º C
Aplicaciones	Equipos electrónicos portables, Adaptadores de carro, Laptops, etc.

2.11. GPS

El sistema de posicionamiento global está basado en la navegación Satelital, fue desarrollado por el departamento de defensa de los estados unidos. Al inicio el GPS fue desarrollado como un sistema militar, pero poco después estuvo disponible para los civiles. El GPS nos facilita el posicionamiento y el tiempo en cualquier lugar del mundo sin importar las condiciones de clima. Este consiste de un conjunto de 24 satélites operativos, que envían señales de radio a su superficie. Los satélites están organizados para que un grupo de 4 satélites se ubiquen en cada uno de los 6 planos orbitales. (El-Rabbany, 2002). En conclusión, un GPS es un dispositivo que te permite conocer las coordenadas del lugar donde estas con precisión. (Arnalich & Urruela, 2012)

2.11.1. Funcionamiento del sistema

La posición se calcula por triangulación respecto a un grupo de satélites. Cada satélite se encarga de emitir una señal repetitiva que permite al GPS conocer la distancia que le separa del satélite. Se usa la señal de 2 satélites y la superficie de la tierra, se obtiene un punto único donde se cortan todas las esferas, esa es nuestra posición. (Arnalich & Urruela, 2012)

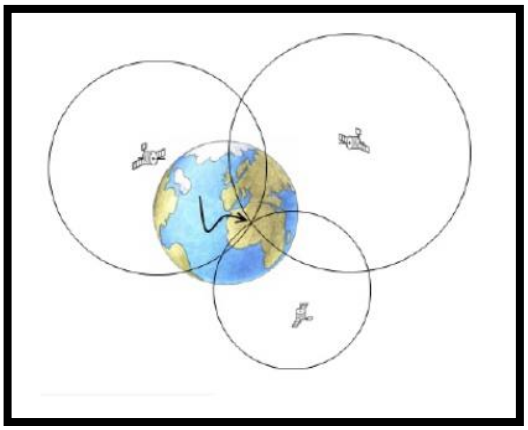

Figura 35: Funcionamiento del GPS para obtener nuestra posición. *(Arnalich & Urruela, 2012)*

2.12. GSM

Por sus siglas en ingles Sistema Global para comunicaciones móviles, fue un cambio sin precedentes en la manera de comunicarse entre las personas. A pesar que la primera actividad de estandarización data a mediados de 1980, GSM es aun la red inalámbrica más utilizada a nivel mundial. (Sauter, 2017)

2.13. GPRS

GPRS (Paquete General de Radio Servicio) fue uno de los más importantes servicios en arreglar las redes inalámbricas, el GPRS heredo los estándares del GSM para transportar datos en una eficiente manera y además permitió el acceso a internet a dispositivos inalámbricos con una evolución, las cuales fueron mejorar la velocidad y la latencia. (Sauter, 2017)

2.14. Modulo GPS/GSM SIM808

Diseñado para el mercado global, está basado en el chip SIMCOM SIM808 que ofrece la función GSM/GPRS además de la tecnología GPS de navegación satelital. Es decir, con una tarjeta SIM gracias a este módulo se puede enviar, recibir llamadas, SMS y conectarse a internet para conocer nuestras coordenadas y el horario UTC. (Prometec, 2018)

Figura 36: Módulo GSM/GPRS GPS SIM808. *(Prometec, 2018)*

Tabla 16. Características del SIM808. *(SIMCom Wireless Solutions Co, 2015)*

Modelo: SIM 808	
Características Generales	
Rango de Voltaje de Alimentación	3.4 – 4.4V
Temperatura de funcionamiento	-40ºC - 85ºC
Banda Cuádruple	850/900/1800/1900 Mhz
Ventajas	Drive regenerativo sincronizado. Frecuencia de switcheo ultrasónica. Protección térmica. Modo de protección de Litio.
Tamaño	24 x 24 x 2.6 mm
Especificación para GPS	
Precisión Horizontal	<2.5m CEP
Sensibilidad	Seguimiento: -165dBm Arranque en Frio : -148 dBm
Time para primer arreglo (Time-to-First-Fix)	Arranque en Frio: 32s Arranque en Caliente<1s
Canal GPS	L1 C/A
Especificación para GSM/GPRS	
Característica SMS	Celda de transmisión Tipo Punto a punto, MO y Mt
Modo SMS	Texto y PDU
GRPS clase 12	Max. 85.6 kbps
GPRS Soporte	PBCCH

2.14.1. Comandos AT para SIM808

A pesar de que la empresa SIMCOM fabrica varios modelos de módulos de comunicación GSM, GPS y GPRS, no todos utilizan los mismos comandos, ya que varían según el modelo y funciones. En la siguiente tabla, se detallan los comandos para el modulo SIM808

Tabla 17: Comando AT más utilizados en la SIM808. *(SIMCom Wireless Solutions Co., 2015)*

COMANDOS AT	
GPS/GSM	
COMANDO AT	**DESCRIPCIÓN**
AT	Test de comunicación.
AT+CGPSPWR=1	ENCENDIDO DE GPS.
AT+CGPSSTATUS?	LEE EL ESTADO DEL MODULO SI RESPONDE: +CGPSSTATUS: Location 3D Fix Es porque se encuentra en la red 3G
AT+CGNSSEQ=RMC	define el ultimo NMEA analizado
AT+CGNSINF	Responde la ubicación en formato Latitud y Longitud
AT+CMGF=X	Cabia el modo del SMS, según el valor de "X": 0 -> Modo PDU 1 -> Modo Texto
AT+CMGS=\"XXXXX\"	Establece el numero al que se enviara un SMS Ejemplo: AT+CMGS=\"+593997810316\"
AT+CMGL="ALL"	Lee todos los SMS recibidos
AT+CMGR=X	Lee el SMS que se encuentra en la posición X y cambia de estado el mensaje a leído

2.15. Baterías

Las baterías son acumuladores o dispositivos que formados por una o varias celdas electroquímicas, convierten la energía química almacenada en electricidad.
La reacción química que permite su funcionamiento es reversible, lo que hace posible volver a cargarla eléctricamente.

Figura 37: Diferentes tipos de baterías en el mercado. *(Sociedad Renobat Ecoenergia S.L., 2014)*

2.15.1. Características:

- La capacidad de carga se mide en Amperios por hora (Ah)
- Tiene un factor de auto descarga, estas no mantienen la carga de forma indefinida, es decir van perdiendo la carga poco a poco.
- Tienen un efecto memoria, este afecta y reduce la capacidad para almacenar energía. Se lo relaciona cuando una batería se carga cuando no se ha producido una descarga completa.
- La intensidad máxima de carga o la intensidad máxima que una batería puede suministrar durante su descarga es un factor importante, si se lo desconoce se puede dañar la batería al hacerla trabajar con una sobredemanda de energía. (Hiper Shops, 2016)

2.15.2. Tipos de Baterías

Existen varios tipos de baterías, en la siguiente figura se detallan las más destacadas

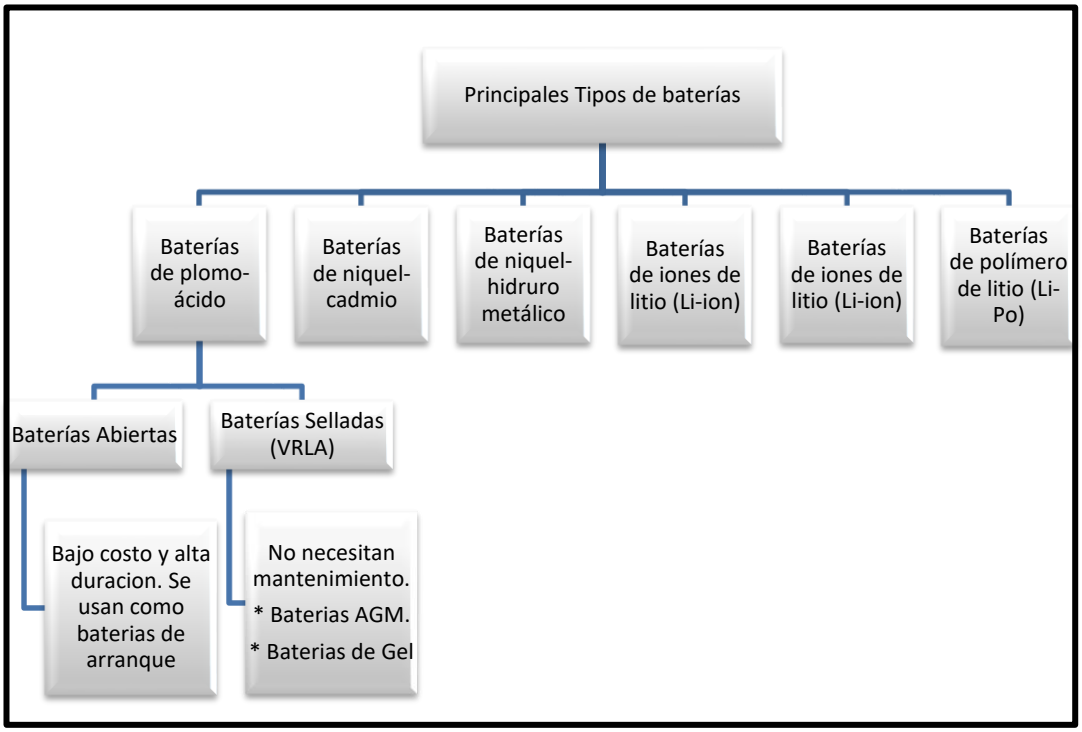

Figura 38: Principales tipos de baterías. *(Hiper Shops, 2016)*

2.15.3. Baterías AGM

AGM (Absortion Glass Mat), son baterías fabricadas a base de fibra de vidrio absorbente, cuando son ensambladas y el electrolito líquido es introducido, la fibra AGM trabaja como una esponja, característica es más segura de transportar.

Gracias a que tiene una resistencia interna baja permite entregar corrientes altas y tiene una vida útil de larga duración. La ventaja de las baterías AGM frente a las baterías comunes es que su carga es rápida, no requiere mantenimiento y son un poco más livianas. (Coelectrix, 2017)

Las características más comunes:

- No derrama agua o líquidos en caso de rotura
- Segura, no emite gases.
- Libre de mantenimiento
- Mayor vida útil
- Tiene baja resistencia interna que permite entregar corrientes altas
- Mejor rendimiento a bajas temperaturas

2.16. Batería CSB GP12340

La GP12340 es una batería de ácido de plomo sellada con tecnología AGM para una eficiente recombinación de gases de hasta un 99%. Es una batería de uso general de hasta 5 años de servicio de espera o más de 260 ciclos con el 100% de descarga en su ciclo de servicio. Son baterías recargables, de alta eficiencia a prueba de fugas que no requieren de mantenimiento. (Hitachi Chemical Energy Technology Co. Ltd, 2016)

Tabla 18: Especificaciones técnicas batería GP12340. *(Hitachi Chemical Energy Technology Co. Ltd, 2016)*

Especificaciones Técnicas	
Voltaje nominal	12V (6 celdas)
Capacidad nominal	34Ah @20hr-rate to 1.75V por celda @25℃ (77℉)
Peso	Aprox. 10.48 Kg (23.10 lb)
Corriente máxima de descarga	380A (5sec)
Resistencia Interna	Aprox. 9.5mΩ
Corriente de cortocircuito	915A
Corriente de carga máxima	10.20A
Tipo de Terminal	B5 Acepta perno M6
Torque de quiebre de Terminal	138.6 Kgf·cm / 120.3 Lbf·in / 13.58 N·m
Material contenedor	ABS (UL 94-HB)
Dimensiones	Largo 195.6±2.0 mm Ancho 130.0±1.5 mm Altura 154.8±2.0 mm Altura total 178.3±2.0 mm

Tabla 19: Relaciones de tiempo vs corriente y potencia de descarga. *(Hitachi Chemical Energy Technology Co. Ltd, 2016)*

Constant Current Discharge Characteristics Unit: A (25℃, 77℉)												
F.V/Time	5 MIN	10MIN	15MIN	30MIN	60MIN	90MIN	2HR	3HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	144	91.7	69.3	42.1	25.0	18.2	14.5	10.3	6.55	4.26	3.48	1.86
1.67V	128	85.5	65.5	41.3	24.7	18.0	14.4	10.2	6.50	4.23	3.43	1.78
1.70V	121	82.8	63.8	40.8	24.5	17.9	14.3	10.1	6.49	4.23	3.41	1.75
1.75V	110	77.5	61.2	40.0	24.4	17.8	14.2	10.0	6.47	4.18	3.35	1.69
1.80V	98.0	72.3	58.8	39.2	24.0	17.6	14.1	9.9	6.45	4.14	3.30	1.64
1.85V	86.3	67.0	55.7	38.2	23.6	17.4	14.0	9.8	6.43	4.09	3.24	1.58
Constant Power Discharge Characteristics Unit: W (25℃, 77℉)												
F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	60MIN	90MIN	2HR	3HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	1732	1100	832	505	300	218	174	124	78.6	51.1	41.7	21.6
1.67V	1539	1026	788	495	297	216	173	123	78.1	50.8	41.1	20.7
1.70V	1456	994	771	490	295	215	172	122	77.9	50.7	40.9	20.3
1.75V	1316	931	739	481	292	213	171	121	77.7	50.2	40.3	19.6
1.80V	1176	867	705	470	288	212	170	120	77.4	49.6	39.6	18.9
1.85V	1036	804	669	458	283	209	169	119	77.2	49.1	39.0	18.2

2.17. APP INVENTOR 2

APP INVERTOR 2, es una herramienta que permite crear o diseñar aplicaciones directamente desde el navegador web, tiene un lenguaje de programación por bloques, que permite crear aplicaciones de manera rápida y sencilla.

Esta herramienta permite diseñar aplicaciones solo para sistema operativo Android, y se menciona que pronto estará disponible para IOS. (Massachusetts Institute of Technology, 2017)

Figura 39: Logo de MIT App Inventor. *(Massachusetts Institute of Technology, 2017)*

App inventor cuenta con muchas herramientas para la creación de aplicaciones para sistema operativo Android, esta cuenta con dos pestañas:

- Modo Diseñador.
- Editor de Bloque (programación en bloques)

2.17.1. Modo Diseñador

En el modo diseñador se hace la interfaz de la aplicación se ponen todos los elementos que se necesitaran en la aplicación, como botoneras, etiquetas, imágenes, caja de texto, etc. y también los elementos no visibles que se usaran como es el bluetooth, notificadores.

Figura 40:Pantalla de Diseño de la APP "FREEDOM CHAIR". Fuente: Los Autores

2.17.2. Editor de Bloques

En el editor de bloques programas el comportamiento de cada objeto situación en la pantalla de diseño y de la aplicación en general.

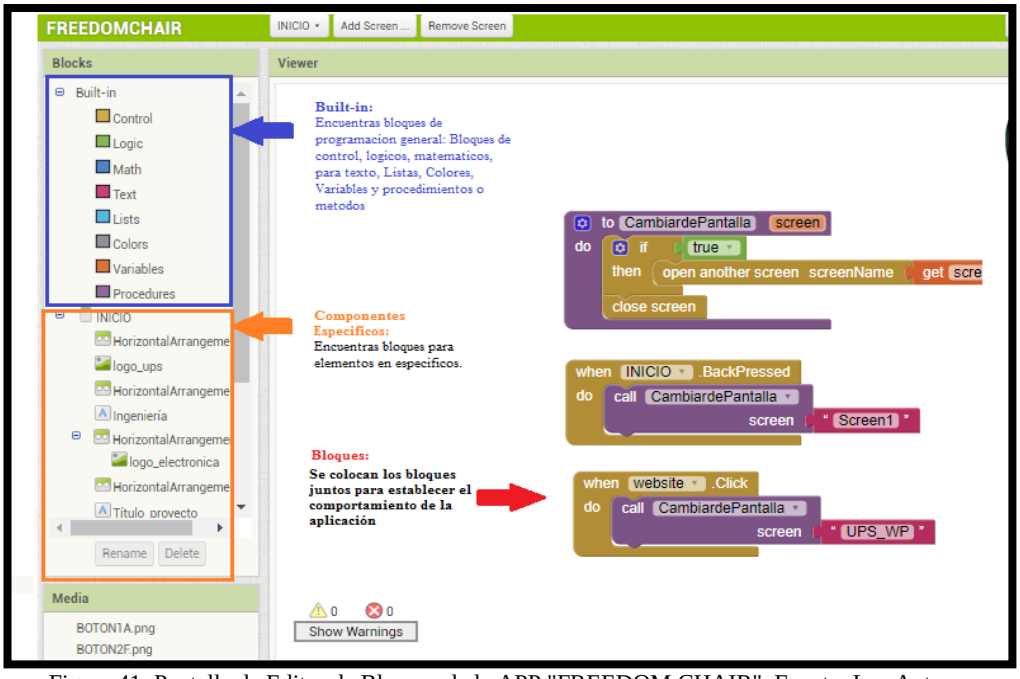

Figura 41: Pantalla de Editor de Bloques de la APP "FREEDOM CHAIR". Fuente: Los Autores

3. MARCO PROCEDIMENTAL

El desarrollo del proyecto se ideó de manera modular para facilitar la manipulación de cada uno de sus elementos, tales como, GPS, bluetooth, interruptores, joystick, entre otros, donde, todos convergen en el controlador, una tarjeta arduino Mega 2560.

3.1. Diagrama de bloques

A continuación, se presenta el diagrama de bloques del circuito para el control electrónico de la silla de ruedas.

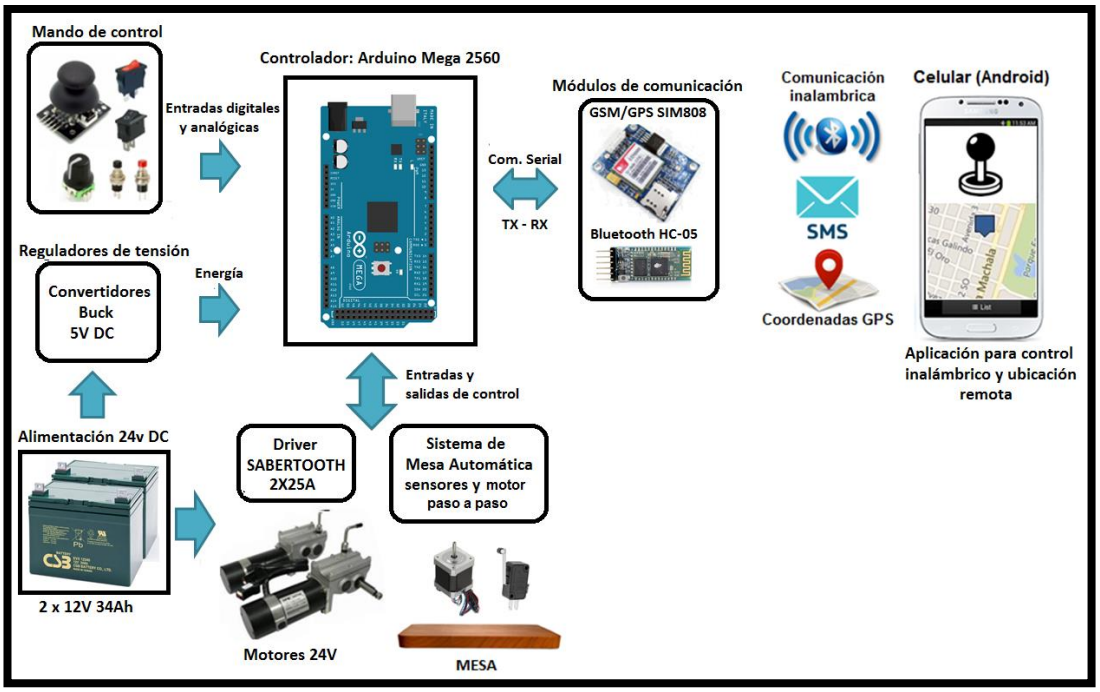

Figura 42: Diagrama de bloques del control electrónico de la silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores

3.2. Diseño de tarjetas de circuitos impresos (PCB)

Para la ejecución del proyecto se concluyó conveniente diseñar varias tarjetas de circuitos impresos capaces de integrarse o conectarse con cada uno de sus periféricos, de una manera segura y sin riesgos de desconexión o cortocircuitos.

- **Tarjeta controladora**, la misma que se acopla a la tarjeta de desarrollo Arduino Mega y se encarga de distribuir las señales de entradas, salidas y vías de comunicación con los periféricos.
- **Tarjeta de alimentación**, la cual se encarga de adecuar los niveles de voltaje de 24v DC proporcionados por las baterías, a 5v, 12v y 8v DC necesarios para la alimentación de los circuitos de control y dispositivos periféricos.
- **Tarjeta de mando principal,** la cual se encarga de receptar todas las señales provenientes de los componentes físicos que interactúan con el usuario y realizar envío de las mismas al controlador a través de un cable de múltiples vías.

- **Tarjeta de mesa automática**, encargada de interactuar con los sensores y motores del sistema de la mesa.

3.2.1. PCB Controladora

La tarjeta de control se diseñó para acoplarse de manera directa a la tarjeta de desarrollo Arduino Mega y distribuyendo estratégicamente los pines de entradas, salidas y alimentación de los diferentes componentes y dispositivos periféricos, tales como, modulo bluetooth, GPS, driver Sabertooth, mando principal, entre otros. Se buscó realizar la implementación del proyecto de manera modular siendo factible realizar el reemplazo de cualquier componente de manera rápida y sencilla.

- **Distribución de pines del Arduino Mega**

La distribución de pines del Arduino Mega 2560 para el proyecto quedó establecido de la siguiente manera: 7 entradas digitales, 9 salidas digitales, 4 entradas analógicas, 3 puertos de comunicación serial, 2 de ellos bidireccional (Tx, Rx) y otro unidireccional (Tx) tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20: Distribución de pines en arduino mega, tarjeta de control. Fuente: Los Autores.

Tipo	Pin	Etiqueta	Descripción
Entrada digital	2	EMER	Botón de emergencia.
Entrada digital	3	MESA	Botón de mesa.
Entrada digital	4	LR	Selector Local / Remoto.
Entrada digital	5	ON	Interruptor de encendido de Mando Principal.
Entrada digital	6	STB	Señal de mando principal conectado.
Entrada digital	9	FC1	Señal de fin de carrera 1.
Entrada digital	10	FC2	Señal de fin de carrera 2.
Salida digital	7	INHAB	Señal de inhabilitación de silla.
Salida digital	8	RST	Señal de reset para driver A4988.
Salida digital	11	DIR	Señal de dirección para driver A4988.
Salida digital	12	PASO	Señal de paso para driver A4988.
Salida digital	13	SC	Señal de carga.
Salida digital	22	FRI	Salida de activación de freno electromagnético izquierdo.
Salida digital	24	AB	Salida de alimentación de bluetooth.
Salida digital	26	START	Salida de inicio de SIM808.
Salida digital	28	BTON	Salida de encendido de Bluetooth.
Entrada analógica	A0	JX	Señal analógica de eje X del joystick.
Entrada analógica	A1	JY	Señal analógica de eje Y del joystick.
Entrada analógica	A2	VEL	Señal analógica de Potenciómetro para regulación de velocidad.

Tabla 21: Continuación. Distribución de pines en arduino mega, tarjeta de control. Fuente: Los autores.

Tipo	Pin	Etiqueta	Descripción
Entrada analógica	A15	MB	Señal analógica para medición de voltaje de baterías.
Comunicación Serial	14	RXSIM808	Pin de Recepción de SIM808.
Comunicación Serial	15	TXSIM808	Pin de Transmisión de SIM808.
Comunicación Serial	16	S1	Pin de transmisión para Sabertooth.
Comunicación Serial	18	RXBT	Pin de Recepción de Bluetooth.
Comunicación Serial	19	TXBT	Pin de Transmisión de Bluetooth.
Energía	Vin	+V12	Alimentación de 12V del BC2.
Energía	GND	GND	Tierra referencial.
Reset	Reset	RESET	Botón de reset de Arduino.

A continuación, se presenta el circuito esquemático de la tarjeta Arduino Mega, con su respectiva ubicación para cada pin

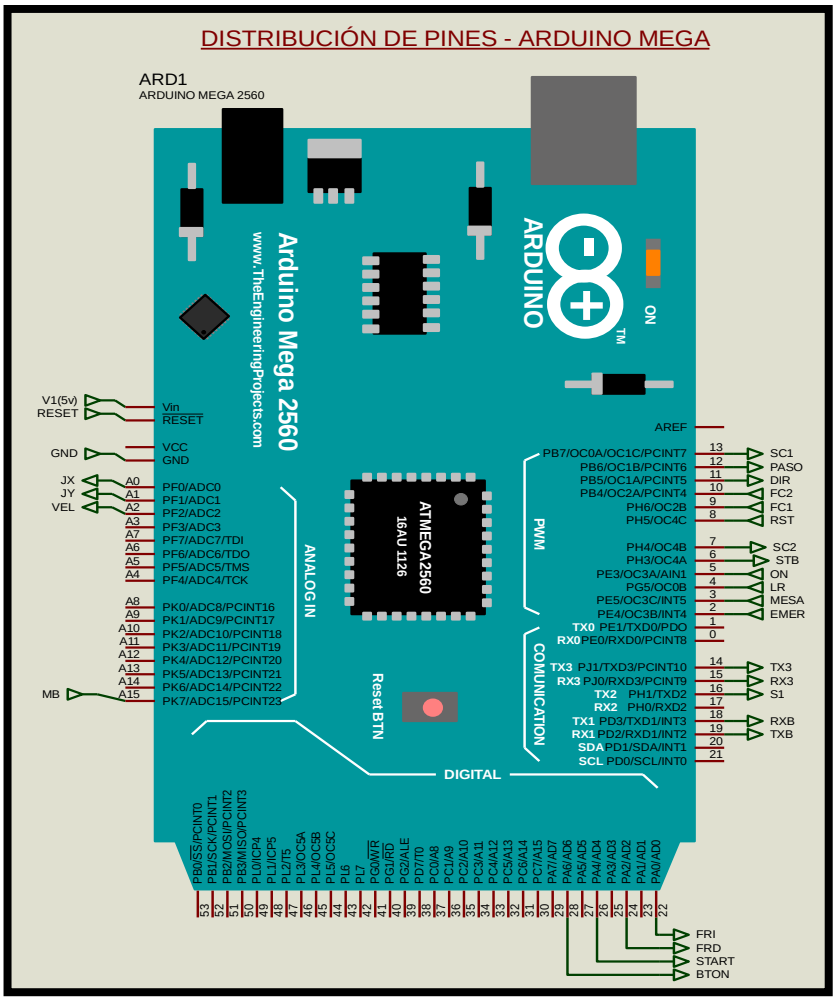

Figura 43: Distribución de pines arduino mega 2560. Fuente: Los Autores

- **Distribución de pines: entradas, salidas y energía de periféricos**

La integración de la placa de control con los periféricos se realiza a tavés de conectores de diferentes tipos dependiendo el mando a utilizar, tal como se muestra en la siguiente figura.

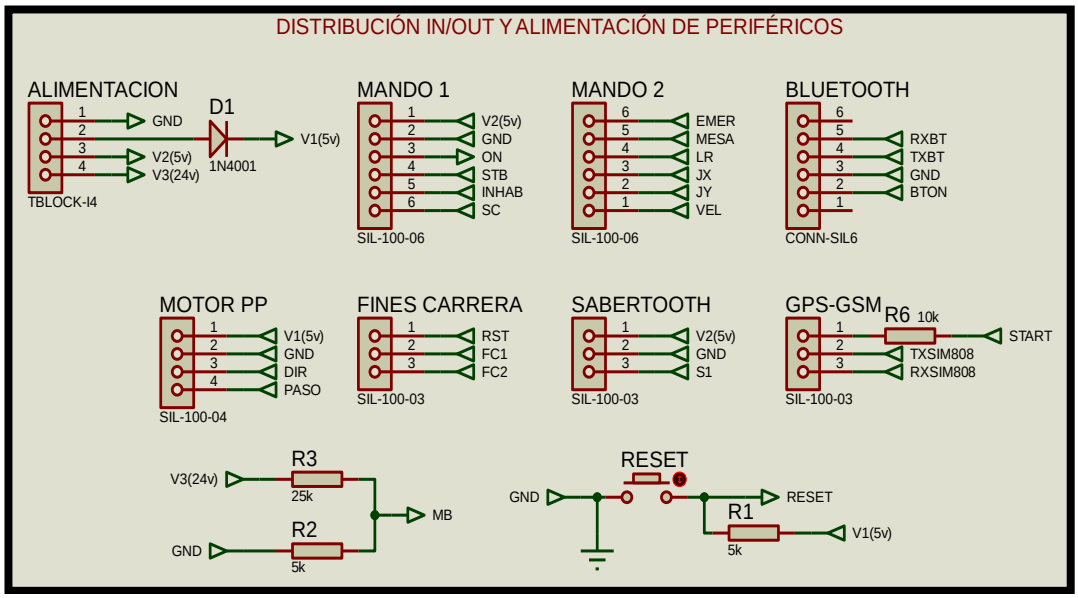

Figura 44: Distribución de pines de periféricos. Fuente: Los Autores.

Los motores cuentan con un acutuador, freno electromagnético, como su nombre lo indica, se encarga de frenar o bloquear el eje del motor, brindando seguridad ante posibles fugas de movimiento mientras se encuentre detenido, esto puede darse por pendientes inclinadas o condiciones similares. El actuador trabaja a 24 voltios y es de lógica inversa, es decir, que mientras esté desenergizado, el motor se encontrará frenado o bloqueado, y, si se energiza se desactiva el freno.

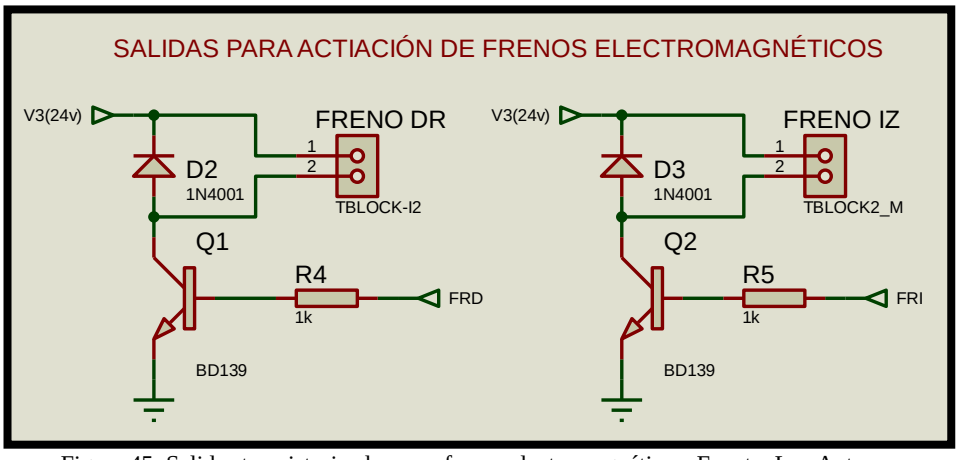

Figura 45: Salidas transistorizadas para frenos electromagnéticos. Fuente: Los Autores.

- **Ruteo de tarjeta controladora.**

El diseño de la tarjeta de circuito impreso se realizó colocando cada uno de sus componentes de manera estratégica utilizando una capa de vías y reduciendo el tamaño de la misma lo máximo posible, respetando las normas de diseño.

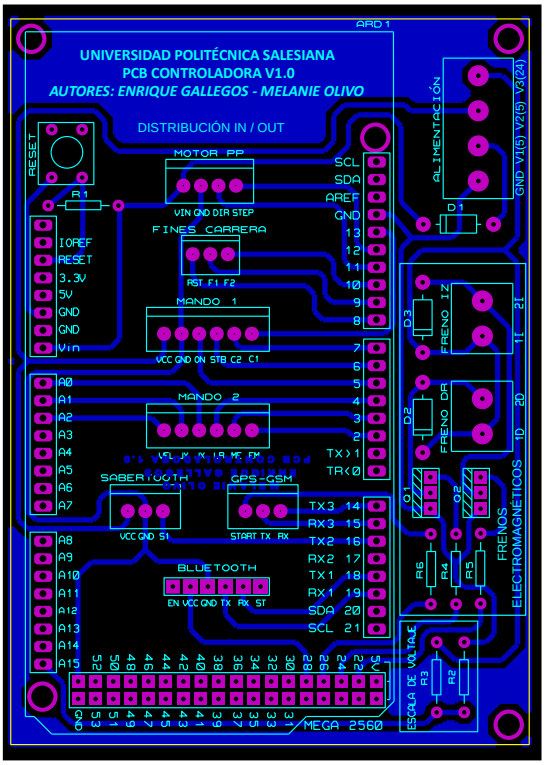

Figura 46: Diseño de tarjeta de circuito impreso en Ares Proteus. Fuente: Los Autores.

En la siguiente figura se muestra las vistas superior e inferior de la tarjeta controladora

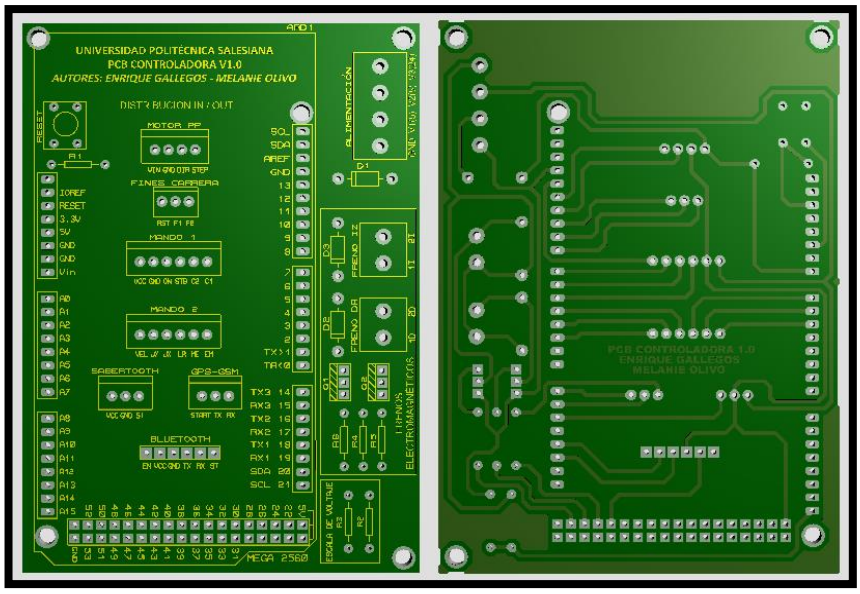

Figura 47: Vista superior e inferior de la tarjeta controladora. Fuente: Los Autores.

3.2.2. Alimentación

La alimentación de todo el sistema es de 24 voltios DC, ya que los motores trabajan en este régimen de voltaje, por ello, se redujo la tensión de entrada utilizando tres convertidores Buck DC-DC de voltaje regulable y 3 amperios; donde el BUCK 1 (BC1) regulado a 5 voltios es destinado para la alimentación del mando principal y Sabertooth (driver), el BUCK 2 (BC2) regulado a 12V se encarga de alimentar la placa de desarrollo Arduino Mega y el sistema de la mesa automática, incluyendo el motor actuador utilizado. Por último, el BUCK 3 (BC3) regulado a 8 voltios está encargado de alimentar el módulo GSM/GPS SIM808.

La separación de estos circuitos de alimentación de energía se realizó en base al consumo de corriente y diferentes niveles de voltajes requeridos para cada uno de ellos. Por ejemplo, por un lado, se tiene el módulo GPS que requiere una alimentación superior a los 5 voltios y capaz de proveer hasta 2 amperios y, por otro lado, el mando principal que maneja un joystick con tecnología de efecto Hall donde es indispensable una alimentación estable a 5 voltios, ya que, de no serlo, la "zona muerta" del amosjoystick cambia de voltaje y podría entregar datos erróneos al controlador.

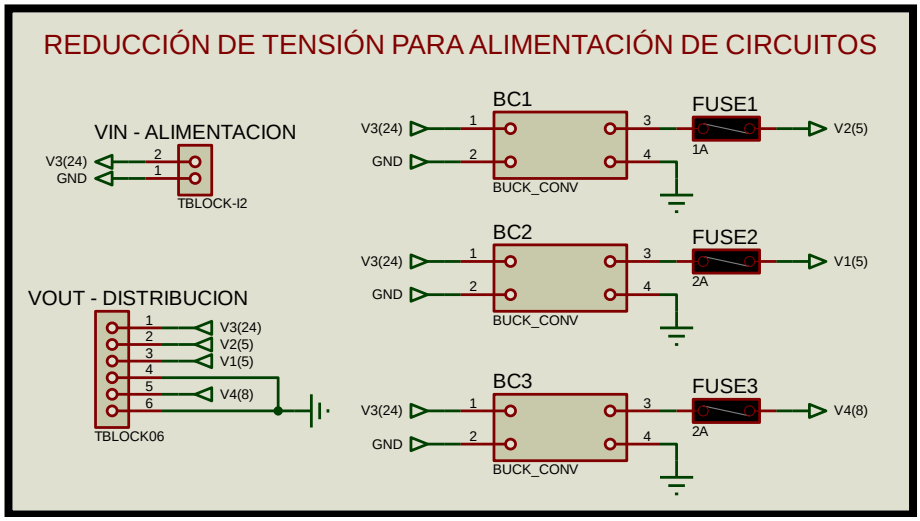

Figura 48: Diseño esquemático de circuito de alimentación. Fuente: Los Autores.

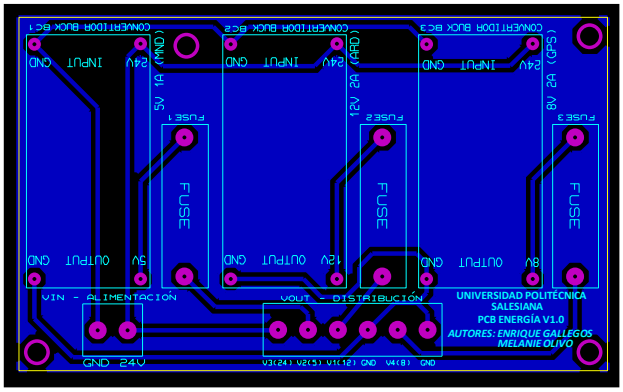

Figura 49: Diseño de rutas de la PCB de alimentación. Fuente: Los Autores.

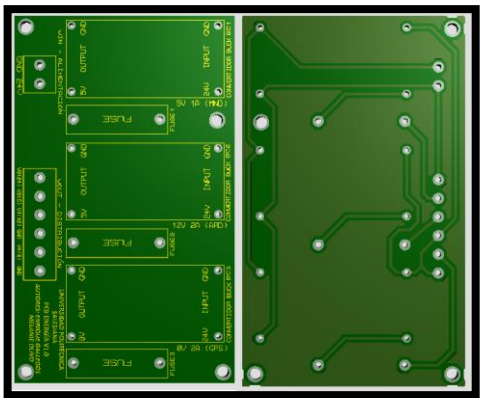

Figura 50: Vista superior e inferior de la PCB de alimentación. Fuente: Los Autores.

3.2.3. PCB Mando Principal

La tarjeta de mando principal se diseñó para receptar todas las señales de los componentes físicos que interactúan con el usuario de la silla, tales como interruptores, pulsadores, joystick, etc., y enviarlas hacia la tarjeta controladora a través de un cable de 12 vías.

Se detallan los componentes del mando principal:

- ON/OFF: Interruptor de encendido.
- REMOTO: Interruptor de habilitación para control remoto mediante app.
- JOYSTICK: Joystick de efecto Hall para control de movimientos.
- POT VEL: Potenciómetro regulador de velocidad.
- MESA: Pulsador de activación de apertura o cierre de mesa automática.
- PITO: Pulsador de activación de bocina (buzzer).
- BUZZER: bocina.
- EMER: Pulsador de emergencia.
- LED1: Led indicador de encendido de control.
- LED2: Led indicador de nivel de carga de batería y led indicador de inhabilitación.

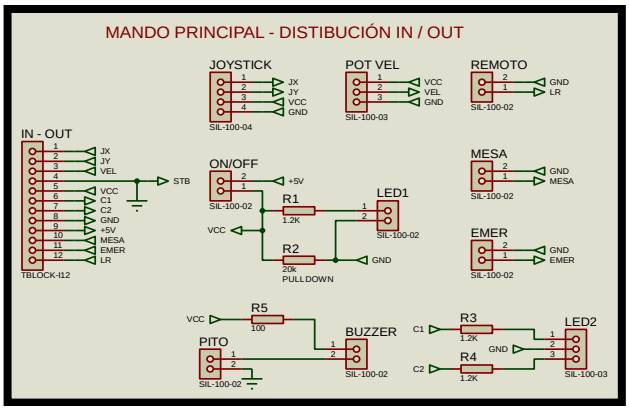

Figura 51: Diseño esquemático de mando principal. Fuente: Los Autores.

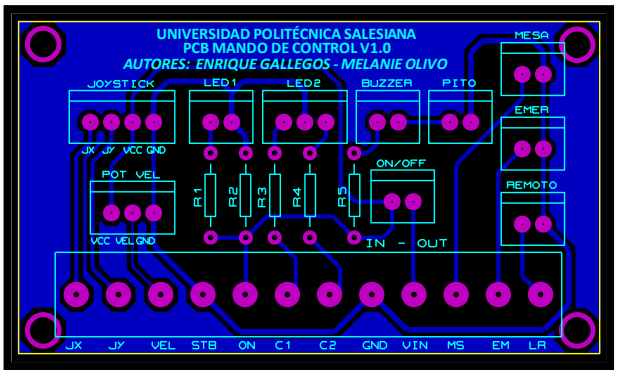

Figura 52: Diseño de rutas de tarjeta de circuito impreso de mando principal. Fuente: Los Autores.

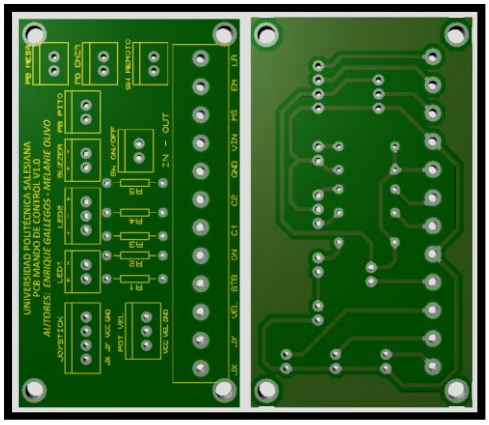

Figura 53: Vista superior e inferior de la PCB de mando principal. Fuente: Los Autores.

3.2.4. PCB Mesa Automática

La tarjeta de mesa automática está compuesta principalmente, por un driver A4988, que se encarga de controlar el motor paso a paso del mecanismo de la mesa. Recepta las señales de control desde el Arduino y envía las señales de los sensores de fin de carrera al inicio y fin del mecanismo, también, consta de un regulador de voltaje de 5 voltios, LM7805, utilizado para la alimentación del driver.

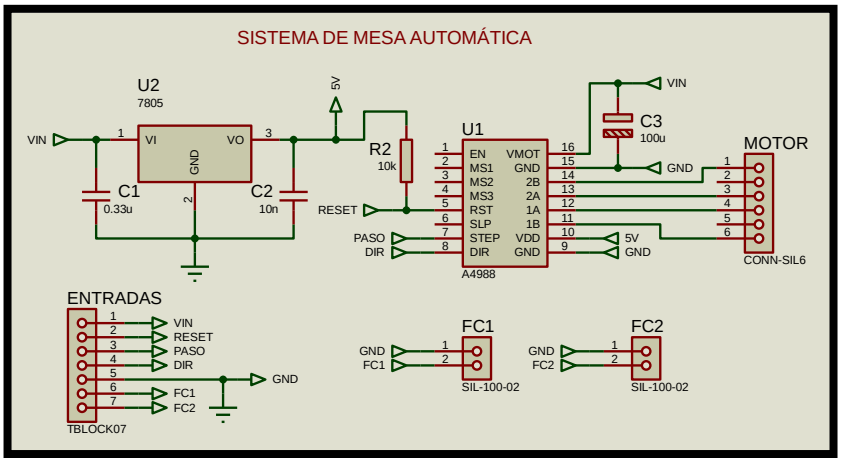

Figura 54: Diseño esquemático de PCB mesa automática. Fuente: Los Autores.

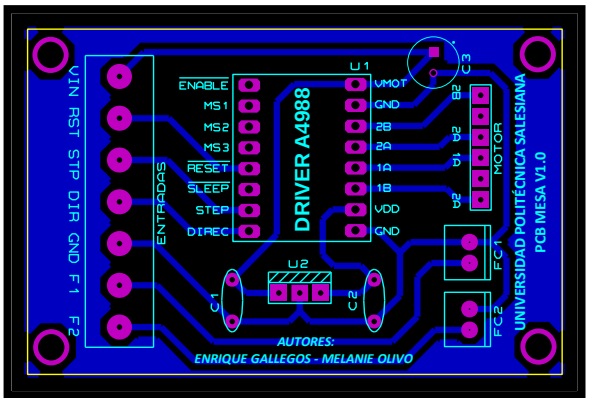

Figura 55: Diseño de rutas de PCB mesa automática. Fuente: Los Autores.

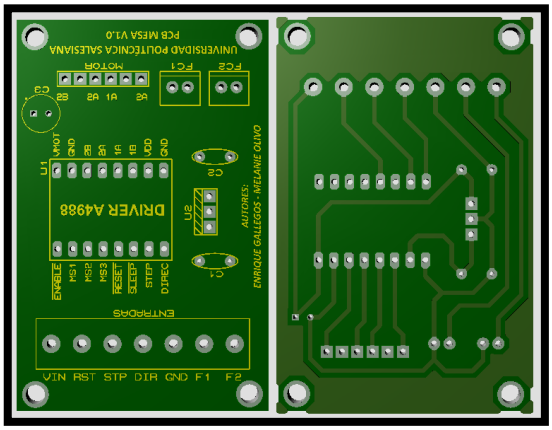

Figura 56: Vista superior e inferior de PCB mesa automática. Fuente: Los autores.

3.3. Construcción de PCB's y montaje de componentes.

Las tarjetas de circuitos impresos se construyeron en fibra de vidrio, una cara de vías de cobre y máscara anti-solder para tener un mejor acabado y larga vida útil.

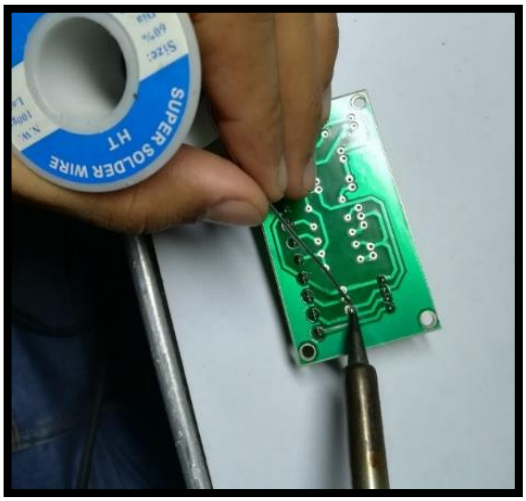

Figura 57: Tarjetas de circuitos impresos. Fuente: Los Autores.

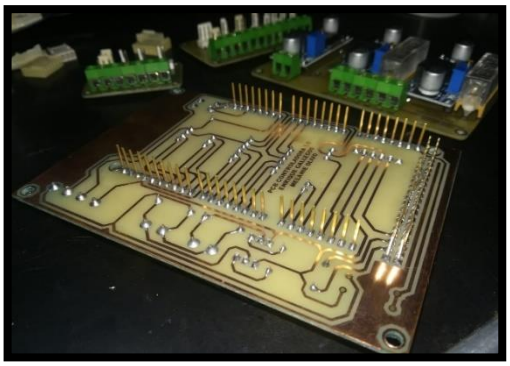

Figura 58: Montaje y soldadura de tarjetas de circuito impreso. FUENTE: Los Autores

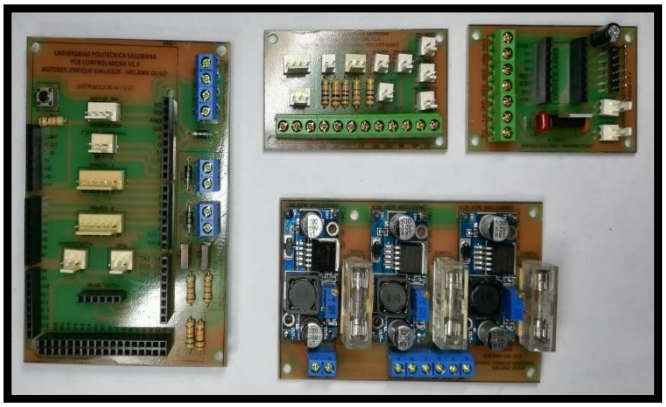

Figura 59: Tarjetas de circuitos impresos terminadas. Fuente: Los Autores

3.4. Construcción de estructuras.

La silla de ruedas se seleccionó tomando en cuenta las medidas y disponibilidad de la estructura para el montaje de los motores, la conveniencia para realizar las modificaciones o acoples de nuevas estructuras necesarias para el montaje de las baterías, controlador y demás accesorios.

Figura 60: Silla de ruedas convencional utilizada para el proyecto. Fuente: Los autores.

Para el diseño de la caja de baterías, se tomó en cuenta el tamaño de las mismas y el espacio comprendido entre los motores montados sobre la estructura de la silla, por ello, se construyó una caja con dimensiones de 280x210x210 mm (LxAxH) considerando los espacios para el cableado, colocación de fusibles, interruptores y prensa estopas para las salidas del cableado de alimentación.

Figura 61: Estructura de la caja contenedora de las baterías. Fuente: Los Autores

Se diseñó y construyó la bandeja de soporte para la caja de baterías con varilla lisa de 5.5mm, de tal manera encaje en medio de los motores instalados y pueda montarse por cada extremo saliente.

Figura 62: Bandeja de soporte para caja de baterías y controladores, hecha en varilla lisa de 5.5mm. Fuente: Los Autores

El principal inconveniente fue la adaptación del soporte trasero, ya que la estructura de la silla no permitía montarse más adentro, por lo cual, se realizó una extensión .

Se diseñó en AutoCAD, una pieza de extensión para la estructura de la silla que permita un acople seguro y lo suficientemente resistente para soportar el peso de las

baterías, de tal manera que una parte de la pieza ingrese dentro del tubo de la estructura y se asegure a través de un pasador, el cual estará bloqueado por la prensa del motor colocado en la estructura.

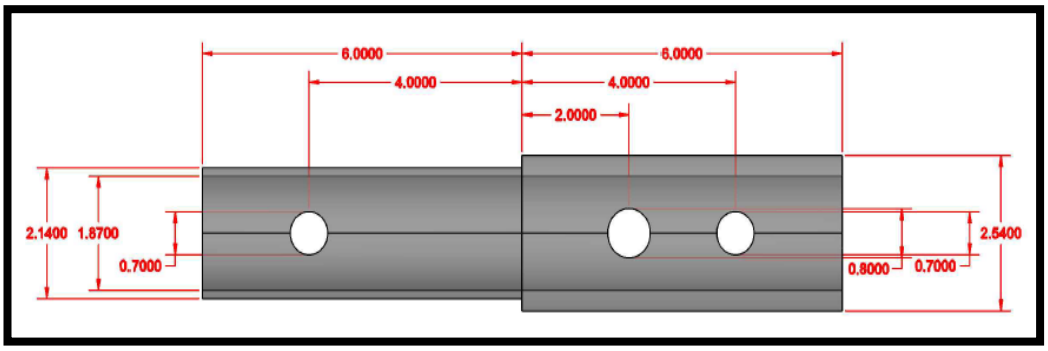

Figura 63: Diseño de extensión de estructura de silla para colocación de bandeja. Fuente: Los Autores.

La construcción de la pieza se llevó a cabo en un taller de torno y se realizó con acero de transmisión, material lo suficientemente resistente.

Figura 64: Pieza de extensión para parante de silla de ruedas. Fuentes: Los Autores

Así mismo, se diseñó en AutoCAD un soporte que permita mantener sujeta la estructura de la bandeja a la silla y no se tengan inconvenientes por caídas o fugas de movimientos mientras se encuentre en operación.

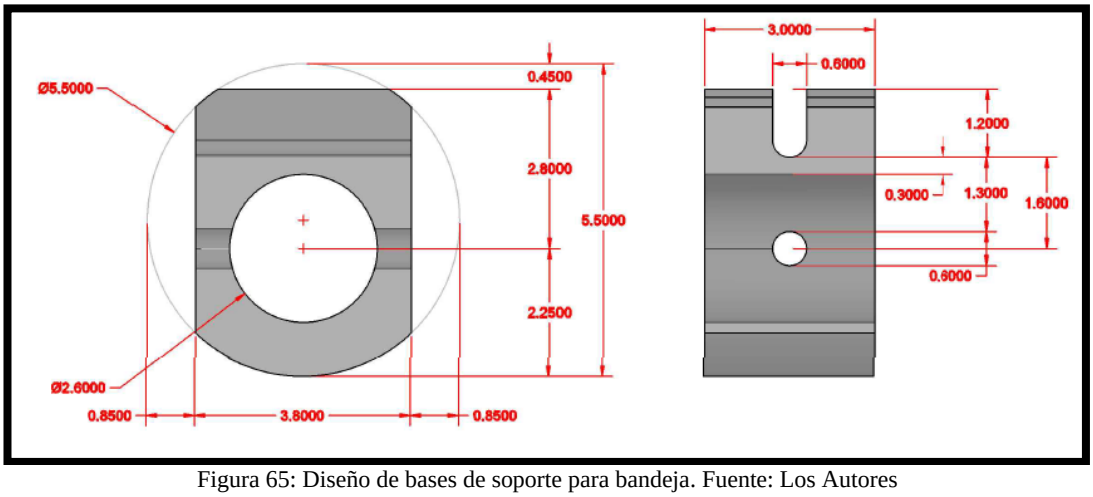

Figura 65: Diseño de bases de soporte para bandeja. Fuente: Los Autores

La construcción de la pieza se llevó a cabo en el mismo taller de torno y se realizó con nylon de 55mm.

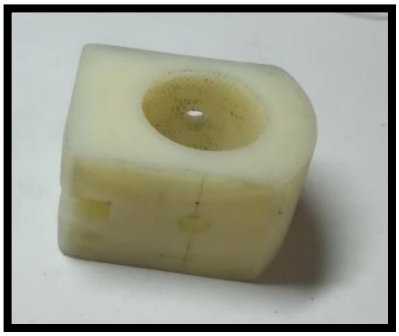

Figura 66: Acople para soporte de bandeja para las baterías hecha en nylon. Fuente: Los Autores

Una vez terminadas las piezas, se realizó el montaje de los acoples y estructuras para proceder a la colocación de los equipos y cableado de los mismos.

Figura 67: Montaje de estructuras y acoples sobre estructura de la silla de ruedas. Fuente: Los autores.

El sistema de la mesa automática se diseñó en base a un mecanismo de traslación lineal utilizado en equipos como CNC, impresoras 3D, entre otros, consta de un tornillo de 4 entradas de 600mm, un motor paso a paso, dos chumaceras, una tuerca de bronce y un acople flexible para el tornillo y el eje del motor.

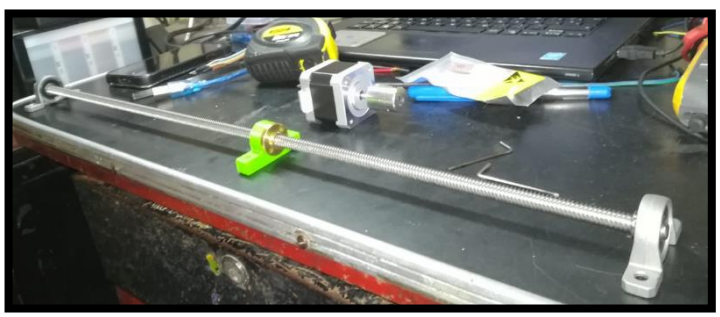

Figura 68: Mecanismo utilizado para la mesa automática, tornillo, tuerca, chumaceras, motor y acople. Fuente: Los autores.

Se utilizó una estructura de aluminio, formada por dos rieles (laterales) y dos tubos cuadrados (superior e inferior), sobre los rieles, se deslizan 2 pares de carritos con ruedas, de las cuales, los pernos salientes se conectan a las chumaceras acopladas a los extremos laterales de la tabla, playwood de medidas 600x250x12mm.

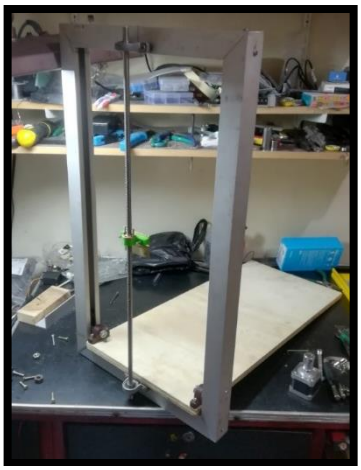

Figura 69: Montaje de mecanismo de la mesa. Fuente: Los Autores

Figura 70: Instalación de sistema de mesa automática. Fuente: Los Autores.

Se realizó el diseño del mando de control local en AutoCAD considerando las medidas de cada componente, para luego ser impreso en 3D con material PLA.

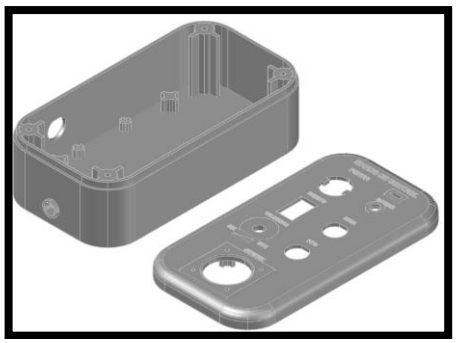

Figura 71: Diseño 3D de mando de control central para la silla de ruedas. Fuente: Los Autores

Figura 72: Impresión 3D del mando central de la silla de ruedas y montaje de componentes. Fuente: Los Autores.

3.5. Conexiones eléctricas

La conexión del banco de baterías se realizó con cable 12AWG, la salida de alimentación hacia el Sabertooth, con el mismo calibre y la salida para la alimentación del circuito de control se realizó con cable AWG 18.

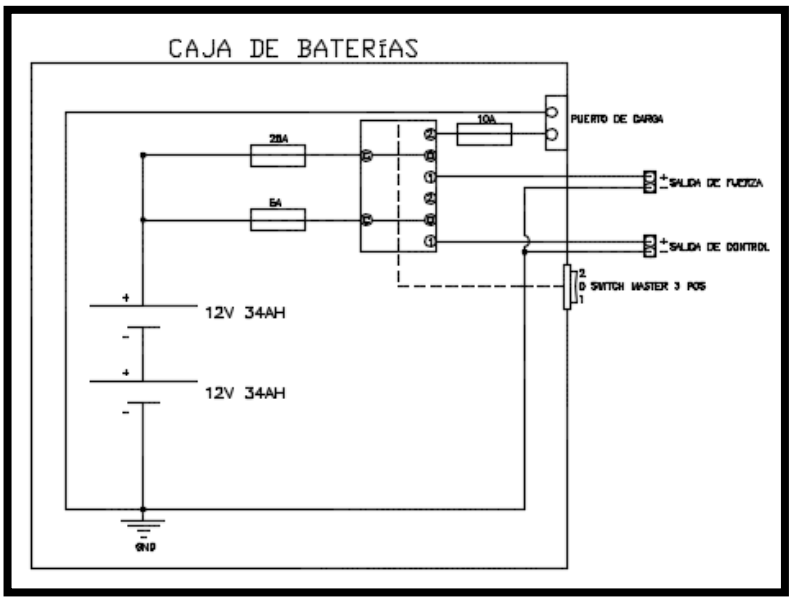

Figura 73: Diagrama unifilar de banco de baterías. Fuente: Los Autores.

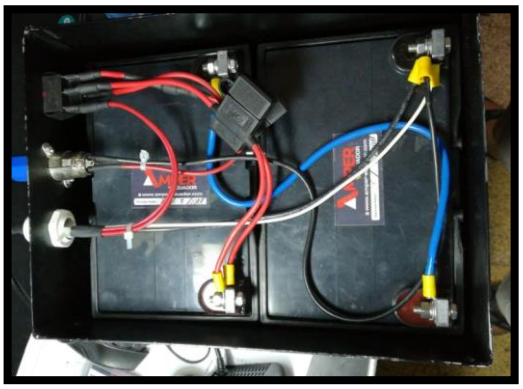

Figura 74: Cableado interno de banco de baterías, fusible, interruptores y puerto de carga. Fuente: Los autores.

Una vez montadas las placas electrónicas sobre la base de acrílico, Figura 75, se procedió a realizar las conexiones eléctricas entre cada uno de sus componentes como se detalla en la figura 76, diagrama unifilar de la silla de ruedas.

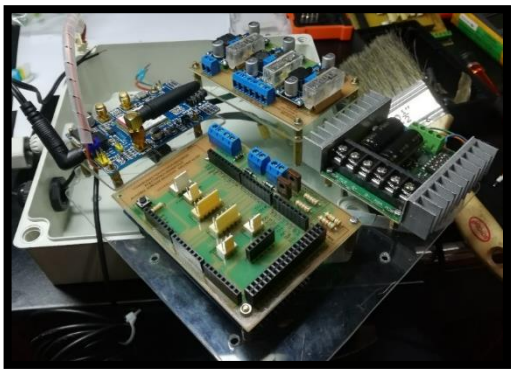

Figura 75: Montaje de placas electrónicas sobre base de acrílico. Fuente: Autores

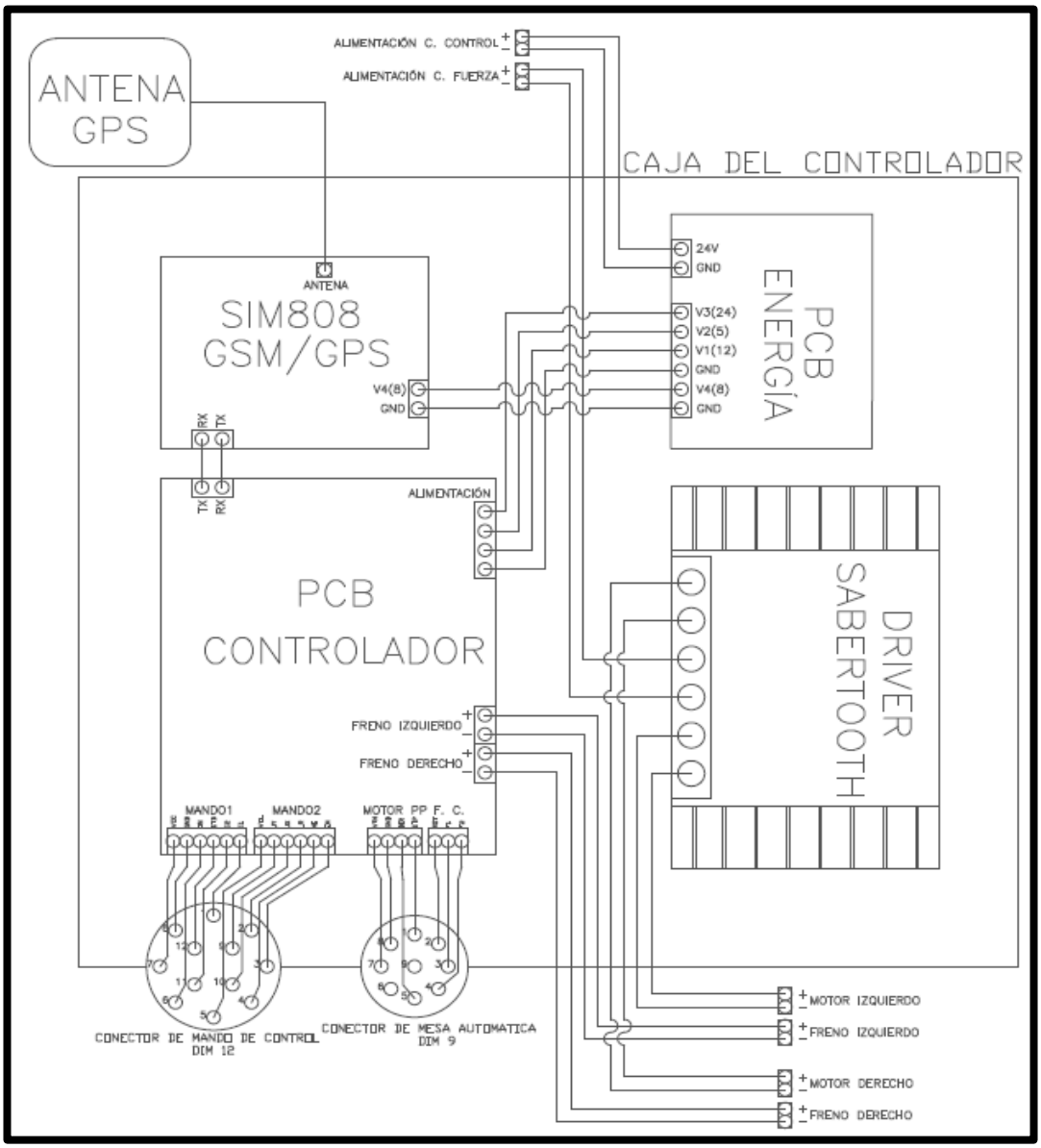

Figura 76: Diagrama unifilar de caja de control. Fuente: Los Autores.

Para conexiones de potencia, la alimentación del circuito de fuerza del Sabertooth se utilizó cable 12 AWG y la salida hacia los motores, del mismo calibre, tal como se muestra en la figura 77.

Figura 77: Conexiones de circuito de fuerza del Sabertooth . Fuente: Los Autores

Para la Conexión de periféricos, señales y energía se utilizaron cable 22 AWG y espiral transparente, tal como se muestra en la figura 78.

Figura 78: Conexión de periféricos, señales y energía. Fuente: Los Autores

La tarjeta de alimentación se energizó con cable AWG 18 proveniente de la salida de control de las baterías, y las salidas de distribución de energía hacia las PCB´s se realizó con cable AWG22.

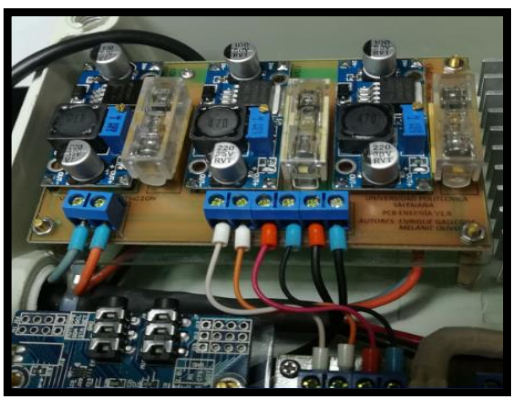

Figura 79: Distribución de placa de alimentación de control. Fuente: Los Autores.

La conexión del controlador con el mando principal y el sistema de mesa automática, se realiza a través de los conectores de DIM 12 y 9 pines respectivamente, colocados del lado lateral izquierdo de la caja de control.

Figura 80: Cableado final del controlador. Fuente: Los Autores.

Conexión del sistema de mando principal con la caja de control se realizó a través de un cable multi-conductor de 12 vías, calibre 22 AWG.

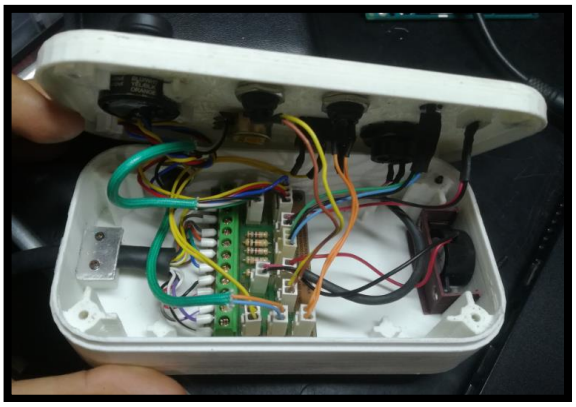

Figura 81: Cableado interno del mando principal. Fuente: Los autores.

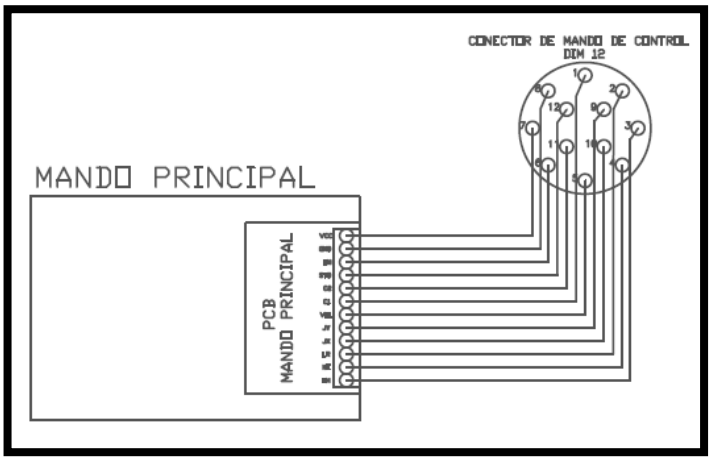

Figura 82: Diagrama unifilar de mando de control. Fuente: Los Autores.

Las partes y componentes del mando central se tienen a continuación:

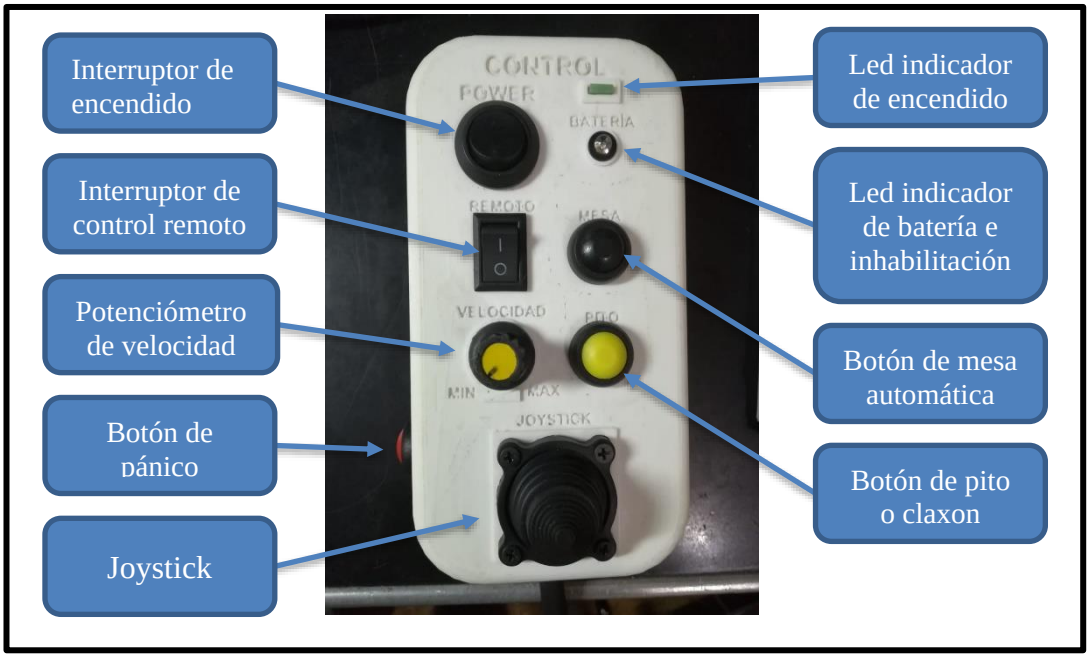

Figura 83: Componentes de mando de control principal. Fuente: Los Autores.

La conexión del sistema de la mesa automática y la caja de control se realizó a través de un multi-conductor de 8 vías, 22 AWG.

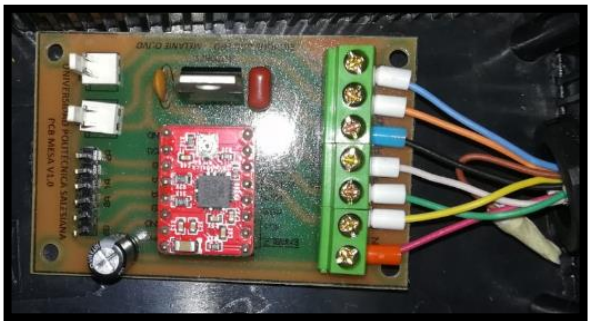

Figura 84: Conexión de tarjeta de mesa automática. Fuente: Los Autores.

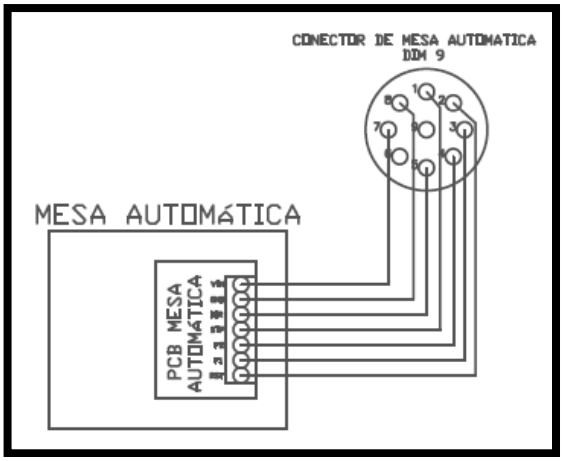

Figura 85: Diagrama de conexión de sistema de mesa automática. Fuente: Los Autores.

3.6. Montaje de silla de ruedas eléctrica

Se realizó el montaje de cada una de las estructuras adicionales para la conversión de la silla de ruedas convencional. La caja de control se colocó en la parte superior de la caja de baterías sujetada desde su interior. En la figura 86 se muestra el montaje de la caja de baterías y control.

Figura 86: Ubicación de caja de control y baterías. Fuente: Los Autores.

En la figura 87 se muestra la silla de ruedas con todos los componentes, montados, sistema de mesa automática, mando de control, entre otros.

Figura 87: Vista delantera de silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores.

3.7. Lógica de programación.

La programación del controlador arduino se realizó en el programa Arduino IDE versión 1.8.5, exclusivo del fabricante, la lógica empleada para la programación es exclusiva de los autores de este trabajo.

Para el desarrollo del proyecto se aplicaron varios métodos, estructuras y lógicas de programación, de las cuales, se seleccionaron las más eficientes con menor consumo de recursos del controlador.

Debido a que el movimiento de la silla de ruedas puede ser multidireccional, se decidió mapear los movimientos hacia una tabla de pares ordenados posibles que se pueden obtener desde el joystick, principal comando de movimiento. A criterio de los autores, el mapeo del joystick se realizó en una matriz de 7X5, dado que, la salida de joystick es de 0 a 5 voltios, el controlador a través de un convertidor analógico- digital de 10 bits, entrega valores de 0 a 1023, donde, se escaló la entrada matemáticamente para obtener valores entre 0 a 6 para el eje “Y” y de 0 a 4 para el eje “X”, donde el par ordenado (3,2), es nuestra “zona muerta o de reposo”, centro del joystick, obteniendo así, la matriz deseada.

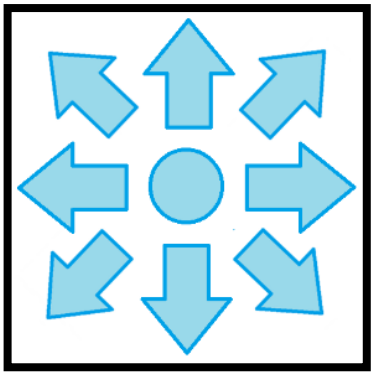

Figura 88: Movimiento multidireccional del joystick. Fuente: Los Autores.

Tabla 22: Mapeo de entradas del Joystick, valores para el eje "Y" filas y "X" columnas respectivamente. Fuente: Los Autores.

0 0	0 1	0 2	0 3	0 4
1 0	1 1	1 2	1 3	1 4
2 0	2 1	2 2	2 3	2 4
3 0	3 1	3 2	3 3	3 4
4 0	4 1	4 2	4 3	4 4
5 0	5 1	5 2	5 3	5 4
6 0	6 1	6 2	6 3	6 4

Debido a la construcción y diseño del joystick de limitador circular utilizado, es posible que los pares ordenados localizadas en los extremos (0,0; 0,4; 6,0 y 6,4) no se puedan obtener, esto no afecta bajo ningún concepto la funcionalidad y movimiento de la silla. Dentro de las posibilidades de movimiento que tiene la silla, se contemplaron los giros en "U" teniendo una de sus ruedas como pivote, es decir, un motor detenido mientras el otro realiza el giro hacia la dirección solicitada; y, un giro de rotación sobre un eje imaginario situado en el centro de la distancia entre cada rueda.

Una vez mapeada la entrada, se mapeó también la salida en función de la velocidad seleccionada por el usuario a través del potenciómetro regulador de velocidad. Ya que la silla cuenta con 5 niveles de velocidad, para ello es necesario establecer los valores a utilizar según los rangos predeterminados de cada motor en el manual del driver visto en el Capítulo 2. Recordar, para el Motor 1 se tienen valores de 0 a 127, donde 0 es máxima velocidad de reversa, 64 detenido y 127 máxima velocidad de avance; y, para el Motor 2 se tienen valores de 128 a 255, donde 128 es máxima velocidad de reversa, 192 detenido y 255 máxima velocidad de avance.

Tabla 23: Rango de valores utilizados para la velocidad de avance de los motores. Fuente: Los Autores.

Velocidad Avance	Motor 1	Motor 2
100%	127	255
95%	124	242
90%	121	249
85%	118	246
80%	114	242
75%	111	239
70%	108	236
65%	105	233
60%	102	230
55%	99	227
50%	96	224
45%	93	221
40%	89	217
35%	86	214
30%	83	211
25%	80	208
20%	77	205
15%	74	202
10%	71	199
5%	68	196

Tabla 24: Rango de valores utilizados para la velocidad de reversa de los motores. Fuente: Los Autores.

Velocidad Reversa	Motor 1	Motor 2
0%	64	192
-5%	60	188
-10%	57	185
-15%	54	182
-20%	51	179
-25%	48	176
-30%	45	173
-35%	42	170
-40%	39	166
-45%	35	162
-50%	32	159
-55%	29	156
-60%	26	153
-65%	23	150
-70%	20	147
-75%	17	143
-80%	14	140
-85%	10	137
-90%	7	134
-95%	4	131
-100%	1	128

Una vez planteados los valores de las velocidades a utilizar para cada motor, a criterio de los autores de este trabajo se creó la matriz de velocidad para cada uno de los niveles, en este caso, 5 niveles de velocidad corresponderían a 10 matrices de 7x5, 5 por cada motor. A continuación, se detalla la matriz utilizada para el nivel 1 de velocidad.

Tabla 25: Tabla de velocidad Nivel 1, representada en porcentajes de cada motor. Fuente: Los Autores

M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
30%	40%	35%	40%	40%	40%	40%	35%	40%	30%
20%	30%	25%	30%	30%	30%	30%	25%	30%	20%
10%	20%	15%	20%	20%	20%	20%	15%	20%	10%
-15%	15%	0%	15%	0%	0%	15%	0%	15%	-15%
-10%	-20%	-15%	-20%	-20%	-20%	-20%	-15%	-20%	-10%
-15%	-25%	-20%	-25%	-25%	-25%	-25%	-20%	-25%	-15%
-20%	-30%	-25%	-30%	-30%	-30%	-30%	-25%	-30%	-20%

Tabla 26: Tabla de velocidad 1, con valores predeterminados para cada motor. Fuente: Los autores.

M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
83	217	86	217	89	217	89	214	89	211
77	211	80	211	83	211	83	208	83	205
70	205	74	205	77	205	77	202	77	198
54	202	64	202	64	192	74	192	74	182
58	179	54	179	51	179	51	182	51	186
54	176	51	176	48	176	48	179	48	182
51	173	48	173	45	173	45	176	45	179

Debido a la complejidad del programa utilizado para el proyecto, se presenta con digramas de flujos, los algoritmos separados y resumidos para tener un mejor entendimiento.

Una vez obtenidas las matrices de velocidades, se diseñó el algoritmo para el control de velocidad, siempre basándose en la referencia de la posición del joystick tanto desde el control local o control remoto desde la aplicación del celular.

Detallando el algoritmo utilizado, se utilizaron diferentes estructuras de control para la evaluación de condiciones.

Estructura de control “if-else” para la evaluación del encendido SW_ON:

- Sí: continua el algoritmo
- No: finaliza el algoritmo

Estructura de control “if-else” para la evaluacion del control remoto SW_LR:

- Si: se evalúa si el módulo Bluetooth recibe datos:
  - Sí: Lectura de puerto serial de Bluetooth y guarda datos en X, Y, V.
  - No: Setea variables X, Y, V a sus valores iniciales.
- No: Lectura de canales analógicos y guarda datos.

Estructura de control “Switch case” para la variable de Velocidad:

- V1: se otienen los valores de las matrices de Velociadad 1 para cada motor evaluados en los pares ordenados obtenidos en las variables “X” y “Y”, en base a estos valores, se adecúan matemáticamente las variables de pwm1 y pwm2 para luego, ser enviadas al driver sabertooth.

El proceso se repite para cada nivel de velocidad, cambiando únicamente los valores de las matrices. Por seguridad, el caso de “default” se dejó a la Velocidad 1.

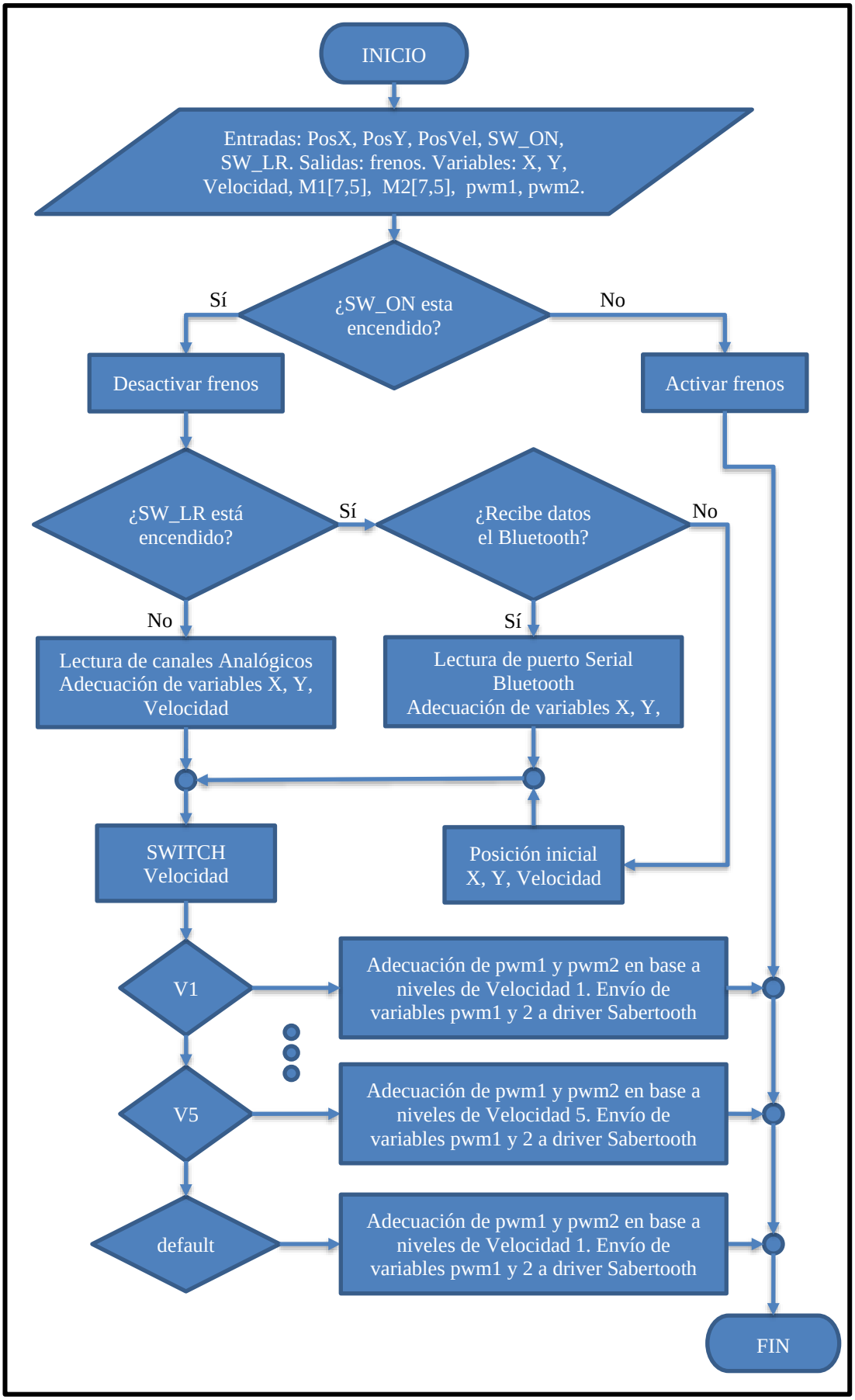

Figura 89: Diagrama de flujo de algoritmo de Control de velocidad y movimiento. Fuente: Los autores.

La silla de ruedas cuenta con un módulo SIM808 GSM/GPS, del cual, el controlador puede obtener las coordenadas geográficas y la recepción/envío de SMS, pero estas tareas requieren de un tiempo de ejecución y solo se puede realizar una tarea a la vez, por ello, se procesan cada cierto intervalo de tiempo y bajo ciertas condiciones.

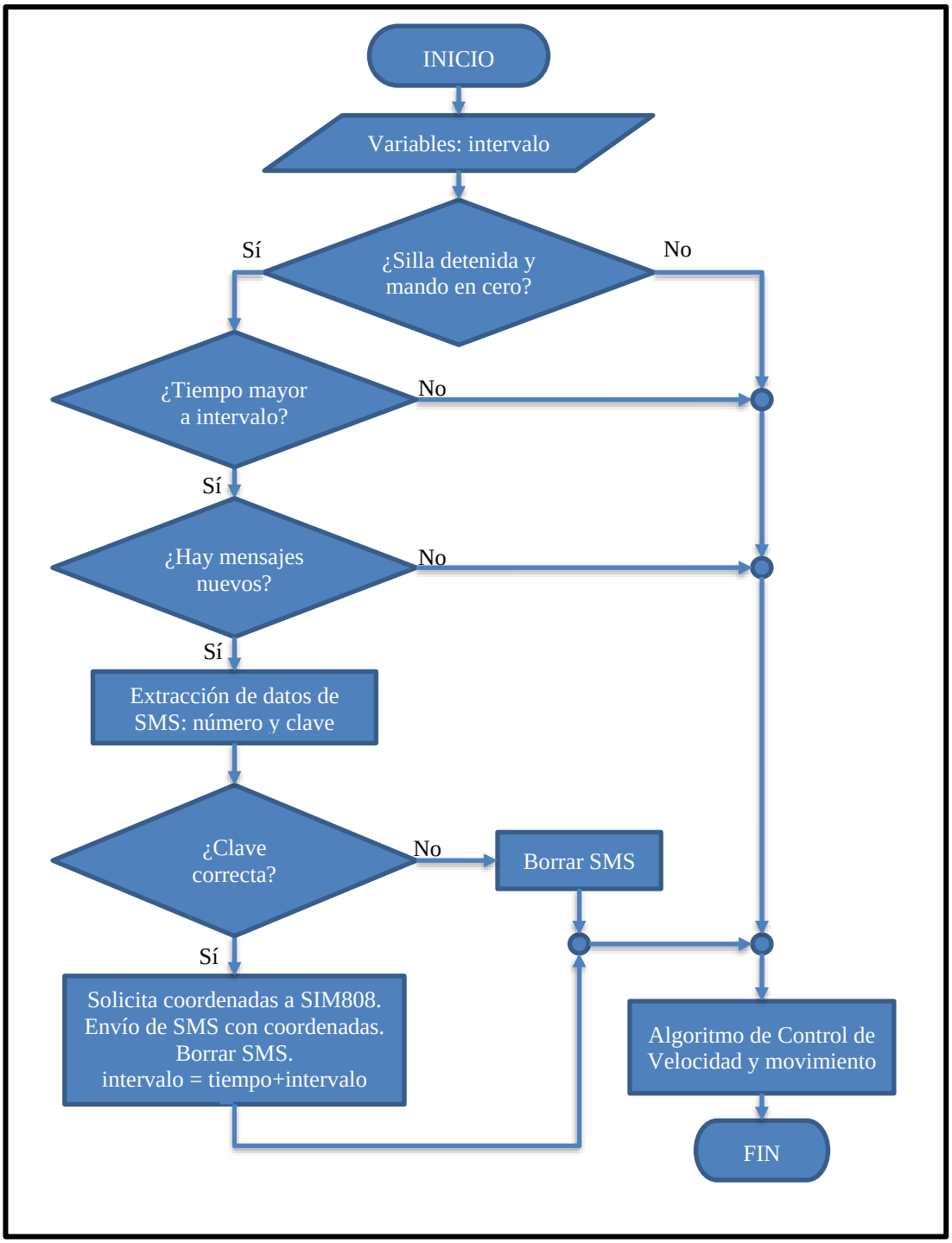

Figura 90: Diagrama de flujo de algoritmo de Procesamiento de SMS y envío de coordenadas. Fuente: Los autores.

3.8. Diseño de la aplicación

La aplicación cuenta con varias pantallas que interactúan con el usuario, su diseño es bastante interactivo y cuenta con toda la información para su correcto uso y obtener el mayor provecho.

Las pantallas que contiene son:

- Pantalla Principal
- Inicio de sesión
- Control
- Ubicación
- Seguridad

3.9. Pantalla principal

Esta pantalla contiene los datos del proyecto de titulación y los botones de acceso a las pantallas de control, además cuenta con un botón de enlace a un navegador con la página web de la Universidad Politécnica Salesiana.

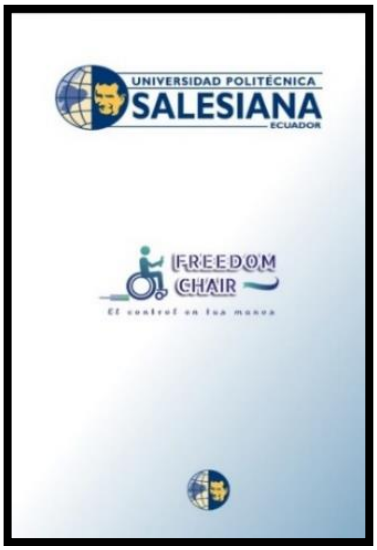

Figura 91: Imagen de la pantalla de inicio de la aplicación. Fuente: Los Autores.

Para ingresar al control, ubicación o seguridad de la silla se selecciona el logo de la aplicación.

Figura 92: Botón de ingreso a pantallas de control y ubicación. Fuente: Los Autores.

3.10. Pantalla de Inicio de sesión

Antes de ingresar a las pantallas de control, ubicación o seguridad, se validan los datos del usuario y contraseña ingresados en la pantalla de inicio de sesión.

Figura 93:Pantalla de inicio de sesión de la aplicación. Fuente: Los Autores

Los campos de usuario y contraseña deberán ser correctos para ingresar a la aplicación.

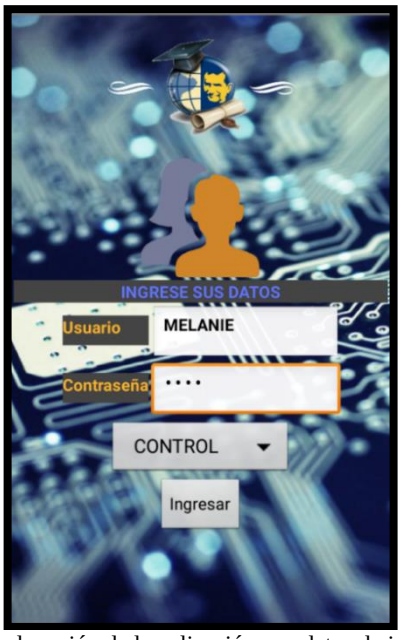

Figura 94: Pantalla de inicio de sesión de la aplicación con datos de ingreso. Fuente: Los Autores

En esta pantalla se evaluará el ingreso del usuario y contraseña, los cuales fueron establecidos en la programación de la aplicación.

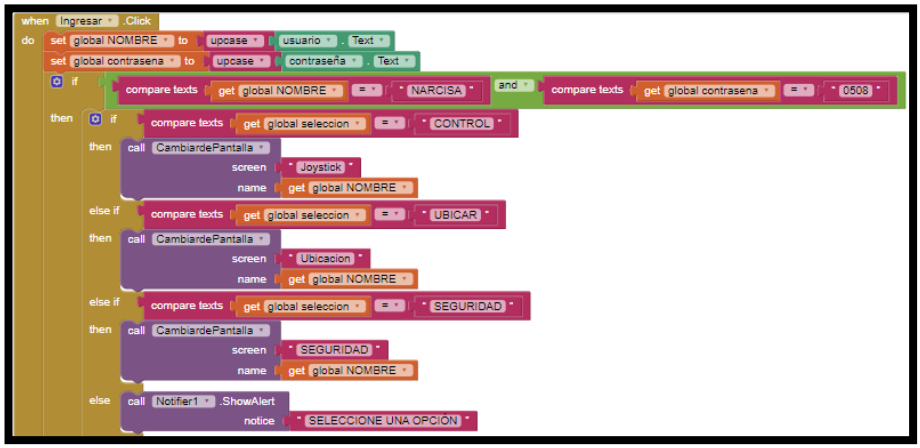

Figura 95: Pantalla de programación para inicio de sesión. Fuente: Los Autores

En el caso de no ingresar correctamente el usuario o contraseña, la aplicación le mostrará una notificación de error.

Figura 96: Notificación de error por usuarios o contraseña incorrectos. Fuente: Los Autores.

La aplicación evaluará la opción que se eligió para abrir una nueva pantalla con la información del usuario. También mostrará un mensaje si no se elige la pantalla a la que desea ingresar.

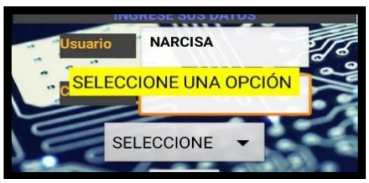

Figura 97: Notificación de error por no elegir una pantalla de ingreso . Fuente: Los Autores.

3.11. Pantalla de control

La pantalla de control permitirá conectarse remotamente a la silla a través de bluetooth y controlar la dirección y velocidad con la ayuda de un joystick y un slider de regulación de velocidad.

Figura 98: Pantalla de control de la aplicación. Fuente: Los Autores

Al seleccionar el botón **BLUETOOTH**, se desplegará una lista de los bluetooth emparejados previamente al dispositivo y se podrá seleccionar a cuál desea conectarse.

Figura 99: Botón Bluetooth de la aplicación. Fuente: Los Autores.

El botón **DESCONECTAR** terminará la comunicación con el dispositivo bluetooth que se encuentre conectado previamente.

Figura 100: Botón desconectar de la aplicación. Fuente: Los Autores.

El Joystick fue creado a partir de un CANVAS, un panel rectangular sensible al tacto donde se puede dibujar, trazar líneas, puntos, etc. Dentro de él, se colocaron dos círculos, el primero es un circulo para definir los límites del joystick y el segundo, es un circulo más pequeño encargado de determinar la posición del dedo del usuario, siguiendo sus movimientos dentro del círculo limitante. Estos círculos fueron realizados mediante la herramienta **BALL** o en español pelota, esta es una imagen que se mueve dentro del **canvas** o lienzo.

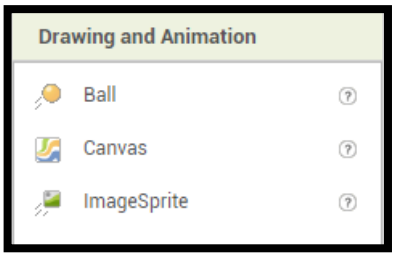

Figura 101: Elementos de la paleta de animación y dibujo. Fuente: Los Autores.

Mediante el Evento Dragged del BALL pequeño, se obtienen pares ordenados (X, Y), los cuales indican la posición exacta del dedo del usuario al momento de navegar en el lienzo limitado por el joystick. Cuando se mueva el joystick dentro del circulo parametrizado, la aplicación obtendrá la posición real del mismo, estos valores serán del 0 al 200 pero se escalaron matemáticamente para enviar por bluetooth los datos útiles al controlador.

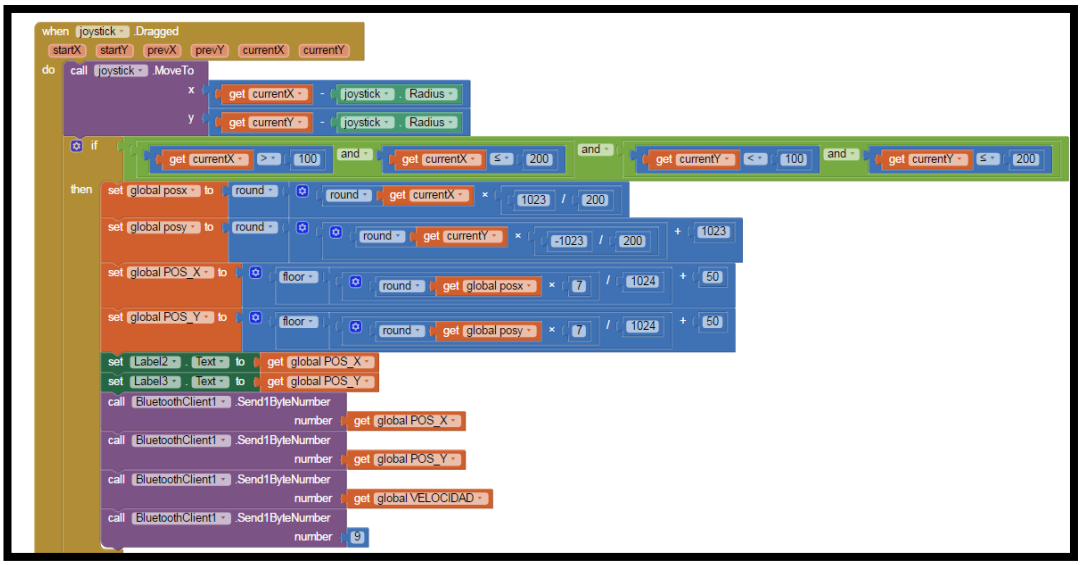

Figura 102: Bloque para escalamiento de datos del Joystick. Fuente: Los Autores.

Para establecer la velocidad de la silla de ruedas se utilizó un slider que proporciona valores de 0 al 100 pero se escala matemáticamente para obtener los niveles de velocidad de 1 a 5, útiles para el controlador. Para esto se utiliza el evento ***PositionChanged*** o posición cambiada, la velocidad inicial con la que comienza la aplicación es 3, hasta que se realice algún cambio.

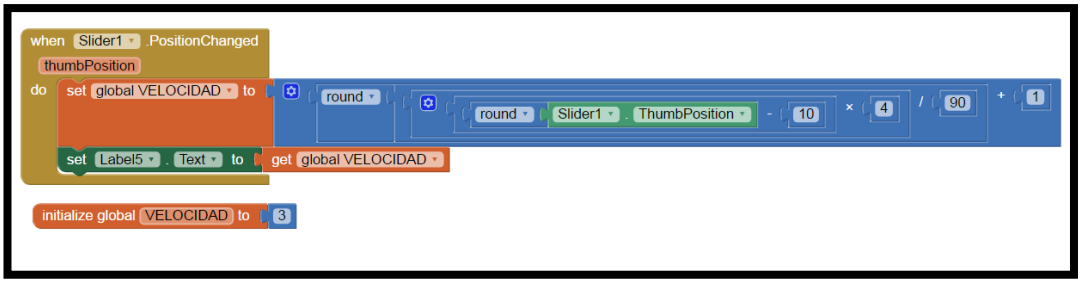

Figura 103: Bloque de escalamiento de datos para el slider. Fuente: Los Autores.

3.12. Pantalla ubicar

En esta pantalla se podrá solicitar la ubicación de la silla, al seleccionar el botón "UBICAR", se envía un mensaje de texto al número del módulo SIM808 de la silla de ruedas y, cuando recibe el mensaje de respuesta se abre automáticamente el link con la información solicitada.

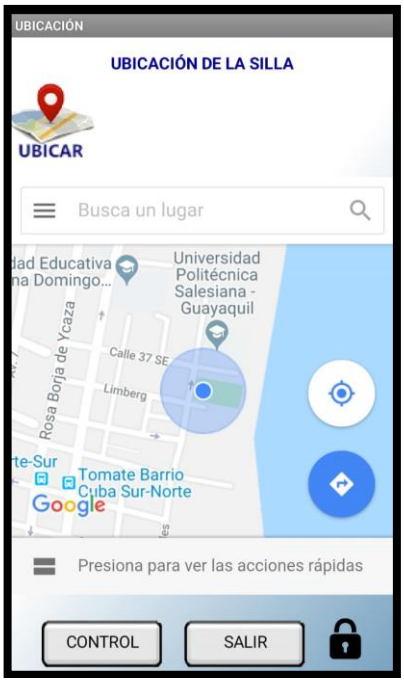

Figura 104: Pantalla de ubicación de la aplicación. Fuente: Los Autores.

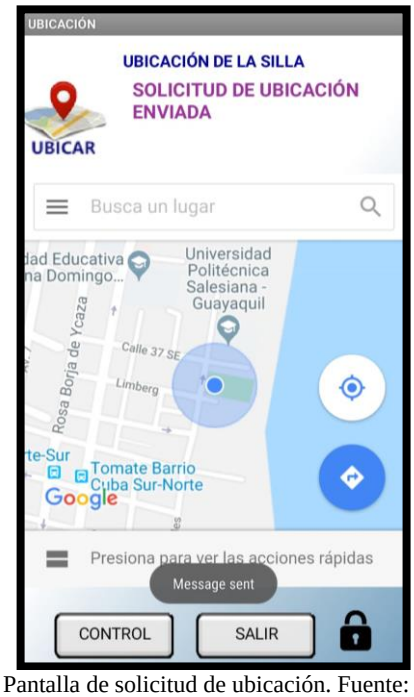

Figura 105: Pantalla de solicitud de ubicación. Fuente: Los Autores.

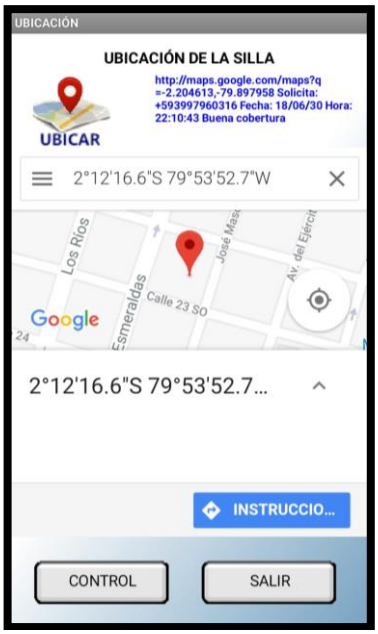

Figura 106: Recepción de ubicación de la silla de ruedas. Fuente: Los Autores.

Se condicionó la lectura de mensajes de texto, solo para los mensajes provenientes del número correspondiente al módulo SIM808, de esta manera se podrá leer el url en el formato predeterminado y en caso de recibir un SMS de cualquier otro número, no será tomado en cuenta por la aplicación.

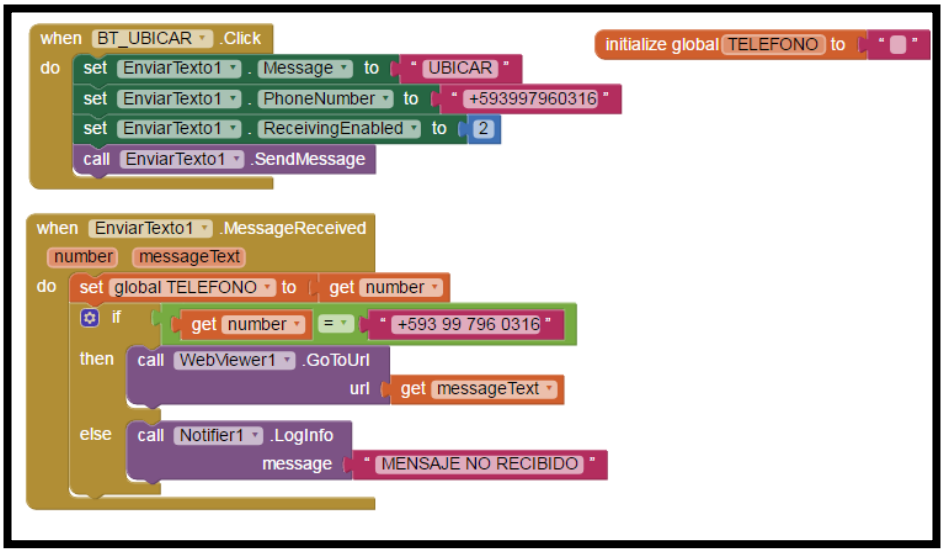

Figura 107: Bloque para condicionar el destinatario de los SMS . Fuente: los Autores.

3.13. Pantalla de seguridad

En esta pantalla se realizan los diferentes bloqueos de seguridad de la silla de ruedas permitidos para cada usuario, que se detallan a continuación:

- **Bloquear silla:** Inhabilita todas las funciones de la silla de ruedas, incluyendo mesa automática y, realiza un reporte constante de ubicación cada dos minutos.

- **Bloqueo parental:** Inhabilita el mando local de la silla, solo se podrá controlar remotamente mediante la aplicación del tutor.
- **Bloquear Controles:** Inhabilita todas las funciones de la silla de ruedas a excepción del botón de pánico y el sistema de ubicación.
- **Desbloqueo:** Desbloquea la silla y devuelve sus funciones a la normalidad independientemente de que tipo de bloqueo se encuentre activo.

En el caso del tutor del usuario, se tendrá un acceso completo a los bloqueos de seguridad, mientras que al usuario se le proporcionó solo el bloqueo de silla, en casos de emergencia o robo.

Figura 108: Pantalla de seguridad del usuario. Fuente: Los Autores.

Figura 109: Pantalla de seguridad del tutor. Fuente: Los Autores.

3.14. Pantalla de información

Esta pantalla proporciona la información del proyecto, autores, tutor y un botón que direcciona a la página de la Universidad Politécnica Salesiana.

Figura 110: Pantalla de información del proyecto. Fuente: Los Autores.

Figura 111: Botón de sitio web de la Universidad Politécnica Salesiana. Fuente: Los Autores.

Figura 112: Pantalla de la página web de la Universidad Politécnica Salesiana. Fuente: Los Autores.

4. RESULTADOS

Una vez implementado el proyecto se realizaron las pruebas de funcionamiento de la silla, donde, se realizaron mejoras, tales como, regulación de niveles de velocidad, suavidad de movimientos, mejoras en respuestas de frenado reduciendo tiempos y movimientos bruscos, entre otros.

La característica más importante de todo vehículo sin importar el tipo de energía que utilice, es la autonomía y rendimiento, por lo cual, se inició con las pruebas de consumo de energía eléctrica teniendo en cuenta diferentes cargas.

4.1. Consumo de energía

Para las pruebas de consumo de corriente eléctrica se separó en dos partes para su mejor entendimiento. El circuito de control y el circuito de fuerza, ambos se analizaron por separado y se unificaron para hallar la autonomía de la silla de ruedas, así mismo, el consumo del circuito de fuerza dependerá del peso del usuario, por ello, se recopilaron datos de los consumos con diferentes pesos de individuos.

4.2. Consumo de corriente de circuito de control.

El circuito de control representa un consumo latente, ya que siempre estará presente mientras se encuentre encendido el interruptor master de la silla de ruedas eléctrica, independientemente de si la silla se encuentre en movimiento o no.

Con la ayuda de un amperímetro se registraron dos valores, el consumo de la silla de ruedas eléctrica con el control local encendido es mayor, ya que implica la energización de los frenos electromagnéticos para liberarlos y los motores puedan girar acorde a los movimientos comandados por el usuario.

Tabla 27: Tabla de consumo de corriente de circuito de control. Fuente: Los Autores.

Componente	Corriente (A)
Interruptor Master encendido, Control local apagado	0.3
Interruptor Master encendido, Control local encendido	0.6

Figura 113: Medición de corriente consumida por el circuito de control. Fuente: Los autores.

4.3. Consumo de corriente de circuito de fuerza

Como se mencionó al inicio de este apartado, las pruebas de consumo de corriente del circuito de fuerza se realizaron con varios tipos de cargas.

Teniendo en cuenta que la silla de ruedas tiene un peso aproximado de 110 libras, juega un papel muy importante a la hora de consumo de energía, por lo cual, se analiza a partir de este punto.

Se realizaron las pruebas con 3 personas de distintas edades y contexturas, Robert Hidalgo, beneficiario, (edad: 17 años, peso: 100.8 libras, estatura: 1.42m); Melanie Olivo (edad: 23 años, peso: 162.1 libras y estatura: 1.63m), Eudoxia Díaz (edad: 65 años, peso: 197.6 libras, estatura. 1.52m).

Otro de los componentes que influye en el consumo de energía, es el terreno, la siguiente tabla detalla el consumo de corriente de las pruebas que se realizaron con los individuos antes mencionados y sobre un terreno de cemento con 0° de inclinación.

Figura 114: Melanie y Robert durante la prueba y medición de consumo sobre terreno con inclinación de 0°. Fuente: Los Autores.

Tabla 28: Consumos de corriente en cada nivel de velocidad sobre un terreno plano de cemento. Fuente: Los Autores.

Individuo	Inclinación	Peso o carga (lb)			Nivel Joystick	Consumo de corriente (A)				
		Silla (lb)	Individuo (lb)	Total (lb)		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	0°	110	100,8	210,8	L	2,3	2,2	2,7	2,8	3
					M	2,6	3,1	3,5	6,3	6,6
					H	3,5	5	6,2	9,5	10,5
Melanie	0°	110	162,1	272,1	L	2,5	2,7	2,8	3,1	3,5
					M	3,4	4,2	4,6	7,5	8,4
					H	4,4	5,4	6,5	12,1	13,2
Eudoxia	0°	110	197,6	307,6	L	2,6	2,8	3,5	3,7	3,9
					M	3,4	4,2	6,4	8,5	8,7
					H	4,7	6,1	10,5	15,6	16,3

Es importante considerar el consumo de corriente latente generado por el circuito de control, es decir, el consumo total de la silla de ruedas eléctrica es cada valor medido en la tabla anterior más 0,6 Amperios.

A continuación, se presenta una tabla donde se calculan los promedios de consumo de corriente en cada velocidad para cada individuo. Bajo el criterio de los autores de este trabajo se considera que los niveles de velocidad manejados por el joystick Low (L), Medium(M) y High(H), utilizados por el usuario representen un 20%, 30% y 50% del promedio respectivamente. Los valores detallados incluyen el consumo del circuito de control.

Tabla 29: Promedio de Consumos corriente por niveles de velocidad sobre terreno de 0° de inclincación. Fuente: Los Autores.

Individuo	Inclinación	Peso o carga total (lb)	Nivel Joystick	% Equivalente a consumo	Consumo de corriente Promedio (A)				
					Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	0°	210,8	L	20%	3,59	4,47	5,29	7,8	8,43
			M	30%					
			H	50%					
Melanie	0°	272,1	L	20%	4,32	5,1	5,79	9,52	10,42
			M	30%					
			H	50%					
Eudoxia	0°	307,6	L	20%	4,49	5,47	8,47	11,69	12,14
			M	30%					
			H	50%					

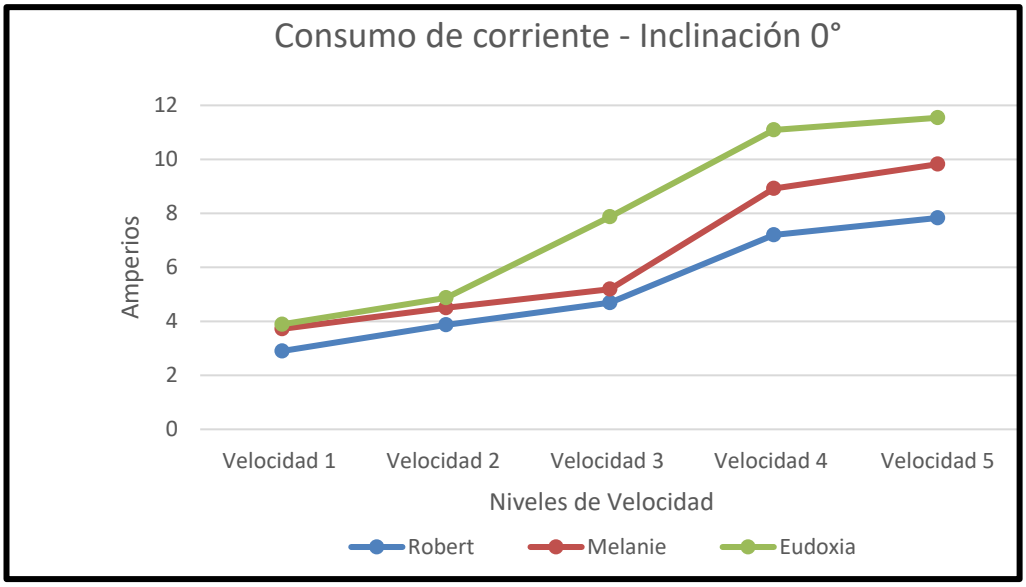

Figura 115:Consumo de corriente en cada velocidad sobre terreno con inclinación 0°. Fuente: Los Autores.

En la tabla se puede observar la diferencia de consumos de corriente para cada velocidad, a mayor velocidad, mayor consumo, y, así mismo, lo influyente que puede ser el peso de cada individuo, a mayor peso, mayor consumo.

Se aumentó el grado de dificultad y se realizaron las mismas pruebas sobre una rampa de cemento con inclinación de 35 grados aproximadamente.

Tabla 30: Consumos de corriente en cada nivel de velocidad sobre terreno con 35° de inclinación. Fuente: Los Autores.

Individuo	Inclinación	Peso o carga (lb)			Nivel Joystick	Consumo de corriente (A)				
		Silla (lb)	Individuo (lb)	Total (lb)		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	35°	110	100,8	210,8	L	4,1	4,2	5,2	5,3	6,1
					M	5,6	6,6	7,6	10,3	13,8
					H	7,3	9,5	12,1	20,5	21,4
Melanie	35°	110	162,1	272,1	L	4,1	5,1	5,1	6	7,4
					M	6,3	7,3	8,8	11,2	14,3
					H	8,2	11,6	13,5	18,5	22,1
Eudoxia	35°	110	197,6	307,6	L	4,1	5,2	5,2	7,1	7,4
					M	6,8	7,7	9,2	12,3	17,6
					H	9,7	11,8	13,9	21,7	28,5

Como se puede apreciar en la tabla 30, los valores obtenidos de consumos de corriente sobre un terreno con 35° de inclinación, son mucho mayores a los obtenidos en la tabla 28, valores obtenidos sobre un terreno con 0° de inclinación.

A continuación, se presenta una tabla donde se calculan los promedios de consumo de corriente de cada velocidad para cada individuo sobre un terreno de 35° de inclinación. Bajo el criterio de los autores de este trabajo se considera que los niveles de velocidad manejados por el joystick Low (L), Medium(M) y High(H), utilizados por el usuario para subir una rampa, representen un 30%, 45% y 25% del promedio respectivamente.

Tabla 31: Promedio de Consumos de corriente por niveles de velocidad sobre terreno con 35° de inclinación. Fuente: Los Autores.

Individuo	Inclinación	Peso o carga total (lb)	Nivel Joystick	% Equivalente a uso	Consumo de corriente Promedio (A)				
					Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	35°	210,8	L	30%	6,18	7,21	8,61	11,95	13,99
			M	45%					
			H	25%					
Melanie	35°	272,1	L	30%	6,72	8,32	9,47	12,07	14,78
			M	45%					
			H	25%					
Eudoxia	35°	307,6	L	30%	7,32	8,58	9,78	13,69	17,87
			M	45%					
			H	25%					

Nota: Los valores detallados incluyen el consumo generado por el circuito de control.

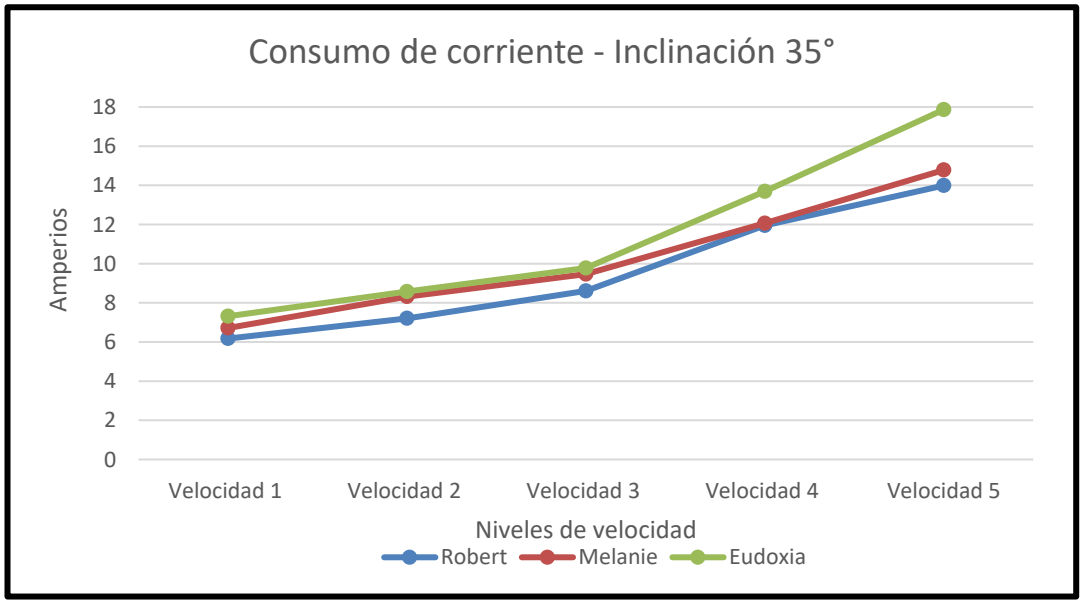

Figura 116:Consumo de corriente en cada nivel velocidad sobre terreno con inclinación 35°. Fuente: Los Autores.

4.4. Autonomía

Se tiene varios puntos de vista para medir la autonomía de un vehículo eléctrico, en este caso para la silla de ruedas, se partió de las mediciones de consumo de corriente eléctrica sobre un terreno plano con inclinación de 0° y otro con 35°. Los autores de este trabajo, buscaron realizar un análisis lo más real posible en base al consumo medido con tres personas de diferentes pesos y tomando en cuenta que la silla de ruedas se encuentre en operación todo el tiempo.

Las sillas de ruedas eléctricas comerciales cuentan con baterías entre 23Ah a 27Ah, para el desarrollo de este proyecto se seleccionaron baterías de 34Ah tomando en cuenta el consumo que generaran los componentes extras (GPS, mesa automática, entre otros.) e incrementar la autonomía en comparación a las sillas de ruedas comerciales.

Se calculó la autonomía de la silla de ruedas, dividiendo la capacidad de las baterías utilizadas (Ah) para el consumo total medido en las tablas 28 y 30 (A) asumiendo que es constante durante 1 hora.

Tabla 32: Autonomía de la silla de ruedas por niveles de velocidad sobre terreno con 0° y 35° de inclinación. Fuente: Los Autores.

Individuo	Peso o carga (lb)	Autonomía (Horas) Inclinación 0°					Autonomía (Horas) Inclinación 35°				
		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5	Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	210,8	9,47	7,61	6,43	4,36	4,03	5,51	4,72	3,95	2,85	2,43
Melanie	272,1	7,87	6,67	5,87	3,57	3,26	5,06	4,09	3,59	2,82	2,30
Eudoxia	307,6	7,57	6,22	4,01	2,91	2,80	4,65	3,97	3,48	2,48	1,90

Se puede observar que la autonomía de la silla de ruedas es diferente para cada inclinación, como era de esperarse, el consumo de corriente sobre un terreno con inclinación de 35° es mucho mayor, por ende, la autonomía de la silla reduce notablemente.

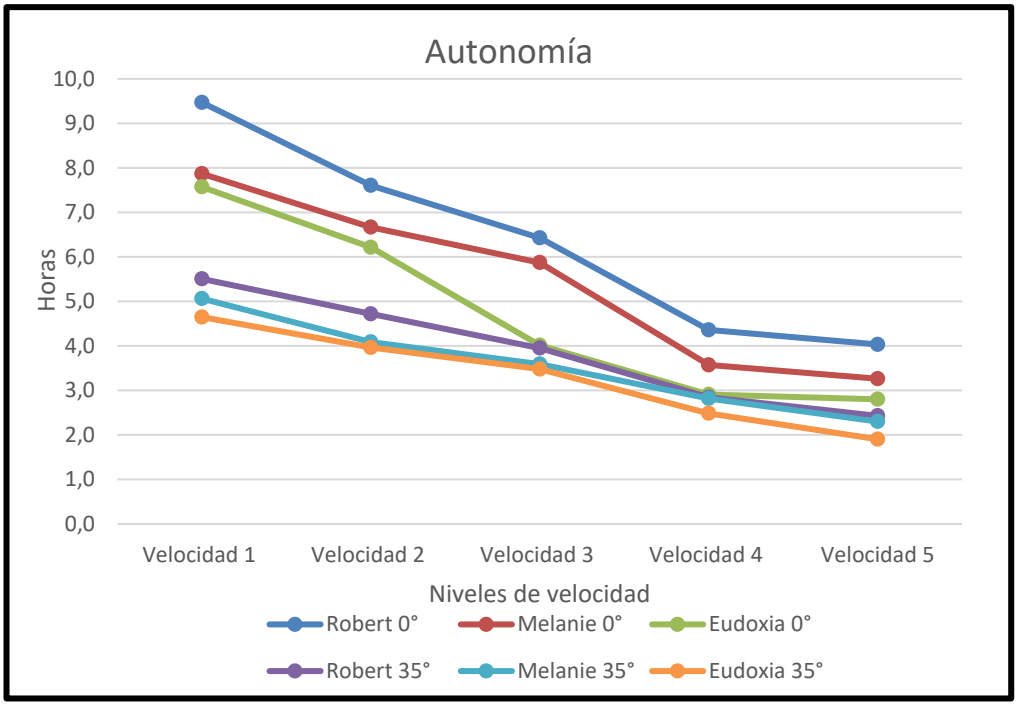

Figura 117:Autonomía de la silla de rueda para cada velocidad sobre terreno con inclinación de 0° y 35°. Fuente: Los Autores.

Tomando en cuenta los datos obtenidos de consumo de corriente y autonomía en horas de la silla de ruedas en la velocidad 5, 100% de la capacidad de los motores, se pudo obtener el rendimiento en kilómetros basándose en que la silla alcanza una velocidad máxima de 8 Km/h. Cabe recalcar que este cálculo se realiza considerando condiciones óptimas, donde se mantiene la velocidad estable y no existen pérdidas o variaciones, por lo cual, se recomienda reducir los valores obtenidos al menos un 10%.

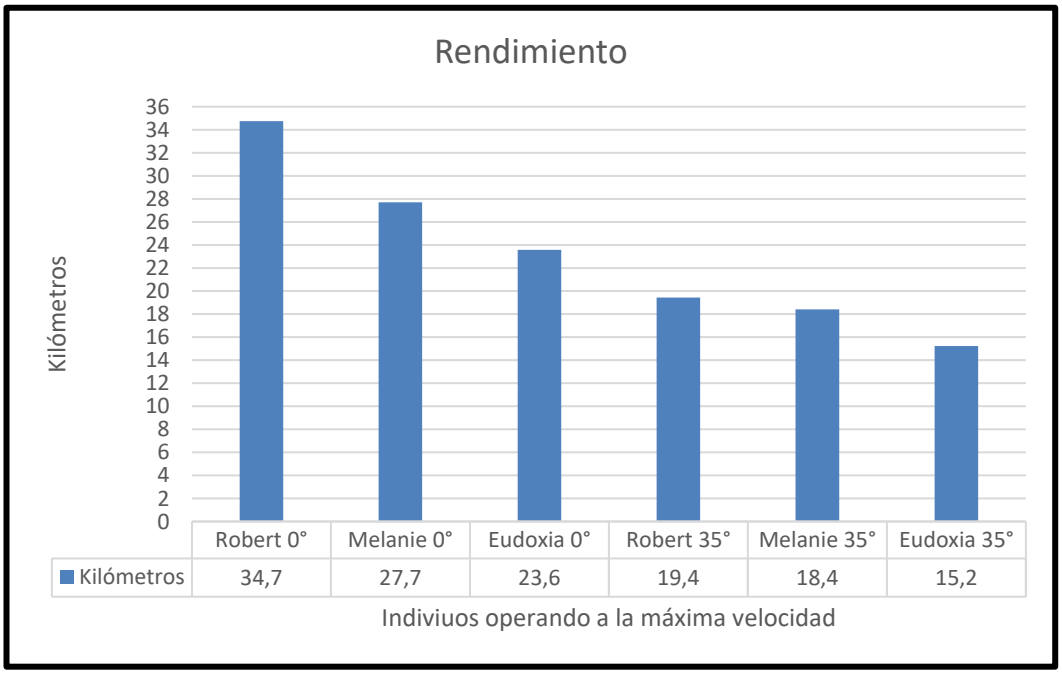

Figura 118:Autonomía de la silla de ruedas al 100% de la velocidad sobre terrenos con inclinación de 0° y 35°. Fuente: Los Autores.

Pero, a decir verdad, en la vida real, el consumo de la silla de ruedas eléctrica es relativo al uso que se le dé, y el terreno por el cual se maneja, este puede variar entre aceras, calles y rampas de acceso a edificios o de pasos peatonales, por lo tanto, bajo el criterio de los autores de este trabajo, se combinarán los consumos de ambas inclinaciones correspondiendo al 70% del consumo sobre terreno plano y el 30% restante, al consumo sobre un terreno con inclinación de 35°, obteniendo los valores detallados en la siguiente tabla.

Tabla 33: Consumo combinado de corriente promedio, considerando un 70% del uso en terreno plano y un 30% sobre un terreno con 35° de Inclinación. Fuente: Los Autores

Individuo	Peso o carga total (lb)	Consumo combinado de corriente Promedio (A) 70% con 0° - 30% con 35° de Inclinación				
		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	195,8	4,37	5,29	6,28	9,05	10,10
Melanie	272,1	5,04	6,06	6,89	10,28	11,73
Eudoxia	307,6	5,34	6,40	8,86	12,29	13,86

Bajo el mismo criterio anteriormente planteado, el uso de la silla de ruedas no es continuo, durante una hora, por lo cual se plantean varias hipótesis con diferentes tiempos de uso en el intervalo de medición, 1 hora.

Tabla 34: Autonomía de la silla de ruedas con 30% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores

Individuo	Peso o carga Total (lb)	Autonomía (Horas) 30% operatividad x hora - 18 minutos				
		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	195,8	25,96	21,42	18,03	12,53	11,22
Melanie	272,1	22,49	18,69	16,44	11,02	9,66
Eudoxia	307,6	21,23	17,70	12,79	9,22	8,18

Tabla 35:Autonomía de la silla de ruedas con 50% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores

Individuo	Peso o carga Total (lb)	Autonomía (Horas) 50% operatividad x hora - 30 minutos				
		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	195,8	15,58	12,85	10,82	7,52	6,73
Melanie	272,1	13,50	11,21	9,87	6,61	5,80
Eudoxia	307,6	12,74	10,62	7,67	5,53	4,91

Tabla 36: Autonomía de la silla de ruedas con 70% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores

Individuo	Peso o carga Total (lb)	Autonomía (Horas) 70% operatividad x hora - 42 minutos				
		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	195,8	11,13	9,18	7,73	5,37	4,81
Melanie	272,1	9,64	8,01	7,05	4,72	4,14
Eudoxia	307,6	9,10	7,59	5,48	3,95	3,51

Tabla 37:Autonomía de la silla de ruedas con 100% de operatividad por hora. Fuente: Los Autores

Individuo	Peso o carga Total (lb)	Autonomía (Horas) 100% operatividad x hora - 60 minutos				
		Velocidad 1	Velocidad 2	Velocidad 3	Velocidad 4	Velocidad 5
Robert	195,8	7,79	6,43	5,41	3,76	3,37
Melanie	272,1	6,75	5,61	4,93	3,31	2,90
Eudoxia	307,6	6,37	5,31	3,84	2,77	2,45

Para cada una de las hipótesis planteadas, se pudo constatar que la autonomía incrementa considerablemente a medida que disminuye el porcentaje de operatividad en el intervalo de muestreo (1 hora), por lo tanto, la autonomía de la silla de ruedas dependerá del tiempo de uso, velocidad y terreno por el cual se maneje.

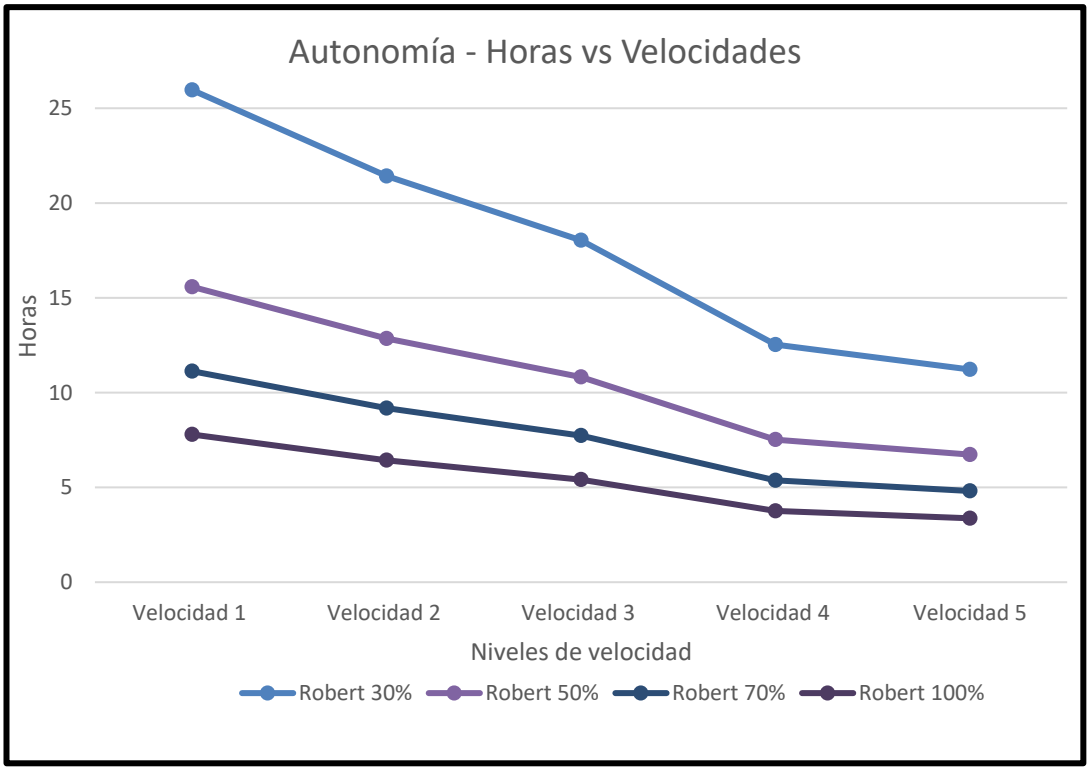

Figura 119:Autonomía de la silla de ruedas con 30% , 50% , 70% y 100% de operatividad por hora, cuando es operada por Robert, beneficiario del proyecto Fuente: Los Autores

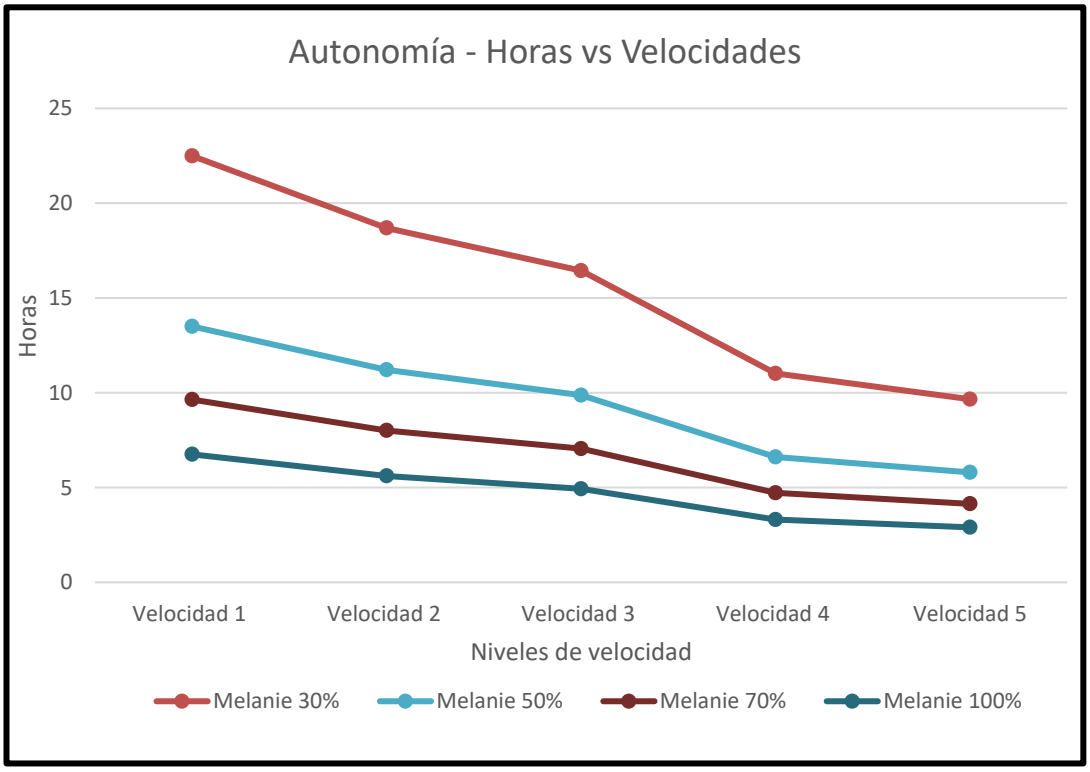

Figura 120:Autonomía de la silla de ruedas con 30% , 50% , 70% y 100% de operatividad por hora, cuando es operada por Melanie. Fuente: Los Autores

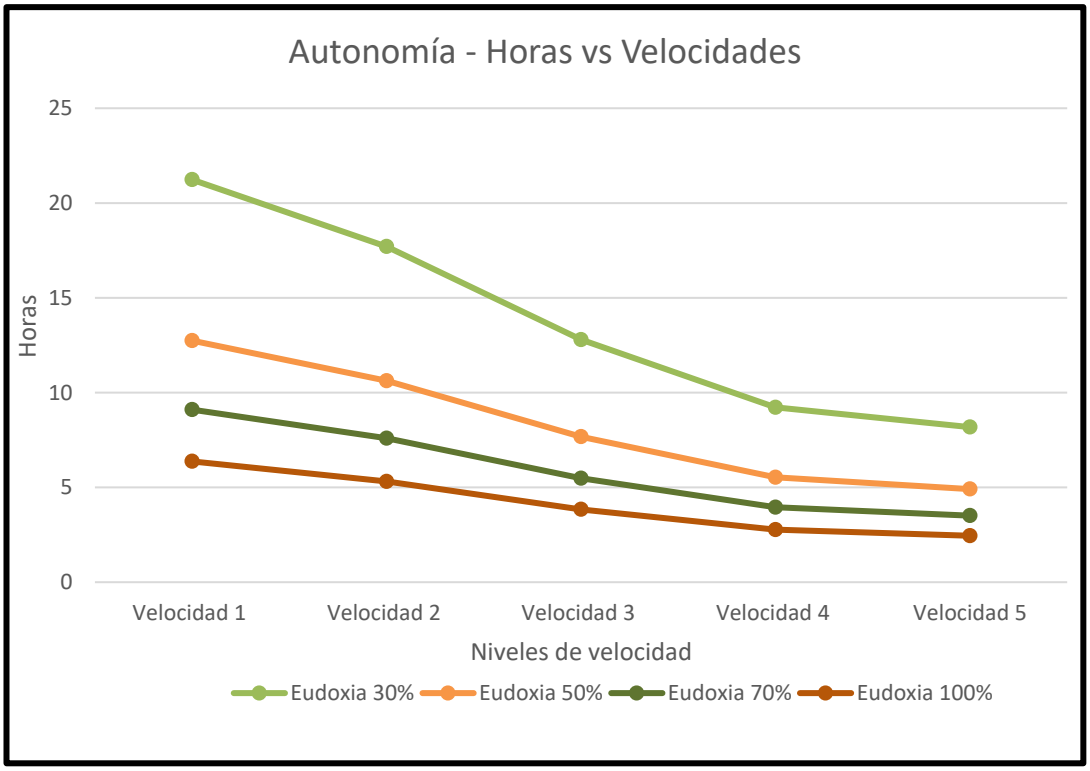

Figura 121:Autonomía de la silla de ruedas con 30% , 50% , 70% y 100% de operatividad por hora, cuando es operada por Eudoxia. Fuente: Los Autores

Tomando en cuenta los valores calculados con el 100% de operatividad de la silla de ruedas en uso combinado, se calcula el rendimiento considerando condiciones óptimas, donde se mantiene la velocidad estable y no existen pérdidas o variaciones, por lo cual, se recomienda reducir los valores obtenidos al menos un 10%.

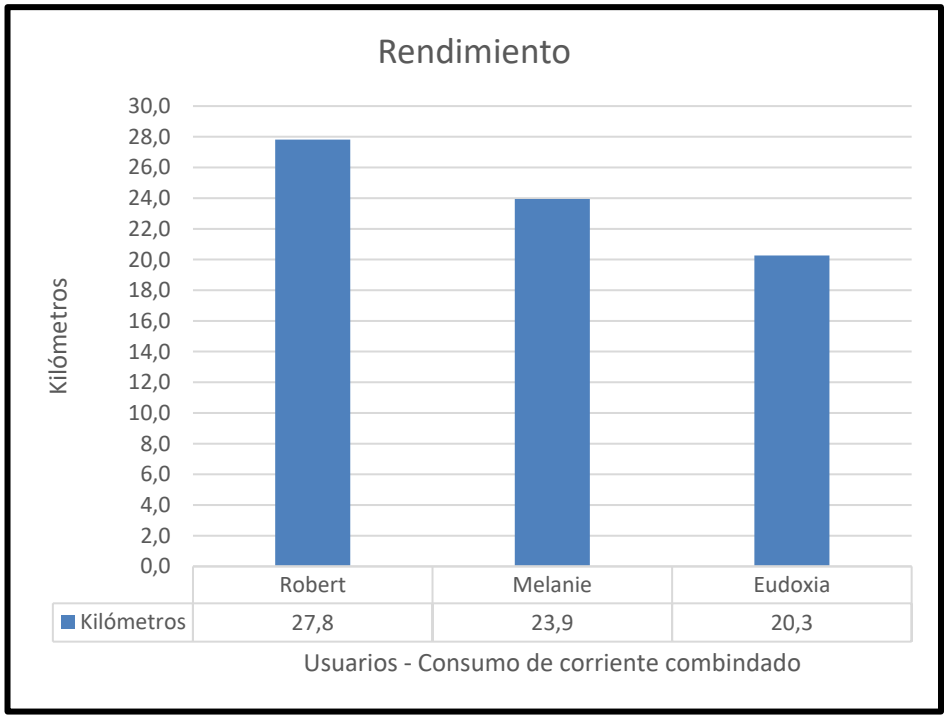

Figura 122:Rendimiento al 100% de operatividad en uso combinado. Fuente: Los Autores.

4.5. Posición Geográfica

La silla de ruedas cuenta con un módulo SIM808 GSM/GPS, el mismo que cuenta con un chip de telefonía. El controlador está programado para leer mensajes de texto con los requerimientos que serán enviados por la aplicación, procesarlos se valida la información y de ser el caso, solicitará las coordenadas de posición geográfica al módulo para luego enviarlas mediante mensaje de texto al número predefinido como tutor.

Las pruebas de consumo de energía y ubicación se realizaron dentro y fuera de las instalaciones del Parque Forestal, limitado por las calles, Av. Quito, Venezuela, Guaranda y El Oro, donde se accedió a la aplicación en la opción de Ubicación y solicitó la respectiva posición geográfica de la silla.

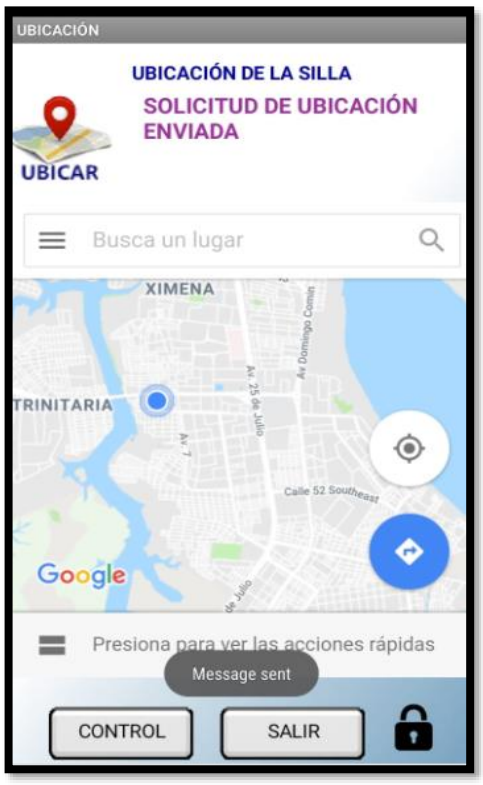

Figura 123: Solicitud de ubicación de la silla de ruedas. Fuente: Los Autores.

El algoritmo de programación utilizado está diseñado para que cada cierto intervalo de tiempo se realicen las tareas de verificación de mensajes nuevos, el procesamiento de los mismos y la respuesta de las solicitudes, por lo cual, el intervalo predefinido que se utilizó es 2 minutos, esto implica que la respuesta de la ubicación de la silla de ruedas estará dentro de este rango, a menos que, la silla se encuentre en movimiento y se procesará cuando esté totalmente detenida, otra posibilidad, es que la silla no se encuentre dentro de cobertura GPS, pero, de ser el caso, la solicitud seguirá procesándose hasta que se encuentre dentro de cobertura y pueda responder con la posición geográfica de la misma.

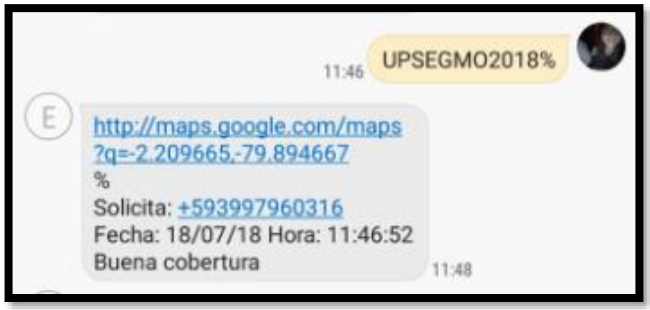

Figura 124: Respuesta de ubicación dentro del rango de dos minutos. Fuente: Los autores.

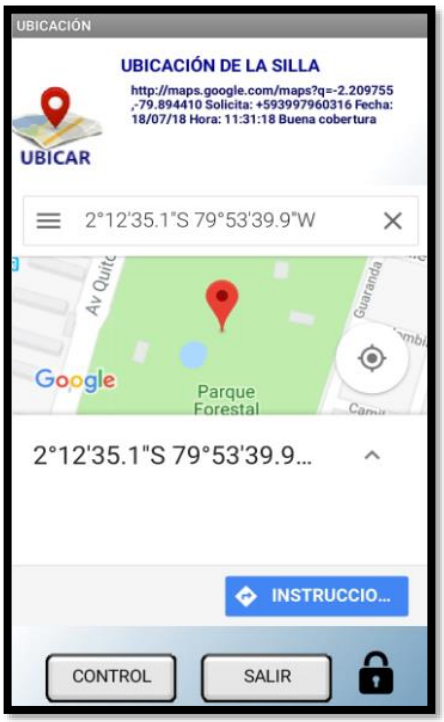

Figura 125: Visualización de posición geográfica de la silla de ruedas, después de enviada la solicitud. Fuente: Los autores.

El botón de pánico cumple con la función de enviar un mensaje de texto solicitando ayuda y con las coordenadas de ubicación. Esta tarea debe realizarse en un estado totalmente detenido y con los controles en posición de reposo, esto debido a que se requieren tiempos de ejecución para el envío de mensajes de texto y por seguridad no se realiza en movimiento.

Figura 126: Mensaje de texto enviado por la silla de ruedas luego de presionar el botón de pánico.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto es viable debido a que cumple con todas las características de una silla de ruedas comercial, además, cuenta con una serie de extras, tales como, control remoto, GPS, mesa automática y bloqueos de seguridad que cuentan como valor agregado.

Debido a que el proyecto es diseñado para un usuario en específico, se ajustó la operación y movimientos de la silla acorde a las capacidades del mismo, ya que se trata de una persona con discapacidad motriz e intelectual. Se logró comprobar la eficiencia del proyecto para resolver la problemática planteada en el Capítulo I, tanto de movilidad como seguridad para el usuario y su familia.

La silla de ruedas cuenta con un modem GPS/GSM, y, para realizar ciertas tareas como leer mensajes de texto, procesar su contenido, solicitar ubicación global y enviarla a través de mensajes de texto, se requiere cierto tiempo de ejecución, por lo cual, significa que la silla no estará disponible para realizar movimientos durante ese tiempo, por ello, se condicionó cada una de estas opciones para realizarse de manera segura, durante un estado totalmente detenido, evitando contratiempos en el caso de que esté en movimiento; en algunas ocasiones esto puede llegar a ser molestoso para el usuario, pero, esta limitante del proyecto se debe a que se trata de un controlador y solo puede realizar una tarea a la vez, por lo cual se buscó realizar estas tareas cada cierto intervalo de tiempo, reduciendo lo máximo posible las molestias.

Se utilizaron 2 baterías de 12V 34Ah para satisfacer la demanda de energía que requiere la silla para mantener una autonomía de 5,41 horas de duración en velocidad 3 (media) con uso combinado, manteniéndola operativa el 100% del tiempo mencionado. Pero, en la vida cotidiana, basándonos en las diferentes pruebas realizadas, donde, el promedio de uso de la silla es de 18 minutos a 30 minutos por cada hora, por lo tanto, su autonomía se extiende entre 18 a 10 horas respectivamente, siendo capaz de recorrer con el usuario, Robert, una distancia aproximada de 25 Kilómetros con una sola carga.

Cabe recalcar, que los factores como el terreno, inclinación, velocidad y peso del usuario influyen considerablemente en el consumo de corriente eléctrica, por lo tanto, su autonomía y rendimiento se ven directamente afectados.

La capacidad de los motores satisface en su totalidad la demanda del peso del usuario más el peso neto de la silla. En las pruebas realizadas se incluyeron cargas hasta de 307 libras que fueron manejadas sin inconvenientes.

6. RECOMENDACIONES

- Para aplicaciones donde se requiere precisión en movimientos es recomendable utilizar joysticks de efecto Hall, debido a su tecnología ofrecen una gran precisión y eficiencia, son poco susceptibles a sufrir des-calibraciones y carecen de desgaste debido a que no existe contacto.
- La alimentación de las tarjetas de desarrollo, como Arduino, debe ser de un voltaje mayor al que proporciona la misma (5v), ya que, al ser de menor nivel, el voltaje de referencia interno de la tarjeta disminuye, y, en este caso, ocasionaba inconvenientes con lectura de valores errados de los canales analógicos.
- Es recomendable utilizar convertidores Buck para la alimentación de circuitos que demanden voltajes específicos y corrientes superiores a 1 Amperio.
- Los componentes electrónicos se deben tratar con mucho cuidado, tener las precauciones pertinentes para el manejo de tecnología sensible a la estática, como utilización de manillas anti-estáticas y aseo del área de trabajo, es posible que partículas de polvo se acumulen sobre los componentes y causen cortocircuitos que podrían afectar gravemente los componentes de la tarjeta electrónica.
- En transmisión y recepción de datos vía inalámbrica, Bluetooth, se sufre de perdida de datos, o en su defecto al ser varios, se reciben en desorden, y, es necesario tomar todas las medidas correctivas en la programación para una correcta lectura de los mismos.
- Utilizar todas las seguridades posibles vía software para el control de los motores de la silla de ruedas, ya que se pueden presentar inconvenientes, como desconexión de controles y/o dispositivos en general que pueden ocasionar una variación abrupta en la lectura de sensores, causando un descontrol de la silla, pudiendo tener consecuencias graves que afecten la integridad del usuario de la misma.
- No descargar las baterías en su totalidad, a pesar de que el controlador cuenta con las seguridades para ello, es recomendable monitorear el nivel de voltaje de las baterías y recargarlas cuando sea necesario, esto extenderá la vida útil de las mismas.
- Durante las pruebas realizadas se trabajó con una carga máxima de 307 libras, con un usuario de 198 libras, se recomienda no exceder el peso máximo recomendado para la silla de ruedas, 350 libras, ya que podría generar inconvenientes con la estructura.
- Capacitar al usuario sobre el correcto uso y funcionamiento de la silla de ruedas eléctrica para obtener el mayor provecho de la misma.

7. ANEXOS

7.1. Anexo #1: Fotografías

Figura 127: Manufactura de primeras PCB's, método del planchado y quemado por ácido. Fuente: Los Autores.

Figura 128: Prototipo inicial de PCB de control. Fuente: Los Autores.

Figura 129: Pruebas iniciales de movimiento y velocidad. Fuente. Los Autores.

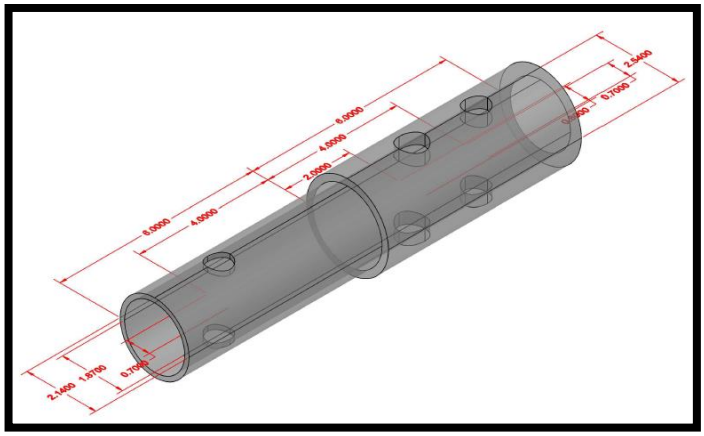

Figura 130: Diseño 3D de extensión de estructura de silla para colocación de bandeja. Fuente: Los Autores.

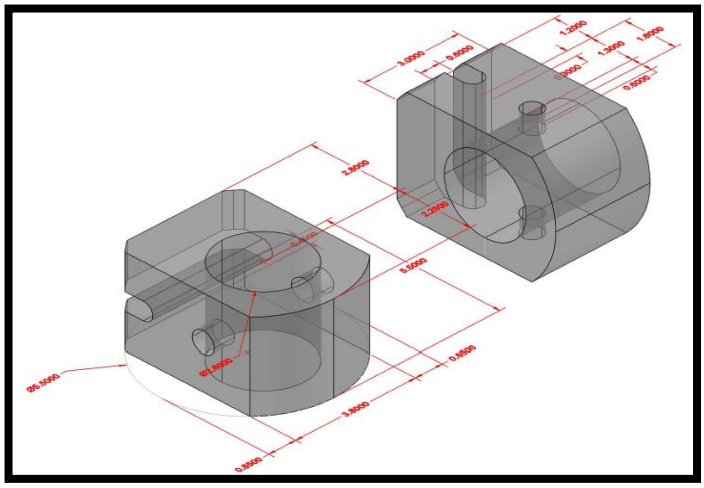

Figura 131: Diseño 3D de bases de soportes para bandeja. Fuente: Los Autores.

Figura 132: Montaje de extensión de estructura y colocación de motor. Fuente. Los Autores.

Figura 133: Montaje de soporte para colocación de bandeja. Fuente: Los Autores.

Figura 134: Construcción de estructura de la mesa automática. Fuente: Los Autores.

Figura 135: Estructura y mecanismo de mesa automática montado en la silla de ruedas. Fuente: Los Autores.

Figura 136: Vista Posterior de Silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores.

Figura 137: Vista Frontal de silla de ruedas eléctrica. Fuente: Los Autores.

Figura 138: Pruebas y medición de consumo de corriente con Robert, beneficiario.. Fuente. Los Autores.

Figura 139: Robert Hidalgo utilizando la mesa automática para escribir sobre un cuaderno. Fuente: Los autores.

Figura 140: Pruebas y medición de consumo con Melanie sobre terreno con inclinación de 0°. Fuente: Los Autores.

Figura 141: Pruebas y medición de consumo con Eudoxia sobre terreno con inclinación de 35°. Fuente: Los Autores

7.2. Anexo #2: Diagrama eléctrico del sistema de control de la silla de ruedas.

7.3. Anexo #3: Datasheet Batería CSB GP12340

7.4. Anexo #4: Datasheet APEM TS SERIES

7.5. Anexo #5: Programación

BIBLIOGRAFÍA Y LINCOGRAFÍA

Allegro MicroSystems LLC. (2014). *pololu.com.* Obtenido de https://www.pololu.com/file/0J450/A4988.pdf

APEM. (2017). *APEM*. (MANUFACTURER OF HUMAN MACHINE INTERFACE PRODUCTS) Recuperado el 27 de 02 de 2018, de TS SERIES: https://www.apem.com/int/ts-series-85.html?search_query=tsa&results=65

Arduino. (2000). *Arduino*. Recuperado el 19 de 02 de 2018, de https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560_R3-sch.pdf

ARDUINO. (2018). *ARDUINO*. Recuperado el 30 de 01 de 2017, de ARDUINO MEGA 2560: https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560

Arnalich, S., & Urruela, J. (2012). *GPS, Google Earth y Cooperaciòn.* Almería: Arnalich.

Bagad, V. S. (209). *Wireless Communication.* Pune: India.

Bluetooth SIG, Inc. (2018). *Bluetooth*. Obtenido de https://www.bluetooth.com/

CHAIRDEX. (s.f.). *CHAIRDEX*. Recuperado el 30 de 01 de 2017, de http://www.chairdex.com/stypes.htm

Coelectrix. (Marzo de 2017). *Batería AGM, que es y en que se diferencia | Coelectrix.com*. Obtenido de https://coelectrix.com/bateria-agm

Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2018). *Estadísticas | CONADIS*. Recuperado el 16 de DICIEMBRE de 2016, de http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html

Dimension Engineering LLC. (2004). *Dimension Engineering.* Recuperado el 19 de 02 de 2018, de https://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x25v2.pdf

Domínguez, E., & Ferrer, J. (2018). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo.* Madrid: EDITEX S.A.

El blog de la salud. (s.f.). *El blog de la salud*. Recuperado el 30 de Enero de 2017, de http://www.elblogdelasalud.es/definicion-tipos-de-discapacidades/

ELECTRONICLAB. (2014). *ELECTRONILAB.* Recuperado el 06 de 03 de 2018, de https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-05-serial-rs232/

El-Rabbany, A. (2002). *The Global Positioning System.* Boston: Artech House.

Engineering, D. (2004). *https://www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x25*. (Dimension Engineering LLC.) Retrieved 02 16, 2018, from https://www.dimensionengineering.com/

GOILAV, N. Y. (2016). *ARDUINO.* BARCELONA: ENI.

Hiper Shops. (2016). *TODOSAI*. Recuperado el 07 de 03 de 2018, de https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html

Hitachi Chemical Energy Technology Co. Ltd. (2016). *CSB BATTERY.* Recuperado el 28 de 02 de 2018, de http://www.csb-battery.com/upfiles/dow01518006058.pdf

Huzij, R., Spano, A., & Bennet, S. (2013). *Modern Diesel Technology Heavy Equipment Systems.* EEUU: Cengage Learning.

Lent, D. (2003). *Análisis y Proyecto de Mecanismos.* Sevilla: España.

Loureiro Varela, J. (Marzo de 2018). *staticboards*. Obtenido de https://www.staticboards.es/blog/motores-paso-paso/

Mandado, E., Menendez, L., Ferreira, L., & Lopez, E. (2007). *Microcontroladores Pic. Sistema integrado para el autoaprendizaje.* Barcelona: Marcombo, ediciones tecnicas S.A.

Massachusetts Institute of Technology. (8 de 11 de 2017). *MIT App Inventor*. Obtenido de http://appinventor.mit.edu/explore/blogs/karen/2017/08/about.html

PEI PEI SCOOTER. (2011). *PEI PEI SCOOTER*. Recuperado el 24 de 02 de 2018, de http://www.peipeiscooter.com/electric-wheelchair-gearbox-motor

Pololu Corporation. (2014). *Pololu.com*.

Prometec. (26 de 06 de 2018). (J. C. Macho, Editor) Obtenido de Prometec.net: https://www.prometec.net/sim808/

Prometec. (s.f.). *Tienda y Tutoriales Arduino*. Recuperado el 06 de 03 de 2018, de https://www.prometec.net/bt-hc05/

Rambaud, N. (2018). *3dmodularsystems.com*. Obtenido de http://3dmodularsystems.com/en/motors/271-nema-17-ks42sth40-stepper-motor-for-scalar-family-3d-printers.html

Roldán Viloria, J. (2014). *Motores de corriente continua.* Madrid: Paraninfo.

ROSELL, C. S.-C. (2010). *ALUMNADO CON DISCAPACIDAD MOTRIZ.* BARCELONA: GRAÓ.

Sauter, M. (2017). *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G*. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd.

Scarfone, K., Chen, L., & Smithbey, R. (2017). Guide to Bluetooth Security. *National Istitude of Standars and Technology*, 67. Recuperado el 13 de 02 de 2018, de https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-121r2.pdf

SERLI. (2017). *SERLI - Sociedad Ecuatoriana Pro Rehabilitacion de Lisiados*. Recuperado el 5 de febrero de 2017, de http://www.serli.org.ec/htm/escuela.html

SIMCom Wireless Solutions Co. (2015). *SIMcom*. Obtenido de http://simcomm2m.com/En/module/detail.aspx?id=137

SIMCom Wireless Solutions Co. (2015). *SIMCom.* Obtenido de http://simcomm2m.com/En/module/detail.aspx?id=137

Sociedad Renobat Ecoenergia S.L. (20 de Enero de 2014). *Renobat.eu*. Obtenido de http://www.renobat.eu/es/comunicacion/articulos/130-principales-tipos-de-baterias-en-el-mercado

Sunrise Medical. (2018). *Silla de ruedas eléctrica QUICKIE Jive R2 | Sunrise Medical*. Obtenido de https://www.sunrisemedical.es/sillas-de-ruedas/quickie/sillas-de-ruedas-electricas/jive-r2

Sunrise Medical. (2018). *Silla de ruedas eléctrica QUICKIE Salsa R2 | Sunrise Medical*. Obtenido de Sunrise Medical: https://www.sunrisemedical.es/sillas-de-ruedas/quickie/silla-de-ruedas-electrica-con-traccion-trasera-salsa-r2

Techmake Solutions S.A. (2017). *Techmake Electronics*. Obtenido de http://www.techmake.com/00530.html

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.* MEXICO: PEARSON EDUCACION, INC.