



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL DESPLAZAMIENTO DE UNA SILLA BIPEDESTADORA MEDIANTE CONTROL TÁCTIL EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA “BENDICIONES” DE LA CIUDAD DE AMBATO.

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

ÁREA: Electrónica y Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la Información y Sistemas de Control

AUTOR: Iván Leonardo Amaguaña Guamán

TUTOR: Ing. Santiago Mauricio Altamirano Melendez

AMBATO – ECUADOR

julio - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

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

Ambato, julio 2022

.....

Ing. Santiago Mauricio Altamirano Melendez

TUTOR

AUTORÍA

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

Ambato, julio 2022



.....
Iván Leonardo Amaguaña Guamán

C.I. 1804435897

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

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

Ambato, julio 2022

.....

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

.....

Ing. Marlon Santamaría, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

.....

Ing. Pamela Castro, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, julio 2022



.....
Iván Leonardo Amaguaña Guamán

C.I. 1804435897

AUTOR

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios ya que me ha permitido la vida, a mi madre, hermanos y amigos, cuyas palabras de aliento me apoyaron para llegar a este punto durante mis estudios.

También se la dedico a un ser de luz muy especial, mi padre que es mi mayor motivación para nunca rendirme ante la vida y la adversidad, sabiendo que desde cielo él se sentirá orgulloso de este logro.

Iván Leonardo Amaguaña Guamán

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, me gustaría agradecer a mis amigos y a todas que muy amablemente me extendieron la mano en el transcurso de la etapa de desarrollo, con su ayuda se pudo finalizar este proyecto.

Al Centro de Rehabilitación Física y Neurológica “Bendiciones” y a su Directora María Belén Camino, que me ha permitido de alguna manera mejorar la calidad de vida de Mateo que ha sido principal motivación.

Al estimado Ingeniero Santiago Altamirano que, bajo su tutoría formo parte de un funcional proyecto, el cual sé que no quedará en el olvido por el beneficiario.

A ti madre que, con tu paciencia y amor correspondido hacia mí, me has proporcionado todo lo que he necesitado en el transcurso de mi vida universitaria ya que fueron fundamentales para la culminación de mi tesis. “Dios le pague Mami”.

Iván Leonardo Amaguaña Guamán

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT.....	3
CAPÍTULO I	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Tema de investigación.....	4
1.2 Antecedentes investigativos	4
1.3 Contextualización del problema	8
1.4 Fundamentación Teórica	9
1.4.1 Centro De Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones	9
1.4.2 Discapacidad	9
• Deficiencia	9
• Minusvalía.....	9
1.4.3 Discapacidad física.....	10
1.4.4 Tipos de discapacidades físicas	10
• Daños cerebrales.....	10
• Daños en la medula espinal	11
• Daños en la musculatura.....	11
1.4.5 Parálisis cerebral infantil	12
1.4.6 Tipos de parálisis cerebral	12
• Parálisis cerebral espástica.....	12
• Parálisis cerebral discinética	13
• Parálisis cerebral atáxica.....	13

1.4.6 Silla de Ruedas	13
1.4.7 Tipos de silla de ruedas	13
• Sistemas dependientes	13
• Sistemas de autopropulsión.	14
• Sistemas motorizados	16
1.4.8 Componentes de una silla de ruedas	17
1.4.9 Parámetros de movilidad de una silla de ruedas	18
1.4.10 Silla Bipedestadora	18
1.4.11 Movilidad de una silla bipedestadora	19
1.4.12 Automatización	20
1.4.13 Sistemas de control	20
1.4.14 Componentes del sistema de control.....	21
1.4.15 Clasificación de los sistemas de control	22
Sistema de control en lazo abierto	22
Sistema de control en lazo cerrado	22
Tipos de control en lazo cerrado.....	23
• Control PI.....	23
• Control PD	24
• Control PID	25
• Tabla comparativa de los controles PI, PD y PID	26
1.4.16 Motor.....	27
1.4.17 Motor de corriente continua.....	27
1.4.18 Clasificación de los motores de corriente continua	28
• El motor de excitación independiente.....	28
• El motor serie	28
• El motor Shunt	29
• El motor Compound	29
1.4.19 Fuente de alimentación.....	29
1.4.20 Fuente de alimentación fijas	29
1.4.21 Batería	29
1.4.22 Actuador lineal	30
1.4.23 Tipos de actuadores	30
• Actuador neumático.....	31

• Actuator hidráulico	31
• Actuator eléctrico	31
1.4.24 Redes Inalámbricas	32
1.4.25 Tipos de redes inalámbricas.....	32
• WPAN (Red Inalámbrica de Área Personal)	32
• WLAN (Red Inalámbrica de Área Local)	33
• WMAN (Red Inalámbrica de Área Metropolitana)	33
• WWAN (Red Inalámbrica de Área Amplia).....	33
1.4.26 Comunicación Bluetooth	34
1.4.27 Placa de Desarrollo	34
• Microcontrolador.....	35
• Arduino	35
• Raspberry Pi	36
• BBC micro: bit	36
1.4.29 Aplicación móvil	37
1.5 OBJETIVOS	37
1.5.1 Objetivo General	37
1.5.2 Objetivos Específicos	37
1.5.3 Descripción de Objetivos.....	38
CAPÍTULO II	40
METODOLOGÍA	40
2.1 Materiales.....	40
2.2 Métodos.....	41
2.2.1 Modalidad de Investigación.....	41
2.2.2 Recolección de Información	41
2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos.....	41
2.2.4 Desarrollo del Proyecto	41
CAPÍTULO III.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1 Análisis y discusión de resultados	43
3.2 Análisis de Factibilidad	43
3.3 Desarrollo de la propuesta	43
3.3.1 Requerimientos del Prototipo	43

3.3.2 Diagrama de bloques del sistema	44
3.3.3 Arquitectura general del sistema de control.....	45
3.3.4 Flujograma del sistema.....	46
3.3.4.1 Flujograma general del sistema de control.....	46
3.3.4.2 Flujograma del envío de datos	47
3.3.4.3 Flujograma de recepción de datos.....	48
3.3.5 Selección de componentes para la implementación del prototipo electrónico	49
3.3.5.1 Silla de ruedas bipedestadora.....	50
3.3.5.2 Actuador Lineal.....	52
3.3.5.3 Motor DC	54
3.3.5.4 Driver de motor	63
3.3.5.5 Tarjeta electrónica	65
3.3.5.6 Baterías.....	66
3.3.5.7 Interruptor.....	69
3.3.6 Selección del tipo de tecnología inalámbrica para la interfaz gráfica táctil y el prototipo electrónico.....	71
3.3.6.1 Tipo de comunicación inalámbrica	71
3.3.6.2 Comunicación Bluetooth	72
3.3.7 Selección del sistema de control de lazo cerrado para la regulación de velocidad de los Motores DC.....	74
3.3.7.1 Modelado del Motor de DC.....	74
3.3.7.2 Diseño del Control de Velocidad de Lazo Cerrado.....	76
3.3.7.3 Implementación del sistema de control en Xcos Scilab	82
3.3.8 Implementación del prototipo electrónico para el desplazamiento de la silla bipedestadora.....	84
3.3.8.1 Diagrama de conexión para el sistema de control de los actuadores	86
3.3.8.2 Distribución de pines de la tarjeta Arduino Mega.....	86
3.3.9 Desarrollo de la interfaz gráfica táctil para el control de desplazamiento de la silla bipedestadora	89
3.3.9.1 Modo diseñador.....	89
3.3.9.2 Programación de bloques.....	90
3.3.9.3 Pantalla de control del sistema.....	91
3.3.9.4 Codificación en la placa Arduino Mega	91
3.3.10 Adecuación del sistema de control de desplazamiento en la silla bipedestadora.	92
3.3.10.1 Soldadura de los ejes auxiliares	92

3.3.10.2 Pintado y corrección de fallas	95
3.3.10.3 Integración de ruedas a los motores	96
3.3.10.4 Integración de los motores en la silla bipedestadora	96
3.3.10.5 Incorporación del actuador lineal.....	96
3.3.10.6 Alimentación y conexiones eléctricas	97
3.4 Resultados	100
CAPÍTULO IV	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
4.1 Conclusiones	106
4.2 Recomendaciones	107
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de deficiencias, discapacidades y minusvalías	10
Tabla 2. Tabla comparativa de los controles PI, PD y PID.....	26
Tabla 3. Actuadores lineales eléctricos	53
Tabla 4. Detalle de pesos que intervienen en la silla bipedestadora	55
Tabla 5. Cuadro comparativo de motores	62
Tabla 6. Cuadro comparativo de Driver de motor	64
Tabla 7. Módulos Arduino	65
Tabla 8. Tipos de Baterías	67
Tabla 9. Tipos de Interruptores	70
Tabla 10. Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas Bluetooth-Wifi.....	71
Tabla 11. Módulos de Comunicación Bluetooth	72
Tabla 12. Conexión entre los motores DC en el Arduino	86
Tabla 13. Conexión entre el actuador lineal y el Arduino	87
Tabla 14. Conexión del módulo Bluetooth HC-05	88
Tabla 15. Tiempo extracción, retracción del Actuador lineal y movilidad de los Motores DC	101
Tabla 16. Tiempo y recorrido del vástago	102
Tabla 17. Recorrido y velocidad de Motores CIRROLLA 5006	103
Tabla 18. Porcentaje de carga de la batería KITZUMA	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sillas de transporte. [17]	14
Figura 2. Sillas de posicionamiento. [17]	14
Figura 3.Sillas estándar. [17].....	15
Figura 4.Sillas Activas. [17].....	15
Figura 5.Sillas Deportivas. [17].....	16
Figura 6. Silla de ruedas eléctrica chasis plegable. [17]	16
Figura 7.Silla de ruedas eléctrica con chasis fijo. [17]	16
Figura 8: Componentes de una silla de ruedas. [18]	17
Figura 9: Bipedestador con desplazamiento LAZARIM. [22]	18
Figura 10: Movimiento vertical de una silla bipedestadora. [23].....	19
Figura 11. Movimiento horizontal de una silla bipedestadora. [23].....	19
Figura 12: Movimiento base de una silla bipedestadora. [23]	20
Figura 13. Sistema de control en lazo abierto. [29]	22
Figura 14.Sistema de control en lazo cerrado. [29]	22
Figura 15. Motor DC del Proyecto de investigación.	28
Figura 16. Baterías del Proyecto de investigación.....	30
Figura 17. Actuador lineal Electrak 1 (SP) series. [39]	30
Figura 18. Actuador neumático- Festo, DSBC-32-25-PPSA-N3 [40]	31
Figura 19. Actuador hidráulico. [40].....	31
Figura 20. Actuador eléctrico del Proyecto de investigación.....	32
Figura 21. Estructura de un microcontrolador. [47].....	35
Figura 22. Placa Arduino uno. [48]	36
Figura 23. Raspberry Pi. [45]	36
Figura 24. BBC micro: bit. [45]	37
Figura 25. Diagrama de bloques del sistema	45
Figura 26.Diseño y arquitectura general del sistema de control	46
Figura 27. Flujograma general del sistema de control.	47
Figura 28.Flujograma de envío de datos desde el aplicativo Android	48
Figura 29. Flujograma a de recepción de datos desde el aplicativo Android	49
Figura 30. Posición normal de la silla de ruedas	50
Figura 31. Medidas del espacio disponible, parte trasera de la silla de ruedas.	52
Figura 32. Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie plana.....	56

Figura 33. Rangos de pendientes longitudinales máximas para los tramos de rampa, , en base a [52]	58
Figura 34. Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie inclinada	59
Figura 35. Motor CIROLLA-5006	63
Figura 36.. Modelado del circuito de armadura para el motor de DC	74
Figura 37. Diagrama de bloques del sistema de control a lazo cerrado	77
Figura 38. Modelo en Xcos de Scilab para la implementación del controlador PI de un motor de DC	82
Figura 39. Introducción de valores de ganancias integral y proporcional en un control PI.....	83
Figura 40. Introducción de valores en ganancia de velocidad (Km) y la constante de tiempo de un motor(Tm) DC	83
Figura 41. Respuesta del modelado del motor DC, con un Controlador tipo PI	84
Figura 42. Ajuste de finales de carrera en el actuador lineal	85
Figura 43. Ajuste del driver BTS7960 para el movimiento de las ruedas	85
Figura 44. Diagrama representativo del sistema de conexión.....	86
Figura 45. Circuito esquemático general de la placa Arduino Mega 2560	89
Figura 46. Pantalla de diseño de la APP	90
Figura 47. Pantalla de programación de bloques de la APP	90
Figura 48. Interfaz gráfica de todo el sistema de automatización para el desplazamiento de la silla bipedestadora	91
Figura 49. Programación de la placa Arduino Mega	92
Figura 50. Soldadura en el eje intermedio para la incorporación del actuador lineal,.....	93
Figura 51. Eje tipo “L” para la sujeción a los motores	93
Figura 52. Ejes para sujeción de las baterías	94
Figura 53. Ángulo máximo de inclinación	95
Figura 54. Pintado y corrección de fallas	95
Figura 55. Integración de ruedas a los Motores DC	96
Figura 56. Integración de los motores en la silla bipedestadora	96
Figura 57. Incorporación del actuador lineal	97
Figura 58. Alimentación para los Motores DC	98
Figura 59. Alimentación del actuador lineal.....	98
Figura 60. Alimentación para la placa Arduino Mega.....	99
Figura 61. Interruptores para el sistema eléctrico y de control.	99
Figura 62. Fijación de componentes de alimentación dentro de una caja de madera	100

Figura 63. Proceso de extracción, retracción de la silla de ruedas a un bipedestador	101
Figura 64. Niño Mateo Martínez dueño de la silla de ruedas	114
Figura 65. Vista frontal de la silla de ruedas	115
Figura 66. Ajuste de alimentación de Motor DC CIROLLA 5006	115
Figura 67. Ajuste de control para el giro del Motor DC CIROLLA 5006	116
Figura 68. Extracción del cilindro hidráulico	116
Figura 69. Extracción de cojines de la silla bipedestadora	117
Figura 70. Extracción de ejes auxiliares de la silla bipedestadora	117
Figura 71. Soldadura en el eje intermedio superior para la inclusión del actuador lineal	118
Figura 72. Soldadura en el eje intermedio inferior para la inclusión del actuador lineal	118
Figura 73. Soldadura en el eje tipo “L” para la sujeción de los Motores CIROLLA 5006	119
Figura 74. Soldadura en el eje inferior para la inclusión de baterías	119
Figura 75. Inclusión del actuador lineal FY014	120
Figura 76. Soldadura de los finales de carrera para la inclusión en el actuador lineal	120
Figura 77. Inclusión de los Motores DC CIROLLA 5006.....	121
Figura 78. Incorporación de los Driver’s BTS7960 para el control de los actuadores	121
Figura 79. Adecuación de cableado el prototipo de control del sistema en una caja de protección	122
Figura 80. Incorporación de caja de protección para el prototipo de control del sistema	122
Figura 81. Silla de ruedas en posición normal	123
Figura 82. Silla de ruedas en posición media	124
Figura 83. Conversión de una silla de ruedas a un bipedestador	124

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Función de transferencia de un control PI.....	23
Ecuación 2. Función de transferencia de un control PD	24
Ecuación 3. Función de transferencia de un control PID	25
Ecuación 4. Sumatoria de fuerzas en el eje x para una superficie plana	56
Ecuación 5. Fuerza en el eje x	56
Ecuación 6. Fuerza de rozamiento en el eje x.....	57
Ecuación 7. Sumatoria de fuerzas en el eje y	57
Ecuación 8. Normal en el eje y.....	57
Ecuación 9. Peso	57
Ecuación 10. Sumatoria de fuerzas en el eje x para una superficie inclinada	60
Ecuación 11. Peso en el eje x en una superficie inclinada	60
Ecuación 12. Fuerza en el eje x para una superficie inclinada.....	60
Ecuación 13. Sumatoria de fuerzas en el eje y para una superficie inclinada	60
Ecuación 14. Normal en el eje y para una superficie inclinada	60
Ecuación 15. Peso en el eje y para una superficie inclinada	60
Ecuación 16. Torque	61
Ecuación 17. Potencia de un motor	68
Ecuación 18. Consumo de corriente del motor.....	68
Ecuación 19. Consumo de corriente de todos los actuadores	68
Ecuación 20. Capacidad de la batería	69
Ecuación 21. Corriente de armadura	75
Ecuación 22. Tensión inducida en la armadura del motor	75
Ecuación 23. Torque electromagnético desarrollado en el eje del motor.....	75
Ecuación 24. Velocidad angular.....	76
Ecuación 25. Tensión inducida aplicando la transformada de Laplace.....	76
Ecuación 26. Función de transferencia del motor.....	76
Ecuación 27. Modelado del motor DC	77
Ecuación 28. Constante del motor.....	77
Ecuación 29. Constante de tiempo	77
Ecuación 30. Función de transferencia de lazo cerrado.....	78
Ecuación 31. Representación de una ecuación segundo orden para seleccionar las ganancias	78
Ecuación 32. Factor de amortiguamiento relativo	78

Ecuación 33. Frecuencia natural no amortiguada	78
Ecuación 34. Factor de amortiguamiento relativo respecto al porcentaje del sobrepaso	79
Ecuación 35. Frecuencia natural no amortiguada respecto a la función del tiempo de asentamiento y el factor de amortiguamiento relativo	79
Ecuación 36. Ganancia integral	80
Ecuación 37. Ganancia proporcional	80
Ecuación 38. Función de transferencia relacionada entre la posición angular y el voltaje de armadura	80
Ecuación 39. Representación de la función de transferencia en el dominio de Laplace	81
Ecuación 40. Expresión de primer orden que representa la reducción de la función de transferencia	81

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo tecnológico de los dispositivos de movilidad ha permitido que las personas con discapacidad cambien su estilo de vida e incluso la no dependencia del personal médico o de las familias para el desarrollo de sus actividades, por ello este proyecto se centra en mejorar la calidad de vida de una persona que depende de la silla de ruedas permanente a través de un sistema automatizado para el desplazamiento de la silla bipedestadora en el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica “Bendiciones”.

Este proyecto describe el diseño de un sistema de automatización y control táctil integrado en una silla bipedestadora que pertenece al Niño Mateo Martínez, quien tiene un 80% de discapacidad física por cuadriplejía. Para implementar este proyecto, se requiere de un mecanismo de elevación vertical y de movimiento en las ruedas traseras las mismas que se adapte a la estructura física de la silla bipedestadora.

El funcionamiento del sistema de control y automatización de desplazamiento de la silla bipedestadora implica el uso de tecnología inalámbrica Bluetooth que permite la comunicación entre la interfaz gráfica y el prototipo electrónico. Este sistema consta de dos parámetros importantes; el primero se enfoca en el posicionamiento vertical, pues gracias a la inclusión de un actuador lineal este accederá a un movimiento vertical convirtiendo una silla de ruedas estándar a un bipedestador, el segundo se centra en el desplazamiento que, gracias a dos motores, permite el movimiento mecánico a baja velocidad capaz de impulsar las ruedas traseras. Además, a través de la utilización del driver de motor DC BTS7960 se establece el control de lazo cerrado pues se regula las ganancias entre el voltaje que entrega y el voltaje de salida al sistema, es decir el driver juega un rol importante gracias a su amplificación que tomando las señales de control provenientes del Arduino Mega regula la señal PWM, controlando de esta manera el sistema de desplazamiento.

Conjuntamente con un análisis matemático que permite el modelado de un circuito de armadura del motor DC se determinan algunas ecuaciones que permitirán definir un sistema de primer orden para de esta forma obtener las ganancias en función del comportamiento deseado a los motores.

Como elemento final se obtendrá un sistema de automatismo funcional en la silla bipedestadora cuyo proceso se controla automáticamente, de forma segura respetando las necesidades de las necesidades específicas del paciente.

Palabras clave: Automatización, control, sistema electrónico, desplazamiento, parálisis cerebral.

ABSTRACT

The technological development of mobility devices has allowed people with disabilities to change their lifestyle and even not depend on medical personnel or families for the development of their activities, which is why this project focuses on improving the quality of life of a person who depends on a permanent wheelchair through an automated system for moving the standing chair at the "Blessings" Physical and Neurological Rehabilitation Center.

This project describes the design of an automation and touch control system integrated in a standing chair belonging to Niño Mateo Martínez, who has 80% physical disability due to quadriplegia. To implement this project, a vertical lifting and movement mechanism is required in the rear wheels, which adapt to the physical structure of the standing chair.

The operation of the movement control and automation system of the standing chair involves the use of Bluetooth wireless technology that allows communication between the graphic interface and the electronic prototype. This system consists of two important parameters; the first focuses on vertical positioning, because thanks to the inclusion of a linear actuator it will access a vertical movement converting a standard wheelchair to a standing frame, the second focuses on displacement that, thanks to two motors, allows the low-speed mechanical movement capable of driving the rear wheels. In addition, through the use of the BTS7960 DC motor controller, closed-loop control is established, since the gains between the voltage it delivers and the output voltage to the system are regulated, that is, the controller plays an important role thanks to its amplification. that taking the control signals from the Arduino Mega regulates the PWM signal, thus controlling the displacement system.

Together with a mathematical analysis that allows the modeling of a DC motor armature circuit, some equations are determined that will allow defining a first order system in order to obtain the gains based on the desired behavior of the motors.

As a final element, a functional automation system will be obtained in the standing chair whose process is controlled automatically, safely respecting the needs of the specific needs of the patient.

Keywords: Automation, control, electronic system, movement, cerebral palsy.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL DESPLAZAMIENTO DE UNA SILLA BIPEDESTADORA MEDIANTE CONTROL TÁCTIL EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA “BENDICIONES” DE LA CIUDAD DE AMBATO.

1.2 Antecedentes investigativos

Debido a que las discapacidades físicas se exhiben en diferentes formas y grados, se han creado muchos prototipos y sistemas de control diferentes, cada uno de los cuales tiene en cuenta la capacidad de movilidad de una persona. En este campo se describen algunos trabajos relacionadas con el tema que se tratan en detalle a continuación [1].

- Omar de Jesús Carreño Luis Edgardo Arias en su tesis “APLICACIÓN ANDROID PARA SILLA DE RUEDAS, QUE PERMITA CONTROLARLA POR COMANDOS DE VOZ, PANTALLA TÁCTIL Y PROGRAMACIÓN DE RUTA” (Universidad Cooperativa de Colombia, Santa Marta - Colombia 2016) expone que utilizó un sistema operativo Android para dispositivos móviles con tres tipos diferentes de controles, como los controles de pantalla táctil, el control por voz y el control por trazado de ruta, los mismos que están conectados a la misma red Wi-Fi a través de módulos Android que brindan acceso a la conexión entre el dispositivo y silla. Esta silla de ruedas está diseñada para el movimiento exclusivo en superficies planas para usuarios con un peso que no supera los 100 kg [1].
- José Noguera, Sergio Guerrero, Omar Carreño y Luis Arias en su trabajo de investigación “Aplicación Android para el Control de Sillas de Ruedas Eléctricas” (Universidad Cooperativa de Colombia – Colombia 2016) exponen que para el movimiento de la silla se implemente un diseño controlado por voz a través de una aplicación Android, pues permite recibir datos a través de sensores ubicados en la estructura de la silla, presentando el uso de un joystick como una variación de la operación ya que es una forma más segura de control. Además de usar el puente H para la fase de potencia y el cambio de dirección de los motores [2].

- Ronal Estalin Ponce en su tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL HOGAR” (Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador 2017) describe un sistema mecánico que permite la navegación automática en un ambiente interior, este proyecto se basa en un sistema operativo de software libre (ROS), en el cual en un mapa se guarda cinco sitios visitados regularmente con frecuencia en la casa. Mediante la pantalla táctil, el usuario selecciona un destino con una imagen o icono y la silla de ruedas se mueve a la ubicación deseada, esto se hace con una unidad desmontable que cuenta con dos motores de armadura de 12V capaces de mover el peso de un adulto con 90 kg. Además, si la silla de ruedas encuentra un obstáculo en su trayecto, el sistema asiste automáticamente a otras opciones de recorrido para evitarlo con un margen de seguridad de aproximadamente 15 cm [3].

- Melanie Michelle Olivo y Enrique Gallegos mencionan en su proyecto de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA CON UBICACIÓN GPS Y MANDO LOCAL O REMOTO A TRAVÉS DE UNA APLICACIÓN CELULAR (ANDROID), PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ REDUCIDA EN MIEMBROS INFERIORES” (Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil - Ecuador 2018) detalla una unidad de control electrónico basada en Arduino para silla de ruedas utilizando dos modos de operación.
Control de posición, a través de una consola central que permite controlar la silla con un joystick y un grupo de componentes con diferentes funciones, como control de crucero, mando a distancia, mandos de botones y mesas automáticas.
Un control remoto, a través de un teléfono móvil con conexión Bluetooth y una aplicación diseñada con un joystick y regulador que permite controlar los movimientos y la velocidad de la silla. Además, se integra un módulo GSM / GPS para permitir que la consola reciba / envíe mensajes de texto y solicite coordenadas de geolocalización.

Finalmente como resultado la silla de ruedas presenta una autonomía y un rendimiento de aproximadamente de 25 km generando la necesidad de movilización y permitiendo la seguridad de localización cuando el usuario se encuentre fuera del hogar [4].

- Armijos Jhoanna y Criollo Tania en tesis titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA SILLA DE BIPEDESTACIÓN ELÉCTRICA PARA PERSONAS CUADRIPLÉJICAS ACTIVADA POR VOZ, DE BAJO COSTO” (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí – Ecuador 2018) menciona que en su diseño implementaron un sistema por voz para controlar una silla bipedestadora mediante un actuador lineal teniendo en cuenta su propulsión para levantar a una persona promedio, controlando así un ángulo máximo de 70 grados. Adicionalmente, se agregó un sistema de control manual para hacer frente a cualquier problema con el sistema [5].
- Darío Alexis Anastacio en su tesis “DISEÑO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL USANDO EL SISTEMA OPERATIVO ANDROID PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS DE MOVILIDAD REDUCIDA SILLA DE RUEDAS”(Universidad de Guayaquil - Ecuador 2020) expone el desarrollo de un prototipo que incorpora un sistema de control de silla de ruedas mediante una aplicación móvil y un componente electrónico capaz de procesar señales de movimiento a través de un teléfono inteligente, este prototipo adaptativo combina con la silla de ruedas las características principales de la silla de ruedas eléctrica, lo que permite que las personas con movilidad reducida se muevan por sí mismas [6].
- Luis Roberto Sánchez en su tesis titulado “SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLA BIPEDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES” (Universidad Técnica de Ambato - Ecuador 2020) da a conocer el desarrollo de un sistema de control y automatización permanente de la silla bipedestadora que involucra el uso de un mecanismo de movimiento (actuador lineal) que permite que la silla se mueva verticalmente, este

movimiento se controla manualmente pues permite operar el movimiento de elevación de la silla sin necesidad de personal de asistencia, sobre todo, para proporcionar la capacidad de moverse libremente al cambiar la posición del paciente [7].

- Diana Margarita Garcés en su tesis “SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPEDESTADORA PARA EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA Y NEUROLÓGICA BENDICIONES DE LA CIUDAD DE AMBATO” (Universidad Técnica de Ambato - Ecuador 2021) describe un sistema de control de lazo abierto que desarrolló consta de los siguientes aspectos.

Una señal de entrada es seleccionada por un joystick que genera dos señales analógicas que representan las posiciones del motor DC, ya que gracias a estas señales y con la ayuda del microcontrolador ATMEGA 328 se realiza la conversión de la señal analógica a dos señales PWM, permitiendo que el motor opere sobre el proceso mecánico que genera el movimiento de la rueda de la silla bipedestadora. Además, se ha agregado una señal de entrada donde hay un sensor ultrasónico que puede medir la distancia, el cual es procesado por el microcontrolador y que a cierta distancia emite frecuencias (pitidos) de diferentes niveles de alerta al usuario, como resultado este prototipo permite fácilmente que el usuario en cuestión pueda tener el movimiento libre y de fácil manejo de la silla bipedestadora [8].

Tras recopilar la información obtenida de diversos trabajos de titulación similares y que pueden ser de gran utilidad para este proyecto, se concluye que para automatizar el desplazamiento de la silla bipedestadora se debe tomar en cuenta ajustar la velocidad del motor con el fin de que el paciente pueda controlar por sí mismo este movimiento evitando futuros accidentes. También se menciona que el paciente solo tiene la capacidad de mover las extremidades superiores, ya que se cree que debería usarse una pantalla táctil para permitir un control más fácil del desplazamiento de la silla bipedestadora. Asimismo, el uso de motores CC sería óptimo para el chasis ya que permite controlar la aceleración y

desaceleración, lo cual es ajustada proporcionalmente para adaptarse a las necesidades del proceso, además de crear suficiente empuje para el movimiento requerido.

1.3 Contextualización del problema

Ecuador tiene registrados actualmente 470,820 casos de personas con discapacidad, teniendo prevalencia más alta según las estadísticas; la discapacidad física con un 45,69% pues es ámbito de estudio para el desarrollo de este proyecto, este dato proporcionado por el Consejo de Igualdad de Discapacidad (CONADIS) [9]. Sobre la base de estos datos, la atención se centra en el uso de dispositivos que apoyan la movilidad en el entorno de las personas con discapacidad física.

Es de carácter importante indicar que ya se han venido trabajando en dos proyectos en el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica “Bendiciones” que han permitido mejorar la calidad de vida en los pacientes, pues la silla bipedestadora juega un rol muy importante en estos trabajos. Por lo que se desea incluir el tercer proyecto en este centro de rehabilitación el cual permita la automatización para el desplazamiento de una silla bipedestadora, generando la posibilidad de moverse hacia varias direcciones en cualquier entorno que cuente con accesibilidad para esta silla, todo a través de motores que contaran con un sistema de control táctil para su funcionamiento. Como aspecto relevante a ser considerado para este tercer proyecto es desarrollar un control que permita la reducción de velocidad en el desplazamiento de la silla bipedestadora puesto que, el paciente que sufre de parálisis cerebral espástica presenta carencia de movilidad en sus extremidades superiores e inferiores por tal razón se desea guardar su integridad física.

Se señala que el siguiente proyecto a ser desarrollado es pensado como un servicio social para atender a la comunidad médica y de salud en el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica “BENDICIONES” quienes son atendidos por pacientes con parálisis cerebral espástica; pues gracias a este centro les ayudara en su desarrollo diario.

1.4 Fundamentación Teórica

1.4.1 Centro De Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones

El centro de Rehabilitación Física y Neurológica Bendiciones es una institución privada localizada en la ciudad de Ambato dedicada a la rehabilitación física, pues brinda atención a niños y adultos con parálisis cerebral, accidente cerebro vascular, traumatismo craneoencefálico, síndromes, lesiones neurológicas, traumatológicas y deportivas. Dicha institución continúa evolucionando para mejorar los métodos y técnicas de rehabilitación para garantizar la salud de los pacientes.

1.4.2 Discapacidad

Hace referencia a una limitación de la capacidad para realizar una actividad dentro de los límites considerados como normales para un individuo afectando su entorno de forma de vida. Comprende además de limitaciones funcionales o las limitaciones en el desempeño de una actividad debido a una deficiencia [10].

- **Deficiencia**

Se define como pérdida de una función anatómica, fisiológica o psicológica, generalmente se presentan en cualquier órgano e incluyen defectos en estructuras corporales, así como en alguna función mental [10].

- **Minusvalía**

La minusvalía describe las condiciones económicas y sociales de las personas con discapacidad y deficiencia, estas personas se encuentran en desventaja en comparación con otras debido a las pocas oportunidades en su intervención en la sociedad [10].

A continuación, se detalla la clasificación de deficiencias, discapacidades y minusvalías en la Tabla 1 [10]:

Tabla 1. Clasificación de deficiencias, discapacidades y minusvalías

Deficiencias	Intelectuales, Psicológicas, Lenguaje, Órgano de la audición , órgano de la visión, Músculo-esqueléticos, Sensitivos y otras.
Discapacidades	Conducta, Comunicación, Cuidado personal, Locomoción, Disposición del cuerpo, Destrezas y aptitudes.
Minusvalías	Orientación, Independencia física, Movilidad, Ocupacional, Integración social, Autosuficiencia económica, Otras minusvalías.

Elaborado por: El investigador, en base a [10]

1.4.3 Discapacidad física

Se define como una condición o estado que interfiere de manera significativa la capacidad de una persona para poderse moverse con libertad y de manera completamente funcional. Por lo general la discapacidad física afecta al aparato locomotor y es particularmente notable en las extremidades, aunque también puede afectar la medida en que los músculos esqueléticos no pueden moverse con determinación. [11].

1.4.4 Tipos de discapacidades físicas

Las discapacidades físicas pueden ser causadas por enfermedades genéticas o por causas externas como accidentes y/o amputaciones. Sin embargo, en otras ocasiones, puede aparecer como un síntoma de algunas afecciones médicas que afectan el cerebro, la médula espinal o los propios músculos. Entre los distintos tipos de discapacidad física en forma general tenemos [12]:

- **Daños cerebrales**

Daño Cerebral Adquirido (DCA): Es una lesión fortuita en el cerebro. Emerge de forma repentina y puede presentar una gran variedad de secuelas; entre ellas, se encuentran los cambios o trastornos de carácter físico [12].

Parálisis cerebral: Es una condición crónica que surge durante el desarrollo cerebral de un feto o un niño. Produce efectos graves sobre las habilidades motoras, como rigidez, convulsiones o incluso parálisis completa de los músculos [12].

- **Daños en la médula espinal**

Lesión en la médula espinal: Es ocasionada cuando recibe demasiada presión y/o se secciona el riego de sangre y oxígeno, a menudo causa una discapacidad física permanente, pues en algunos casos puede conducir a una discapacidad motora y sensorial [12].

Espina bífida: Es un efecto congénito en que el tubo neuronal y la médula espinal no se cierran por completo durante la formación del feto, provocando daños en los nervios y la médula espinal, lo que puede afectar o impedir el movimiento de una persona [11].

Esclerosis múltiple: Es una enfermedad del sistema nervioso que afecta el cerebro y la médula espinal. La esclerosis múltiple destruye la capa de mielina, la sustancia que rodea y protege las células nerviosas. Al ocasionar un severo daño en la capa de mielina, ralentiza o bloquea los mensajes entre el cerebro y el cuerpo, lo que conduce a síntomas de esclerosis múltiple como:

- Alteraciones de la vista
- Debilidad muscular
- Problemas con la coordinación y el equilibrio
- Sensaciones como entumecimiento, picazón o pinchazos
- Problemas con el pensamiento y la memoria [13].

- **Daños en la musculatura**

Distrofia muscular: Hace referencia a un grupo de trastornos que provocan debilidad y pérdida de masa muscular. Algunos de los síntomas pueden incluir dificultad para caminar, respirar, movimiento limitado de las articulaciones y problemas con el corazón [13].

1.4.5 Parálisis cerebral infantil

La parálisis cerebral se considera como un grupo de trastornos del desarrollo del movimiento y la postura, causantes de limitación de la actividad motora, generalmente son atribuidos a una agresión no progresiva sobre un cerebro en desarrollo durante los primeros años del feto. El trastorno del movimiento de la parálisis cerebral (PC) a menudo se acompaña de trastornos sensoriales, cognitivos, comunicativas, perceptivas, conductuales, y/o por epilepsia [14].

1.4.6 Tipos de parálisis cerebral

Existen diferentes tipos de parálisis cerebral, categorizados por el tipo de movimiento que afectan las partes del cuerpo y la gravedad de los síntomas. Algunos tipos implican discapacidades intelectuales y del desarrollo (IDD) [15].

- **Parálisis cerebral espástica**

Las personas con parálisis cerebral espástica experimentan rigidez muscular, lo que provoca movimientos abruptos o repetitivos. Existen distintos tipos de parálisis cerebral espástica y se las puede diferenciar de acuerdo a la parte afectada del cuerpo. Entre algunas categorías de parálisis cerebral espástica se tiene [16]:

Hemiplejía espástica o hemiparesia: Este tipo de parálisis afecta el brazo, la mano y a veces la pierna de un solo lado del cuerpo. Los niños que experimentan esta hemiplejía pueden tener retraso en aprender a hablar, pero la inteligencia suele ser normal [16].

Diplejía o diparesia espástica: Las personas que perciben esta anomalía sufren principalmente de rigidez en los músculos de las piernas, mientras que los brazos y el rostro no se ven tan afectados de esta manera. La inteligencia y las habilidades del lenguaje generalmente son normales [16].

Cuadruplejía o cuadriparesia espástica: Es la forma más grave de parálisis cerebral, pues los individuos que la padecen adquieren entumecimiento severo en los brazos y las

piernas y sensibilidad en el cuello. Las personas con cuadriplejia espástica a menudo no pueden caminar y suelen tener problemas para hablar [16].

- **Parálisis cerebral discinética**

Este trastorno involucra movimientos lentos y desiguales incontrolables de manos, pies, brazos o piernas. Los músculos del rostro y la lengua pueden ser hiperactivos lo que ocasiona que algunos niños babeen o hagan muecas [16].

- **Parálisis cerebral atáxica**

Esta alteración afecta el equilibrio y la percepción de la profundidad. Las personas con parálisis cerebral atáxica suelen caminar de manera inestable y tienen dificultad para realizar movimientos rápidos o precisos. [16].

1.4.6 Silla de Ruedas

Una silla de ruedas es un dispositivo personal con el propósito de permitir que las personas que han perdido de manera permanente, total o parcial la realización de actividades del aparato locomotor, tengan la capacidad de desplazarse [17].

1.4.7 Tipos de silla de ruedas

Los diversos tipos de sillas de ruedas se pueden clasificar teniendo en cuenta el uso, la función de estos dispositivos y según el grado de deficiencia del usuario. Teniendo en cuenta estos aspectos se dividen en [17]:

- **Sistemas dependientes**

Los sistemas de dependencia solo son adecuados para casos en que el usuario no tiene la capacidad cognitiva, perceptiva o física para operar cualquier tipo de sistema de movimiento manual o automatizado. Por lo tanto, las sillas de ruedas manuales de manejo dependiente no se encuentran diseñadas para que un usuario las opere [17].

Sillas de transporte: Se describe como una silla de ruedas manual controlada por un asistente. Está formado por un chasis sólido, un reposapiés y reposabrazos, los cuales

pueden ser plegables y extraíbles, el asiento y el respaldo suelen estar acolchados y fabricados con materiales impermeables (ver Figura 1) [17].



Figura 1. Sillas de transporte. [17]

Sillas de posicionamiento: Son dispositivos cuyo objetivo es mantener una buena postura en pacientes que tienen movilidad limitada y no pueden cambiar de posición de forma independiente (ver Figura 2) [17].



Figura 2. Sillas de posicionamiento. [17]

- **Sistemas de autopropulsión.**

Son dispositivos que encuentran diseñadas para que un usuario las opere de forma independiente, sin necesidad de terceros [17].

Sillas estándar (Ortopédicas): Esta silla es autopropulsada por el paciente mediante arcos de autopropulsión integrados en la rueda trasera, cuentan con un reposabrazos y reposapiés, los cuales pueden ser plegables y extraíbles (ver Figura 3) [17].



Figura 3. Sillas estándar. [17]

Sillas Activas: Este tipo de sillas son generalmente dispositivos de autopropulsión livianos, aunque son menos estables por su ligereza en comparación con los asientos estándar, los respaldos varían según el nivel de equilibrio del tronco, ya que no tienen apoyabrazos ni mangos de empuje, algunos elementos como las ruedas traseras y el asiento suelen ser los únicos desmontables, no se pueden plegar porque tienen un chasis rígido, sin embargo en la actualidad hay nuevos modelos que se pueden plegar y a la vez provee su transporte (ver Figura 4) [17].



Figura 4. Sillas Activas. [17]

Sillas Deportivas: Las características de estos dispositivos varían según el deporte o las necesidades del usuario, por lo general poseen un chasis rígido no plegable, ruedas inclinadas que permiten la movilidad giratoria, aunque algunos modelos cuentan también con una rueda delantera única que facilitan aún más la rotación (ver Figura 5) [17].



Figura 5. Sillas Deportivas. [17]

- **Sistemas motorizados**

Son dispositivos que permiten un movimiento sencillo ya que presentan un consumo mínimo de energía y se utilizan con frecuencia en superficies planas [17].

Sillas de ruedas eléctricas: Son sillas impulsadas por motores que funcionan con baterías, son diseñadas para usuarios que tienen dificultades de movimiento y coordinación. Su control se lo realiza mediante un joystick, que dependiendo del tipo de silla se puede configurar la velocidad, la posición del respaldo, asiento, etc. Los motores funcionan con 24V que proporcionan 100 y 450W de potencia, se alimentan con dos baterías de 12V y necesariamente deben ser recargadas. Existen dos tipos: con chasis plegable (ver Figura 6) y con chasis fijo (ver Figura 7) [17].



Figura 6. Silla de ruedas eléctrica chasis plegable. [17]



Figura 7. Silla de ruedas eléctrica con chasis fijo. [17]

1.4.8 Componentes de una silla de ruedas

Los elementos más comunes utilizados en el diseño de una silla de ruedas convencional (ver Figura 8) son los siguientes [18]:



Figura 8: Componentes de una silla de ruedas. [18]

Chasis: Soporte en el que se colocan las piezas o accesorios que componen la silla de ruedas, existen chasis rígidos y plegables. Los rígidos se caracterizan por ser ligeros, duraderos y económicos; los plegables se caracterizan por reducir el espacio, aunque requieren más esfuerzo para poder transportarlas [18].

Reposabrazos: La función principal es brindar comodidad y soporte al brazo del usuario, así como utilizarlo como soporte cuando el usuario desee tener una postura vertical [18].

Asiento: Elemento principal pues es donde se apoya por completo la persona incluida el soporte pélvico, la distribución de la presión y la estabilidad puede ser flexible o rígida. El asiento flexible es impermeable, ajustable, resistente a la fricción y de limpieza fácil; por otra parte, el asiento rígido puede ser de poliuretano, grafito, etc. [19].

Respaldo: Responsable de la comodidad y soporte de la columna, su altura dependerá de las necesidades del paciente, este deberá mantener la espalda en una buena posición, evitando la fatiga y permitiendo mayor movimiento [19].

Reposapiés: Está destinado a soportar el peso de las extremidades inferiores, lo que incide a la correcta sedestación y postura del tronco [19].

Ruedas traseras: Permiten la propulsión de la silla de ruedas proporcionando estabilidad y movimiento [20].

1.4.9 Parámetros de movilidad de una silla de ruedas

✓ **Distribución de peso**

Comprende al peso combinado de las ruedas delanteras y traseras, así como al centro de gravedad, con una perfecta distribución del 80% en la parte trasera y del 20% en la delantera, lo que permite un mayor movimiento con menor fricción [21].

✓ **Factores biomecánicos**

Este factor se centra en las ruedas, dependiendo de sus materiales y dimensiones de construcción, los neumáticos son sin duda los más cómodos, mientras que las ruedas sólidas presentan mayor movilidad. Otro factor a destacar es el tipo de terreno en el que operará la silla de ruedas [21].

La distancia entre las ruedas afecta la movilidad y estabilidad de la silla, cuanto más corta es la distancia entre ejes, es más fácil de maniobrar la silla.

1.4.10 Silla Bipedestadora

Se trata de un dispositivo mecánico cuya función principal es mantener en pie a las personas con discapacidad para evitar la pérdida de masa ósea por falta de inactividad, mejorando de forma paulatina el flujo sanguíneo, las funciones digestivas, renales, urinarias y respiratorias (ver Figura 9) [22].



Figura 9: Bipedestador con desplazamiento LAZARIM. [22]

1.4.11 Movilidad de una silla bipedestadora

Una silla bipedestadora consta con tres movimientos fundamentales que se muestran en las siguientes figuras [23].

- a) **Movimiento vertical:** Ejerce una posición cercana a los 90° , permite al paciente mantenerse en pie y obtener mejor apoyo y seguridad (ver Figura 10) [23].



Figura 10: Movimiento vertical de una silla bipedestadora. [23]

- a) **Movimiento horizontal:** Realiza un ángulo de 180° que permite al paciente mantener una posición recostada de descanso (ver Figura 11) [23].



Figura 11. Movimiento horizontal de una silla bipedestadora. [23]

- b) **Movimiento base:** Estado donde una silla de ruedas mantiene su posición estándar permitiendo la movilidad sobre diferentes lugares que el paciente requiera (ver Figura 12) [23].



Figura 12: Movimiento base de una silla bipeDESTADORA. [23]

1.4.12 Automatización

Es un conjunto de métodos y procedimientos en las que un operario es reemplazado por acciones físicas, que están pre-programadas [24].

A lo largo de la historia, la automatización se centró en reducir costos de producción, mejorando constantemente la calidad del proceso de producción y como objetivo importante suprimir a las personas de tareas peligrosas e innecesarias, estas tareas son manejadas de forma independiente por componentes de control que normalmente suele ser el autómata programable cuya función es permitir la comunicación con todos los accionadores del sistema [25].

La automatización consta básicamente de dos componentes [26]:

- ✓ **El componente de mando o control:** Suele ser un autómata programable que puede comunicarse con todos los actuadores del sistema [26].
- ✓ **El componente operativo:** Constituido por accionadores capaces de realizar las operaciones generadas por el autómata programable [26].

1.4.13 Sistemas de control

Un sistema de control es un sistema en el que las variables de salida operan de acuerdo con las instrucciones dadas por las variables de entrada. Estas señales receptoras pueden comandar, dirigir o controlar de forma dinámica el sistema [27].

1.4.14 Componentes del sistema de control

A nivel industrial, la aplicación del control automatizado de procesos es un aspecto fundamental porque permite el control de variables físicas. El objetivo de un sistema de control es mantener la estabilidad de estas variables para poder controlarlas. Los elementos básicos de un sistema de control son [27]:

- ✓ **Actuador:** Permiten modificar lo que está aconteciendo en la planta, son los encargados de convertir las señales eléctricas de control en otro tipo de señales o en señales eléctricas de mayor potencia [27].
- ✓ **Sensor:** Proporcionan información sobre lo que está sucediendo, pues nos permiten conocer el valor de las variables físicas adecuadas que intervienen en el proceso y convertirlas en señales eléctricas [27].
- ✓ **Transmisor:** Encargado de detectar la señal de salida para utilizarla de nuevo en el proceso de realimentación, está en relación con la variable del proceso [27].
- ✓ **Controlador:** Ejecutan algoritmos o estrategias según las condiciones de las variables de referencia, determinan el error y, en consecuencia, generan una señal de salida denominada señal de regulación, que especifica las acciones a realizar en el sistema para lograr las condiciones deseadas [28].

La importancia de estos componentes radica en que realizan tres operaciones básicas que deben estar presentes en cualquier sistema de control; estas operaciones son:

- ✓ **Medición:** Generalmente se realiza mediante una combinación de sensores y un transmisor [29].
- ✓ **Decisión:** El controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor deseado [29].
- ✓ **Acción:** El controlador necesita realizar alguna acción en el sistema, por lo general es realizado por el último elemento de control [29].

1.4.15 Clasificación de los sistemas de control

La clasificación de los sistemas de control se dividen de acuerdo a la función y diseño que se requieran para un proceso, entre estos sistemas tenemos [29]:

- **Sistema de control en lazo abierto**

Un sistema de control en lazo abierto se caracteriza por el hecho de que el sistema de control no recibe información sobre el valor de la variable de proceso que se requiere controlar (ver Figura 13) [29].



Figura 13. Sistema de control en lazo abierto. [29]

- **Sistema de control en lazo cerrado**

Los sistemas de control en lazo cerrado se caracterizan por recibir información en sus entradas sobre el valor de la variable que las controlan (ver Figura 14). Según esta definición, estos sistemas también se denominan sistemas de retroalimentación debido a que presentan un control automático, ya que permiten que el proceso o producto tome decisiones sin la necesidad de la intervención humana [29].

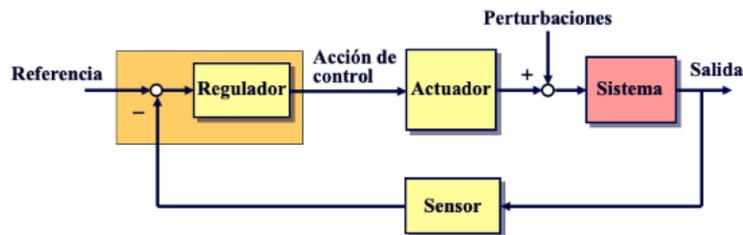


Figura 14. Sistema de control en lazo cerrado. [29]

- **Tipos de control en lazo cerrado**

Un sistema de control de lazo cerrado contiene controles estructurales que indican las interrelaciones entre los diferentes componentes del sistema de este modo el sistema produce una diferencia en la salida relativa sobre la señal de entrada. Estas variaciones a la salida pueden ser notadas en algunos controles, algunos de los cuales se describen a continuación [30]:

- **Control PI**

Esta es la estructura más común debido a que el valor de salida del controlador proporcional varía conforme al tiempo en que se ha permanecido el error conjuntamente con su magnitud, de esta manera la acción integral permite eliminar el error. La función de transferencia está determinada por [30]:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} \right) \quad (1)$$

Ecuación 1. Función de transferencia de un control PI

Donde:

U(s) corresponde a la señal de salida

E(s) corresponde a la señal de entrada

K_p es la ganancia proporcional

T_i es el tiempo de acción integral

Ventajas

- Elimina el error en estado estacionario [31].
- Mejora el desempeño en el régimen de estado estacionario [31].
- Mejora la estabilidad relativa o marginal [31].
- Reduce el ancho de banda [31]

Desventajas

- El costo por estado estacionario al acercarse a un valor de cero radica en un efecto negativo sobre la velocidad de respuesta, pues reduce la estabilidad del sistema [31].
 - Filtrado de componentes de alta frecuencia, en algunos casos no mejora el desempeño en régimen transitorio [31].
- **Control PD**

El control PD se basa en la acción derivativa puesto que evalúa, opera y predice la velocidad del error, para evitar que la magnitud de error se incremente se aplican las correcciones significativas.

De manera general el controlador PD se utilizan en procesos industriales con ganancias sumamente altas, en tal virtud la acción derivativa es muy susceptible al ruido ya que a altas frecuencias la ganancia se incrementa relativamente. Al presentarse esta característica en algunos casos la acción derivativa se la omite en el sistema. La función de transferencia del control PD se la representa de la siguiente manera [30]:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d * s) \quad (2)$$

Ecuación 2. Función de transferencia de un control PD

Donde:

U(s) corresponde a la señal de salida

E(s) corresponde a la señal de entrada

K_p es la ganancia proporcional

T_d es el tiempo de acción derivativo

Ventajas

- Incrementa el desempeño en régimen transitorio [31].
- Aumenta la velocidad de respuesta, ya que se puede comprobar en la reducción de tiempos de levantamiento y retardo [31].
- Aumenta el ancho de banda, pues ayuda la incorporación de componentes de alta frecuencia [31].

Desventajas

- Aumento del ruido a las señales (rizado en la respuesta) proporcionadas por los sensores generando un rizado en la respuesta lo que conlleva un efecto de saturación en el actuador, este efecto ocurre al presentarse un tiempo derivativo permanente [31].

• Control PID

El control PID es un elemento de control por retroalimentación usado principalmente en sistemas donde se desea conocer el valor del error, entre un valor medido y valor deseado. Al tener tres parámetros diferentes como; P (proporcional), I (integral), D (derivativo), este controlador tiene la ventaja de que cada una de las tres acciones de control son individuales. La función de transferencia del control PID viene dada por [30]:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right) \quad (3)$$

Ecuación 3. Función de transferencia de un control PID

Donde:

U(s) corresponde a la señal de salida

E(s) corresponde a la señal de entrada

K_p es la ganancia proporcional

T_i es el tiempo de acción integral

T_d es el tiempo de acción derivativo

Ventajas

- Rapidez al presentar algún cambio de la señal de referencia en la entrada, mediante la acción derivativa [31].
- Incremento en la señal de entrada lo que permite que el error se acerque a cero, mediante la acción integrativa [31].
- La reducción en el tiempo de establecimiento, mediante la acción proporcional [31].

Desventaja

- Pueden presentar error debido a que algunos casos no se lo miden, tampoco de la compensa a la salida real del sistema.
- **Tabla comparativa de los controles PI, PD y PID**

A continuación en la Tabla 2, se determina una comparación con las principales características de los controladores PI; PD, PID [32].

Tabla 2. Tabla comparativa de los controles PI, PD y PID

Controladores Características	PI	PD	PID
Precisión	Contiene alta precisión pues compensa la acción inmediata al momento de presentar retardos en un proceso.	Apropiados para procesos en las que se presenta ganancias altas.	Contiene alta precisión entre valores de 0 y 100%.

Estabilidad	Mantiene el valor deseado en el tiempo	No se mantiene en el valor deseado en el tiempo.	Mantiene el valor deseado en el tiempo.
Sintonización para la corrección de error	La acción integral permite la corrección y eliminación de errores.	Respuesta contigua para la corrección de errores.	Respuesta poco tardía para la corrección de errores.
Ruido	La acción derivativa no es trascendental ya que es un problema, pues amplifica el ruido existente.	Prescinde la acción derivativa cuando en un determinado proceso está contaminado con niveles considerables de ruido	Filtrado de ruidos y respuesta en alta frecuencia.

Elaborado por: El investigador, en base a [32].

1.4.16 Motor

Los motores son dispositivos cuya finalidad principal es proporcionar la potencia suficiente a un grupo de piezas para que funcionen correctamente y que permitan el desempeño de sus actividades. Normalmente, suelen utilizar la conversión de energía en otro tipo de energía con muchas más posibilidades de usabilidad [33].

1.4.17 Motor de corriente continua

Son ampliamente utilizados en diseños de ingeniería debido a sus características de torque-velocidad con diferentes configuraciones eléctricas o mecánicas. Su funcionamiento está relacionado con el efecto dinámico que es la fuerza electromagnética que actúa sobre un conductor y por el cual fluye una corriente eléctrica cuando se expone a un campo magnético [34].

El motor de corriente continua que se utilizó en el proyecto de investigación se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Motor DC del Proyecto de investigación.

Elaborado por: Investigador

Un motor de corriente directa se compone generalmente por el estator y el rotor [34]:

- ✓ El estator es la parte estacionaria del motor, encargada del establecimiento de campo magnético de excitación, en su interior se encuentran polos inductores que están constituidos de hilos de cobre, pues al ser alimentados por corriente continua producen el campo inductor [34].
- ✓ El rotor es aquel elemento que al estar en continuo movimiento genera un campo magnético creado por una bobina o imán [34]

1.4.18 Clasificación de los motores de corriente continua

Para la categorización de los motores corriente continua se ha tomado en consideración, el modo de conexión de las bobinas inductoras e inducidas entre sí, entre las cuales tenemos [35]:

- **El motor de excitación independiente**

Las bobinas del inductor y el inducido se alimentan por dos fuentes de energía independientes [35].

- **El motor serie**

Los devanados del inductor y del inducido se encuentran conectados en serie [35].

- **El motor Shunt**

Dispone los devanados inductor e inducido en paralelo [35].

- **El motor Compound**

Está constituido por dos devanados inductores, uno en serie con el devanado inducido y el otro en paralelo [35].

1.4.19 Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación puede definirse como dispositivo electrónico modificador de la electricidad que convierte la tensión alterna en una tensión continua, en los niveles requeridos por el circuito electrónico a alimentar pertenecientes a un equipo electrónico [36].

1.4.20 Fuente de alimentación fijas

La fuente de alimentación fija es responsable de proporcionar una corriente o voltaje alterna o continua, el cual engloba los distintos sistemas eléctricos con un flujo de carga que se mueve en una sola dirección [37].

1.4.21 Batería

Puede definirse como una combinación de dos o más celdas idénticas, siendo una celda la fuente primaria de energía eléctrica que se desarrolla por conversión de energía química o energía solar [37].

Las celdas por lo general pueden dividirse en dos tipos; primario (no recargables) o secundario (recargables), pues gracias a su reacción química hace que pueda ser invertida para restaurar su capacidad [37].

Existen dos baterías recargables dentro de las más comunes tenemos; la batería de ácido-plomo que son utilizadas en los automóviles y la batería de níquel-cadmio utilizada en calculadoras, herramientas, rasuradoras eléctricas, etc. [37].

Cada celda está constituida por dos electrodos positivo y otro negativo, además cuenta también con un electrolito que es un componente de contacto y fuente de iones indispensable

para que se realice conducción entre los terminales, pues hace que se complete el circuito entre los electrodos que se encuentran dentro de la batería [37].

Las baterías que se utilizaron en el proyecto de investigación se muestra en la Figura 16.



Figura 16. Baterías del Proyecto de investigación

Elaborado por: Investigador

1.4.22 Actuador lineal

Un actuador lineal es un dispositivo electromecánico que produce un movimiento de desplazamiento lineal. Su funcionamiento se obtiene mediante a un motor reductor que convierte la energía eléctrica en movimiento circular, causando un movimiento de husillo que produce un impulso a una tuerca acoplada a un vástago, dando como resultado la transición de movimiento rotativo a un movimiento lineal (ver Figura 17) [38].

Los actuadores cuentan además con un sistema de protección que corta la corriente en caso de bloqueo o sobrecarga para hacerlo más eficiente, así mismo la posición del motor reduce el tamaño del actuador permitiendo la instalación en espacios reducidos [38].



Figura 17. Actuador lineal Electrak 1 (SP) series. [39]

1.4.23 Tipos de actuadores

Los actuadores se clasifican según la fuente de energía que utiliza para crear el movimiento, entre las más comunes tenemos [40]:

- **Actuador neumático**

Los actuadores neumáticos utilizan aire comprimido como fuente de energía, pues se usa para mover un pistón cuando el aire se libera o descomprime. Estos actuadores son deseables en muchas aplicaciones, ya que pueden responder con rapidez a operaciones de arranque y paro (ver Figura 18) [40].



Figura 18. Actuador neumático- Festo, DSBC-32-25-PPSA-N3 [40]

- **Actuador hidráulico**

Los actuadores hidráulicos utilizan líquidos, el más común es el aceite ya que permite generar movimientos lineales, rotativos u oscilatorios. A diferencia del aire, los líquidos son prácticamente incompresibles, por lo que los actuadores hidráulicos se utilizan en aplicaciones que requieren grandes fuerzas (ver Figura 19) [40].



Figura 19. Actuador hidráulico. [40]

- **Actuador eléctrico**

Los actuadores eléctricos dependen de una fuente de energía externa, como una batería, para la funcionalidad del motor y convertir la energía eléctrica en fuerza mecánica. Estos dispositivos son fáciles de usar y de disponibilidad inmediata, debido a que no usan aceite, tampoco requieren aire comprimido para operar [40].

El Actuador eléctrico que se utilizó en el proyecto de investigación se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Actuador eléctrico del Proyecto de investigación.

Elaborado por: Investigador

1.4.24 Redes Inalámbricas

Una red inalámbrica es aquella, en donde, la información transmitida circula a través ondas electromagnéticas que se desplazan por aire, por lo que los extremos de la comunicación están espaciados a una distancia que permite el alcance de las ondas utilizadas [41].

1.4.25 Tipos de redes inalámbricas

De acuerdo al tipo de cobertura, la red inalámbrica puede clasificarse como:

- **WPAN (Red Inalámbrica de Área Personal)**

Se utilizan para comunicaciones a cortas distancias en un rango máximo de 10 metros por lo que se utilizan para conectarse a uno o dos usuarios juntos. Este tipo de tecnología se basa en el estándar IEEE 802.15 e incluye el Bluetooth, ZigBee, etc. [42].

Las características principales de la Red WPAN son [43]:

- ✓ Velocidad de transmisión: 11, 22, 33,44 y 55 Mbps.
- ✓ Maneja 32 bits de codificación, cuando se desea necesita describir una frecuencia específica.
- ✓ Emplea la banda de frecuencias comprendidas a 2.4 GHz
- ✓ Ancho de banda de 15MHz.

- **WLAN (Red Inalámbrica de Área Local)**

El estándar que utiliza esta tecnología es el IEEE 802.11 en el que se encuentra WiFi, capaz de alcanzar una distancia mucho mayor dependiendo de las repetidoras y la conexión de distintos tipos dispositivos mediante ondas de radio [42].

Dentro de las características principales de una Red WLAN tenemos [43]:

- ✓ Velocidad de transmisión comprendida de 11-54 Mbps.
- ✓ Ancho de banda hasta 160MHz
- ✓ Emplea la banda de frecuencias comprendidas entre 2.4 - 5 GHz.

- **WMAN (Red Inalámbrica de Área Metropolitana)**

Son redes de mucho mayor alcance, capaces de cubrir hasta 20 kilómetros para proporcionar servicios de voz, datos y video (triple-play), la tecnología que se destaca en las redes WMAN es la WIMAX y utiliza el estándar IEEE 182.16 [42].

Las características principales de una Red WMAN son [43]:

- ✓ Amplia cobertura de medios de transmisión para enlaces microondas, satelitales, etc.
- ✓ Escasa limitación en espacios geográficos de difícil acceso.
- ✓ Velocidad de transmisión hasta 70 Mbps a una distancia de 50 Km.
- ✓ Emplea las bandas comprendidas de 2 - 11 GHz de uso permitido y las bandas de 10 - 66 GHz de uso restringido.

- **WWAN (Red Inalámbrica de Área Amplia)**

Emplean tecnologías de telefonía celular y microondas para transferir datos a gran distancia, de modo que se puedan conectar en cualquier lugar del planeta. Las tecnologías más habituales son GPRS, EDGE, GSM, 3G, 4G o 5G [42].

Las características principales de una Red WWAN son [43]:

- ✓ Transmisión de imagen, audio y vídeos en tiempo real.

- ✓ Alcance superior a 50 Km.
- ✓ Utiliza frecuencias licenciadas.
- ✓ Brinda la posibilidad al usuario para moverse dentro de la zona de cobertura.

1.4.26 Comunicación Bluetooth

Bluetooth es un estándar de comunicación de radio frecuencia de corto alcance que permite la conexión entre dispositivos, lo que lo hace ideal para la implementación de redes inalámbricas personales [44].

Según el nivel de potencia utilizado por el dispositivo bluetooth su distancia comprende el rango de 10-100 metros. Sin embargo, la mayoría de los dispositivos que utilizan esta tecnología tienen un alcance de hasta 10 metros [44].

1.4.27 Placa de Desarrollo

La placa de desarrollo se denomina computadora de placa única (SBC), pues actúa como una computadora completa en la que una placa de circuito única incluye memoria (no necesita almacenamiento adicional para arrancar), E/S, microprocesador y todas las demás funciones necesarias. A diferencia de una computadora personal, no depende de extensiones para realizar otras funciones. Las computadoras de placa única reducen el costo general del sistema al ayudar a reducir la cantidad de placas, conectores y cables [45].

Las placas de desarrollo contienen un microprocesador reprogramable donde las instrucciones se pueden escribir en un lenguaje de programación para que estas instrucciones se puedan ejecutar posteriormente. Dado que la placa de desarrollo tiene muchos lenguajes de programación, se puede elegir opciones como; C, C ++, Arduino, Python, JavaScript, etc. Algunos modelos de placas de desarrollo actuales pueden ejecutar un sistema operativo completo en su procesador, generalmente un sistema operativo basado en Linux. Entre las aplicaciones más utilizadas que se ejecutan en el sistema se encuentran el uso de sensores externos para recopilar datos sobre variables físicas (temperatura ambiente, humedad, movimiento, velocidad, posición, etc. (geográficas, de pulso, biométricas, etc.) [45].

Entre algunas placas de desarrollo tenemos:

- **Microcontrolador**

Es un circuito integrado que contiene la CPU interna, la memoria (RAM y ROM), los periféricos, los puertos de entrada y salida, todos conectados dentro de un microcontrolador (ver Figura 21). Las aplicaciones que se pueden dar al microcontrolador deben programarse en su memoria ROM que toma datos de las variables de entrada para ejecutar una acción a la salida, una vez programado el microcontrolador solo ejecutará la aplicación destinada a su uso [46].

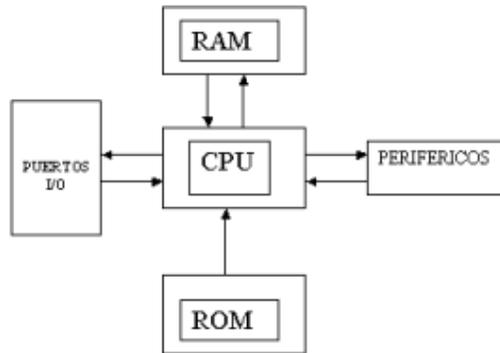


Figura 21. Estructura de un microcontrolador. [47]

El objetivo principal de los microcontroladores es leer y ejecutar los programas escritos por el usuario, por lo que la programación es una actividad esencial e indispensable a la hora de diseñar circuitos y los sistemas que lo componen. La naturaleza programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos, lo que permite modularidad y flexibilidad, ya que el mismo circuito se puede utilizar para realizar diferentes funciones simplemente cambiando el programa del microcontrolador [46].

- **Arduino**

Es una plataforma gratuita de creación de código abierto ya que es flexible y fácil de usar para creadores y desarrolladores. Mediante esta plataforma, es posible crear diferentes tipos de microcomputadoras de placa única, pues se pueden realizar varios usos (ver Figura 22) [47].



Figura 22. Placa Arduino uno. [48]

- **Raspberry Pi**

Es una pequeña computadora de costo reducido, consta de SoC, CPU, memoria RAM, puertos de E/S de audio y video, conexión de red, ranura SD para almacenamiento, reloj, conexión de periféricos de bajo nivel, además cuenta con interruptor de encendido y apagado. Para lograr interactuar con este dispositivo electrónico basta solo con conectar una pantalla y un teclado pues su uso es similar a una computadora estándar (ver Figura 23) [48].



Figura 23. Raspberry Pi. [45]

- **BBC micro: bit**

Se trata de una pequeña placa de programación de código abierto similar a la plataforma de Internet de las cosas (IoT), cuenta con la integración de sensores, por lo que, se pueden ejecutar cientos de proyectos utilizando solo la tarjeta (ver Figura 24) [49].



Figura 24. BBC micro: bit. [45]

1.4.29 Aplicación móvil

Las aplicaciones móviles son parte de nuestras actividades diarias y ahora estas aplicaciones se utilizan con frecuencia, pues ayudan en varios aspectos de la actividad humana, desde las actividades más ordinarias como entretenimiento hasta aplicaciones virtuales como Brookings. Los dispositivos móviles son cada vez más asequibles para la persona promedio, ya que junto a ello se tiene la capacidad de administrar datos y programas [50].

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- ✓ Implementar un sistema de automatización para el desplazamiento de una silla bipedestadora controlada a través de una interfaz gráfica táctil en el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica “Bendiciones” de la ciudad de Ambato.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analizar la estructura y movilidad de una silla bipedestadora.
- ✓ Diseñar un prototipo electrónico de control de velocidad en lazo cerrado para el sistema de desplazamiento de la silla.
- ✓ Seleccionar un algoritmo de control para regular la velocidad en los motores de la silla bipedestadora.
- ✓ Desarrollar una interfaz gráfica que permita el desplazamiento de la silla bipedestadora.

1.5.3 Descripción de Objetivos

El objetivo principal del proyecto de investigación es implementar un sistema de automatización para el desplazamiento de una silla bipedestadora controlada a través de una interfaz gráfica táctil en el Centro de Rehabilitación Física y Neurológica “Bendiciones” de la ciudad de Ambato.

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

- Mediante el análisis de la estructura y movilidad de la silla bipedestadora, se han identificado muchos aspectos importantes como; las partes específicas que la componen, el peso de la silla, el movimiento que ejerce sobre la superficie, el peso y grado de discapacidad del ocupante. A través de estos historiales se determina las condiciones para poder realizar la adaptación del sistema de automatización para el desplazamiento de la silla mediante una interfaz gráfica táctil.
- El diseño del prototipo electrónico de control de velocidad del sistema de automatización de desplazamiento de la silla bipedestadora, consta de dos partes; en la primera parte se realiza la instalación de los motores, el actuador lineal y baterías, para esta instalación es necesario tener en cuenta la adecuación de estos elementos procurando no alterar el chasis de la silla y tomando en cuenta su estética, en la segunda parte se desarrolló todo lo concerniente a la electrónica que estará plasmada en la programación del microcontrolador, pues tendrá funciones tales como de realizar el control de la velocidad de lazo cerrado de los motores y elevación vertical de la silla.
- En la selección de un algoritmo de control para regular la velocidad en los motores de la silla bipedestadora, se ha tomado como referencia lo siguiente; realizar un análisis de un sistema de control que este a la par entre la velocidad actual y la velocidad de referencia, en donde se determina las ganancias proporcional e integral, lo que además significa el correcto desempeño del sistema al estar puesta en marcha.
- Para desarrollar una interfaz gráfica que permita el control de desplazamiento de forma automática de una silla bipedestadora, se ha pensado en un modelo de interfaz que no resulte demasiado difícil para el usuario, tomando en cuenta la movilidad de

sus dedos, pues todo esto es posible a través del software MIT App Inventor, donde se determinó la programación que permita unir la parte eléctrica, electrónica, mecánica y de control que se tiene en la silla. La mencionada interfaz consta de dos aspectos; el primero integra botones de elevación vertical y retracción de la silla, la segunda parte se basa en el desplazamiento de la silla donde se añade botones que permitan un movimiento hacia adelante, atrás, izquierda, derecha y paro de emergencia. Además, se ha tomado a consideración que esta interfaz tenga compatibilidad con dispositivos móviles con sistema operativo Android.

Como parte de prevención y seguridad al sistema, se ha creído necesario agregar dos interruptores cuya función será desviar la dirección del flujo de corriente eléctrica a través de sus posiciones abiertas y cerradas.

Finalmente, todo el sistema que se tiene en la silla bipedestadora se sometió a distintas pruebas para comprobar su correcta funcionalidad.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación “Sistema de automatización para el desplazamiento de una silla bipedestadora mediante control táctil en el centro de rehabilitación física y neurológica Bendiciones de la ciudad de Ambato”, la modalidad corresponde a un proyecto de desarrollo, por lo que está encaminado a abordar problemas presentes en el desplazamiento de las personas con discapacidades, se aplicó además la investigación aplicada, bibliográfica y experimental, teniendo en cuenta la interpretación y tamaño del problema a analizar.

Para el desarrollo del proyecto, el primer paso que se llevó a cabo fue un estudio de materiales, en la cual fue necesario seleccionar los modelos y marcas de elementos eléctricos y electrónicos adecuados a ser utilizados, este aspecto se enfocó el análisis y procesamiento de datos que permitió seleccionar algunas alternativas para dar solución a la problemática establecida. Finalmente, se organizó las actividades a ser desarrolladas para el respectivo proyecto de investigación.

2.1 Materiales

Para el desarrollo del proyecto de investigación se requiere recopilar datos bibliográficos relacionados al desplazamiento, grado de inclinación y funcionalidad actual de la silla bipedestadora, así como la computadora personal e internet para la búsqueda de información de forma frecuente.

Dentro de los elementos eléctricos que se utilizaron tenemos; un actuador lineal, baterías, motores y entre los dispositivos electrónicos se encuentran; la placa Arduino Mega, driver para motor, así también la inclusión de materiales adicionales que forman parte para la conexión de todos los dispositivos mencionados. Por otro lado, en la parte de programación del microcontrolador se ha utilizado un programa de código abierto como es el Arduino IDE. Además, se utilizó la silla bipedestadora ya que es el elemento básico para la ejecución del sistema.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de Investigación

El proyecto empleará una investigación aplicada, ya que se utilizarán los conocimientos adquiridos por los diferentes módulos de la malla curricular, tomando énfasis en los relacionados con los sistemas electrónicos y de control.

Para la recolección de información se empleará una investigación bibliográfica, ya que se requiere de información científica y confiable sobre contenidos que sean de gran aporte para el desarrollo del trabajo, las cuales se extraerán de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet y en tesis relacionadas con temas afines.

También se hace énfasis a la investigación experimental debido a que se realizara las pruebas necesarias para analizar el correcto funcionamiento del prototipo.

2.2.2 Recolección de Información

El presente trabajo requerirá la recopilación de información directamente de entrevistas a los involucrados, testimonios, libros, internet, revistas científicas, paper's, trabajos de investigación y de la guía tutorial para el desarrollo del prototipo.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Una vez recolectada la información necesaria para el presente trabajo se procederán con las siguientes actividades:

- Al tener recopilada la información sobre el tema en cuestión, se analizará su contenido tomando en cuenta aspectos relevantes que aporten con el tema de investigación.
- Se realizará una comparación entre las tecnologías, las cual permitirá la selección de dispositivos necesarios para el proyecto.
- Se determinará la mejor alternativa para la solución del problema y generar así una propuesta de solución.

2.2.4 Desarrollo del Proyecto

En cuanto se refiere al desarrollo del prototipo se realizarán los siguientes pasos:

- ✓ Análisis de condiciones de desplazamiento que presenta la silla bipedestadora al ser utilizada habitualmente por el paciente.
- ✓ Selección de los componentes que se utilizarán en la implementación del prototipo electrónico.
- ✓ Identificación y selección del tipo de tecnología inalámbrica que permita la comunicación entre la interfaz gráfica táctil y el prototipo electrónico destinado al desplazamiento de la silla bipedestadora.
- ✓ Selección del algoritmo de control para la regulación de velocidad en los motores de la silla bipedestadora.
- ✓ Implementación del prototipo electrónico para el desplazamiento de la silla bipedestadora.
- ✓ Desarrollo de la interfaz gráfica táctil para el control de desplazamiento de la silla bipedestadora.
- ✓ Adecuación del sistema de automatización y control táctil de desplazamiento en la silla bipedestadora.
- ✓ Verificación del funcionamiento del sistema de automatización y control táctil mediante pruebas en diversos escenarios.
- ✓ Realización de ajustes necesarios al sistema de automatización para el desplazamiento de la silla bipedestadora, el cual permita cubrir con el grado de discapacidad que presenta el paciente.
- ✓ Elaboración y presentación del informe final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

Mediante la implementación del sistema de automatización para el desplazamiento de una silla bipedestadora se ha logrado facilitar el movimiento de una persona con movilidad reducida de las extremidades superiores e inferiores. Además, se suprime el esfuerzo físico al momento de realizar la maniobra de elevación vertical de la silla e incluso terceros evitarán los esfuerzos de propulsión manual para mover la silla, ya que gracias a este sistema se le da al paciente la autonomía ya que todo el proceso manual pasa se convierte en automático. Como parte del sistema de control de desplazamiento, se ha creado una aplicación móvil para acceder y controlar la silla bipedestadora.

3.2 Análisis de Factibilidad

El proyecto de investigación en cuestión es factible, ya que todos los componentes electrónicos y mecánicos han sido analizados y por lo tanto se pueden comprar localmente, lo que ayudó a agilizar la implementación de todo el sistema.

Económicamente el proyecto es factible para su desarrollo, pues el investigador correrá con todos los costos, y además se establece que la silla bipedestadora es propiedad del paciente.

El proyecto también cuenta con una factibilidad bibliográfica por lo que la información obtenida se la pudo extraer de forma libre y se la recopiló a través de libros digitales, artículos académicos, revistas, etc.

3.3 Desarrollo de la propuesta

3.3.1 Requerimientos del Prototipo

Para que el desarrollo del sistema de automatización para el desplazamiento de una silla bipedestadora mediante control táctil sea puesta en marcha se han planteado diversos requerimientos por parte del desarrollador, ya que el sistema fue destinado a la elevación vertical y desplazamiento de las ruedas traseras de la silla de forma automática teniendo un control a través de una aplicación móvil, por lo cual el sistema debe cumplir con estas

funciones establecidas sin presentar ningún tipo de falla, entre los requerimientos del prototipo tenemos:

- Los motores deben ajustarse al chasis de la silla para que estas permitan el movimiento automático de las ruedas traseras propulsoras eliminando la propulsión manual efectuada por terceros, así también la inclusión de un actuador lineal que permita la elevación de la silla bipedestadora.
- El sistema automático de desplazamiento de la silla bipedestadora debe acoplarse al control táctil sin ningún problema al momento de su unión.
- El sistema de control táctil de desplazamiento no debe presentar ningún retardo y pérdida de conexión inalámbrica al momento de realizar acciones de pulsado de botones en su interfaz gráfica.

3.3.2 Diagrama de bloques del sistema

El diagrama de bloques utilizado en el siguiente sistema se basa en tres secciones principales:

- La primera sección corresponde a la parte más importante de todo el sistema, la cual se denota como el bloque de alimentación que esta suministrada por dos baterías que proporcionaran el voltaje y amperaje necesario para los elementos.
- La segunda sección corresponde al componente de control, pues a través de la placa Arduino Mega, conjuntamente con los drivers de motor activaran los accionamientos de los actuadores.
- La tercera sección recae en el bloque de ejecución, pues mediante la aplicación móvil se integra el sistema de elevación y desplazamiento de la silla bipedestadora; la parte de elevación está conformado por tres botones que permite la expansión, retracción y paro del actuador lineal, a través de estos accionamientos el actuador que se mantiene en stop, cambia a la función que permite el cambio de giro del motor reductor lo que provoca en el vástago la expansión alcanzando la elevación de la silla a un ángulo de 85° aproximadamente y retracción que ayudara al estado inicial de la silla. En la parte de desplazamiento de la silla se tienen botones que permiten un movimiento de los motores DC hacia adelante, atrás, izquierda, derecha y paro.

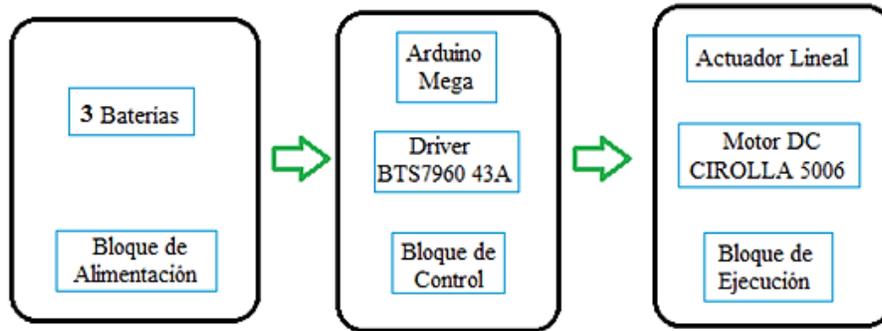


Figura 25. Diagrama de bloques del sistema

Elaborado por: Investigador

3.3.3 Arquitectura general del sistema de control

El Sistema de Automatización para el Desplazamiento de la Silla Bipedestadora engloba los distintos elementos utilizados en el desarrollo del prototipo, así también se centra en la aplicación móvil con todos los accionamientos que el paciente requiere entre ellos tenemos; el del actuador lineal conjuntamente con los motores en la silla bipedestadora, pues gracias al actuador lineal se hará la conversión de una silla de ruedas habitual a una silla bipedestadora, mientras que los motores permitirán que el paciente pueda desplazarse libremente donde él así lo requiera.

Cabe mencionar que todos los elementos de la aplicación (botones) se encuentran alojadas en instrucciones de programación guardadas en la tarjeta electrónica Arduino Mega.

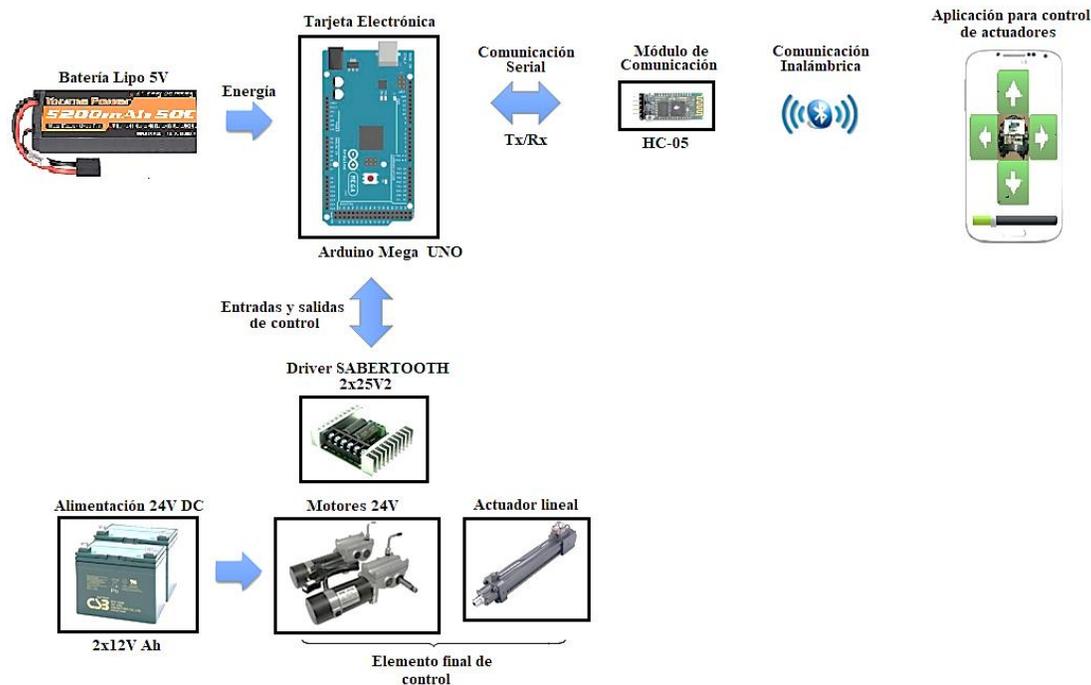


Figura 26. Diseño y arquitectura general del sistema de control

Elaborado por: Investigador

3.3.4 Flujograma del sistema

3.3.4.1 Flujograma general del sistema de control

En la Figura 26 se puede observar con detalle la lógica general del sistema de automatización de desplazamiento mediante control táctil usada para controlar la silla bipedestadora:

- Definición de variables: Se detallan todas las variables a ser utilizadas en el control táctil, tanto para el control del sentido de giro, velocidad del motor y expansión y retracción del actuador lineal.
- Configuración y emparejamiento bluetooth: Se definen las variables para la transmisión y recepción, además de la vinculación de dispositivos cercanos bluetooth.
- Configuración de control táctil: Se detallan todos los botones que estarán en la aplicación móvil, mismos que tendrán funciones para los distintos accionamientos en los actuadores.
- Configuración de envío y recepción de datos: Se determinan todas las variables que van a intervenir como entrada y salida en el sistema de control.

- Reconocimiento de datos: Comprende la correcta identificación de los distintos comandos que se encuentran en el control táctil.
- Accionamiento de actuadores: Se establecen las distintas tareas que los actuadores deben realizar en la silla bipedestadora.

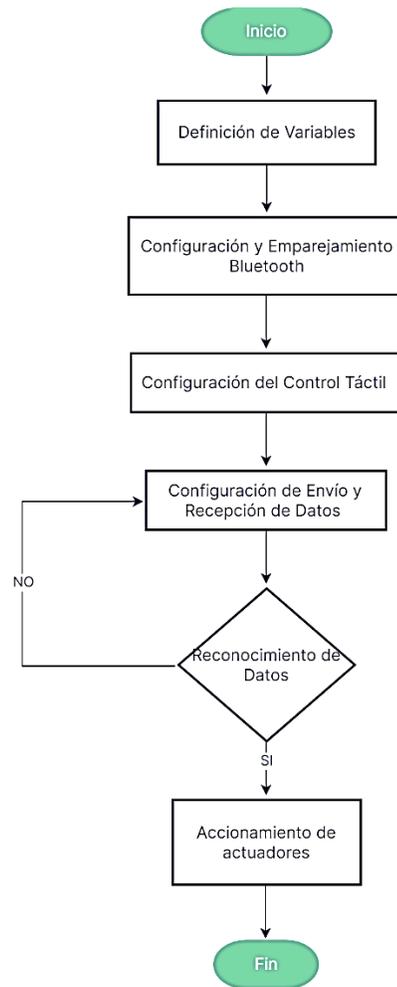


Figura 27. Flujograma general del sistema de control.

Elaborado por: Investigador

3.3.4.2 Flujograma del envío de datos

La Figura 28 muestra el proceso de envío de datos desde una aplicación móvil, lo que permite la generación de movimiento de actuador lineal, así como el movimiento de una silla bipedestadora.

La aplicación tiene una forma de enviar datos mediante la selección táctil, al presionar los botones de elevación, retracción, arriba, abajo, izquierda, derecha, detener y stop este procede a ejecutar las acciones solicitadas en el mismo instante, caso contrario al no presionar ningún botón las acciones no se proceden a ejecutar.

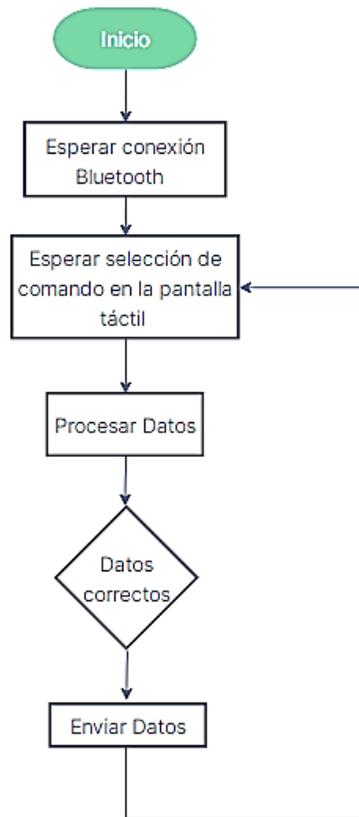


Figura 28. Flujograma de envío de datos desde el aplicativo Android

Elaborado por: Investigador

3.3.4.3 Flujograma de recepción de datos

El diagrama indica como el módulo HC-05 al establecer la conexión recibe los datos. Además, los procesos principales en extracto son los siguientes: detección de dispositivos cercanos Bluetooth, emparejamiento del dispositivo, procesamiento de comandos y envío de datos a la silla bipedestadora. En base a los datos recibidos, el módulo en cuestión envía la señal a la silla, el cual, a la orden, producirá la acción deseada.

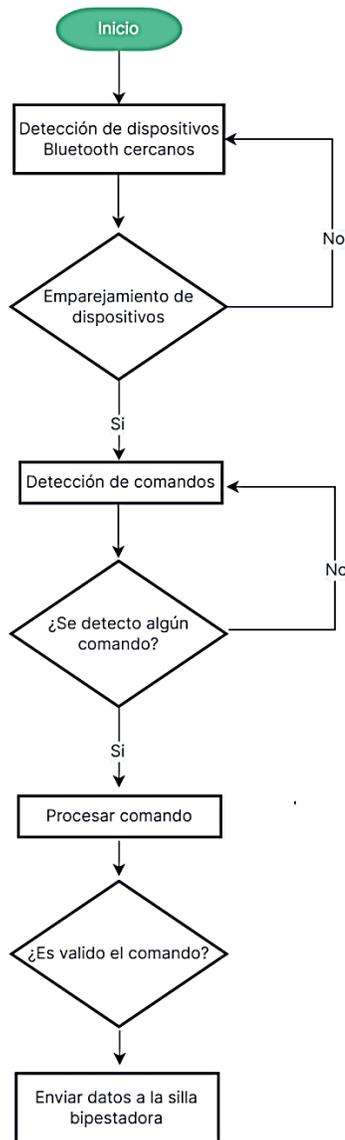


Figura 29. Flujograma a de recepción de datos desde el aplicativo Android

Elaborado por: Investigador

3.3.5 Selección de componentes para la implementación del prototipo electrónico

Los componentes seleccionados para el sistema de automatización de desplazamiento de una silla bipedestadora a través de un control táctil se realizan de acuerdo al diagrama de bloques que se exhibe en la figura 24, por lo que se efectúa un estudio técnico de cada uno de los equipos con el objetivo de seleccionar la mejor alternativa y de esta forma impliquen una

implementación cómoda en el sistema en general, entre los principales elementos que componen el sistema tenemos:

- Silla de ruedas
- Actuador lineal
- Motor DC
- Driver de motor
- Tarjeta electrónica
- Tipo de comunicación
- Tarjeta inalámbrica
- Batería 12V y 5V
- Interruptor

3.3.5.1 Silla de ruedas bipedestadora

El sistema de automatización que permite el desplazamiento y la elevación de la silla bipedestadora se ha realizado en un prototipo de silla construida previamente, la cual es propiedad del Niño Mateo Martínez que padece de parálisis cerebral espástica y presenta carencia de movilidad en sus extremidades superiores e inferiores.



Figura 30. Posición normal de la silla de ruedas

Elaborado por: Investigador

La estructura física de la silla en principio está constituida principalmente en acero y metal, cuenta con un mecanismo mecánico-manual que accede al movimiento de elevación, encogimiento y tracción logrando una conversión a una silla bipedestadora, en donde es prescindible la intervención de uno de los familiares del Niño para lograr el este accionamiento. En tal virtud se ha pensado en solventar esta problemática con un sistema automático que suprima la intervención humana y de tal forma se efectuó el accionamiento vertical con un grado de inclinación que permita al paciente tener una buena postura y de esta manera se pueda convertir la silla de ruedas estándar a una silla bipedestadora, además de un libre traslado y movilización a distintos lugares. Es de suma importancia señalar que este accionamiento está controlado por una aplicación móvil que controla; la elevación vertical, ángulo de postura y retracción, el cual el elemento encargado es el actuador lineal, así también para el control de la velocidad, giro y tracción en las ruedas traseras, el elemento encargado de este movimiento serán los motores DC.

Para determinar las modificaciones que requiere la silla se ha creído necesario cumplir con las siguientes medidas de diseño:

✓ **Análisis estructural de la silla bipedestadora**

La estructura de la silla de ruedas bipedestadora cuenta con los parámetros establecidos para su funcionamiento, por lo cual el sistema de automatización empleado debe adaptarse sin alterar o arruinar la estructura inicial, por lo tanto, se toma en cuenta dos factores significativos como son; la disponibilidad del espacio para la ubicación de los actuadores y también el ángulo de inclinación que la silla va a tomar al momento de su elevación.

✓ **Medidas del espacio disponible**

Los elementos empleados para el diseño del sistema se colocarán en la parte inferior de la silla, por lo que el espacio disponible al estar la silla de ruedas en un modo estándar es de $0.33 \times 0.37 \text{ m}^2$, mientras que al convertirse a un bipedestador sus dimensiones son de $0.66 \times 0.37 \text{ m}^2$. Esto indica que el espacio de desplazamiento en la conversión de silla de ruedas a un bipedestador es alrededor de 33cm, mientras el espacio para incorporar las

baterías, los motores y el sistema de control de movimiento de la silla será de $0.33 \times 0.78 \text{ m}^2$, espacio suficiente que permitirá a los actuadores quedar totalmente sujetos a la estructura modificada.

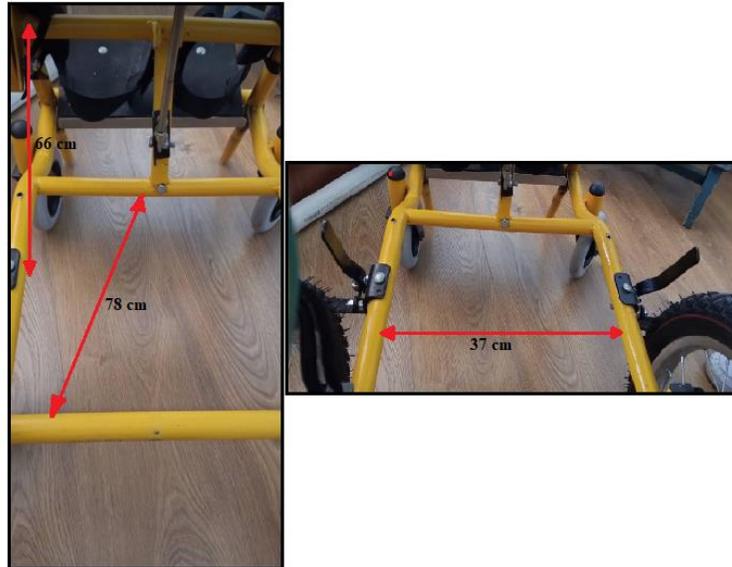


Figura 31. Medidas del espacio disponible, parte trasera de la silla de ruedas.

Elaborado por: Investigador

3.3.5.2 Actuador Lineal

El actuador lineal es el dispositivo encargado de efectuar un movimiento lineal de elevación permitiendo la conversión de la silla de ruedas estándar a un bipedestador, al utilizar este elemento se debe tener en cuenta la fuerza necesaria para levantar la silla y la persona que esté en ella. Así también es necesario ajustar la posición y la distancia de desplazamiento del vástago con la finalidad de elevar la silla bipedestadora en una posición adecuada.

Existen diferentes tipos de actuadores con características y funciones diferentes dependiendo del trabajo a desarrollarse, lo que los hacen disparejos unos de otros.

A continuación, en la siguiente la Tabla 3 se describe algunos tipos de actuadores lineales eléctricos que permitirán convertir una silla de ruedas estándar a un bipedestador.

Tabla 3. Actuadores lineales eléctricos

Marca Modelo Características	LOUIE XTL 841280	FY011C	TIMOTION TA19	FY014
Descripción gráfica				
Especificación	Actuador lineal eléctrico DC	Actuador lineal eléctrico DC	Actuador lineal eléctrico DC	Actuador lineal eléctrico DC
Voltaje (V)	12 o 24	12 o 24	24	12-24
Corriente nominal (A)	5	8	3-5	3-7
Protección	Ce, RoHS, SGS	Ce, RoHS, SGS IP43	IP65/43	Ce, RoHS
Mínima longitud de retracción (mm)	200	200	180	280
Máxima longitud de retracción (mm)	375	450	300	650

Máxima velocidad con carga ($\frac{mm}{s}$)	18	30	18	18
Dimensiones	16cmx10cm x55cm	17.2cmx11cm x48cm	18.5cmx29cm x45cm	26.5cmx29cmx45c m
Empuje Máximo (N)	1500	750-1800	1000	750-1500

Elaborado por: Investigador, en base a [46]

Entre los diferentes actuadores lineales eléctricos mostrados en la Tabla 3, se ha elegido al actuador lineal FY014, ya que cumple con los parámetros de elevación vertical que se requiere para elevar al paciente, así también su tipo de alimentación (12V), su forma y su tamaño compacto ideal para su instalación en la silla de ruedas. Otro aspecto importante para la selección de este elemento es la prolongación total que se necesita entre el actuador más el vástago los cuales deben ser de 60 cm, medida que se requiere para cumplir la función del bipedestador en la silla, además de contar con una fuerza de empuje entre 1000 a 1500 N con las cuales es suficiente para elevar el sistema con el peso del paciente incluido.

3.3.5.3 Motor DC

Los motores son los encargados de proporcionar energía a todo el sistema de automatización ya que ayuda al movimiento de propulsión en las ruedas traseras de una silla de ruedas convencional y para este proyecto a un bipedestador, por tal razón antes de seleccionar los motores para este proyecto se enfatiza algunos aspectos a evaluar los cuales son; el peso de todos los elementos que se van a introducir en el bipedestador (ver la Tabla 4) así también el troque necesario que estos proporcionen el cual debe ser capaz de superar las rugosidades del terreno e inclusive el grado de inclinación que estas puedan tener.

Datos de elementos a ser introducidos en el bipedestador

Peso de la silla bipedestadora: 28.12 Kg

Peso del paciente: 23 Kg (Proporcionado por la Madre del paciente)

Peso del actuador lineal: 4.4 Kg

Peso del motor DC: $12.24\text{Kg c/u} = 12.24\text{Kg} * 2 = 24.48\text{Kg}$

Peso de baterías: 14.02 Kg

Peso del driver de motor: $90\text{g} = 0.09\text{Kg}$

Sistema mecánico y de soporte: 3.9Kg

Tabla 4. Detalle de pesos que intervienen en la silla bipedestadora

Descripción de elementos	Peso (Kg)
Silla bipedestadora	28.12
Paciente	23
Actuador lineal	4.4
Motores DC	24.48
Baterías	14.02
Driver del motor	0.09
Sistema mecánico y de soporte	3.9
Total	98.01

Elaborado por: Investigador

Posteriormente se realizó los cálculos de fuerza y torque, que permitieron estimar la potencia requerida del motor en superficies planas e inclinadas, lo que ayudaría en la elección del motor adecuado para su uso.

Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie plana (ver Figura 32).



Figura 32. Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie plana

Elaborado por: Investigador

A continuación, se determina la sumatoria de fuerzas en el eje X, Y que permitirán conocer la fuerza requerida para lograr el movimiento de la silla bipedestadora.

Sumatoria de fuerzas en el eje X

$$\sum F_x = 0 \quad (4)$$

Ecuación 4. Sumatoria de fuerzas en el eje x para una superficie plana

$$\text{Fuerza} - \text{Fuerza de rozamiento} = 0$$

$$\text{Fuerza} = \text{Fuerza de rozamiento} \quad (5)$$

Ecuación 5. Fuerza en el eje x

Para conocer la fuerza de rozamiento es necesario obtener el dato del coeficiente de rozamiento cinético (μ_k) entre el neumático de la llanta que está compuesto de goma y el

hormigón del suelo cuya composición base es cemento, este coeficiente tiene un valor correspondiente a $\mu_k = 0,55$ [51]

$$\text{Fuerza de rozamiento} = \mu_k * N \quad (6)$$

Ecuación 6. Fuerza de rozamiento en el eje x

$$\text{Fuerza de rozamiento} = 0,55 * N$$

Sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0 \quad (7)$$

Ecuación 7. Sumatoria de fuerzas en el eje y

$$W - N = 0 \quad (8)$$

Ecuación 8. Normal en el eje y

Donde:

W: es el valor del peso del cuerpo, en este caso los pesos que intervienen en la silla bipedestadora

$$W = m * g \quad (9)$$

Ecuación 9. Peso

sustituyendo el valor de la ecuación (9) en la ecuación (6) tenemos

$$\text{Fuerza de rozamiento} = 0,55 * N$$

$$\text{Fuerza de rozamiento} = 0,55 * 98.01Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\text{Fuerza} = \text{Fuerza de rozamiento} = 528.27 N$$

El valor obtenido corresponde a la fuerza necesaria para lograr el movimiento de la silla bipedestadora en una superficie plana.

Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie inclinada (ver Figura 33)

De acuerdo a la Norma NTE INEN 2245 “ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO. RAMPAS”, define las características a seguir donde, las rampas juegan un papel importante y estas se someten en entornos urbanos edificados proporcionando la ayuda a la movilidad de las personas especialmente a las que presentan discapacidad [52].

Según la norma NTE INEN 2245 al presentarse pendientes longitudinales máximas, se establecen rangos de elevación de la rampa en función de su tramo o extensión (ver Figura 33) [52]:

- Distancias alcanzadas hasta 10 m una elevación máxima del 8%
- Distancias alcanzadas hasta 2 m una elevación máxima del 12%
- Distancias alcanzadas hasta 3 m una elevación máxima del 12% para construcciones existentes.

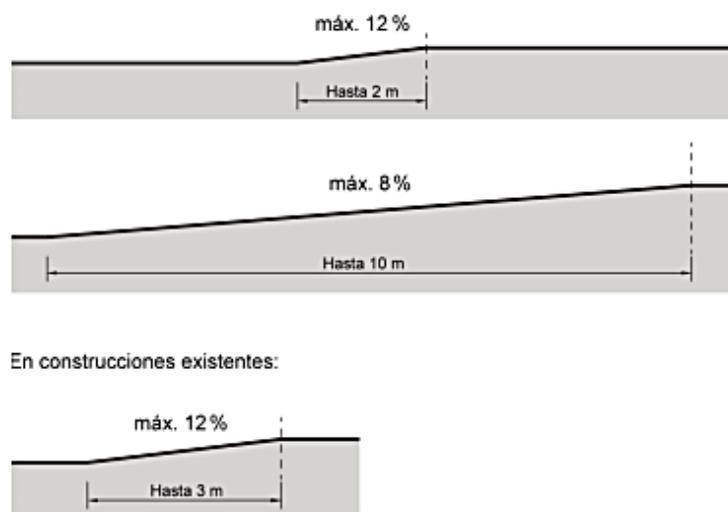


Figura 33. Rangos de pendientes longitudinales máximas para los tramos de rampa, en base a [52]

Siguiendo con las recomendaciones impuestas por la norma, se tomó el valor de pendientes longitudinales en construcciones existentes, que comprende de distancias de hasta 3 m con una elevación del 12%, por lo que se asemeja a la realidad más frecuente de los tramos de edificación urbana, mismos que son útiles para determinar el dimensionamiento de potencia del motor que este requiere para que el bipedestador supere esta adversidad.

A través de la elevación del 12% se determina el ángulo de elevación de la siguiente manera.

$$\tan \theta = 12\%$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.12)$$

$$\theta = 6.84^\circ$$



Figura 34. Dimensionamiento de potencia del motor en una superficie inclinada

Elaborado por: Investigador

Sumatoria de fuerzas en el eje X

$$\sum F_x = 0 \quad (10)$$

Ecuación 10. Sumatoria de fuerzas en el eje x para una superficie inclinada

$$\text{Fuerza} - \text{Fuerza de rozamiento} - W_x = 0$$

$$W_x = W * \sin\theta \quad (11)$$

Ecuación 11. Peso en el eje x en una superficie inclinada

sustituyendo la ecuación (6) y (11) en la ecuación (11) tenemos

$$\text{Fuerza} = \mu_k * N + W * \sin\theta \quad (12)$$

Ecuación 12. Fuerza en el eje x para una superficie inclinada

Sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0 \quad (13)$$

Ecuación 13. Sumatoria de fuerzas en el eje y para una superficie inclinada

$$N - W_y = 0 \quad (14)$$

Ecuación 14. Normal en el eje y para una superficie inclinada

$$N = W_y$$

$$W_y = W * \cos\theta \quad (15)$$

Ecuación 15. Peso en el eje y para una superficie inclinada

sustituyendo la ecuación (14) en la ecuación (15) tenemos

$$N = 960.50 * \cos(6.84)$$

$$N = 953.66$$

sustituyendo el valor de la ecuación (14) en la ecuación (12) tenemos

$$Fuerza = 0,55 * 953.66 + 960.5 * \sin(6,84)$$

$$\mathbf{Fuerza = 638.91 N}$$

El valor obtenido corresponde a la fuerza necesaria para lograr el movimiento de la silla bipedestadora en una superficie inclinada.

Torque

Para determinar el cálculo del torque, es necesario conocer algunos datos; el primero es el valor de fuerza para que un motor pueda tener movimiento más aun en una superficie inclinada, para lo cual se tiene un valor correspondiente a 638.91 N, con este valor se realiza una distribución de fuerzas puesto que se requieren dos motores uno por cada rueda, por tal razón a cada motor se va aplicar una fuerza de 319.455 N, transformándolo a kilogramo fuerza se tiene como resultado un valor de 32.58 *Kgf*. Además, es necesario determinar como dato el diámetro de la rueda que es de 0.295 m, asumiendo estos valores a continuación se realizar el cálculo del torque.

$$T = Fuerza * R \tag{16}$$

Ecuación 16. Torque

$$T = 32.58N * 0.295 m$$

$$T = 9.61 Nm$$

En donde:

T(Nm): corresponde al torque del motor

R(m): corresponde al valor de radio de la rueda

Tomando en cuenta los datos obtenidos en los cálculos realizados, se ha elaborado la siguiente tabla que permite elegir el motor adecuado para este proyecto.

Tabla 5. Cuadro comparativo de motores

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Marca Modelo </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> BG MOTOR CIROLLA YALU YALU </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Bg-1109-800w 5006 MY1016Z YLD1 </div>	Características			
Descripción grafica				
Especificación	Motor DC Brushless	Motor DC de engranaje	Motor DC de imán permanente	Motor de engranaje CC
Potencia (W)	800	320	250	250
Voltaje (V)	36	24	24	24
Corriente (A)	≤ 23	≤ 25	13.4	10.6/7.1
Torque (Nm)	1000	4200	1200	3250-4200
Velocidad (rpm)	10-80	10-40	10-40	10-60

Elaborado por: Investigador

El motor que se seleccionó para el desarrollo del presente proyecto es CIROLLA-5006 (ver Figura 35), el cual cuenta con disponibilidad dentro del país para su adquisición, el elemento cuenta con el torque necesario e inclusive sobrepasa con los cálculos obtenidos, lo que asegura el desplazamiento de la silla en las superficies planas e inclinadas. Además, algunas de sus especificaciones como: una corriente de 25 A, una potencia de salida de 320 W, un torque de 4200 Nm, la velocidad comprendida entre 10 a 40 rpm y un voltaje de 24V con escobillas con una caja de engranajes de reducción que permiten reducir la velocidad de entrada hacen de este elemento ideal para aplicaciones en sillas de ruedas.



Figura 35. Motor CIROLLA-5006

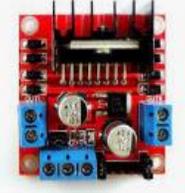
Elaborado por: Investigador

3.3.5.4 Driver de motor

El driver de motores es un dispositivo versátil pues permite que los actuadores sean controlados a través de una señal de control (PWM) misma que provendría de un microcontrolador. Para que el driver controle la velocidad del motor, su función será leer una señal analógica entre 0 y 5 voltios, haciendo que su velocidad sea reducida, normal o rápida.

De acuerdo al valor de la corriente, voltaje y velocidad del motor DC, se deben analizar los drivers y de esta manera elegir la opción más adecuada para evitar sobrecargas y cortocircuitos en el sistema, por tal motivo se ha realizado una tabla comparativa. Esto permitirá seleccionar el controlador más adecuado para el sistema (ver Tabla 6).

Tabla 6. Cuadro comparativo de Driver de motor

Controlador	Driver motor L298N	Dimension Engineering Sabertooth Dual 12A	Driver de Motor BTS7960 43A	Controlador de Motores DC hasta 50 Amperios 30VDC
Características				
Descripción grafica				
Voltaje (V)	12V	6-24	5.5 - 27	60
Corriente (A)	2-4	12	43	35
Aplicaciones	Control de motor CC PWM, Control de motor para placas Arduino y Cambio de giro	Robots de accionamiento diferencial. Controlador de motores de voltaje analógico, radio control y serie	Controlador de motores de voltaje analógico para placas Arduino y Cambio de giro	Control de motor CC PWM, Control de motor para placas Arduino y Cambio de giro

Elaborado por: Investigador

Para el sistema de desplazamiento de la silla bipedestadora el driver seleccionado es el BTS7960, pues presentan características de desempeño eficiente y versátil para el control de los motores DC y el actuador lineal con voltaje analógico, puesto que algunas características que se ha tomado para la elección de este controlador recaen en que son capaces de soportar picos de corriente de 43A, además cuentan con protección contra sobrecargas y una frecuencia de 25 KHz lo que indica que su funcionamiento es de forma silenciosa.

3.3.5.5 Tarjeta electrónica

El dispositivo que permitirá el grabar instrucciones que el sistema requiere será una tarjeta electrónica programable, su principal función es ejecutar instrucciones establecidas y generar la acción de funcionamiento al actuador seleccionado, por tal motivo se ha decidido el modelo de tarjeta Arduino para este sistema. La Tabla 7 permite presentar las especificaciones técnicas de placas comerciales que podrían ser utilizadas en el sistema, de tal forma se procederá a la selección del módulo apropiado para su inclusión.

Tabla 7. Módulos Arduino

Tipo de Arduino Características	Arduino UNO	Arduino Mega 2560	Arduino Nano	Arduino FIO
Descripción grafica				
Dimensiones (mm²)	68.6x53.4	101.52x53.3	45.0x18.0	28.0x65.0
Alimentación (V)	6-12	7-12	7-12	3.3
E/S Digitales	16 pines	54 pines	16 pines	6 pines
E/S Análogas	6 pines	16 pines	14 pines	8 pines

Comunicacion es y extras	I2C, SPI, además cuenta de un módulo UART.	SPI, 4 módulos UART, 2 modos PWI	I2C, SPI, además cuenta de un módulo UART.	SPI, I2C y un módulo UART
-----------------------------	--	--	--	------------------------------

Elaborado por: Investigador

Conociendo las características técnicas más importantes de cada placa Arduino se determinó que el Arduino Mega 2560 es la mejor opción para el sistema de automatización, ya que es una placa de desarrollo muy utilizada para proyectos robustos específicamente para control de motores y puede encajar perfectamente bien para el sistema; cuenta con un microcontrolador de 8 bits, puertos tanto analógicos como digitales aptas para dar lectura y accionamiento en actuadores y/o sensores. A continuación, se describe de forma detallada todas las especificaciones técnicas que Arduino Mega 2560 puede brindar [53]:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: Rango de entrada recomendada de 7-12V
- Pines de E/S Digitales: 54 (De las cuales 15 suministran salida PWM)
- Pines de Entrada analógica: 16
- Corriente CC por pin: 20mA
- Memoria Flash: 256 KB (ATmega328) de los cuales 8 KB son usadas por el bootloader.
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidad del Reloj: 16 MHZ.
- Dimensiones: 69.6x53.4 mm
- Peso: 37 g

3.3.5.6 Baterías

La batería es aquel componente clave que alimentará todos los componentes del sistema de automatización para el desplazamiento de la silla bipedestadora, por lo que se utilizó dos

baterías cuya composición es de plomo-ácido; estas baterías son muy habituales, pues se las encuentra en vehículos convencionales, lo que les permite suministrar un amperaje relativamente alto, lo que los hace ideales para motores de corriente continua.

Estas baterías deben trabajar simultáneamente para que uno de los elementos importantes del sistema los cuales son, los motores DC puedan generar un movimiento, soportando al menos una corriente de 13.4 A, un voltaje de 24V. Para ello, se ha elaborado una tabla comparativa que enumera cada batería que podría servir en el sistema:

Tabla 8. Tipos de Baterías

Modelo Marca Características	KITZUMA 6FM21	LDNIO PR518	UPG UB12350k	BOSCH S4
Descripción grafica				
Material	Plomo-Ácido	Litio	Litio	Plomo-Ácido
Voltaje (V)	12	5	12	12
Amperaje (A)	25 Ah	2.1	35 Ah	70 Ah
Peso (Kg)	12.6	0.45	22.4	23.5
Disponibilidad	Si	Si	Si	Si

Elaborado por: Investigador

Se ha inclinado para la selección de elemento ya que el motor DC nos genera una corriente de carga de 25Ah. En donde, el consumo del motor está dado por la siguiente ecuación, que nos proporciona la potencia

$$P_{motor} = F_{max} * V_{max} \quad (17)$$

Ecuación 17. Potencia de un motor

Donde:

P_{motor} corresponde a la potencia del motor

F_{max} corresponde a la fuerza máxima que el motor ejerce

V_{max} corresponde a la velocidad máxima del motor en $\frac{m}{s}$

$V_{max} = 0.0756$ que resulta de la conversión de rpm a $\frac{m}{s}$

Reemplazando los datos tenemos

$$P_{motor} = 4200 N * 0.0756 \frac{m}{s}$$

$$P_{motor} = 317.52 W$$

A continuación, se determina el consumo de corriente despejando la siguiente ecuación

$$P_{motor} = I * V$$

$$I = \frac{P_{motor}}{V} = \frac{317.52 W}{24V} \quad (18)$$

Ecuación 18. Consumo de corriente del motor

$$I_{motor} = 13.23 A$$

Se debe tener en cuenta que en una de las baterías va a estar conectado también el actuador lineal, para ello se suman las corrientes respectivamente

$$I_{total} = I_{motor} + I_{actuador} \quad (19)$$

Ecuación 19. Consumo de corriente de todos los actuadores

$$I_{total} = 13.23A + 3A$$

$$I_{total} = 16.23A$$

Se determina también un supuesto caso que, si el paciente en cuestión requiere un uso de 2 horas seguidas, se debe determinar la capacidad de la batería, por lo tanto, se plantea la ecuación

$$\text{Capacidad} = I_{total} * \text{Tiempo (horas)} \quad (20)$$

Ecuación 20. Capacidad de la batería

$$\text{Capacidad} = 16.23 \text{ A} * 2 \text{ h}$$

$$\text{Capacidad} = 32.46 \text{ Ah}$$

Realizando estos cálculos se establece que la silla bipedestadora funciona 2 horas, con sus actuadores activados todo el tiempo con una capacidad de 36.45Ah, en donde la batería BOSCH cumple con este requerimiento pues su capacidad es de 70Ah.

En cuestión para el desarrollo del proyecto se utilizaron dos baterías, ya que el elemento más importante que requiere de una fuente de alimentación son los motores CIROLLA 5006 que necesita de 24V para su funcionamiento, por lo que se utilizarán dos baterías conectadas en serie lo que significa que se contarán con los 24V necesarios que estarán suministradas por las baterías BOSCH y KITZUMA.

Además, se establece que la batería KITZUMA modelo 6FM21 suministrara la alimentación de 12V para los elementos de control como el Driver BTS7960.

Adicional se utiliza una tercera batería LDNIO PR518 que estará destinada a la alimentación de la placa Arduino Mega con un voltaje de 5V y una corriente de 2.1 las cuales son suficientes para enviar las señales a los actuadores.

De tal forma estas fuentes de alimentación fueron seleccionadas para este proyecto, ya que a través de sus especificaciones tales como el voltaje, amperaje y disponibilidad las ubica como la alternativa perfecta en la implementación del sistema de automatización.

3.3.5.7 Interruptor

El uso del interruptor permite que los dispositivos estén protegidos, por lo cual entre la gran variedad de interruptores que se tiene en el mercado, para el sistema solo se necesitará de dos de ellos cuya función específica deberá ser el del estado encendido/apagado para controlar el paso de corriente.

A continuación, en la Tabla 9 describe varios interruptores, los cuales están clasificados por su número de polos, su operación y funcionamiento.

Tabla 9. Tipos de Interruptores

Tipo	Interruptor de 1 polo	Interruptor de 2 polos	Interruptor de 3 polos	Interruptor de 4 polos
Características				
Descripción grafica				
Funcionamiento	Su mecanismo se basa en dos posiciones, abrir y cerrar el circuito, permaneciendo en un solo estado hasta recibir un pulso.	Posee un terminal de entrada y dos de salida, a menudo puede realizar diferentes funciones en un circuito para el encendido y apagado de una carga.	Permite el encendido y apagado de una carga desde cualquiera de los dos puntos, usando otro interruptor de tres vías.	Permite encender y apagar una carga desde cualquiera de los tres puntos, usando otro interruptor de tres vías.
Voltaje de funcionamiento (V)	3	12	3	3
Voltaje máximo (V)	12	250	12	12

Elaborado por: Investigador

Con el fin de cortar el flujo de energía para alimentar todo el sistema, se decidió optar por un interruptor bipolar, ya que una de sus ventajas en esta elección es porque se va a utilizar el voltaje comprendido de 12V a 24V y es uno de los elementos que se pueden encontrar fácilmente en el mercado por su bajo costo.

3.3.6 Selección del tipo de tecnología inalámbrica para la interfaz gráfica táctil y el prototipo electrónico

3.3.6.1 Tipo de comunicación inalámbrica

El uso de la comunicación inalámbrica conviene la transmisión de información de un lugar a otro, la cual va hacer empleada por el sistema móvil hacia el actuador lineal y los motores con el fin de obtener el control de cada uno de ellos. Por lo tanto, uno de los objetivos de la comunicación inalámbrica se centra en la eficacia y estabilidad, para evitar la alteración de los datos en su procesamiento al momento de ser transmitidos y recibidos por un medio no guiado.

Definido este preámbulo se realiza la comparación de características entre las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica que se detallan en la Tabla 10, en donde se hace énfasis a dos tecnologías de comunicación como Bluetooth y Wifi que pueden ser útiles para el sistema. En este caso se ha optado por utilizar la comunicación Bluetooth ya que es una tecnología que se ajusta a los requerimientos para el control de los tres actuadores, tomando como referencia que se plantea establecer una red inalámbrica personal usuario-bipedestador.

Tabla 10. Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas Bluetooth-Wifi

Tecnología inalámbrica	Bluetooth	Wifi
Distancia	100m (alcance sin obstáculos)	10m (alcance sin obstáculos)
Velocidad de transmisión	3Mbps	11-54Mbps (estándar a, b, g)
Modulación	PSK-FSK	PSK-OFDM

Frecuencia	2.4GHz	2.4-5 GHz
Acceso	TDMA	TDMA-DAMA
Ancho de banda	1-32Mbps	50-70Mbps

Elaborado por: Investigador, en base a [54]

3.3.6.2 Comunicación Bluetooth

El tipo de comunicación Bluetooth es la tecnología seleccionada predilecta para este sistema ya que permite la conexión entre dispositivos y actuadores, de tal forma en la Tabla 11 se da a conocer algunos módulos que vincularán la comunicación inalámbrica para transferir información de un lugar a otro.

Tabla 11. Módulos de Comunicación Bluetooth

Modelo	BLUETOOTH HC-05	BLUETOOTH HC-06	MGSYSTEM MÓDULO ESP32 WIFI, BLUETOOTH	MÓDULO BLUETOOTH HM-10
Características				
Descripción grafica				
Voltaje de operación (V)	3.3 - 6	3.3 -6	3 - 6	3.3 -6
Amperaje (mA)	< 40	30 - 50	<30	8.5
Alcance (m)	10	10	<25	<60
Potencia de transmisión (dBm)	4	4	4.2	-23, -6, 0, 6 se puede modificar a

				través de Comandos AT
Sensibilidad (dBm)	-84	-84	-80	-82
Frecuencia (GHz)	2.4	2.4	2.4	2.4
Modos de configuración	Maestro o esclavo	Esclavo	Esclavo	Maestro o esclavo
Protocolo de comunicación	UART RS 232	UART RS 232	Wifi: IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/http/FTP/MQTT Bluetooth: V4.2 BR/EDR y BLE	UART TTL
Baud rate ajustable	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600,11520	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600,11520	4800, 9600, 19200, 38400, 57600,11520	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600,11520
Dimensiones (mm)	44 x 16 x 7	44 x 16 x 7	47 x 22 x 8	43 x 15 x 7
Aplicaciones	Aplicaciones inalámbricas, mandos a distancia	Aplicaciones inalámbricas	Aplicaciones inalámbricas Wifi y Bluetooth	Aplicaciones inalámbricas, mandos a distancia

Elaborado por: Investigador

Para la comunicación inalámbrica del sistema se optó por el Modulo Bluetooth HC-05, pues una de las características por las que se ha inclinado en esta elección es porque permite una conexión bidireccional, pues puede funcionar como Maestro o Esclavo ideal para nuestra aplicación móvil a la hora de transferir y recibir información. Otras de las peculiaridades de este dispositivo resaltan en su bajo costo y fácil implementación.

3.3.7 Selección del sistema de control de lazo cerrado para la regulación de velocidad de los Motores DC

En la selección del sistema de control, se ha considerado tener en cuenta algunos factores que inciden directamente en el trabajo del sistema de automatización de desplazamiento, en tal virtud tomando en cuenta; las ventajas, desventajas y la Tabla 2 que describe la comparativa entre los controles de lazo cerrado se ha preferido el Control PI, pues reduce el ancho de banda siendo una característica fundamental para controlar la velocidad del motor DC el cual forma un papel crucial para el movimiento del paciente. De tal manera a continuación se realiza el modelado del motor DC para determinar de esta manera mediante ecuaciones las ganancias proporcional e integral que se acerquen a la velocidad requerida para los actuadores en cuestión.

3.3.7.1 Modelado del Motor de DC

El modelado del motor DC es el primer paso que ayuda a definir el comportamiento del sistema de tal forma mediante el circuito equivalente de armadura de un motor de DC se la puede representar mediante una resistencia en serie, con un inductor y una fuente de tensión inducida [55], este circuito equivalente se muestra en la Figura 36.

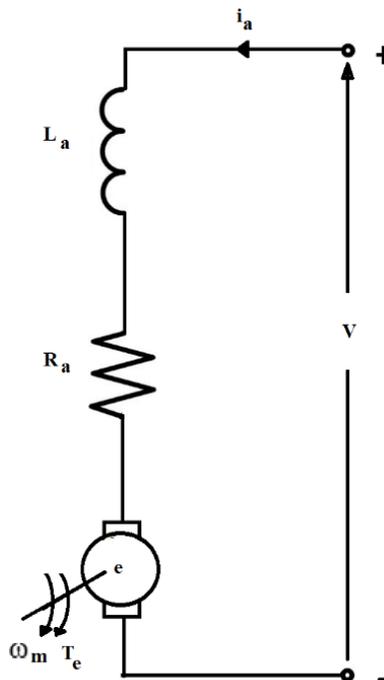


Figura 36.. Modelado del circuito de armadura para el motor de DC

La ecuación dinámica de la corriente de armadura está comprendida de la siguiente manera,

$$V = e + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (21)$$

Ecuación 21. Corriente de armadura

Donde:

V es la tensión

e es la tensión de armaura

i_a es la corriente de armadura

R_a es la resistencia de armadura

L_a es la inductancia de armadura

Se tiene también la tensión inducida en la armadura del motor, que habitualmente es proporcional a la velocidad angular del motor, por lo que, la ecuación generada es:

$$e = k_b \omega \quad (22)$$

Ecuación 22. Tensión inducida en la armadura del motor

Donde:

k_b es la constante de fuerza electromotriz

ω corresponde a la velocidad angular

Además, el torque electromagnético desarrollado en el eje del motor es proporcional a la corriente de armadura, en donde se tiene,

$$T_e = k_t i_a \quad (23)$$

Ecuación 23. Torque electromagnético desarrollado en el eje del motor

Dónde:

T_e es el torque electromagnético

k_t es la constante de torque

Se tiene presente la ecuación dinámica de la velocidad angular que corresponde,

$$T_e = J_m \frac{d\omega}{dt} + D_m \omega \quad (24)$$

Ecuación 24. Velocidad angular

Donde:

J_m es el momento de inercia de la armadura sumado al de la carga reflejada en la armadura

D_m es el coeficiente de fricción

Aplicando la transformada de Laplace a las ecuaciones presentadas anteriormente y reemplazando e y i_a por las equivalencias expresadas en (22) y (23) se tiene,

$$V(s) = k_b \omega(s) + R_a + L_a(s) \frac{T_e(s)}{k_t} \quad (21a)$$

Y, usando la ecuación (21a) se obtiene,

$$V(s) = k_b \omega(s) + \frac{(R_a + L_a s)(J_m s + D_m)}{k_t} \omega(s) \quad (25)$$

Ecuación 25. Tensión inducida aplicando la transformada de Laplace

Debido a que la inductancia de armadura es pequeña con relación a la resistencia de armadura, esta se puede despreciar y si despreciamos el coeficiente de fricción, la función de transferencia del motor queda representada por,

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{\frac{1}{k_b}}{1 + \frac{R_a + J_m s}{k_t k_b}} \quad (26)$$

Ecuación 26. Función de transferencia del motor

A partir de la ecuación (26), se diseña el control de velocidad a lazo cerrado para el motor de DC.

3.3.7.2 Diseño del Control de Velocidad de Lazo Cerrado

El principal objetivo del control de lazo cerrado es mantener la velocidad del motor igual a la referencia establecida por el usuario en cualquier situación de carga, permitiendo además mejorar la respuesta transitoria. El controlador PI es el que mejor se adecua a la aplicación presente.

Por lo tanto, su función de transferencia viene dado por,

$$\frac{V(s)}{E(s)} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right)$$

Donde:

k_p y k_i son las ganancias proporcional e integral

El modelo del motor a controlar representado en la ecuación (23) puede escribirse también como,

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{k_m}{1 + \tau s} \quad (27)$$

Ecuación 27. Modelado del motor DC

Donde:

k_m es la constante del motor

τ es la constante de tiempo respectivamente

A partir de la ecuación (27) se representa las expresiones de k_m y τ

$$k_m = \frac{1}{k_b} \quad (28)$$

Ecuación 28. Constante del motor

$$\tau = \frac{R_a J_m}{k_b k_t} \quad (29)$$

Ecuación 29. Constante de tiempo

A continuación, se representa el diagrama de bloques del sistema de control a lazo cerrado, el cual está comprendido de la siguiente manera:

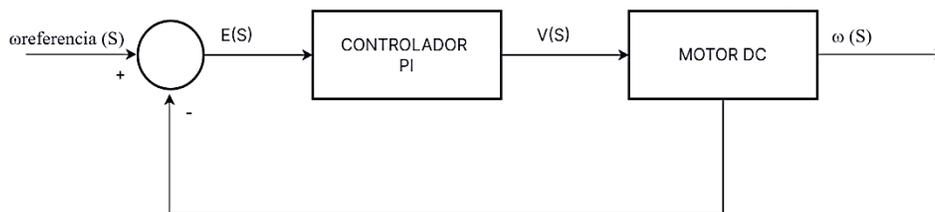


Figura 37. Diagrama de bloques del sistema de control a lazo cerrado

Elaborado por: Investigador

Una vez definida la función de transferencia del motor y del controlador, la función de transferencia de lazo cerrado está proporcionada por,

$$G_{LC} = \frac{\frac{k_p k_m}{\tau} \left(s + \frac{k_i}{p} \right)}{s^2 + \frac{(1 + k_p k_m)}{\tau} s + \frac{k_i k_m}{\tau}} \quad (30)$$

Ecuación 30. Función de transferencia de lazo cerrado

Como resultado tenemos un sistema de segundo orden que permite seleccionar las ganancias en función del comportamiento deseado. Desarrollado este sistema la ecuación característica es la siguiente,

$$s^2 + \frac{(1 + k_p k_m)}{\tau} s + \frac{k_i k_m}{\tau} \quad (31)$$

Ecuación 31. Representación de una ecuación segundo orden para seleccionar las ganancias

Puesto a que los coeficientes de la misma se relacionan con la frecuencia natural no amortiguada ω_n y el factor de amortiguamiento relativo ζ se tiene la siguiente expresión,

$$\frac{(1 + k_p k_m)}{\tau} = 2\zeta \quad (32)$$

Ecuación 32. Factor de amortiguamiento relativo

$$\frac{k_i k_m}{\tau} = \omega_n^2 \quad (33)$$

Ecuación 33. Frecuencia natural no amortiguada

Mediante un análisis previo del motor DC se obtuvieron sus constantes comprendidas al tiempo, dando como resultado,

$$k_m = 0,58 \frac{rad}{sg}$$

$$\tau = 0,025 s$$

A partir de las constantes obtenidas y de las relaciones presentadas en las ecuaciones (28) y (29) se diseña el controlador en base a las siguientes especificaciones,

$$\%OS = 2\%$$

$$T_s = 100ms$$

Donde:

$\%OS$ es el porcentaje de sobrepaso

T_s es el tiempo de asentamiento

El porcentaje del sobrepaso está relacionado con el factor de amortiguamiento relativo ζ según la siguiente ecuación,

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{\%OS}{100}\right)}{\sqrt{\pi^2 \ln^2\left(\frac{\%OS}{100}\right)}} \quad (34)$$

Ecuación 34. Factor de amortiguamiento relativo respecto al porcentaje del sobrepaso

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{2\%}{100}\right)}{\sqrt{\pi^2 \ln^2\left(\frac{2\%}{100}\right)}}$$

El resultado es

$$\zeta = 0,7797$$

Además, la frecuencia natural no amortiguada ω_n puede calcularse en función del tiempo de asentamiento T_s y el factor de amortiguamiento relativo ζ como,

$$\omega_n = \frac{4}{\zeta T_s} \quad (35)$$

Ecuación 35. Frecuencia natural no amortiguada respecto a la función del tiempo de asentamiento y el factor de amortiguamiento relativo

$$\omega_n = \frac{4}{100\text{ms} * 0.7797}$$

Nos da como resultado

$$\omega_n = 51,3017$$

En base a estas relaciones presentadas en las ecuaciones (34) y (35) conjuntamente con los valores de ζ y ω_n calculados anteriormente, las ganancias k_i y k_p pueden calcularse de la siguiente manera, dando como resultado,

$$k_i = \frac{\omega_n^2 \tau}{k_m} \quad (36)$$

Ecuación 36. Ganancia integral

$$k_i = \frac{51.3017^2 * 0.025}{10.847}$$

$$k_i = 6,0658$$

$$k_p = \frac{(2 \zeta \omega_n \tau - 1)}{k_m} \quad (37)$$

Ecuación 37. Ganancia proporcional

$$k_p = \frac{(2 * 0.7797 * 51.3017 * 0.025 - 1)}{10.847}$$

$$k_p = 0,0919$$

Para reducir la ecuación dinámica de la corriente de armadura y representar de forma sencilla el modelado del motor la función de transferencia que relaciona la posición angular en del eje del motor $\theta(t)$ como la variable de salida, respecto a la variable de entrada, el cual es el voltaje de armadura $e_a(t)$, se define la siguiente ecuación [56].

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s[(R_a + sL_a)(J_m + b) + KK_b]} \quad (38)$$

Ecuación 38. Función de transferencia relacionada entre la posición angular y el voltaje de armadura

Donde:

R_a es la resistencia de armadura

L_a es la inductancia de armadura

K es la constante del par del motor

K_b es la constante de fuerza electromotriz

J_m es el momento de inercia de la armadura

b es el coeficiente de fricción

Tomando la ecuación anterior como referencia lo que se pretende determinar la función de transferencia que permita relacionar la velocidad angular de la salida del motor $\omega(t)$ respecto al voltaje de entrada $e_a(t)$, entonces:

Se considera $\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$, en el dominio de Laplace es $\Omega(s) = s\theta(s)$

Deducido este ámbito se desprecia en donde se tiene como ecuación representativa para la función de transferencia

$$\frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{R_a(J_m + b)KK_b} \quad (39)$$

Ecuación 39. Representación de la función de transferencia en el dominio de Laplace

Esta ecuación también se la puede reescribir de una forma más sencilla, tal es el caso que para realizar este proceso se simplifica las siguientes expresiones:

$$B = b + \frac{KK_b}{R_a}$$
$$K_m = \frac{K}{R_a B}$$
$$T_m = \frac{J_m}{B}$$

Realizado esta reducción de expresiones la función de transferencia queda determinado en un sistema de primer orden de la siguiente manera:

$$G(s) = \frac{K_m}{T_m s + 1} \quad (40)$$

Ecuación 40. Expresión de primer orden que representa la reducción de la función de transferencia

Donde:

K_m es la velocidad que esta determinada por un ganancia

Puesto que al aplicar un voltaje máximo al motor se conoce que, $E_a(s) = 24V$ y su velocidad de salida $\Omega(s)$ de acuerdo a los parámetros del motor tendrá un alcance de 5.55RPM, la misma que proporciona una ganancia de $K_m = 0.58$ el cual se comprueba de forma experimental al momento de realizar la conversión de rad/s a rev/m.

$$G(s) = \frac{0.58}{0.025s + 1}$$

3.3.7.3 Implementación del sistema de control en Xcos Scilab

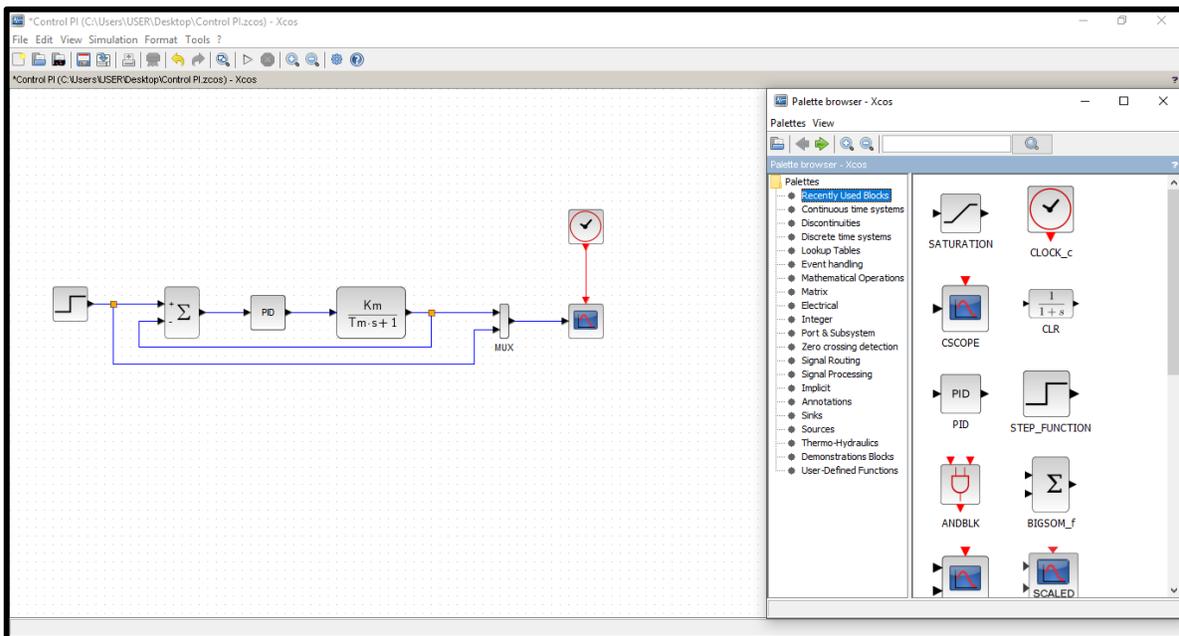


Figura 38. Modelo en Xcos de Scilab para la implementación del controlador PI de un motor de DC

Elaborado por: Investigador

En modelo mostrado en la Figura 38 permite observar la implementación de un sistema de control para el motor DC, la misma está compuesto de dos elementos importantes:

El control PI en donde se establece los valores de ganancia Integral y Proporcional.

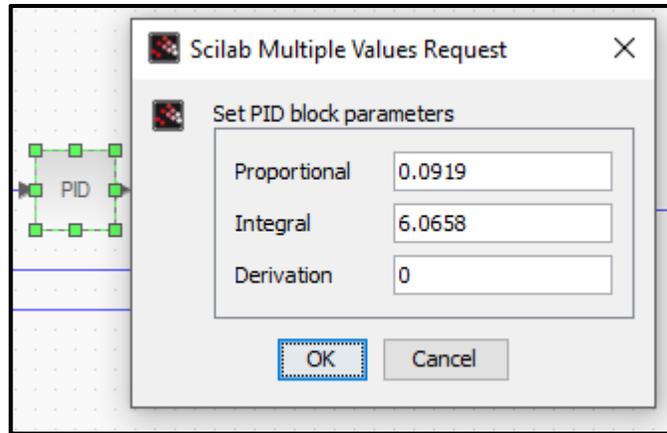


Figura 39. Introducción de valores de ganancias integral y proporcional en un control PI

Elaborado por: Investigador

La función de transferencia que está definida por los parámetros de la ecuación de primer orden.

$$G(s) = \frac{K_m}{T_m s + 1} = \frac{0.58}{0.025s + 1}$$

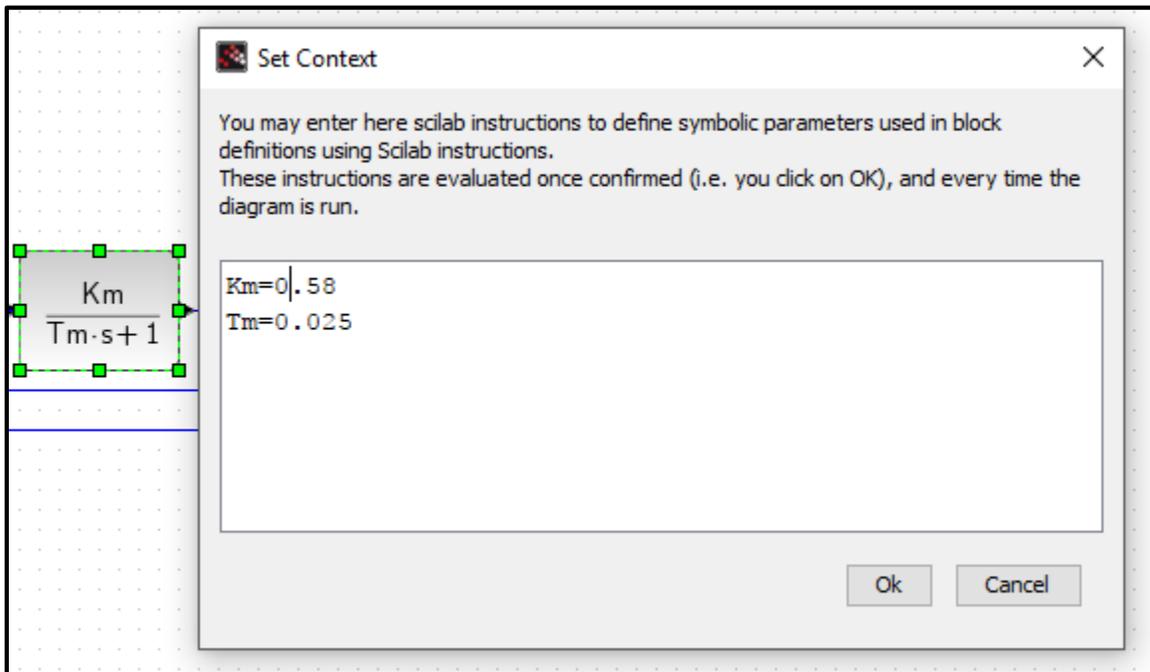


Figura 40. Introducción de valores en ganancia de velocidad (K_m) y la constante de tiempo de un motor(T_m) DC

Elaborado por: Investigador

El sistema implementado permite a través del control PI y de la función de transferencia modelar el comportamiento de un motor DC, dando como resultado la reducción notable del actuador en cuestión es su velocidad de acuerdo a los valores respecto a las ganancias k_p y k_i .

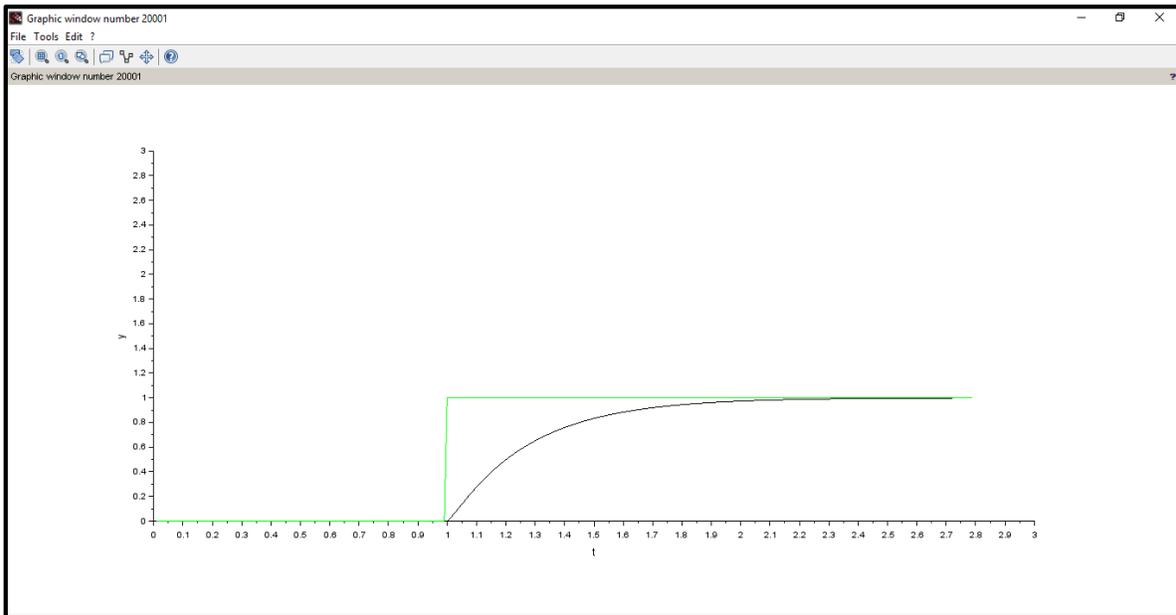


Figura 41. Respuesta del modelado del motor DC, con un Controlador tipo PI

Elaborado por: Investigador

La velocidad se regula según la referencia proporcionada por el fabricante el cual es 103.58 rpm aproximadamente.

3.3.8 Implementación del prototipo electrónico para el desplazamiento de la silla bipedestadora

Durante la implementación del prototipo electrónico se desarrollaron subsistemas orientados a permitir el control de todos los actuadores, permitiendo de esta manera que la parte mecánico-electrónico opere de forma autónoma en su conjunto ante cualquier adversidad.

De forma resumida se detalla los subsistemas que contiene la silla bipedestadora:

- El primer subsistema es el responsable de controlar el movimiento del actuador lineal, para lo cual se realiza la adecuación de dos finales de carrera ubicados en la parte superior e inferior dentro del actuador, estos elementos están destinados a cumplir

la función de detectar la extracción o retracción final del mecanismo de elevación e inmediatamente envía una señal a la placa Arduino Mega para su paro inmediato. Además, es importante indicar que los movimientos de ascensión y descenso del mecanismo de elevación se logra a través del controlador BTS7960 43A.

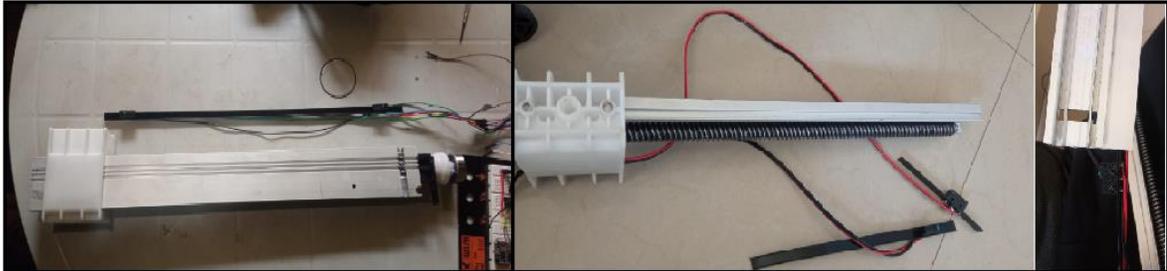


Figura 42. Ajuste de finales de carrera en el actuador lineal

Elaborado por: Investigador

- El segundo subsistema está diseñado para controlar el movimiento del Motor CIROLLA 5006, el cual se lo realiza mediante dos drivers BTS7960 uno para cada motor.

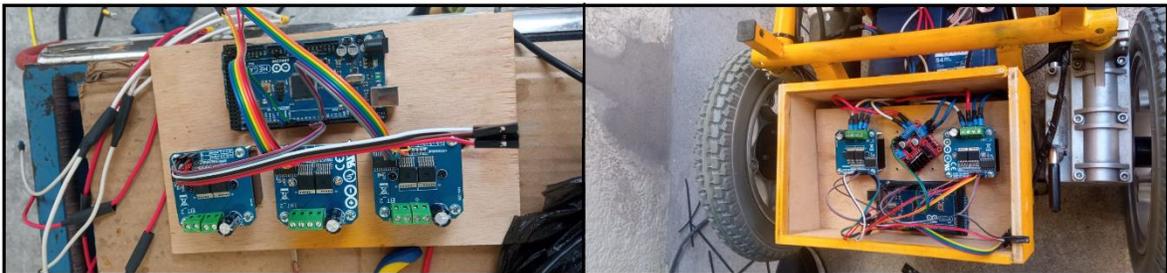


Figura 43. Ajuste del driver BTS7960 para el movimiento de las ruedas

Elaborado por: Investigador

3.3.8.1 Diagrama de conexión para el sistema de control de los actuadores

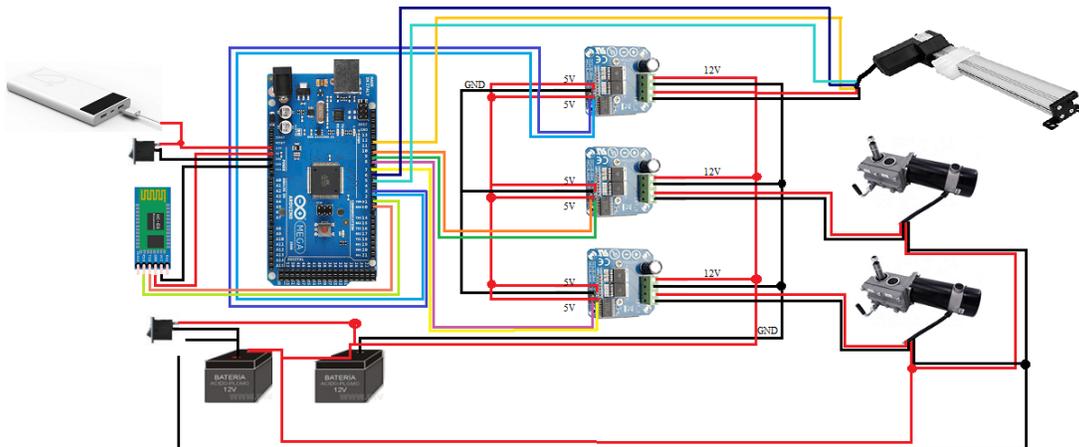


Figura 44. Diagrama representativo del sistema de conexión

Elaborado por: Investigador

La Figura 44 corresponde al diagrama representativo de conexión para el control de los actuadores que intervienen en el sistema, en él se indica cómo se debe realizar la conexión entre dispositivos.

3.3.8.2 Distribución de pines de la tarjeta Arduino Mega

A continuación, en la Tabla 12 y 13 se presenta la distribución de los pines de la tarjeta Arduino Mega, los cuales se indican como deben ser colocados en los pines del Driver BTS7960 para que de esta manera los actuadores que intervienen en la silla bipedestadora puedan funcionar correctamente.

Tabla 12. Conexión entre los motores DC en el Arduino

Pines del Driver BTS7960 43A	Pines de Arduino Mega	Tipo	Descripción
Vcc	5V	Energía	Alimentación de 5V para el Driver BTS7960
GND	GND	Energía	Tierra referencial del

			Driver BTS7960
L_EN	5V	Entrada digital	Habilitación del Driver BTS7960
R_EN	5V	Entrada digital	Habilitación del Driver BTS7960
RPWM	Pin 7	Entrada digital	Controla el giro derecho motor 1
LPWM ()	Pin 8	Entrada digital	Controla el giro izquierdo motor 1
RPWM	Pin 9	Entrada digital	Controla el giro derecho motor 2
LPWM	Pin 10	Entrada digital	Controla el giro izquierdo motor 2

Al utilizar dos controladores se deben duplicar las conexiones los pines del Driver BTS7960 que corresponden a Vcc, GND, L_EN y R_EN.

Tabla 13. Conexión entre el actuador lineal y el Arduino

Pines del Driver BTS7960 43A	Pines de Arduino Mega	Tipo	Descripción
Vcc	5V	Energía	Alimentación de 5V para el Driver BTS7960
GND	GND	Energía	Tierra referencial del Driver BTS7960

L_EN	5V	Entrada digital	Habilitación del Driver BTS7960
R_EN	5V	Entrada digital	Habilitación del Driver BTS7960
RPWM ()	Pin 2	Entrada digital	Controla la expansión del actuador
LPWM ()	Pin 3	Entrada digital	Controla retracción del actuador
	Pin 12	Entrada digital	Finales de carrera

Elaborado por: Investigador

En la Tabla 14 se establece la conexión del módulo Bluetooth HC-05.

Tabla 14. Conexión del módulo Bluetooth HC-05

Pines del Módulo HC-05	Pines de Arduino Mega	Tipo	Descripción
Vcc	5V	Energía	Alimentación de 3V para el Módulo HC-05
GND	GND	Energía	Tierra referencial para el Módulo HC-05
TXD	Pin 0	Comunicación serial	Pin de transmisión del Módulo HC-05
RXD	Pin 1	Comunicación serial	Pin de recepción del Módulo HC-05

Elaborado por: Investigador

Además, se presenta el circuito esquemático general de la placa Arduino Mega 2560 con la ubicación respectiva de cada pin.

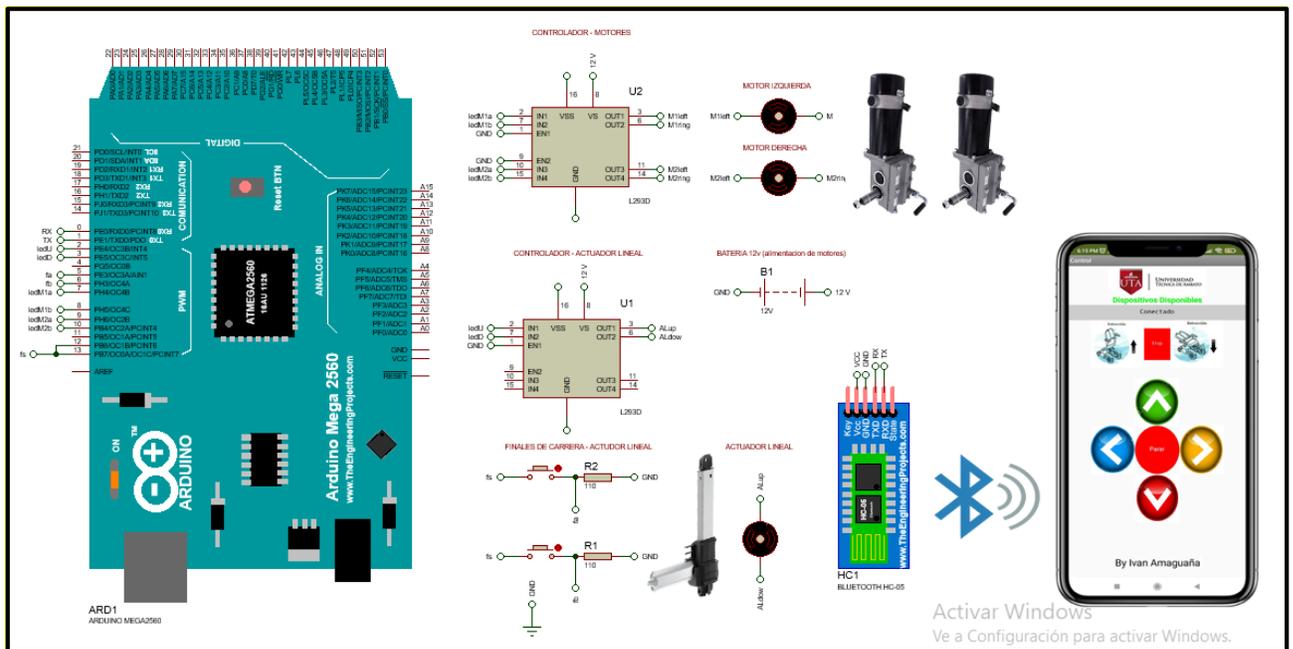


Figura 45. Circuito esquemático general de la placa Arduino Mega 2560

Elaborado por: Investigador

3.3.9 Desarrollo de la interfaz gráfica táctil para el control de desplazamiento de la silla bipedestadora

El desarrollo de la interfaz gráfica táctil para el control de desplazamiento, se creó utilizando la herramienta de diseño web APP INVENTOR 2, ya que presenta una ventaja que prescinden en la creación de aplicaciones en el S.O. Android. En esta herramienta se puede encontrar los siguientes modos:

- Modo diseñador
- Programación de bloques

3.3.9.1 Modo diseñador

En este modo, se crea una GUI en la que se agregan todos los elementos necesarios de la aplicación, es decir, botones, etiquetas, imágenes, etc.

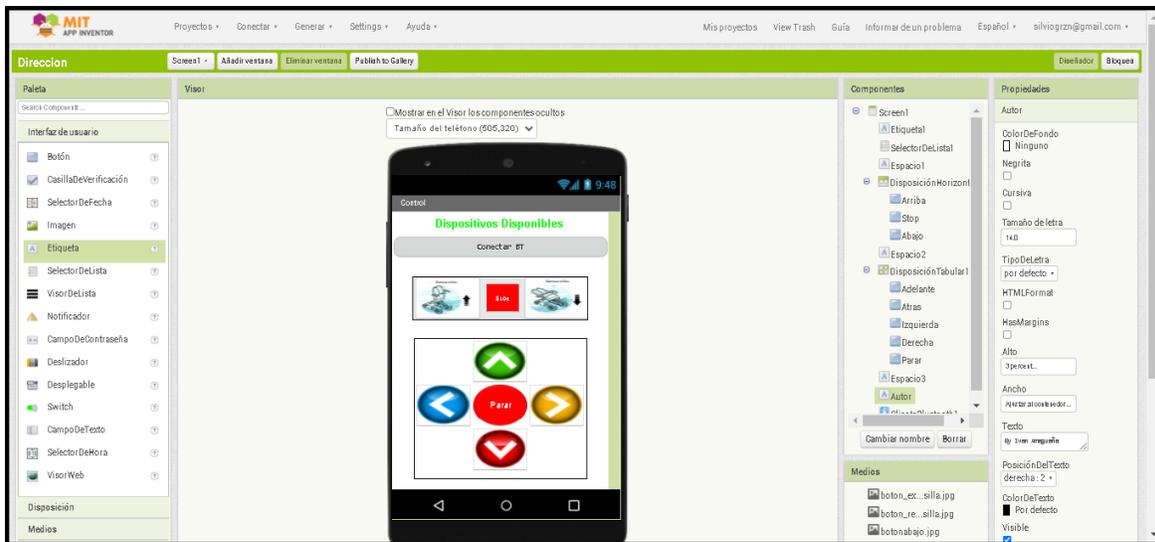


Figura 46. Pantalla de diseño de la APP

Elaborado por: Investigador

3.3.9.2 Programación de bloques

En este modo, se realiza la edición de bloques de programación ya que se determina el comportamiento de cada objeto que se ha de tener en la aplicación general del sistema

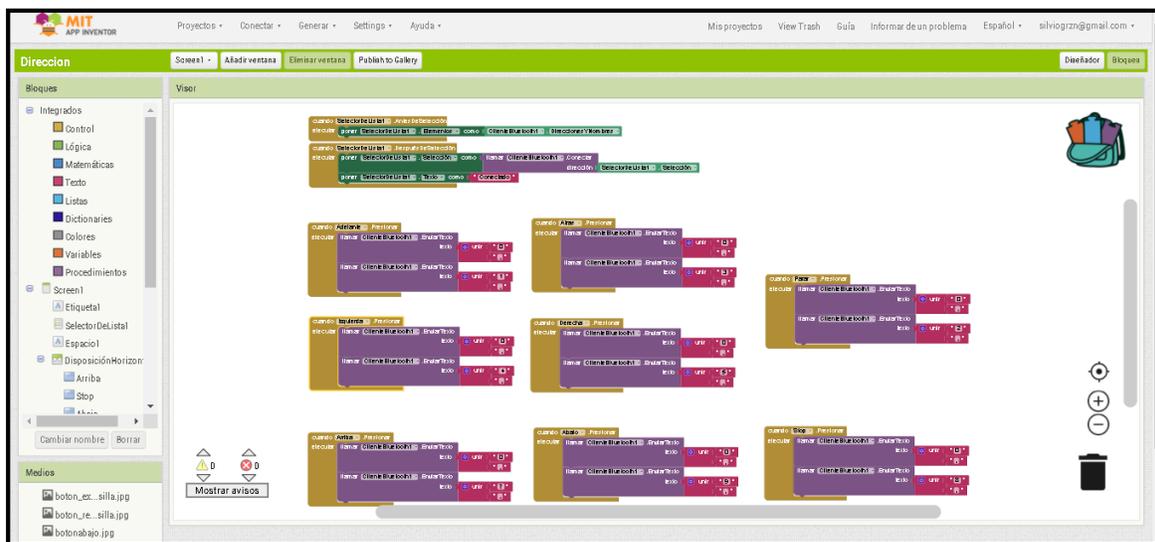


Figura 47. Pantalla de programación de bloques de la APP

Elaborado por: Investigador

3.3.9.3 Pantalla de control del sistema

La Figura 48 muestra la interfaz gráfica de todo el sistema de automatización, que controlará los actuadores según las necesidades del paciente.

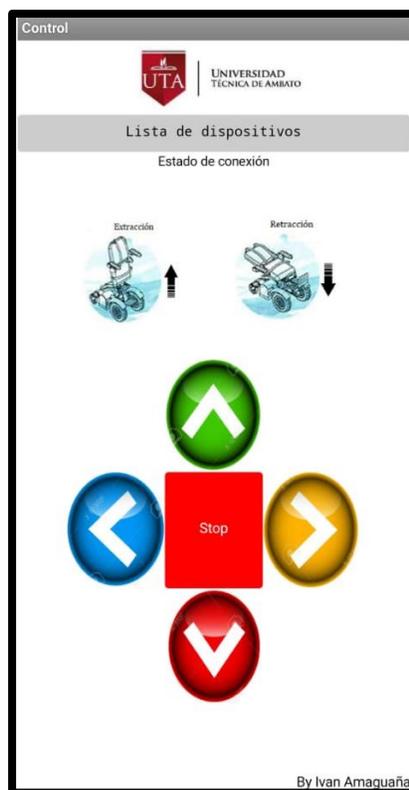
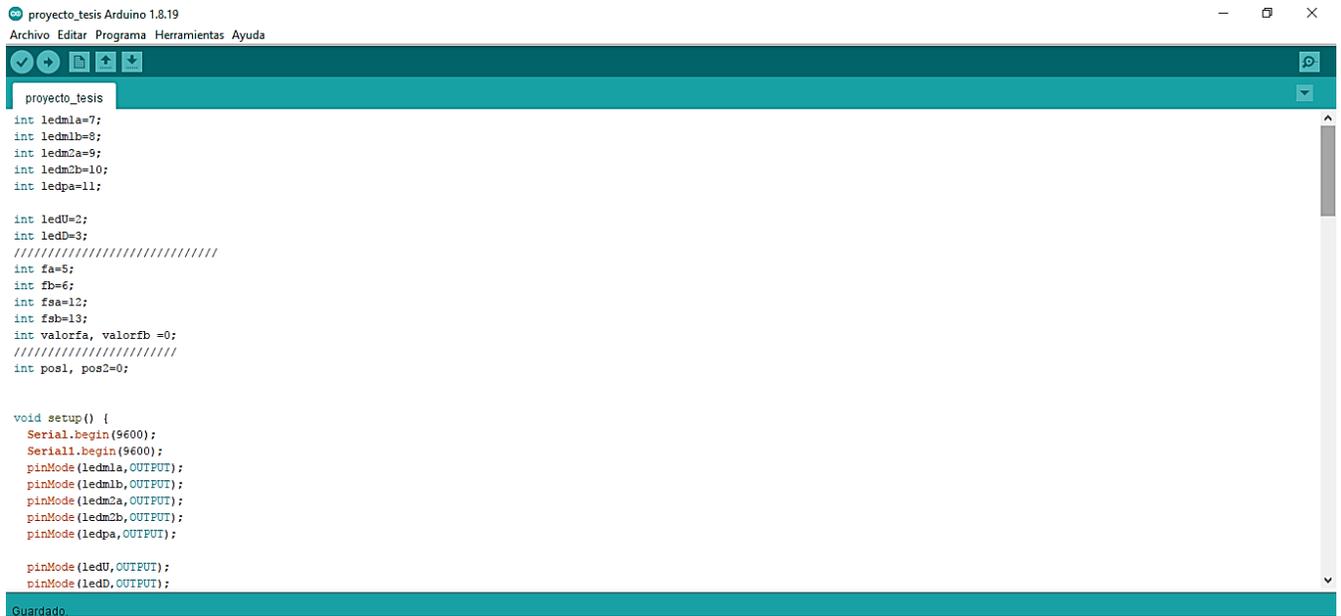


Figura 48. Interfaz gráfica de todo el sistema de automatización para el desplazamiento de la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigador

3.3.9.4 Codificación en la placa Arduino Mega

La programación de la placa Arduino Mega se realizará en el lenguaje C utilizando el entorno de desarrollo integrado proporcionado por Arduino, en el Anexo F se detalla la codificación completa del prototipo electrónico y aplicación móvil.



```
proyecto_tesis Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
proyecto_tesis
int ledm1a=7;
int ledm1b=8;
int ledm2a=9;
int ledm2b=10;
int ledpa=11;

int ledU=2;
int ledD=3;
////////////////////////////////////
int fa=5;
int fb=6;
int faa=12;
int fbb=13;
int valorfa, valorfb =0;
////////////////////////////////////
int pos1, pos2=0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(9600);
  pinMode(ledm1a, OUTPUT);
  pinMode(ledm1b, OUTPUT);
  pinMode(ledm2a, OUTPUT);
  pinMode(ledm2b, OUTPUT);
  pinMode(ledpa, OUTPUT);

  pinMode(ledU, OUTPUT);
  pinMode(ledD, OUTPUT);
}
Guardado
```

Figura 49. Programación de la placa Arduino Mega

Elaborado por: Investigador

3.3.10 Adecuación del sistema de control de desplazamiento en la silla bipedestadora.

3.3.10.1 Soldadura de los ejes auxiliares

La silla de ruedas bipedestadora en un principio fue diseñado para un funcionamiento totalmente manual y no cuentan con el equipamiento necesario para incorporar los elementos que el sistema requiere. Por tal razón se realizó algunas soldaduras, cada una tiene una funcionalidad específica que se detalla a continuación:

Soldadura en el eje intermedio. Permite la incorporación del actuador lineal, se toma en cuenta la distancia máxima de desplazamiento del bipedestador (33 cm de contracción y 66 cm de expansión total del vástago).



Figura 50. Soldadura en el eje intermedio para la incorporación del actuador lineal,

Elaborado por: Investigador

Soldadura en el eje inferior lateral de la silla. Permite la inclusión de los motores DC, para la cual se toma en consideración las dimensiones de la rueda al estar en contacto con la superficie del piso (29 cm de diámetro) y el ancho del motor (31 cm), que nos indica que tipo de soldadura auxiliar se debe realizar, en este caso se determinó dos soldaduras tipo “L” que permita la sujeción a los motores.

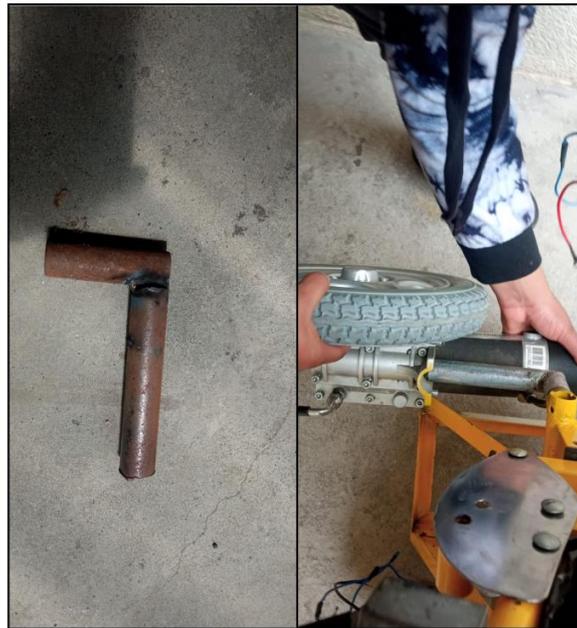


Figura 51. Eje tipo “L” para la sujeción a los motores

Elaborado por: Investigador

Además, se efectuó algunas soldaduras en la parte central inferior cuyo fin está destinado a la sujeción de las baterías.



Figura 52. Ejes para sujeción de las baterías

Elaborado por: Investigador

Al realizar estas modificaciones en el chasis de la silla se debe tener en cuenta no interrumpir la elevación vertical, de esta forma se asegura que la silla se convierta en un bipedestador para lo cual debe tomar una posición vertical que permita al paciente descansar su humanidad además de mantenerse firme y adherido a la silla, por tal razón se ha creído conveniente que el ángulo de inclinación ideal debería ser de 85° .

Por este motivo para la instalación del actuador lineal, se tomó en cuenta el ángulo mencionado, de tal forma que el representante del paciente se encuentre conforme con esta medida. Al no considerarse el ángulo proyectado, este puede llegar a estar extralimitado lo que ocasionaría el desplome hacia adelante del paciente poniendo en riesgo su integridad física, por lo que se quiere evitar de sobremanera esta situación.



Figura 53. Ángulo máximo de inclinación

Elaborado por: Investigador

Cabe mencionar que para efectuar cada una de estas soldaduras se utilizó el tipo de soldadura blanda, pues una de las características que este tipo posee es la adherencia, resistencia y fijación entre ejes metálicos.

3.3.10.2 Pintado y corrección de fallas

Terminadas todas las modificaciones estructurales en la silla de ruedas, se procede al lijado de superficies rugosas dejadas por las soldaduras, y posteriormente se realiza el pintado correspondiente, ya que de esta manera se pretende dar un mejor aspecto y estética de acabado final en la silla.



Figura 54. Pintado y corrección de fallas

Elaborado por: Investigador

3.3.10.3 Integración de ruedas a los motores

Para la unificación de las ruedas que permitirán la propulsión a la silla, mismo que ofrecerá la estabilidad y movilidad a todo el sistema en cuestión se procede a realizar el acople a los dos motores, en donde son ajustados con sus respectivas tuercas.



Figura 55. Integración de ruedas a los Motores DC

Elaborado por: Investigador

3.3.10.4 Integración de los motores en la silla bipedestadora

Para la integración de los motores a la silla de ruedas se tomó en consideración la longitud que estos poseen, ya que es un parámetro que ayuda a conocer la disponibilidad de la estructura al momento de montar cualquier accesorio uno de ellos en cuestión son los motores a los ejes laterales inferiores de la silla. La implantación de este parámetro hace conveniente el uso de modificaciones necesarias para el montaje de baterías, driver de control y prototipo electrónico.



Figura 56. Integración de los motores en la silla bipedestadora

Elaborado por: Investigador

3.3.10.5 Incorporación del actuador lineal

Previo a la inclusión del actuador lineal en la silla se realizó un análisis de tamaño (expansión y extracción del vástago), alimentación y fuerza ejercida entre otros actuadores disponibles

en el mercado, de esta manera el posicionamiento del actuador lineal se lo realizo en la parte central de la silla de ruedas, pues la fuerza ejercida de este elemento debe estar equilibrada y a la par en todo el sistema, cumpliendo de esta manera con las normas de seguridad y ergonomía que el paciente requiere.



Figura 57. Incorporación del actuador lineal

Elaborado por: Investigador

3.3.10.6 Alimentación y conexiones eléctricas

A continuación, se detalla la fuente de alimentación para cada uno de los elementos por las que está construido todo el sistema:

La alimentación destinada a los motores será suministrada por las dos baterías conectadas con cable 12AWG en serie para alcanzar los 24V DC y un amperaje que supere los 25A, pues se ha pensado en situaciones algo críticas una ellas al estar en una superficie inclinada, en donde los motores deben superar esta adversidad ya que estos cuentan con el torque más que necesario.

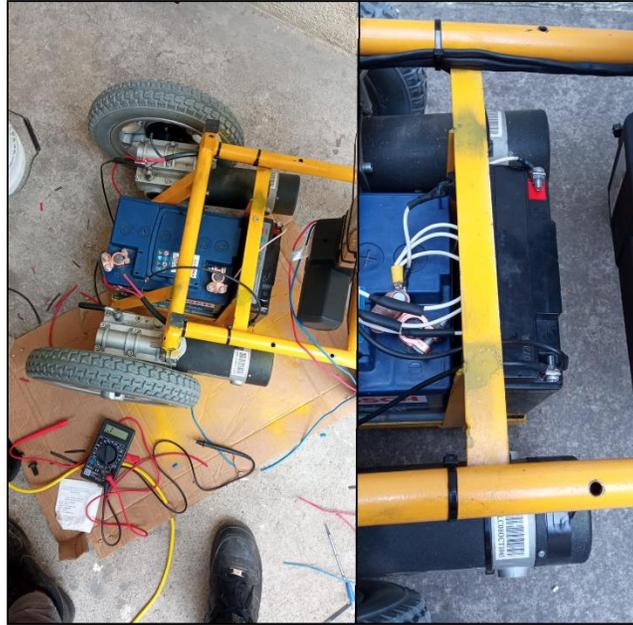


Figura 58. Alimentación para los Motores DC

Elaborado por: Investigador

En cuanto se refiere a la fuente de alimentación del actuador lineal este debe estar comprendida de 12 V por lo que estarán conectados desde la batería KITZUMA hacia la salida del driver de Motor con cable AWG 18.

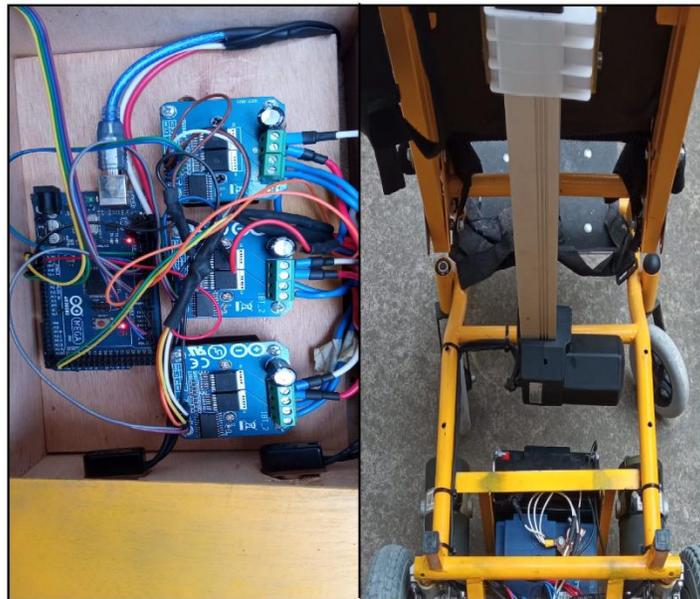


Figura 59. Alimentación del actuador lineal

Elaborado por: Investigador

Para alimentar los componentes para el control de velocidad, uno de ellos la placa Arduino Mega, se ha pensado en utilizar una Batería LDNIO PR518 que cuenta con un 5V y un amperaje de 2.1A lo suficientes para solventar esta alimentación.

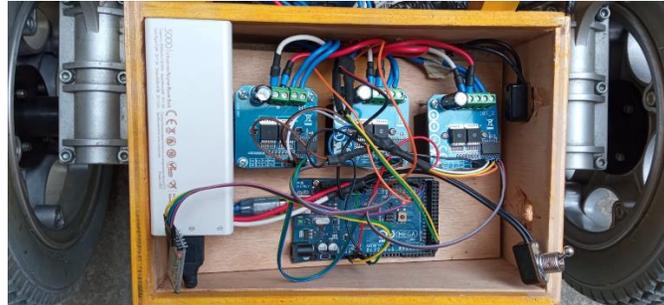


Figura 60. Alimentación para la placa Arduino Mega

Elaborado por: Investigador

Se consideró apropiado agregar dos interruptores para cortar el sistema de energía, estos interruptores fueron diseñados para encender y apagar el sistema eléctrico y de control.



Figura 61. Interruptores para el sistema eléctrico y de control.

Elaborado por: Investigador

Todo el conjunto de componentes de alimentación se encuentra fijado y dentro de una caja de madera en la parte inferior de la silla de ruedas, ya que de esta manera se pretende evitar la limitación en el funcionamiento y operatividad del sistema.



Figura 62. Fijación de componentes de alimentación dentro de una caja de madera

Elaborado por: Investigador

3.4 Resultados

El Sistema de automatización para el desplazamiento de la silla bipedestadora proporciona al paciente que sufre de parálisis cerebral espástica un control táctil alojado en una aplicación móvil la posibilidad de convertir una silla de ruedas estándar en un bipedestador, adicionalmente también se le da la opción de desplazamiento del bipedestador hacia diferentes lugares. Todo este proceso se realiza de forma automática, sin necesidad de terceros.

La Figura 63 indica el proceso de extracción y retracción de la silla de ruedas a un bipedestador y el mecanismo que permite la movilidad de la silla de un lugar a otro.



Figura 63. Proceso de extracción, retracción de la silla de ruedas a un bipedestador

Elaborado por: Investigador

Para verificar el funcionamiento del sistema se consideró oportuno realizar múltiples pruebas con un peso de 68 Kg que es superior al del paciente. En la Tabla 15 se muestran los tiempos de extracción, retracción en las que el actuador lineal completa su trabajo, también se agrega la velocidad en las que los motores DC ejercen su movimiento de un lugar a otro

Tabla 15. Tiempo extracción, retracción del Actuador lineal y movilidad de los Motores DC

Número de Pruebas	Tiempo de extracción	Tiempo de retracción	Velocidad de movimiento de los motores	Resultado
Prueba 1	01:12.00	00:21.19	4.8 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 2	01:12.01	00:21.21	4.9 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 3	01:12.02	00:21.18	4.7 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 4	01:12.01	00:21.21	4.8 km/h	Eficiente y rápido

Prueba 5	01:12.03	00:21.23	4.6 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 6	01:12.01	00:21.20	4.8 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 7	01:12.01	00:21.19	4.8 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 8	01:12.02	00:21.22	4.9 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 9	01:12.01	00:21.21	4.7 km/h	Eficiente y rápido
Prueba 10	01:12.03	00:21.20	4.8 km/h	Eficiente y rápido

Elaborado por: Investigador

Las pruebas finales se muestran en la Tabla 16, en él se detallan parámetros tales como; el tiempo y la distancia de recorrido del vástago hacia la posición vertical, así también el grado de seguridad en la que se puede ver afectada la silla bipedestadora.

Tabla 16. Tiempo y recorrido del vástago

Recorrido del vástago	Tiempo	Distancia	Grado de seguridad
Prueba 1	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 2	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 3	01:12.01	48cm	Alta
Prueba 4	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 5	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 6	01:12.01	48 cm	Alta

Prueba 7	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 8	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 9	01:12.01	48 cm	Alta
Prueba 10	01:12.01	48 cm	Alta

Elaborado por: Investigador

De igual manera en la Tabla 17, se define los parámetros en movilidad como; la distancia de recorrido, velocidad y seguridad con la que los motores CIRROLLA 5006 ejercen su trabajo en la silla bipedestadora.

Tabla 17. Recorrido y velocidad de Motores CIRROLLA 5006

Recorrido de Motores CIRROLLA 5006	Distancia de recorrido	Velocidad	Grado de seguridad
Prueba 1	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 2	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 3	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 4	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 5	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 6	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 7	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 8	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 9	15 m	4.7 km/h	Alta
Prueba 10	15 m	4.7 km/h	Alta

Elaborado por: Investigador

En la Tabla 18 se muestra un porcentaje de carga de la batería KITZUMA, pues es la que presenta mayor descompensación de voltaje y corriente en el consumo energético de los actuadores al momento de la operatividad de todo el sistema.

Tabla 18. Porcentaje de carga de la batería KITZUMA

Número de pruebas	Consumo de Voltaje	Consumo de corriente	Porcentaje de carga	Situación
Prueba 1	12.7 V	2.7 A	100%	Cargada recientemente
Prueba 2	12.5 V	2.6 A	80%	Optima
Prueba 3	12.4 V	2.6 A	70%	Optima
Prueba 4	12.3 V	2.6 A	60%	Optima
Prueba 5	12.1 V	2.6 A	40%	Carga limitada
Prueba 6	11.9 V	2.6 A	20%	Necesidad de recarga
Prueba 7	11.5 V	2.6 A	0%	Inutilizable hasta la recarga

Elaborado por: Investigador

Es importante considerar el consumo total de corriente latente generado por todo el sistema ya que representa el agotamiento de la fuente de alimentación, con este análisis se ha tomado en cuenta lo que se especifica en la batería KITZUMA posee una capacidad de 25 Ah que proporciona 5 amperios durante 5 horas seguidas de utilidad promedio, el cual puede suministrar la energía suficiente para el funcionamiento del sistema de desplazamiento. Al ejercer el tiempo definido de utilidad es indispensable su recarga para la operatividad del sistema de desplazamiento de la silla.

Los resultados adquiridos mediante múltiples pruebas realizadas nos dan una idea de funcionalidad en la categoría aceptable, lo que significa que los actuadores y el sistema que

suministra la alimentación del sistema responde de manera positiva ante diversas circunstancias.

Finalmente, los análisis obtenidos mediante algunas pruebas demuestran que el sistema de automatización de desplazamiento de silla bipedestadora mediante control táctil, presentan la funcionalidad óptima en aspectos de seguridad y eficiencia que el paciente requiere al hacer uso del mismo. En el anexo C se expone varias fotografías que evidencian el funcionamiento de la silla bipedestadora.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con el diseño e implementación de un sistema de automatización para una silla bipedestadora, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Mediante el análisis de la estructura y movilidad de la silla bipedestadora, se ha determinado que toda su constitución física fue pensada para futuras modificaciones que el paciente así lo requiera en el pasar de los años, pues en ella se evidencia modificaciones en la parte inferior (ruedas), en la parte media (apoya brazos y mesa desplegable) y en la parte superior (apoya cabezas). En tal virtud al integrar los elementos que el sistema necesita solo se ha modificado la parte inferior de la silla manteniendo su estructura original permitiendo la incorporación de estos elementos de manera sencilla al sistema de automatización, así también se precautela la seguridad del paciente en su totalidad.
- ✓ El prototipo electrónico de control de lazo cerrado se basa en el trabajo del Driver de Motor BTS7960, pues admite el control fiable de velocidad de giro del motor a través del PWM que gracias a su amplificación simultánea en las señales detecta las funciones lógicas, de protección y censado de corriente de tal forma la salida del sistema se encuentra en retroalimentación constante. En este sentido, el diseño del prototipo electrónico se la puede evidenciar en la ejecución del sistema, pues presenta la ventaja de ser un proceso en su totalidad automático ya que los actuadores presentan la operatividad requerida por el paciente al efectuar el desplazamiento de la silla bipedestadora
- ✓ El control para regular la velocidad en los motores se precisa en la respuesta de un sistema y en la importancia de encontrar un algoritmo de control que represente su función de transferencia en el comportamiento del mismo, y la relación salida y

entrada. Considerando estos aspectos se realizaron los cálculos de forma analítica para hallar las constantes PI, de tal forma se ha presentado un control de velocidad para un motor DC sin sensores mecánicos puesto que la retroalimentación solo requiere de una medición de corriente de armadura. Además, la velocidad del motor se estima en tiempo real en donde las pruebas experimentales y de simulación demuestran que el controlador propuesto es capaz de mantener la velocidad en el valor deseado con una precisión menor al 3%, un tiempo de asentamiento de 100 ms y un sobrepaso menor al 2%.

- ✓ La interfaz gráfica para el control del sistema de automatización en el desplazamiento de la silla bipedestadora se implementó con un solo fin, el cual es desarrollar la actividad motriz del paciente en sus extremidades superiores, es evidente que esta interfaz es sumamente sencilla ya que contiene elementos gráficos en los que se encuentra iconos e imágenes de fácil de uso; tal es el punto que cualquier persona puede recordar su funcionamiento.

4.2 Recomendaciones

- ✓ La inclusión de los actuadores para control de desplazamiento de una silla bipedestadora se realizó bajo especificaciones y necesidades del paciente, de tal forma todo el sistema de automatización de desplazamiento se encuentra diseñada sin muchas modificaciones en su estructura física y cumpliendo con el nivel de discapacidad que el beneficiario presenta, de tal forma si se desea replicar todo el sistema se debe tener en consideración el grado de discapacidad, el peso y la inclinación del bipedestador el cual puede presentar la persona.
- ✓ Al tener algunos actuadores en el sistema de desplazamiento y movilidad de la silla bipedestadora se considera indispensable la selección de la placa electrónica Arduino Mega, por lo que si se desea la inclusión de futuros elementos esta placa satisficará los requerimientos en las acciones a controlar de tal forma se puede mencionar que el

sistema se considera robusto y compacto en su factibilidad para posteriores modificaciones en la parte física de su estructura.

- ✓ Para el funcionamiento correcto del sistema al momento de la interacción con la aplicación móvil se sugiere que al momento de accionar cualquiera de los botones que están en la interfaz gráfica se debe tener un tiempo de espera de 3 segundos al seleccionar la acción que se requiere. Esta medida de recomendación es con el fin de evitar fallas en la ejecución de actuadores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Carreño, Omar de Jesús, «Aplicación Android para silla de ruedas, que permita controlarla por comandos de voz,» 2016. [En línea]. Available: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/14480/1/2016_aplicaci%c3%b3n_android_silla.pdf. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [2] J, Noruega, «Aplicación en android para maniobrar una silla de ruedas eléctrica,» *Ingeniare*, nº 21, pp. 79-91, Diciembre 2016.
- [3] Ronal Estalin Ponce, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL HOGAR,» 2017. [En línea]. Available: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14685/1/69720_1.pdf. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [4] Melanie Michelle Olivo y Enrique Gallegos, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA CON UBICACIÓN GPS Y MANDO LOCAL O REMOTO A TRAVÉS DE UNA APLICACIÓN CELULAR (ANDROID), PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ REDUCIDA EN MIEMBROS INFERIORES,» 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16059/1/UPS-GT002280.pdf>. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [5] Armijos Jhoanna y Criollo Tania, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA SILLA DE BIPIDESTACION ELECTRICA PARA PERSONAS CUADRIPLÉJICAS ACTIVADA POR VOZ, DE BAJO COSTO,» [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14728/1/T-ESPE-040116.pdf>. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [6] Darío Alexis Anastacio, «DISEÑO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL USANDO EL SISTEMA OPERATIVO ANDROID PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS DE MOVILIDAD REDUCIDA (SILLA DE RUEDAS),» 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48983/1/B-CISC-PTG-1776-2020%20Anastacio%20Anastacio%20Dar%c3%ado%20Alexis.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [7] Luis Roberto Sánchez Criollo, «SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLABIPIDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA,» Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31983/1/t1752ec.pdf>. [Último acceso: 10 Noviembre 2021].
- [8] Diana Margarita Garcés Moncayo, «SISTEMA DE CONTROL DE MOVIMIENTO EN SILLA BIPIDESTADORA,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32719/1/t1808ec.pdf>. [Último acceso: 10 Noviembre 2021].

- [9] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, «Estadísticas de Discapacidad,» Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 13 Octubre 2021].
- [10] Andrea Padilla Muñoz, «Discapacidad; Contexto, Concepto y Modelos,» *SciELO*, n° 16, 2010.
- [11] Oscar Castellero Mimenza, «Tipos de discapacidad física y características,» [En línea]. Available: https://www.mintrabajo.gob.gt/images/Servicios/DEL/Informe_del_Empleador/Clasificaci%C3%B3n-CIF-Tipos-de-Discapacidad_CIF.pdf. [Último acceso: 22 Diciembre 2021].
- [12] Observatorio Discapacidad Física, [En línea]. Available: <https://www.observatoridiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica-que-es-y-que-tipos-hay>. [Último acceso: 26 Diciembre 2021].
- [13] B. N. d. Medicina, «MedlinePlus,» [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/multiplesclerosis.html#:~:text=La%20esclerosis%20m%C3%BAltiple%20es%20una,y%20protege%20las%20c%C3%A9lulas%20nerviosas..> [Último acceso: 26 Diciembre 2021].
- [14] Pilar Póo Argüelles, «Parálisis cerebral infantil,» *Asociación Española de Pediatría*, p. 271.
- [15] E. K. S. N. I. o. C. H. a. H. Development, «¿Qué tipos de parálisis cerebral existen?,» [En línea]. Available: <https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/cerebral-palsy/informacion/tipos>. [Último acceso: 20 Octubre 2021].
- [16] National Institute of Neuronal Disorders and Stroke, «¿Qué tipos de parálisis cerebral existen?,» 10 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/cerebral-palsy/informacion/tipos>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [17] José GorGues, «Selección y adaptacion de sillas de ruedas convencionales,» *ELSEVIER*, vol. 24, n° 8, Septiembre 2005.
- [18] Nestor Lasluisa, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS AUTONOMA ACCIONADA MEDIANTE ONDAS CEREBRALES, PARA LA ASOCIACIÓN DE LIMITADOS PLEJICOS DE TUNGURAHUA, Latacunga, 2015.
- [19] José Ponce Vázquez, «Sillas de ruedas. Características técnicas y antropométricas,» *ELSEVIER*, vol. 33, pp. 401- 407, 1999.
- [20] Bernal Moncivaiz, Beatriz Anahi, «Conocimiento sobre Silla de Ruedas de los Alumnos de quinto y séptimo semestre en las Licenciaturas de Terapia Ocupacional y Física de la Universidad Autónoma del Estado de México,» 2012. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14305>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].

- [21] Ronald Saavedra y Eduin García, «Diseño de un equipo de bipedestación,» *INGENIERÍA UC*, vol. 20, n° 1, pp. 25-33, 2013.
- [22] Ortopedia Bernat, «Sillas Bipedestadoras Manuales,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ortopediabernat.com.ar/>. [Último acceso: 16 Noviembre 2021].
- [23] M. Humana, «Bipedestal,» [En línea]. Available: <https://www.movilidad-humana.com/bipedestador/bipedestador-3/>. [Último acceso: 18 Octubre 2021].
- [24] Pere Ponsa Asensio, *Automatización de procesos*, Barcelona: Edicions UPC, 2005.
- [25] E. G. Moreno, *Automatización de procesos industriales*, España, 1999.
- [26] Mario Alberto Perez, «INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO,» 2008. [En línea]. Available: <http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [27] Alberto Brunete, «Introducción a la automatización industrial,» [En línea]. Available: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatizacion/sistemas-de-control.html. [Último acceso: 23 Octubre 2021].
- [28] G. A. Leal, «Los Cuatro Elementos de un Sistema de Control,» 20 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.lymcapacitacion.com/blog/15011/sistema>. [Último acceso: 2 Enero 2022].
- [29] J. A. C. F. I. A. J. L. R. y J. M. N. Enrique Mandado, *Sistemas de Automatización y Autómatas Programables*, 2018.
- [30] «Sistemas de Control Automático,» [En línea]. Available: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-08-13_12-09-28141874.pdf. [Último acceso: 14 Junio 2022].
- [31] «Ventajas y desventajas del uso de estrategias de control tipo P,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/497178599/Ventajas-y-desventajas-del-uso-de-estrategias-de-control-tipo-P>. [Último acceso: 14 Junio 2022].
- [32] William Bolton, *Mecatrónica – Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica*, México: Alfaomega, 2018.
- [33] CoceptoDefinición, «Motor,» [En línea]. Available: <https://conceptodefinicion.de/motor/>. [Último acceso: 02 Enero 2022].
- [34] TERCESA S.L., «Motor de corriente continua; tipos y partes,» 13 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://tercesa.com/noticias/motor-de-corriente-continua-tipos-y-partes/>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].

- [35] I. Villalba, «Tipos de motores de corriente continua,» [En línea]. Available: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/motores-electricos-partee-ii1.pdf>.
- [36] I. Arce, «Fuente de alimentación,» [En línea]. Available: <http://www.edu.xunta.gal/centros/iesarcebispoxelmirez2/system/files/fonte%20de%20alimentaci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 03 Enero 2022].
- [37] R. L. Boylestad, *Introducción al Análisis de Circuitos*, México: PEARSON, 2004.
- [38] REGNER, «Actuadores,» [En línea]. Available: <https://www.regner.tech/articulos/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-actuadores/>. [Último acceso: 10 Noviembre 2021].
- [39] D. INDUSTRY, «Actuador lineal Electrak 1 (SP) series,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/thomson-industries-inc/product-7040-2001700.html>. [Último acceso: 5 Enero 2022].
- [40] R. Especificar, «Todo sobre los actuadores,» [En línea]. Available: <https://www.especificarmag.com.mx/todo-sobre-los-actuadores.html>. [Último acceso: 03 Enero 2022].
- [41] F. J. M. Robles, *Servicios en Red*, España: RA-MA, 2014.
- [42] E. Concepto, «Red inalámbrica,» Etecé, [En línea]. Available: <https://concepto.de/red-inalambrica/>. [Último acceso: 02 Enero 2022].
- [43] D. B. O. E. Olivier Hersent, *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*, John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- [44] Sony, «Comunicación por Bluetooth,» [En línea]. Available: <https://www.sony-latin.com/es/electronics/support/articles/S1F0184>. [Último acceso: 20 Enero 2022].
- [45] Interempresas.net, «Placas de desarrollo de microcontroladores AVR,» [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Electronica/FeriaVirtual/Producto-Placas-de-desarrollo-de-microcontroladores-AVR-169991.html>. [Último acceso: 04 ENERO 2022].
- [46] Atlantic International University, «Microcontroladores,» 23 Abril 2008. [En línea]. Available: <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B3a.pdf>. [Último acceso: 23 Octubre 2021].
- [47] Arduino, «What is Arduino,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: 04 Enero 2022].
- [48] R. P. Foundation, «Raspberry Pi, Definición y Productos,» [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>. [Último acceso: 04 Enero 2022].
- [49] B. N. Mundo, «Micro Bit,» [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37703706>. [Último acceso: 04 Enero 2022].

- [50] J. T. y. M. Hill, Instrumentation for Engineers and Scientist, USA: Oxford University Press, 1999.
- [51] C. W. D. C. A. G. Robinson Lucero Campos, «Estudio de Fricción en pavimentos,» [En línea]. Available: http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/45RobinsonLuceroCoeficientedefriccion.pdf. [Último acceso: 10 Enero 2022].
- [52] INEN, «ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO. RAMPAS,» Junio 2016. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2245-1.pdf. [Último acceso: 12 Enero 2022].
- [53] P. Arduino, «Arduino UNO R3,» [En línea]. Available: <https://proyectoarduino.com/arduino-uno-r3/>. [Último acceso: 21 Enero 2022].
- [54] J. V. D. M. Jesús Ramírez Sánchez, «Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas.,» [En línea]. Available: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf>. [Último acceso: 25 Enero 2022].
- [55] Ramu Krishnan, «ELECTRIC MOTOR DRIVES Modeling, Analysis, and Control,» 2001. [En línea]. Available: <https://haisenber.com/wp-content/uploads/2020/08/ELECTRIC-MOTOR-DRIVES-Modeling-Analysis-and-Control.pdf>. [Último acceso: 2022 Abril 7].
- [56] Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Madrid: Pearson, 2010.
- [57] Virezon, «Wi-Fi,» [En línea]. Available: <https://espanol.verizon.com/info/definiciones/wifi/>. [Último acceso: 04 Enero 2022].
- [58] R. Componets, «Cilindro neumático ISO 15552 VDMA 24562, Festo DSBC-32-25-PPSA-N3,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/cilindros-lineales-neumaticos/1215244>. [Último acceso: 5 Enero 2022].

ANEXOS

ANEXO A

Extracción de información de la silla de ruedas

En este apartado se realiza la primera visita al Niño Mateo Martínez dueño de la silla de ruedas, quien tiene un 80% de discapacidad física por cuadriplejia, lo que se puede evidenciar en las siguientes fotos.



Figura 64. Niño Mateo Martínez dueño de la silla de ruedas



Figura 65. Vista frontal de la silla de ruedas

ANEXO B

Pruebas de funcionamiento del Motor DC CIROLLA



Figura 66. Ajuste de alimentación de Motor DC CIROLLA 5006



Figura 67. Ajuste de control para el giro del Motor DC CIROLLA 5006

ANEXO C

Construcción de ejes para la adecuación del prototipo electrónico para la silla bipedestadora



Figura 68. Extracción del cilindro hidráulico



Figura 69. Extracción de cojines de la silla bipedestadora



Figura 70. Extracción de ejes auxiliares de la silla bipedestadora



Figura 71. Soldadura en el eje intermedio superior para la inclusión del actuador lineal



Figura 72. Soldadura en el eje intermedio inferior para la inclusión del actuador lineal



Figura 73. Soldadura en el eje tipo "L" para la sujeción de los Motores CIROLLA 5006



Figura 74. Soldadura en el eje inferior para la inclusión de baterías



Figura 75. Inclusión del actuador lineal FY014



Figura 76. Soldadura de los finales de carrera para la inclusión en el actuador lineal



Figura 77. Inclusión de los Motores DC CIROLLA 5006

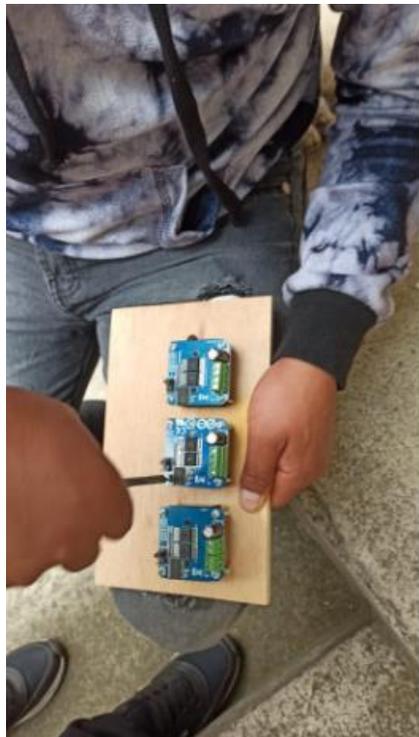


Figura 78. Incorporación de los Driver's BTS7960 para el control de los actuadores



Figura 79. Adecuación de cableado el prototipo de control del sistema en una caja de protección



Figura 80. Incorporación de caja de protección para el prototipo de control del sistema

ANEXO D

Pruebas de funcionamiento del sistema

En el Anexo D se muestran los distintos estados de una silla de ruedas a un bipedestador



Figura 81. Silla de ruedas en posición normal



Figura 82. Silla de ruedas en posición media



Figura 83. Conversión de una silla de ruedas a un bipedestador

ANEXO E

Especificaciones de elementos que intervienen en la silla bipedestadora

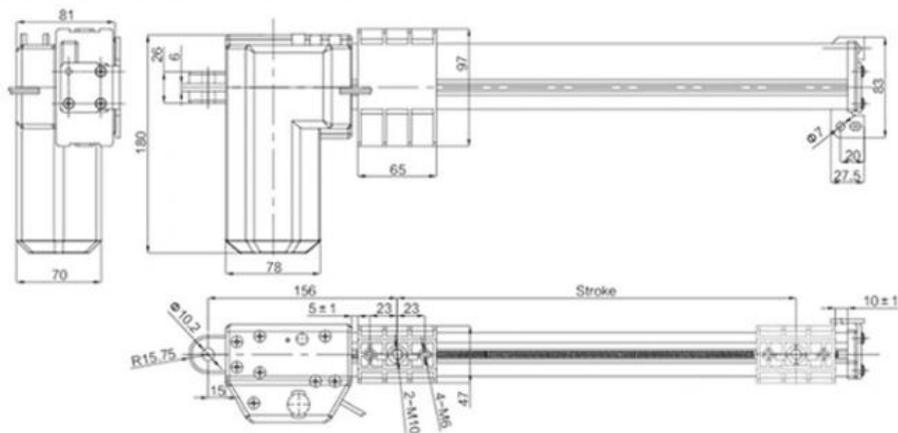
En el Anexo E se especifican todas las características técnicas y de funcionamiento de elementos que intervienen en la silla bipedestadora.

Actuadores

Actuador lineal FY014



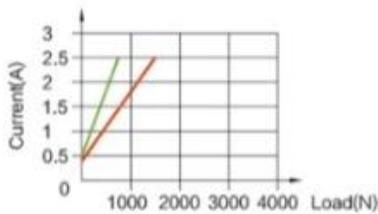
Installation Dimension



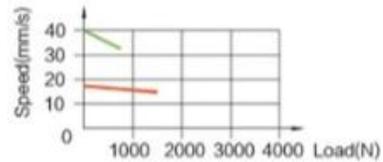
Specifications

Input Voltage	24V / 12V DC
Load Capacity	4000N
Speed	18mm/s(1500N), 35mm/s(750N)
Stroke	Customized
Type of Duty	10%, 2min. on / 18min. off
Limit Switches	Inner
Operation Temperature	-15°C ~ 45°C
Protection Class	IP20

Load VS Current



Load VS Speed



Product Description

This is linear actuator used to recliner sofa, electric sofa, bed, etc.

Technical Specifications of Linear Actuator:

Stroke: Customized
 Min. Installation dimension: 156mm
 Load capacity: 4000N
 Free load speed: 18mm/s(1500N), 35mm/s(750N)
 Input voltage: 24V DC/12V DC
 Limit switch: Inner
 Protection grade: IP20
 Type of duty: S2-10min
 Operation temperature: -15~45 centigrade

Features:

Material: Aluminum and plastic
 Color: Black
 Warranty: Two years
 Certification: CE/EMC+LVD

name:	linear actuator
model:	fy014, 4000N
input voltage:	12V or 24V dc
load capacity:	4000N
free load capacity:	18mm/s(1500N), 35mm/s(750N)
stroke:	Customized
standard stroke:	330mm
min. installation dimension:	156mm
type of duty:	S2-10min
protection grade:	IP 20

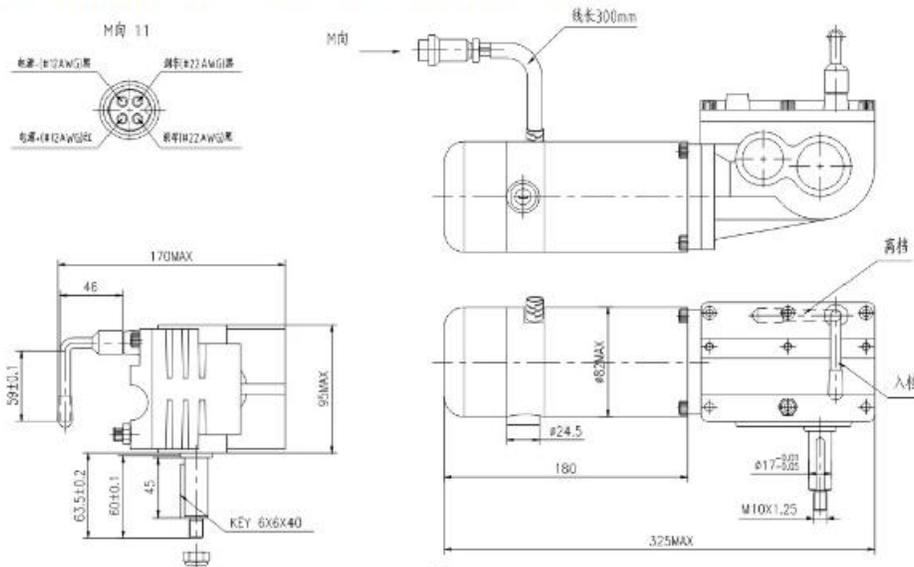
Motor DC CIROLLA 5006



Performance data of Electric wheelchair motor :

Code	Voltage	Power	Speed	Current (max)	Noise (max)	Ratio	Brake
	VDC	W	RPM	A	dB		
5006	24	200	4200±100	2.5	62	1:32	24VDC, 0.5A, 20kgf-cm
5006	24	320	4600±100	3.0	62	1:32	

Outline drawings of Electric wheelchair motor :



Detailed Product Description

Voltage:	24V	Power:	300W
Type:	Dc Motor	Rated Speed:	4200RPM
Colour:	Black		
High Light:	worm geared motor, brushed dc electric motor		

Módulo para el control de Motor DC CIROLLA 5006

Driver Puente H BTS7960 43A

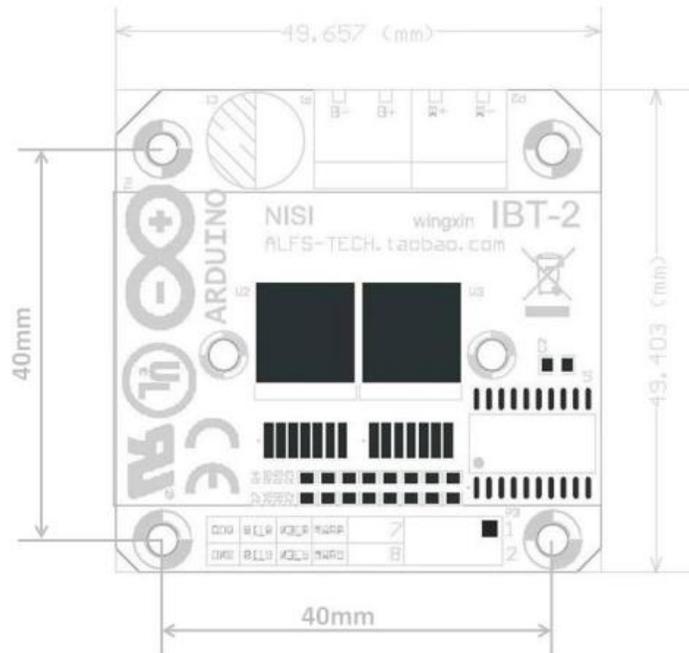


SKU: [DRV-1012](#)

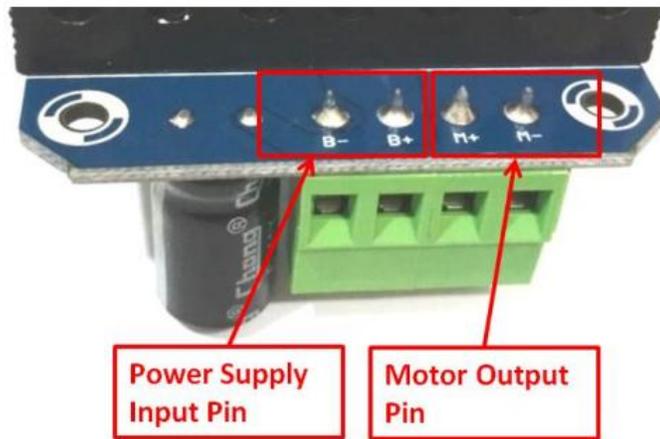
Brief Data:

- Input Voltage: 6 ~ 27Vdc.
- Driver: Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
- Peak current: 43-Amp.
- PWM capability of up to 25 kHz.
- Control Input Level: 3.3~5V.
- Control Mode: PWM or level
- Working Duty Cycle: 0 ~100%.
- Over-voltage Lock Out.
- Under-voltage Shut Down.
- Board Size (LxWxH): 50mm x 50mm x 43mm.
- Weight: ~66g.

Mechanical Dimension:



Motor Power Supply & Output Pin Assignment:



Pin No	Function	Description
1	B+	Positive Motor Power Supply. 6 ~ 27VDC
2	B-	Negative Motor Power Supply. Ground
3	M+	Motor Output +
4	M-	Motor Output -

Baterías

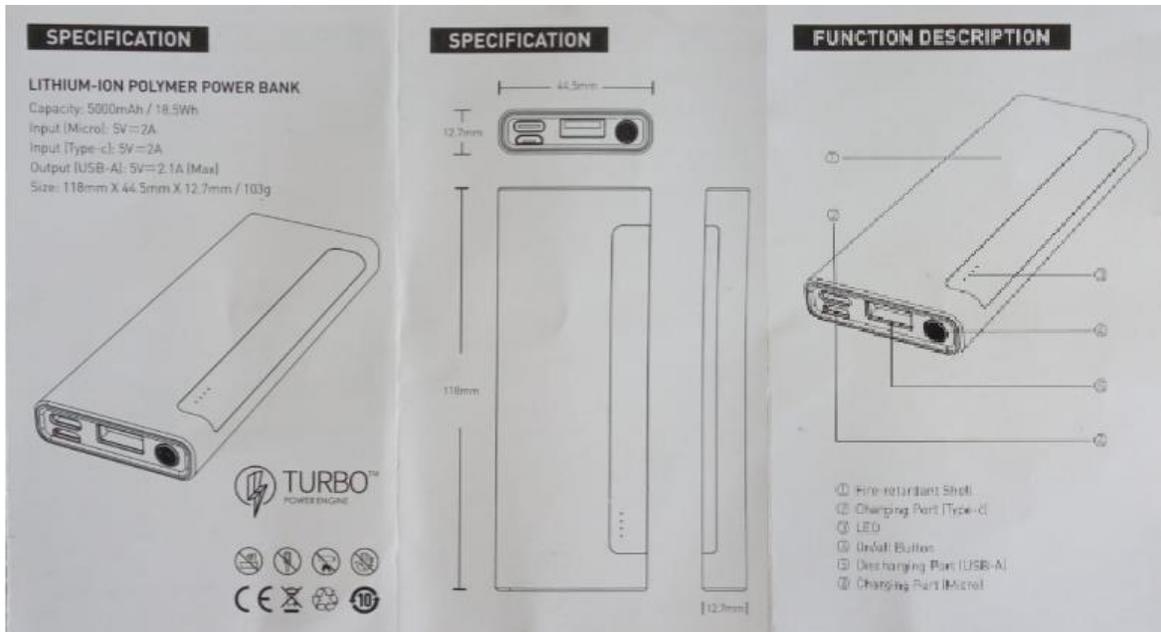
Batería BOSCH S4



Características Eléctricas		Características Generales	
Voltaje (V)	12	Largo (mm)	278
Capacidad (Ah)	70	Ancho (mm)	167
Reserva (Min)	144	Alto (mm)	200
CCA -18°C (A)	570	Tecnología	SLI - FB
CCA 0°C (A)	680	Peso (Kg)	23.5
CCA 27°C (A)	810	Polaridad	⊕ ⊖ ⊖ ⊕

LDNIO PR518





KITZUMA 6FM21

Specifications

Nominal Voltage(V)

12V

Nominal Capacity

20 hour rate	(0.35A to 10.50V)	7Ah
5 hour rate	(1.19A to 10.20V)	5.95Ah
1 hour rate	(3.85A to 9.60V)	3.85Ah
1 C	(7A to 9.60V)	3.73Ah

Weight

Approx. 2.45kg(5.39Lbs.)

Internal Resistance (at 1KHz)

Approx. 20 mΩ

Maximum Discharge Current for

5 seconds:105A

Charging Methods at 25°C(77°F)

Cycle use:

Charging Voltage 13.8 to 14.4V

Coefficient -5.0mV/°C/cell

Maximum Charging Current : 2.1A

Standby use:

Float Charging Voltage 13.5 to 13.8V

Coefficient -3.0mV/°C/cell

Dimensions

Length (L)

151±1 (5.94±0.04)

Width (W)

65±1 (2.56±0.04)

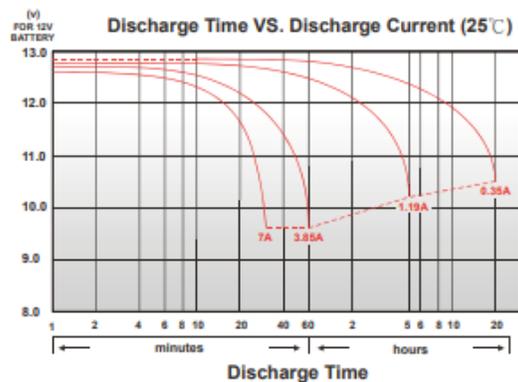
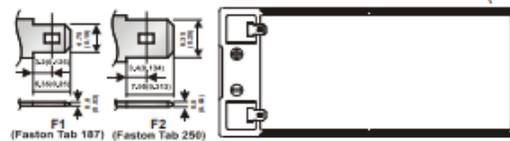
Height (H)

94±1 (3.70±0.04)

Overall Height (HT)

102±1 (4.02±0.04)

mm/inch



ANEXO F

Codificación para la placa Arduino Mega

En el Anexo F se establece el código de programación en el software Arduino, el cual contiene las instrucciones para el control de los actuadores que interviene en la silla bipedestadora.

```
int ledm1a=7;
```

```
int ledm1b=8;
```

```
int ledm2a=9;
```

```
int ledm2b=10;
```

```
int ledpa=11;
```

```
int ledU=2;
```

```
int ledD=3;
```

```
////////////////////////////////////
```

```
int fa=5;
```

```
int fb=6;
```

```
int fsa=12;
```

```
int fsb=13;
```

```
int valorfa, valorfb =0;
```

```
////////////////////////////////////
```

```
int pos1, pos2=0;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial1.begin(9600);
```

```
pinMode(ledm1a,OUTPUT);
pinMode(ledm1b,OUTPUT);
pinMode(ledm2a,OUTPUT);
pinMode(ledm2b,OUTPUT);
pinMode(ledpa,OUTPUT);
pinMode(ledU,OUTPUT);
pinMode(ledD,OUTPUT);
pinMode(fa,INPUT);
pinMode(fb,INPUT);
pinMode(fsa,OUTPUT);
pinMode(fsb,OUTPUT);
}
void loop() {

  finales();

  digitalWrite(fsa,HIGH);
  digitalWrite(fsb,HIGH);
  if(Serial1.available(>0){
    pos1 = Serial1.parseInt();
    // do it again:
    pos2 = Serial1.parseInt();
    if (Serial1.read() == '\n') {
  }
}
```

```
if(pos1 == 0 && pos2 == 1){  
    analogWrite(ledm1a,100);  
    analogWrite(ledm1b,0);  
    analogWrite(ledm2a,100);  
    analogWrite(ledm2b,0);  
    digitalWrite(ledpa,LOW);  
    //delay(200);  
    }  
else if(pos1 == 0 && pos2 == 3){  
    analogWrite(ledm1a,0);  
    analogWrite(ledm1b,100);  
    analogWrite(ledm2a,0);  
    analogWrite(ledm2b,100);  
    digitalWrite(ledpa,LOW);  
    //delay(200);  
    }  
else if(pos1 == 0 && pos2 == 4){  
    analogWrite(ledm1a,100);  
    analogWrite(ledm1b,0);  
    analogWrite(ledm2a,0);  
    analogWrite(ledm2b,100);  
    digitalWrite(ledpa,LOW);  
    //delay(200);
```

```

}
else if(pos1 == 0 && pos2 == 5){
    analogWrite(ledm1a,0);
    analogWrite(ledm1b,100);
    analogWrite(ledm2a,100);
    analogWrite(ledm2b,0);
    digitalWrite(ledpa,LOW);
    //delay(200);
}
else if( pos1 == 0 && pos2 == 7){
    digitalWrite(ledU,HIGH);
    digitalWrite(ledD,LOW);
    //delay(200);

}
else if(pos1 == 0 && pos2 == 8){
    digitalWrite(ledU,LOW);
    digitalWrite(ledD,LOW);
}
else if(pos1 == 0 && pos2 == 9){
    digitalWrite(ledU,LOW);
    digitalWrite(ledD,HIGH);
    //delay(200);
}

```

```

    }

    else if (pos1 == 0 && pos2 == 2) {

        analogWrite(ledm1a,0);

        analogWrite(ledm1b,0);

        analogWrite(ledm2a,0);

        analogWrite(ledm2b,0);

        digitalWrite(ledpa,HIGH);

        //delay(1000);

    }

}

// Serial.print(pos1);

// Serial.print(",");

// Serial.println(pos2);

}

void finales(){

    valorfa = digitalRead(fa); //lectura digital de pin

    valorfb = digitalRead(fb);

    //mandar mensaje a puerto serie en función del valor leído

    if (valorfa == HIGH || valorfb == HIGH) {

        Serial.println("Encendido");

        digitalWrite(ledU,LOW);

        digitalWrite(ledD,LOW);

```

```
}  
else {  
    Serial.println("Apagado");  
}  
}
```