



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLA-
BIPIDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA
“BENDICIONES”**

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: Robótica
AUTOR: Luis Roberto Sánchez Criollo
TUTOR: Ing. Santiago Mauricio Altamirano

Ambato - Ecuador

Diciembre – 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLA-BIPIDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES”, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Sánchez Criollo Luis Roberto, 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.

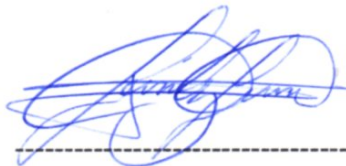
Ambato, diciembre 2020.

Ing. Santiago Altamirano
TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA UNA SILLA-BIPIDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES” es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, diciembre 2020.



Luis Roberto Sánchez Criollo

C.C. 1804807483

AUTOR

APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Luis Roberto Sánchez Criollo, 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 Y CONTROL PARA UNA SILLA-BIPIDESTADORA EN EL CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES”, 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, diciembre 2020.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Mario García.

PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Alberto Ríos.

PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, diciembre 2020.



Luis Roberto Sánchez Criollo

C.C. 1804807483

AUTOR

DEDICATORIA

El esfuerzo, constancia en mi carrera se lo dedico A mi madre, soporte principal en el cumplimiento de este objetivo, ya que es más suyo que mío. Por brindarme su apoyo incondicional, paciencia y sobre todo confianza en los peores momentos de mi vida, “Todo esto es por ella, todo lo que soy es por ella”.

Luis Roberto Sánchez Criollo

AGRADECIMIENTO

La vida te da la oportunidad de conocer todo tipo de personas, unas influyen en nuestras vidas más que otras de forma positiva o negativa, pero el aprender de ello es lo que te hace crecer. La toma de decisiones, buenas o malas me han llevado a este punto que se consideraría un éxito, pero para mí es solo algo que debía hacer.

Agradezco a mi familia ya que han sido pilar fundamental en el transcurso de esta etapa, por ser mi fuente de alegría y por su apoyo incondicional.

A mis amigos, que aun sabiendo lo diferente que soy me aceptaron y apoyaron en todo momento, somos completamente distintos, pero nos complementamos de una forma genial, y a todas las personas que desinteresadamente me brindaron su mano, los mantengo en mi mente.

Al Ing. Santiago Altamirano por brindarme la oportunidad de desarrollar un proyecto de titulación que no quedará en el olvido y se mantendrá funcionando por largo tiempo.

Luis Roberto Sánchez Criollo

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| PORTADA | i |
| APROBACIÓN DEL TUTOR..... | ii |
| AUTORÍA..... | iii |
| DERECHOS DE AUTOR | iv |
| APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE GENERAL | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xii |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| MARCO TEÓRICO | 1 |
| 1.1 Antecedentes investigativos | 1 |
| 1.2 Contextualización del problema | 3 |
| 1.3 Fundamentación Teórica..... | 4 |
| 1.3.1 Discapacidad | 4 |
| 1.3.2 Discapacidad física..... | 6 |
| 1.3.3 Lesiones medulares | 6 |
| 1.3.4 Paraplejía..... | 7 |
| 1.3.5 Niveles de paraplejía..... | 7 |
| 1.3.6 Silla de ruedas..... | 8 |
| 1.3.7 Tipos de sillas de ruedas | 9 |
| 1.3.8 Partes de una silla de ruedas..... | 11 |
| 1.3.9 Parámetros de movilidad de una silla de ruedas..... | 12 |
| 1.3.10 Bipedestador | 12 |
| 1.3.11 Silla bipedestadora | 13 |
| 1.3.12 Centro de rehabilitación física “BENDICIONES” | 15 |
| 1.3.13 Sistema automatizado | 16 |
| 1.3.14 Sistema de control | 16 |
| 1.3.19 Actuadores | 17 |

| | |
|--|----|
| 1.3.20 Motor eléctrico | 17 |
| 1.3.21 Clasificación de los motores eléctricos | 19 |
| 1.3.22 Actuador lineal | 19 |
| 1.3.23 Interruptor eléctrico | 23 |
| 1.3.24 Batería | 23 |
| 1.3.25 Multímetro digital..... | 24 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 26 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 26 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 26 |
| 1.4.3 Descripción de objetivos | 26 |
| CAPÍTULO II..... | 28 |
| METODOLOGÍA | 28 |
| 2.1 Materiales | 28 |
| 2.2 Métodos..... | 28 |
| 2.2.1 Modalidad de la Investigación | 28 |
| Modalidad Aplicada..... | 28 |
| Modalidad Bibliográfica..... | 28 |
| Modalidad Experimental | 28 |
| 2.2.2 Recolección de información..... | 28 |
| 2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos..... | 29 |
| 2.2.4 Desarrollo del proyecto | 29 |
| CAPÍTULO III..... | 30 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 30 |
| 3.1 Análisis y discusión de resultados | 30 |
| 3.1.1 Análisis de Factibilidad..... | 30 |
| Factibilidad Técnica | 30 |
| Factibilidad Económica | 30 |
| Factibilidad Bibliográfica..... | 30 |
| 3.2 Desarrollo de la propuesta..... | 31 |
| 3.2.1 Requerimientos del Prototipo | 31 |
| 3.2.2 Diseño y diagrama de bloques del sistema | 31 |
| 3.2.3 Hardware..... | 32 |
| 3.2.4 Software | 32 |

| | |
|--|----|
| 3.2.5 Selección de los elementos para la implementación del sistema | 33 |
| 3.2.6 Dimensionamiento y análisis estructural de la silla – bipedestadora..... | 42 |
| 3.2.7 Medidas del espacio disponible | 42 |
| 3.2.8 Angulo máximo de inclinación | 43 |
| 3.2.9 Soldado del eje secundario | 44 |
| 3.2.10 Eliminación del seguro manual..... | 45 |
| 3.2.12 Ajuste de los amortiguadores hidráulicos..... | 46 |
| 3.2.13 Pintado y corrección de fallas..... | 46 |
| 3.2.11 Incorporación del actuador lineal..... | 47 |
| 3.2.14 Adaptación de la batería, inversor de voltaje y control | 48 |
| 3.2.15 Acoplamiento de interruptores, voltímetro..... | 48 |
| 3.3. Resultados..... | 51 |
| CAPÍTULO IV..... | 56 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 56 |
| 4.1 Conclusiones | 56 |
| 4.2 Recomendaciones | 58 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 59 |
| ANEXOS | 63 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Clasificación de las deficiencias, discapacidades y minusvalías..... | 6 |
| Tabla 2: Actuadores lineales (según la energía que convierten). | 36 |
| Tabla 3: actuadores lineales (según su tipo de cilindro)..... | 37 |
| Tabla 4: Actuadores lineales (segun la energía que convierten). | 38 |
| Tabla 5: Tipos de voltímetros (analógico / digital) | 40 |
| Tabla 6: Características del voltímetro digital. | 41 |
| Tabla 7: Características del inversor de voltaje. | 42 |
| Tabla 8:Tiempo de desplazamiento del actuador..... | 53 |
| Tabla 9: Variación de voltaje del sistema | 54 |
| Tabla 10: Estabilidad y recorrido del actuador. | 55 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Paraplejia en el canal vertebral [12]. | 8 |
| Figura 2: canal vertebral [14]. | 9 |
| Figura 3: Silla de ruedas [16]. | 10 |
| Figura 4: Silla de ruedas de usuario temporal [17]. | 10 |
| Figura 5: Silla de ruedas de usuario permanente [17]. | 11 |
| Figura 6: Silla de ruedas de usuario permanente con apoyo postural [17]. | 11 |
| Figura 7: Partes de una silla de ruedas [16]. | 12 |
| Figura 8: Partes de un bipedestador [22]. | 14 |
| Figura 9: Silla – bipedestadora [23]. | 14 |
| Figura 10: Movimiento vertical de una silla bipedestadora [20]. | 15 |
| Figura 11: Movimiento horizontal de una silla bipedestadora [20]. | 15 |
| Figura 12: Movimiento base de una silla bipedestadora [20]. | 16 |
| Figura 13: Ubicación del CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES” [25]. | 17 |
| Figura 14: Partes de un motor eléctrico [30]. | 19 |
| Figura 15: Clasificación de los motores eléctricos [29]. | 20 |
| Figura 16: actuador eléctrico lineal FT SeriesTM [32]. | 21 |
| Figura 17: Actuador lineal Electrak 1 (SP) series [33]. | 22 |
| Figura 18: Festo, dsbc-32-25-pps-a-n3 - actuador neumático cilindro normalizado [34]. | 22 |
| Figura 19: Partes de un actuador lineal eléctrico[35]. | 23 |
| Figura 20: Interruptor de 6 polos [37]. | 24 |
| Figura 21: Batería de plomo y ácido DIN75-SMF [40]. | 25 |
| Figura 22: Multímetro digital MY60 [42]. | 26 |
| Figura 23: Diseño del prototipo de elevación. | 33 |
| Figura 24: Diseño del prototipo de elevación. | 34 |
| Figura 25: Silla de ruedas bipedestador, en reposo. | 35 |
| Figura 26: Silla de ruedas bipedestador, extendida. | 35 |
| Figura 27: Actuador lineal electrónico. | 37 |
| Figura 28: Voltímetro digital. | 41 |
| Figura 29: inversor de voltaje DC/AC. | 42 |
| Figura 30: Silla de ruedas-bipedestadora. | 43 |
| Figura 31: medidas del espacio disponible, parte trasera de la silla. | 44 |
| Figura 32: Angulo de inclinación, parte lateral del bipedestador. | 45 |
| Figura 33: Soldado del eje secundario y los soportes del actuador. | 46 |
| Figura 34: Desmantelación del seguro manual de la silla. | 46 |
| Figura 35: Posicionamiento de los amortiguadores hidráulicos. | 47 |
| Figura 36: Pintado del eje secundario. | 48 |
| Figura 37: posicionamiento del actuador lineal, parte trasera del bipedestador. | 48 |
| Figura 38: Colocación del inversor y batería, parte inferior de la silla. | 49 |
| Figura 39: Esquema de conexión de los interruptores. | 50 |
| Figura 40: Implementación del circuito de control. | 50 |
| Figura 41: Colocación del circuito de control. | 51 |
| Figura 42: Sistema de elevación terminado y conectado. | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 43: Elevación de la silla bipidestadora en estado manual..... | 52 |
| Figura 44: Elevación de la silla bipidestadora en automático..... | 53 |
| Figura 45: Sr. Cristian Núñez - Propietarios de la silla dipidestadora. | 64 |
| Figura 46: Vista frontal de la silla bipidestadora | 65 |
| Figura 47: Vista posterior de la silla bipidestadora..... | 66 |
| Figura 48: Vista frontal de la silla bipidestadora. | 67 |
| Figura 49: Vista trasera de la silla bipidestadora. | 67 |
| Figura 50: Vista trasera de la silla ya en forma de bipidestador. | 68 |
| Figura 51: Vista lateral de la silla ya en forma bipidestador. | 68 |
| Figura 52: Soldado del eje secundario. | 69 |
| Figura 53: Separación del seguro manual..... | 69 |
| Figura 54: Ajuste de amortiguadores hidráulicos. | 70 |
| Figura 55: Colocación del actuador lineal,inversor de voltaje y batería. | 70 |
| Figura 56: Encendido del sistema. | 71 |
| Figura 57: Control encendido y stop. | 72 |
| Figura 58: Actuador encendido y stop. | 73 |
| Figura 59:Mecanismo encendido y stop- vista frontal. | 74 |
| Figura 60: Control encendido - movimiento ascendente del actuador. | 75 |
| Figura 61: Control encendido - movimiento ascendente del actuador. | 76 |
| Figura 62: Control encendido - movimiento ascendente del actuador- vista frontal..... | 77 |
| Figura 63: Control encendido - movimiento descendente del actuador. | 78 |
| Figura 64: Control encendido - movimiento descendente del actuador. | 79 |
| Figura 65: Control encendido - movimiento descendente del actuador - vista frontal..... | 80 |

RESUMEN

El uso de equipamientos de movilidad asistida para personas con discapacidad física permite la integración su integración a la sociedad y la interacción con la vida cotidiana de las mismas, por esta razón el presente proyecto se centra en mejorar el proceso de cambio de estado de una silla de ruedas a un bipedestador mediante el diseño de un sistema de automatización y control de una silla bipedestadora para el centro de rehabilitación “Bendiciones”.

El presente proyecto describe el diseño de un sistema de automatización y control incorporado en una silla de ruedas – bipedestadora, cuyo propietario es el Sr. Cristian Núñez que presenta un 90% de discapacidad física provocada por la paraplejia. Para efectuar este proyecto se requiere de un mecanismo que se adapte a las características de la silla de ruedas ya que en principio la silla funciona de forma manual y fue diseñada con ese único propósito, el mecanismo de elevación y el sistema a implementar no debe alterar la estructura física de la silla bipedestadora, así tampoco debe interferir en su principal funcionamiento.

El funcionamiento del sistema de automatización y control de la silla bipedestadora consiste en la utilización de un mecanismo móvil que permita el desplazamiento en vertical de la silla de ruedas, soportando el peso de la estructura, así como el peso corporal del paciente, el movimiento de este mecanismo debe proporcionando un movimiento lineal y estable, además de contar con un control manual que permita operar el movimiento en vertical de la silla sin necesidad de personal de asistencia y sobre todo brindando libre movilidad en el cambio de postura del paciente.

Como resultado se tendrá un sistema eficiente implementado en la silla de ruedas bipedestadora que realice este proceso de forma automatizada y controlada guardando la integridad y buen funcionamiento de los dispositivos de trabajo, cubriendo con esto las necesidades específicas del paciente.

Palabras clave: Automatización, control, bipedestador, sistema electrónico, paraplejia.

ABSTRACT

The use of assisted mobility equipment for people with physical disabilities allows the integration of these people into society and interaction with their daily lives. For this reason, this project focuses on improving the process of changing the state of a wheelchair to a standing frame by designing an automation and control system for a standing frame for the rehabilitation center "Bendiciones".

The present project describes the design of an automation and control system incorporated in a wheelchair - standing frame, whose owner is Mr. Cristian Núñez who has 90% of physical disability caused by paraplegia. In order to carry out this project, a mechanism that adapts to the characteristics of the wheelchair is required, since in principle the chair works manually and was designed with that sole purpose in mind. The elevation mechanism and the system to be implemented must not alter the physical structure of the two-legged chair, nor must it interfere with its main operation.

The operation of the automation and control system of the Standing Frame consists of the use of a mobile mechanism that allows the vertical displacement of the wheelchair, supporting the weight of the structure, as well as the patient's body weight. The movement of this mechanism must provide a linear and stable movement, besides having a manual control that allows operating the vertical movement of the chair without the need of assistance personnel and above all, providing free mobility in the change of the patient's posture.

As a result, there will be an efficient system implemented in the two-legged wheelchair that performs this process in an automated and controlled way, keeping the integrity and good functioning of the working devices, covering with this the specific needs of the patient.

Keywords: Automation, control, bipedestator, electronic system, paraplegia.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Debido a que la discapacidad física se presenta de diferentes formas y niveles, se han creado diversos prototipos y métodos de controlarlos, cada uno teniendo en cuenta el nivel de movilidad de la persona discapacitada. En este contexto a continuación se presentan obras de relevancia asociadas a la temática abordada:

En el trabajo de tesis titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA MEDIANTE SENSORES MIOELÉCTRICOS EOG/EM” de Miguel Ángel Fornell y Oscar Veloz, desarrollado en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, ESPOL, Guayaquil 2015, implementó un control para la silla de ruedas mediante señales captadas por sensores faciales acondicionando las señales mediante electrónica analógica e interpretadas por el microcontrolador que posteriormente moverían un servomotor consiguiendo con esto mover un joystick. Adicionalmente se implementó una computadora remota para el respectivo monitoreo inalámbrico de las señales mioeléctricas [1].

En el trabajo de tesis titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS” de Quinatoa Edison y Veloz Bryan, desarrollado en la Facultad de Mecánica, ESPOCH, Riobamba, 2019, diseño un sistema de propulsión y anclaje a una silla de ruedas para su movilidad en zonas urbanas, en el cual toma en cuenta parámetros geográficos para la selección de un sistema de propulsión electrónico que consta de un motor brushless de 350 Watts, batería de litio de 36 voltios y 9 amperios, ya que es capaz de propulsar

la silla con su ocupante en una pendiente del 12 grados a una velocidad de 5 [km/h], mientras que en el plano alcanza una velocidad de 20 [Km/h] [2].

En el trabajo de tesis titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA SILLA DE BIPIDESTACIÓN ELÉCTRICA PARA PERSONAS CUADRIPLÉJICAS ACTIVADA POR VOZ, DE BAJO COSTO” de Armijos Jhoanna y Criollo Tania desarrollado en la Carrera de Mecatrónica, ESPE, Sangolqui, 2018, en su diseño implementó un sistema por voz para el control de sillas bipidestadoras utilizando motores lineales y teniendo en cuenta su fuerza de empuje para levantar a una persona promedio, controlando así un ángulo máximo de 70 grados. Además, diseñó un sistema de control manual el cual respalde cualquier fallo del sistema de voz [3].

En la tesis de maestría titulado “CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD MÓVIL INFERIOR Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS” del Ing. Fernando Urrutia desarrollado en la Facultad de ingeniería en sistemas electrónica e industrial, UTA, Ambato, 2016, en la cual para la implementación de su diseño utilizó bombas hidráulicas de 12 Volt DC la cual esta activada por pulsadores, simplificando así su operación, así mismo consigue un movimiento uniforme y pausado evitando cambios bruscos en la postura del usuario [4].

De forma similar en el año 2015, H. J. Kim y otros en su artículo titulado “Development of Non-Motorized Lifting Chair For the Elderly” presentan el diseño de una silla elevadora no motorizada que ayuda cómodamente al movimiento de pie y sentado para el uso de los ancianos coreanos mayores de 65 años. Se ha procurado contribuir suavemente al movimiento de las extremidades inferiores al considerar el ángulo de la rodilla de los ancianos al estar de pie; ya que la fuerza recuperada para pararse de una silla depende del ángulo de la rodilla. A diferencia de los dispositivos de elevación existentes, este dispositivo posee un mecanismo de inclinación que no utiliza energía eléctrica, por lo que se trata de una de propuesta de bajo costo [5]

En el año 2016 en Universidad Cooperativa de Colombia, Noguera J., Guerrero S., Carreño O. y Arias L. en su artículo titulado “Aplicación en Android para maniobrar una silla de ruedas eléctrica” presenta el diseño de un control por comando de voz mediante una aplicación android que recibe los datos mediante sensores en la estructura presentando la utilización de un joystick como variante de manipulación ya que es una forma más segura de controlar. Además, el uso de un puente H para la etapa de potencia y cambio de dirección de los motores [6].

Una vez recopilada la información entregada por los antecedentes investigativos y como aporte al proyecto se concluye que para la automatización y control de la silla-bipedestadora, se debe tomar como prioridad el peso del motor y su localización en la estructura ya que esto afectará el centro de gravedad de la silla. El uso de motores lineales será óptimo para la estructura, ya que ejercerá un movimiento continuo y fuerza de empuje suficiente para la elevación requerida. El usuario al tener movilidad solo en sus extremidades superiores se considera factible el uso de un joystick, disminuyendo con esto el uso de su fuerza muscular para el control total de la silla-bipedestadora.

1.2 Contextualización del problema

En la Actualidad, Ecuador presenta 468.537 casos registrados de personas con discapacidad, contando con un 5.16% psicológica, 11.77% visual, 14.11% auditiva, 22.34% intelectual y teniendo un mayor porcentaje la discapacidad física con un 46.63% según estadísticas presentadas por el Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades (CONADIS). Teniendo en cuenta estos datos se recalca el uso de aparatos que permitan la movilización en el entorno de las personas con discapacidad física [7].

Ecuador no se ha caracterizado por la fabricación de sillas de ruedas y bipedestadores, y mucho menos en su automatización y control, ya que la mayor parte de estas son realizadas por talleres metalmecánicos independientes bajo pedido, teniendo un costo relativamente alto para las condiciones económicas de los usuarios.

Por esta razón, se propone la implementación de un diseño de automatización y control para un modelo ya establecido de silla-bipedestadora para un paciente que sufre de paraplejia, que sea de bajo costo en comparación con modelos comerciales y con una interfaz más amigable para el usuario.

El presente tema de investigación toma en cuenta la movilidad independiente de las personas con paraplejia así mismo su mayor inclusión a la sociedad, que dentro su entorno tendrá la posibilidad del movimiento en vertical dejando al usuario relativamente en pie, lo que cumple con la función del bipedestador, todo esto mediante motores que contara con un control determinado que cumplirán las funciones de un bipedestador.

Cabe recalcar que el proyecto en un principio está pensado como un servicio social para el sector de la salud en el Centro de Rehabilitación Física “BENDICIONES” ubicado en la Ciudad de Ambato, por lo cual los pacientes de paraplejia que se encuentren en el centro tendrán un ayuda en su desenvolvimiento diario.

1.3 Fundamentación Teórica

1.3.1 Discapacidad

La terminología o concepto de discapacidad ha cambiado a lo largo de la historia, todo esto dependiendo de su evolución y aceptación de la sociedad. Por lo cual, la Organización Mundial de la Salud (OMS) crea la Clasificación Internacional de Funcionamiento, de la discapacidad y de la Salud (CIF), que hace una comparación entre las terminologías adjuntas tales como: [8][9].

Deficiencia

Hace referencia a la anormalidad o pérdida de una estructura o función psicológica, anatómica o fisiológica. Por lo cual, las deficiencias son trastornos hacia cualquier órgano, defectos en órganos, extremidades, corporales o funciones mentales lo que ocasiona la pérdida de estos órganos o funciones de las extremidades.

Discapacidad

Hace referencia a la falta de capacidad para realizar actividades dentro del margen considerado normal en el ser humano, provocando así una deficiencia, las cuales pueden ser generadas antes de nacer o por algún accidente.

Minusvalía

Hace referencia a la situación en la que se desempeña un individuo consecuencia de una deficiencia o discapacidad, lo cual lo impide o limita en la elaboración de tareas cotidianas consideradas normales en su caso. Haciendo que disminuyan sus oportunidades de tener una participación en igualdad de condiciones en una comunidad.

Tabla 1: Clasificación de las deficiencias, discapacidades y minusvalías

| | |
|-----------------------|---|
| Deficiencias | Intelectuales. Músculo esqueléticas. Psicológicas. Órgano de la audición. Órgano de la visión. Lenguaje. Sensitivas y otras. |
| Discapacidades | Comunicación. Locomoción. Conducta. Disposición del cuerpo. Destrezas y aptitudes. Cuidado personal. Sensitivas y otras. |

| | |
|--------------------|--|
| Minusvalías | Independencia Física. Autosuficiencia Movilidad. Orientación. Económica. Ocupación. Integración Social. Otras Minusvalías. |
|--------------------|--|

Elaborado por: El investigador, en base a [9].

1.3.2 Discapacidad física

La OMS (Organización Mundial de la Salud). define la discapacidad como “un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive”. Por lo cual, la discapacidad física se comprende como la condición que impide o limita el movimiento de la persona siendo esta de forma temporal o permanente, el mayor número de discapacidad física (más de un 80%) ocurre después del nacimiento o consecuencia de accidentes, y en menor número se da durante el embarazo por causas congénitas o durante el parto [8].

1.3.3 Lesiones medulares

Hace referencia a una lesión ocurrida en la médula espinal la cual corta el riego sanguíneo y el oxígeno por consecuencia de algún tipo de traumatismo, enfermedad o degeneración.

Dependiendo de la gravedad de la enfermedad se presentan diferentes síntomas entre los cuales incluyen pérdida de movilidad total o parcial de la sensibilidad o control de las extremidades llegando a ser total la inmovilidad de todo el cuerpo.

A causa de esto las personas que sufren de lesiones medulares están destinadas a depender de asistencia para realizar sus actividades diarias, además de depender de diversas tecnologías relacionadas para su movilidad, auto asistencia y actividades domésticas [10].

1.3.4 Paraplejia

Se define como una enfermedad originada por una lesión medular que causa la pérdida parcial o total de movilidad y sensibilidad del tronco así mismo de los músculos de las extremidades inferiores provocando inestabilidad del cuerpo, modificación en la postura y movilidad limitada.

Esto provoca en la persona que sufre de paraplejia la sensación de vulnerabilidad ya que llegan a percibir dificultad para realizar actividades comunes y así mismo para su desplazamiento en comparación con otras personas. El uso de una silla de ruedas o bipedestador se hace necesario para mejorar su inclusión en la sociedad [11].

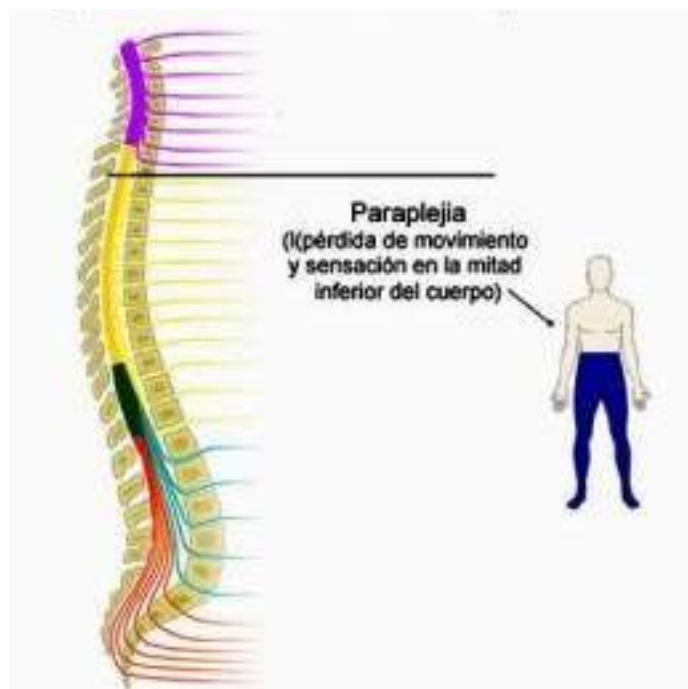


Figura 1: Paraplejia en el canal vertebral [12].

1.3.5 Niveles de paraplejia

Los niveles de paraplejia se caracterizan debido a la ubicación que tienen las lesiones en la médula espinal: [12].

Paraplejia Flacida : Lesion medular ubicada debajo de T10.

Paraplejia Espastica : Lesion medular ubicada encima de T10.

Lesion T2-T6: Parálisis en los órganos intercostales, probocando dificultad al respirar.

Lesion T6-T12: Pérdida de los reflejos en el abdomen.

Lesion de L1 y S2: Insensibilidad en el pliegue inguinal, perdida del reflejo rotuliano y parálisis tipo crural.

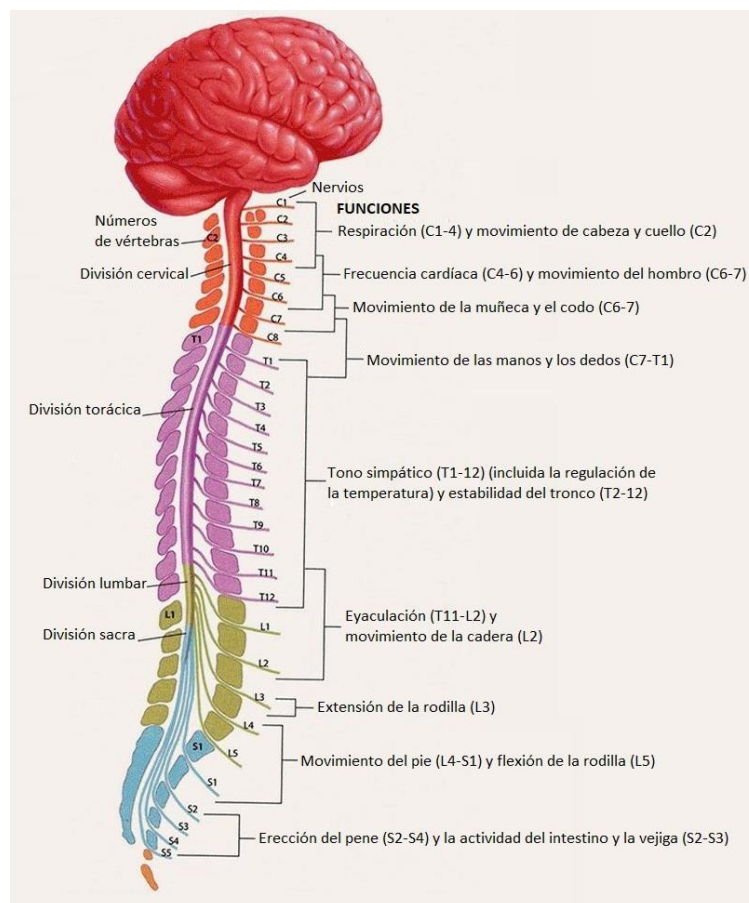


Figura 2: canal vertebral [14].

1.3.6 Silla de ruedas

Una silla de ruedas es un vehículo individual con la finalidad de realizar actividades referentes al aparato locomotor, las cuales han sido mermadas por alguna discapacidad o minusvalía posibilitando así del traslado de personas con alguna lesión física, sea

esta de forma temporal o permanente facilitando así su autonomía e integración social [13].



Figura 3: Silla de ruedas [16].

1.3.7 Tipos de sillas de ruedas

Debido a los diversos tipos de discapacidad presentes en los usuarios el uso de una silla de ruedas estándar no es factible, ya que esta debe satisfacer las necesidades y cumplir con requerimientos individuales los cuales son medidos según el grado de complejidad presente en el paciente [14].

- **Silla de ruedas para usuario temporal**

Este tipo de sillas no brinda ajustes exactos ni apoyo postural, son utilizadas para el traslado de pacientes entre salas dentro de los hospitales.



Figura 4: Silla de ruedas de usuario temporal [17].

- **Silla de ruedas para usuario permanente**

Este tipo de sillas de ruedas deben de contar con ajustes necesarios tales como el proporcionar apoyo postural, alivio de presiones, apoyo de pies y espalda, todo esto necesario para brindar comodidad al paciente.



Figura 5: Silla de ruedas de usuario permanente [17].

- **Silla de ruedas para usuario con apoyo postural**

Este tipo de sillas de ruedas cuenta con modificaciones y ajustes especiales, siendo destinadas a usuarios permanentes con necesidades posturales especiales.

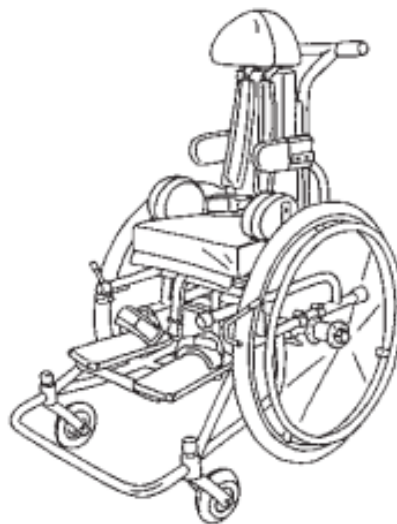


Figura 6: Silla de ruedas de usuario permanente con apoyo postural [17].

Entre los tipos de silla de ruedas según su movilidad se tiene: [15]

- **Silla manual**

Dependiendo a su función o grado de lesión presente la silla pueden ser propulsadas por el mismo paciente.

- **Silla electrónica**

Consiste en presentar una autonomía en la silla de ruedas la cual es controlada por el usuario por medio de alguna interfaz electrónica.

1.3.8 Partes de una silla de ruedas

Las partes básicas y funcionales de una de silla de ruedas son :[14]



Figura 7: Partes de una silla de ruedas [16].

Base de asiento .- Su función es de mantener el soporte de todo el paciente manteniendo un apoyo seguro y estable.

Cojín .- Se utiliza para mayor comodidad, alivio de presión y apoyo postural.

Espaldar .- Ofrece el apoyo postural necesario para el usuario.

Pisaderas .- Proporcionan un apoyo para los pies y las piernas reduciendo la presión sobre el asiento del usuario.

Apoya brazos .- Ofrece apoyo pasajero a los brazos, contando también con la función de permitir el sentarse y ponerse de pie.

Ruedas traseras .- Permiten la propulsión del vehículo ofreciendo estabilidad y movimiento de empuje.

1.3.9 Parámetros de movilidad de una silla de ruedas

Distribución de peso

Hace referencia al peso compartido entre sus ruedas delanteras y traseras, así como su centro de gravedad siendo óptimo un 80% de distribución en la rueda trasera y un 20% en la delantera, con lo cual se consigue mayor movilidad y menor rozamiento [16].

Factores biomecánicos

Este factor se enfoca en las ruedas, dependiendo del material y su tamaño de fabricación, siendo las neumáticas las más cómodas y las macizas las de mayor movilidad. Otro factor a recalcar será el tipo de terreno en el cual se desempeñará la silla de ruedas. La distancia entre las ruedas influye en la movilidad y estabilidad de la silla, a menor distancia entre ejes la silla gira de mejor manera y es más maniobrable y estable [17].

1.3.10 Bipidestador

Es un equipo mecánico que tiene como función principal el mantener erguida a una persona que sufra de alguna discapacidad física, con la finalidad de prevenir la pérdida de masa ósea por falta de movilidad, mejorando en sí el flujo sanguíneo, las funciones digestivas, renales, urinarias y respiratorias [18].



Figura 8: Partes de un bipedestador [22].

1.3.11 Silla bipedestadora

Es un dispositivo mecánico que cumple las funciones de una silla de ruedas y un bipedestador, dando los beneficios necesarios de los dos dispositivos, usualmente estos aparatos se producen por pedido ya que deben cumplir especificaciones únicas de cada paciente para mejor ergonomía y comodidad [19].



Figura 9: Silla – bipedestadora [23].

Movilidad de una silla-bipedestadora

Una silla bipedestadora consta con tres movimientos fundamentales: [17]

- a) Movimiento vertical, el cual ejerce la posición en un ángulo cercano a los 90° permitiendo al paciente mantenerse erguido y tener mejor apoyo y seguridad.



Figura 10: Movimiento vertical de una silla bipedestadora [20].

- b) Movimiento horizontal, ejerce un ángulo de 180° lo cual permite el descanso del paciente.



Figura 11: Movimiento horizontal de una silla bipedestadora [20].

c) En este estado se comporta como una silla de ruedas normal permitiendo la movilidad sobre diferentes espacios.



Figura 12: Movimiento base de una silla bipedestadora [20].

1.3.12 Centro de rehabilitación física “BENDICIONES”

Es una entidad privada destinada a la rehabilitación física ubicado en la ciudad de Ambato que ofrece los tratamientos profesionales en Neurorehabilitación, Neuropsicología, Estimulación de praxia fina y cognitiva Terapia de lenguaje, Masaje terapéutico, Fisioterapia acuática, Rehabilitación Física. Además de la atención a niños con Secuelas de lesiones neurológicas, parálisis cerebral, accidente cerebro vascular, traumatismo craneoencefálico, síndromes, lesiones traumatológicas y deportivas, estrés laboral. Actualmente se encuentra ubicada en Cdla. Presidencial, Calle Diego Noboa 3-02 y Javier Espinoza (1,10 km). En la figura 13 se indica su ubicación geográfica [20].



Figura 13: Ubicación del CENTRO DE REHABILITACIÓN FÍSICA “BENDICIONES” [25].

1.3.13 Sistema automatizado

Es el conjunto de métodos con el cual se logra la sustitución del operario de procedimientos físicos, siendo estos previamente programados. Por lo cual, un sistema automatizado es la incorporación de elementos relacionados de forma funcional entre sí, formando así una estructura manejada de forma independiente a través de componentes de mando que suele ser el autómata programable capaz de comunicarse con todos los accionadores del sistema y el componente Operativo constituido por accionadores y capaces de realizar las acciones generadas por el autómata programable. Todo esto generado bajo procedimientos modernos y requisitos necesarios para el funcionamiento del sistema [21].

1.3.14 Sistema de control

Un sistema de control está formado por procesos o arreglos de componentes físicos relacionados entre sí con una finalidad específica, teniendo de referencia señales tanto de entrada como de salida permitiendo al sistema la acción de control. Estas señales adquiridas son capaces de comandar, dirigir o controlar de forma dinámica un sistema [22].

1.3.19 Actuadores

Un actuador es un dispositivo mecánico cuya función es actuar, proporcionar fuerza para ejercer un cambio de posición, cambio de velocidad o cambio de estado a partir de la información adquirida [23].

Clasificación de los actuadores

Por el tipo de energía utilizada:

- Actuador neumático
- Actuador hidráulico
- Actuador eléctrico

Por el tipo de movimiento generado:

- Actuador lineal
- Actuador rotatorio

1.3.20 Motor eléctrico

Un motor eléctrico se define como un dispositivo eléctrico rotatorio capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica, todo esto mediante la interacción de los campos magnéticos provenientes de sus bobinas. Un motor eléctrico tiene diversos componentes enlistados a continuación y que se muestran en la figura 16 [24].

Carcasa

Elemento encargado de proteger el rotor y estator, dependiendo su aplicación y diseño se puede emplear diferentes materiales para su fabricación.

Estator

Elemento que opera como base permitiendo que rote el motor desde ese punto, su movimiento no es físico, pero sí magnético por lo que se constituye como la parte fija del motor.

Rotor

Su función es la de transferencia mecánica, dependiendo de la conversión de energía eléctrica-mecánica, básicamente formados por láminas de acero de silicio. Constituido como la parte móvil del motor.

Rodamientos

Es un dispositivo el cual tiene la función de mantener el rotor separado del devanado estatórico.

Ventilador

Encargado de brindar ventilación al motor absorbiendo el aire del ambiente y haciéndolo circular por las ranuras de la carcasa.

Placa de bornes

Es un elemento encargado de proteger a los conductores que alimentan al motor de cualquier tipo de elemento que pueda dañarlos.

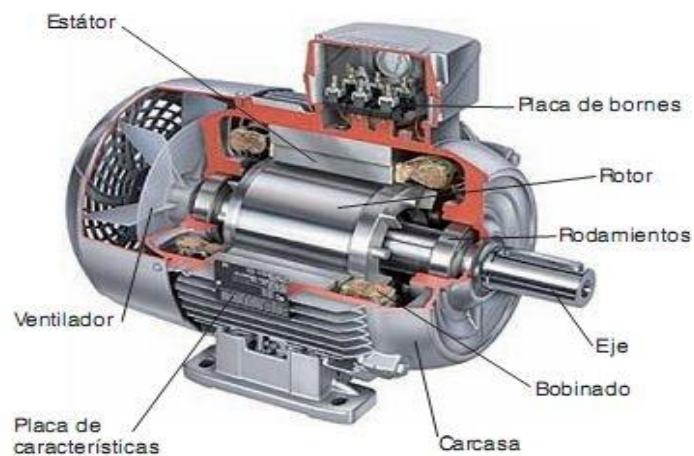


Figura 14: Partes de un motor eléctrico [30].

1.3.21 Clasificación de los motores eléctricos

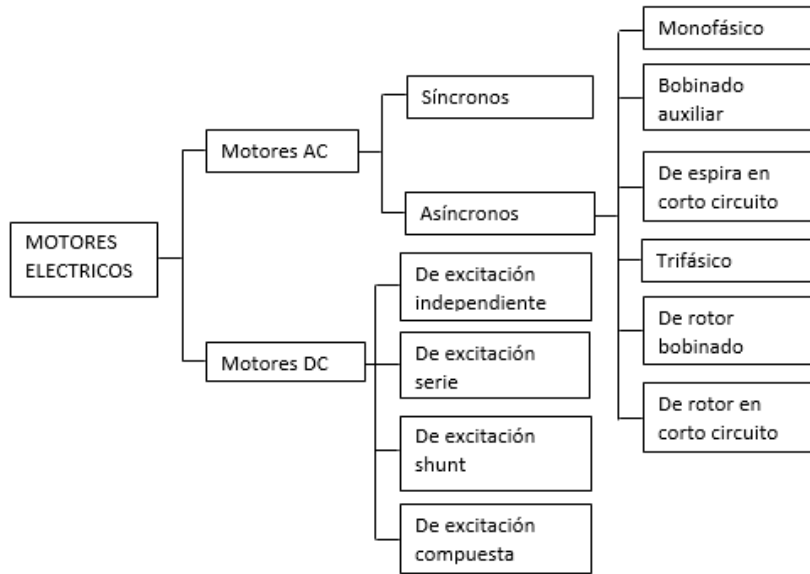


Figura 15: Clasificación de los motores eléctricos [29].

Motores eléctricos síncronos y asíncronos

Motores eléctricos síncronos

Toman su nombre debido a que la velocidad del campo inducido en el rotor es igual a la del campo magnético giratorio del estator, teniendo como característica que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de alimentación.

Motores eléctricos asíncronos

Su nombre viene dado debido a que la velocidad con la que funciona el campo magnético giratorio del estator es mayor a la velocidad producida del giro del motor, por lo cual no están sincronizadas

1.3.22 Actuador lineal

Un actuador lineal es un dispositivo electromecánico que produce un movimiento de desplazamiento lineal. Su funcionamiento se basa en la transformación de energía eléctrica a un movimiento circular efectuada por la presencia de un motorreductor,

produciendo el impulso de un husillo a una tuerca acoplada a un vástago, por lo que esto deriva del paso del movimiento rotativo a un movimiento lineal.

El contar con un sistema de protección que cortan el flujo de corriente en caso de obstrucción o carga excesiva lo hacen más eficiente en su funcionamiento, así mismo la posición del motor reduce el tamaño del actuador permitiendo una instalación en espacios reducidos.[25]

Tipos de actuadores

Actuadores electrónicos

Este tipo de actuadores son accionados por corrientes eléctricas teniendo una estructura más sencilla respecto a los otros tipos de actuadores ya que solo requieren energía eléctrica para su funcionamiento [25].



Figura 16: actuador eléctrico lineal FT SeriesTM [32].

Actuadores hidráulicos

Para este tipo de actuador se utiliza líquido a presión (aceite) generando así fuerza mecánica, requiriendo en sí mucho equipo adicional de energía y mantenimiento periódico.



Figura 17: Actuador lineal Electrak 1 (SP) series [33].

Actuadores neumáticos

Para el funcionamiento de este tipo de actuadores se utiliza la energía del aire comprimido en el trabajo mecánico, pero con un rango menor de compresión respecto a los actuadores hidráulicos.



Figura 18: Festo, dsbc-32-25-pps-a-n3 - actuador neumático cilindro normalizado [34].

Partes de un actuador lineal

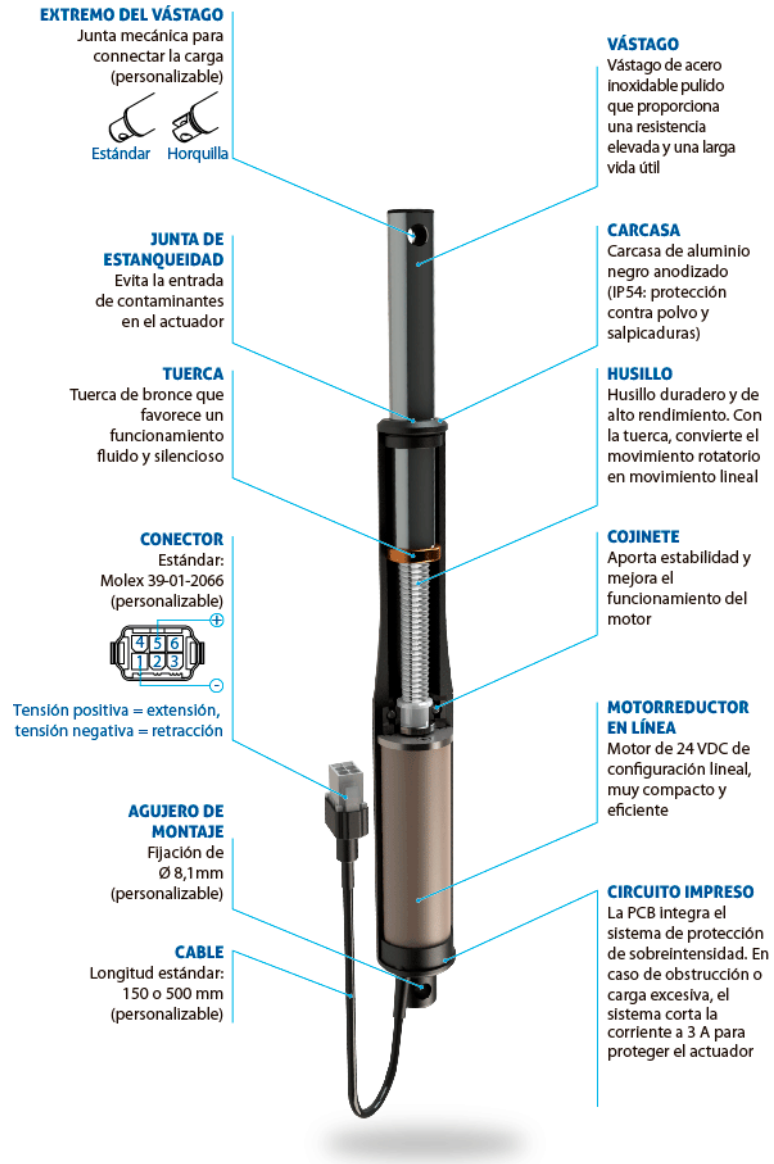


Figura 19: Partes de un actuador lineal eléctrico[35] .

1.3.23 Interruptor eléctrico

Dispositivo eléctrico que cumple la función de desviar la dirección del flujo de corriente eléctrica mediante el uso de sus dos posiciones entre abierto y cerrado, siempre tomando en cuenta que la intensidad que fluya sobre el no supere la tensión nominal [26].



Figura 20: Interruptor de 6 polos [37] .

Entre los componentes que conforman el interruptor eléctrico se tiene [27]:

Actuantes: Al ser accionado se encargan de abrir o cerrar el circuito.

Cantidad de polos: Representan el número de circuitos individuales que conforman el interruptor.

Cantidad de vías: Conforman el número de acciones que realiza en cada diferente posición.

1.3.24 Batería

Una batería también llamada acumulador eléctrico es un dispositivo capaz de convertir energía química en energía eléctrica generada en el interior de celdas electroquímicas, todo esto mediante la acumulación de corriente alterna. El principio por el cual funcionan las baterías es el de la reacción de oxidación – reducción (redox) de las sustancias químicas que la componen, una de las cuales gana electrones (se reduce) y

la otra pierde electrones (se oxida). Dependiendo de su tamaño y potencia sirven para alimentar dispositivos eléctricos [28].

La manera de medir una batería es mediante amperios – hora, lo que se traduce a que una batería puede brindar un amperio de corriente prolongado por una hora, por lo cual mientras más corriente pueda almacenar una batería mayor será su capacidad de alimentación [28].



Figura 21: Batería de plomo y ácido DIN75-SMF [40].

1.3.25 Multímetro digital

Es un dispositivo electrónico portable de pruebas, a veces denominado tester o polímetro por lo cual ofrece la posibilidad de medir de forma directa diferentes magnitudes, así como parámetros eléctricos. Entre las magnitudes se pueden medir tanto en corriente alterna como en continua, entre las más comunes que se miden están: el voltímetro (medida en voltios), amperímetro (medida en amperios) y ohmímetro (medida en ohmios) teniendo así mismo características adicionales avanzadas para diferentes necesidades [29].



Figura 22: Multímetro digital MY60 [42].

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Implementar un sistema electrónico de automatización y control para una silla-bipedestadora en el centro de rehabilitación física “BENDICIONES”.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar al funcionamiento y movilidad existente en el uso de una silla-bipedestadora.
- Determinar los sistemas electrónicos y dispositivos adecuados para la automatización.
- Diseñar un prototipo electrónico para automatizar y controlar una silla-bipedestadora.

1.4.3 Descripción de objetivos

El objetivo principal del presente proyecto de titulación se basa en la implementación de un sistema electrónico de automatización y control para una silla-bipedestadora en el centro de rehabilitación física “BENDICIONES”.

Para llevar a cabo este objetivo será necesario realizar las siguientes actividades:

- Analizar el funcionamiento y movilidad existente en el uso de una silla-bipedestadora. Para lo cual, se investigó sobre las condiciones estructurales de la silla-bipedestadora tomando en cuenta todos sus grados de movilidad y desplazamiento en diferentes escenarios y priorizando los aspectos referentes al grado de discapacidad presente en el usuario, en la cual se estableció sus necesidades y la manera más factible de realizar el control del sistema.
- Determinar los sistemas electrónicos y dispositivos adecuados para la automatización. Esto se estableció en la fundamentación teórica en donde se definieron los diversos componentes necesarios para la movilidad de la silla-bipedestadora tomando en cuenta factores de selección basados en los requerimientos del prototipo. Para la adquisición de los dispositivos se elaboró una investigación comparativa entre diversas marcas comerciales de cada uno de los componentes.

- Diseñar y adaptar el prototipo electrónico para automatizar y controlar una silla-bipedestadora. Para lo cual se instaló los diversos componentes relacionados para la movilidad de la silla-bipedestadora, así también el sistema de control. Finalmente se sometió todo el sistema a distintas pruebas para comprobar su resistencia y correcto funcionamiento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la elaboración del presente proyecto de investigación se emplearon de materiales como: Datos sobre la movilidad, niveles de inclinación y funcionamiento presente en la silla bipidestadora, artículos científicos, información sobre la discapacidad física presente en el usuario, tesis, libros y demás documentos afines con el tema. Además, con contar con la silla bipidestadora para la implementación del sistema de automatización.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la Investigación

Modalidad Aplicada

El proyecto empleó una investigación aplicada, debido al uso de conocimientos adquiridos por los diferentes módulos de la malla curricular, tomando énfasis en aquellos que tratan sobre sistemas electrónicos y automatización.

Modalidad Bibliográfica

El proyecto empleó una investigación bibliográfica debido a que se utilizó información científica y fiable de los contenidos necesarios para el desarrollo del trabajo que se basó en consultas de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet y en proyectos de tesis similares referente a temas relacionados.

Modalidad Experimental

Investigación Experimental debido a que se realizó pruebas necesarias para analizar el correcto funcionamiento del prototipo.

2.2.2 Recolección de información

El presente trabajo requirió la recopilación de información directamente de entrevistas a los involucrados, testimonios, libros, internet, revistas científicas, papers, trabajos de investigación y de la guía del docente tutor para el desarrollo del prototipo.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Ya recolectada la información para el presente trabajo se procedió con las siguientes actividades:

- Una vez recopilada la información sobre el tema se procedió a analizarla basando su contenido en puntos estratégicos referentes al tema de investigación.
- Se realizó un comparativo entre las tecnologías necesarias a utilizarse para tener así una adecuada selección de dispositivos.
- Se determinó la mejor alternativa para la solución del problema y generar así una propuesta de solución.

2.2.4 Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del prototipo se realizaron los siguientes pasos:

1. Análisis de las condiciones de movilidad que presenta la paraplejia en el paciente.
2. Análisis de la movilidad que presenta una silla-bipedestadora en su funcionamiento.
3. Investigación sobre los tipos de motores que se puedan utilizar para automatizar el prototipo.
4. Análisis de las diversas tecnologías que permitan solucionar la problemática del proyecto.
5. Verificar el funcionamiento de los distintos componentes electrónicos para el sistema de control de la silla-bipedestadora.
6. Selección de los diversos componentes que se utilizaran para la implementación del prototipo.
7. Elaboración de un diseño del sistema electrónico de automatización y control para una silla-bipedestadora.
8. Implementación del diseño.
9. Análisis del funcionamiento del prototipo mediante pruebas en diversos escenarios.
10. Elaboración y presentación del informe final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

La implementación de un sistema de automatización y control para la silla de ruedas bipedestadora permite mejorar la maniobra del proceso de elevación que se emplea al pasar de la silla de ruedas al bipedestador, dándole de esta manera autonomía al usuario ya que el pasa de ser manual a mecánico permitiéndole el no depender de otras personas para realizar este proceso, mejorando de esta manera su inclusión en la sociedad.

3.1.1 Análisis de Factibilidad

Factibilidad Técnica

El presente proyecto es técnicamente factible ya que todos los elementos empleados tanto equipos, elementos electrónicos y mecánicos han sido estudiados y son comerciales, por lo cual pueden ser adquiridos dentro del país.

Factibilidad Económica

El proyecto es económicamente factible ya que los gastos efectuados correrán a cargo del investigador, tomando en cuenta que la silla–bipedestadora es propiedad del beneficiario.

Factibilidad Bibliográfica

La información requerida para el proyecto es de libre acceso, la cual se obtuvo mediante libros, publicaciones científicas, tesis referenciales, conocimiento adquirido entre otros.

3.2 Desarrollo de la propuesta

3.2.1 Requerimientos del Prototipo

Para que el proyecto se llevara a cabo debía de cumplir diversas funciones fundamentales y necesarias en cada proceso. El sistema fue destinado a la elevación de la silla bípiedestadora de forma automática, teniendo un control encargado de esta función por lo cual el sistema debe cumplir con funciones de control sin presentar ningún tipo de falla. Los requerimientos necesarios del prototipo son:

- El sistema de elevación automático se debe acoplar al sistema manual sin presentar ningún problema de movilidad.
- El sistema de control del movimiento no debe presentar ningún retardo o falla en su ejecución.
- El sistema debe de contar con visualización de acciones efectuadas.

3.2.2 Diseño y diagrama de bloques del sistema

El diagrama de bloques empleado en el siguiente sistema se basa en dos partes fundamentales. El primer bloque es la parte de control del sistema de elevación de la silla bípiedestadora, está conformado por un interruptor de encendido y apagado del sistema, un interruptor de 6 polos el que cumple la función de mantener el actuador en stop, además de cumplir la función de realizar el cambio de giro del motor reductor lo que provoca la expansión y extracción del vástago del actuador lineal, por tanto, se podrá monitorear el estado de la batería en tiempo real en una pantalla led mediante el uso de un voltímetro digital. El segundo bloque es la parte del acoplamiento del actuador a la silla bípiedestadora que mediante el actuador lineal hará el cambio de estado de una silla de ruedas a un bípiedestador, manteniendo un ángulo de elevación en la silla de 80° y regresándolo a su estado inicial.

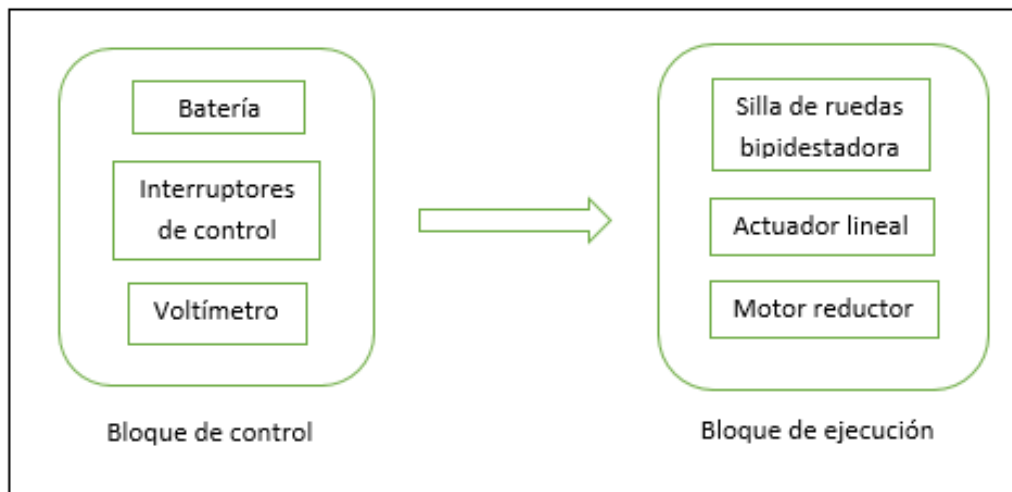


Figura 23: Diseño del prototipo de elevación.

Elaborado por: El investigador.

3.2.3 Hardware

Para el sistema de control fue necesario emplear los siguientes elementos:

- El actuador lineal es el encargado de efectuar la parte mecánica de la elevación de la silla.
- El interruptor de palanca de tres polos el cual será el encargado de realizar el cambio de estado de actuador, así como su cambio de giro.
- La batería de 12V encargada de la alimentación del actuador.
- El voltímetro encargado de procesar las señales de voltaje de la batería y mediante su posterior proceso mostrarlas en un panel digital.

3.2.4 Software

Ya que el funcionamiento del prototipo abarca más un sistema mecánico la parte del software se encargará de la visualización de acciones empleadas así también dejando la capacidad abierta de configurar entradas y salidas para añadir funciones de forma posterior.

3.2.5 Selección de los elementos para la implementación del sistema

El diseño del sistema se basa en dos etapas presentadas tanto en el diagrama de bloques de la figura 24 y figura 25, siendo estas conformadas por electrónica y mecánica para los cuales requieren diversos componentes para su desarrollo detallados a continuación.

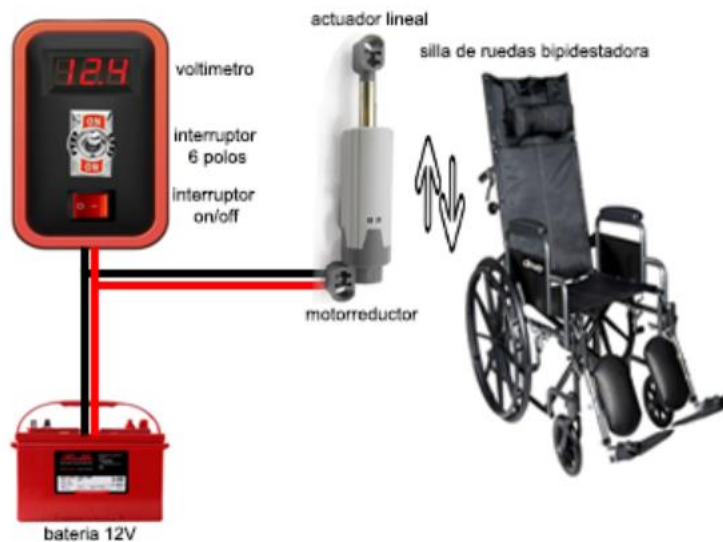


Figura 24: Diseño del prototipo de elevación.

Elaborado por: El investigador.

- Silla de ruedas – bipedestadora
- Actuador lineal
- Batería 12V
- Interruptor on/off
- Interruptor 6 polos
- Voltímetro
- Inversor de voltaje

Silla de ruedas – bipedestadora

El sistema de automatización y control para la acción de elevación de la silla bipedestadora se llevó a cabo en un prototipo de silla elaborada por la empresa SAYANI, palabra en kichwa que significa “yo me mantengo en pie” ubicada en la ciudad de Latacunga cuyo propietario es William Endara, empresa dedicada a la fabricación de sillas de ruedas estándar, bipedestadoras para niños y adultos (con

paraplejia), andadores, arneses, simuladores de marcha, entre otros mecanismos para mejorar la calidad de vida de las personas.



Figura 25: Silla de ruedas bipidestador, en reposo.

Elaborado por: El investigador.



Figura 26: Silla de ruedas bipidestador, extendida.

Elaborado por: El investigador.




La silla bipeDESTADORA o verticalizable está construida a medida y bajo pedido del Sr. Cristian Núñez, propietario de la silla y paciente con cuadriplejia, construida principalmente en acero y con mecanismo de elevación es manual, la silla al estar en forma vertical forma un ángulo de 80 grados lo cual es la inclinación requerida por el paciente, manteniendo así su centro de gravedad en la parte inferior de la silla.

Actuador Lineal

El actuador lineal es el dispositivo que se encargara de efectuar la elevación de la silla de ruedas cambiando así a su forma de bipeDESTADOR, este actuador debe ejercer una fuerza suficiente que permita elevar la silla, además del peso del paciente. Por otra parte, la distancia de desplazamiento del vástago debe ser justa con el fin de elevar la silla a la posición correcta. Para realizar este trabajo existen diferentes tipos de actuadores, cada uno con características y funcionamiento diferentes que los hacen más aptos dependiendo el tipo de trabajo a efectuarse.

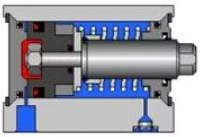

En la tabla 2 se describen algunos tipos de actuadores lineales dependiendo el tipo de energía que convierten y en la tabla 3 los actuadores lineales dependiendo su tipo de cilindro.

Tabla 2: Actuadores lineales (según la energía que convierten).

| ACTUADOR | Descripción gráfica | Energía | Elemento motriz | Torque | Conversión mecánica |
|---------------------|---|---------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|
| Actuador neumático |  | Aire a presión (5 – 10 bares) | Embolo, pistón o veleta | Eje o cremallera | Yugo o piñón |
| Actuador hidráulico |  | Aceite a presión (50-100 bares) | Embolo, pistón o veleta | Reductor | Yugo o piñón |
| Actuador eléctrico |  | Corriente eléctrica | Motor eléctrico | Eje | - |

Elaborado por: El investigador, en base a [30].

Tabla 3: actuadores lineales (según su tipo de cilindro).

| ACTUADOR | Descripción gráfica | Fuerza activa |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| Cilindro de simple efecto |  | Solo en el avance |
| Cilindro de doble efecto |  | Tanto en avance como en retroceso |

Elaborado por: El investigador, en base a [30].

La elección corresponde a un actuador lineal eléctrico que se muestra en la figura 27, que debido a su tipo de alimentación y su forma compacta se ajusta al tamaño y movilidad de la silla bipedestadora, cabe destacar que su alimentación se da a partir de 12 V cc por lo cual se podrá alimentar mediante una batería de plomo. La extensión que se utilizó en el actuador más el vástago debe ser de 60 cm, ya que con esa medida se puede cumplir la función del bipedestador en la silla, además de contar con una fuerza de empuje de 6000 N con las cuales es suficiente para elevar el sistema con el peso del paciente incluido.



Figura 27: Actuador lineal electrónico.

Especificaciones:

- Material: aleación de aluminio (0.945 in).
- Entrada: 12 V CC.
- Longitud de carrera: 7.784 in.
- Min. Longitud de retracción: 14.764 in.
- Máx. Longitud extendida: 2.638 in.
- Máx. Fuerza de empuje: 6000 N.
- Velocidad de viaje: 0.197 in/s de velocidad de carga.
- Clase de protección: IP44.
- Nivel de ruido: 48 dB.
- Corriente nominal: 3 A.
- Temperatura de funcionamiento: de -44.0° F a 149.0 ° F.

Interruptor

El uso de interruptores permitirá el control o maniobra de los dispositivos empleados en el sistema, pero al tener una gran variedad de ellos se necesitó dos tipos específicos de ellos. Uno de los interruptores debería permitir el uso del estado on/off en cual se utilizó para controlar el paso de corriente al sistema. El segundo interruptor debe cumplir con la característica de tener más de dos estados, ya que se necesita para alternar la dirección de corriente enviada al actuador, ya que así se podría efectuar un pseudo - cambio de giro del motor reductor interno del actuador, permitiendo así que el vástago se expanda en una posición del interruptor y se retracte con la posición siguiente.

En la tabla 4 se describen una variedad de interruptores clasificados por su número de contactos, funcionamiento y numero de polos.

Tabla 4: Actuadores lineales (segun la energía que convierten).

| Interruptores | Descripción gráfica | Características |
|----------------------|---|--|
| Interruptor unipolar |  | Abre y cierra el circuito permaneciendo en el mismo estado hasta volverse a presionar. |

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| <p>Interruptor de tres vías</p> |  | <p>Permite el encendido y apagado de cualquier carga desde dos puntos, con el uso de otro interruptor de tres vías.</p> |
| <p>Interruptor de doble polo</p> |  | <p>La diferencia respecto a un interruptor bipolar es que tiene cuatro terminales de latón caliente, en lugar de dos, más un terminal de tierra.</p> |
| <p>Interruptor de 4 vías</p> |  | <p>Permite el encendido y apagado de cualquier carga desde tres puntos, con el uso de otro interruptor de tres vías.</p> |
| <p>Interruptor de 6 polos</p> |  | <p>Cumple la función de desviar la dirección del flujo de corriente eléctrica mediante el uso de sus dos posiciones entre abierto y cerrado</p> |
| <p>micro interruptor</p> |  | <p>Se acciona mediante una palanca empujada por un elemento en movimiento (suele llamarse final de carrera)</p> |
| <p>Interruptores pulsadores</p> |  | <p>Son accionados manualmente que se utilizan para interruptores y circuitos de conmutación.</p> |
| <p>Interruptor automático</p> |  | <p>Su función es abrir o cerrar circuitos eléctricos sin tener la intervención humana.</p> |

Elaborado por: El investigador, en base a [27].

Para las funciones tanto de encendido del sistema, como del control del actuador lineal se escogieron dos interruptores que cumplen con las características necesarias. Para la acción on/off del sistema se hace el uso de un interruptor unipolar ya que mantiene el estado de activación, y solo cambia cuando se lo vuelve a presionar. Al contar con solo dos vías se lo pondrá como control de corriente de alimentación del sistema.


Para el control de movimiento del actuador lineal se hace utilizo un interruptor de palanca con 6 polos, ya que este interruptor cumple con la función de desviar el flujo de corriente en otra dirección dependiendo de la posición de la palanca, este accionar permitirá hacer un cambio de polaridad a la alimentación del actuador provocando así el cambio de giro del motor reductor interno, con esto el vástago cambiará de estado entre abierto y cerrado.


Voltímetro

El tener información precisa sobre el nivel y estado de la batería es crucial, ya que esta podría fallar o presentar un desgaste. Por lo cual es uso de un instrumento electrónico que permita la medición del nivel de voltaje es necesario. Para cumplir este trabajo hace falta el uso de un voltímetro, el cual presentara información sobre la batería permitiendo así tener un mejor funcionamiento del sistema.

En la tabla 5, se muestran los dos tipos principales de voltímetros recomendables para el proyecto de investigación.

Tabla 5: Tipos de voltímetros (analógico / digital) .

| | Descripción gráfica | Rango de medición | Precisión | Visualización | Tamaño | Tipo de corriente a medir |
|---------------------------|---|-----------------------------|------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------|
| Voltímetro digital |  | 0-30 V 0-50 V 0-100 V | 0 V | LED 3 dígitos 0.28'' | 48x29x21mm | AC y CC |

| | | | | | | |
|-----------------------------|---|---------|-----|-------|-------------------------|----|
| Voltímetro analógico |  | 0-20 V | 1 V | aguja | 48x72x9 6 y 144mm | AC |
| | | 0-30 V | | | | o |
| | | 0-150 V | | | | CC |
| | | 0-500 V | | | | |

Elaborado por: El investigador, en base a [31].

Para la selección del voltímetro se tomó en cuenta las diferentes características como tamaño, rango de medición, precisión, tipo de corriente a medir y la forma de su visualización, para este proyecto se recomienda un voltímetro digital, con un rango de medición de 30 V CC, suficientes para medir el voltaje entregado por la batería la cual es de 12 V CC. El voltímetro ira conectado de forma directa a la batería y su pantalla led a la caja de control, permitiendo así su funcionamiento y visualización óptima. En figura – se muestra el voltímetro seleccionado y en la tabla 6 se muestran todas las características presentes en el voltímetro seleccionado.



Figura 28: Voltímetro digital.

Tabla 6: Características del voltímetro digital.

| | |
|----------------------|-------------------|
| Pantalla | led de 0.28 |
| Rango de voltaje | 0-100 V |
| Alimentacion externa | DC4-30V |
| Voltaje de trabajo | 5v, 9v, 12v, 24v. |

| | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Velocidad de medida | > 200 ms/t |
| Precisión de la medida | 3 %/100 |
| Voltaje de detección | DC 3 ~ 40V |
| Funcionamiento de corriente | < 30 mA |
| Temperatura de funcionamiento | -10 ° c a 65 ° c |
| Voltaje de trabajo de tres hilos | 4.0 ~ 40V (con protección inversa) |
| Voltaje de detección de tres hilos | 0.0 ~ 100V |

Elaborado por: El investigador, en base a manual de compra.

Inversor de voltaje

La adición al sistema de un inversor de voltaje permitirá la conexión de diversos dispositivos que expandan el sistema, así mismo convirtiendo el voltaje de 12 V entregado de la batería a salidas independientes de 5 V y 110 V en AC. Para la selección de este dispositivo se tomó en cuenta el tamaño, el voltaje a la salida del inversor y su amperaje. El inversor escogido se muestra en la figura 29, y sus parámetros se muestran en la tabla 7.



Figura 29: inversor de voltaje DC/AC.

Tabla 7: Características del inversor de voltaje.

| ITEM | PARAMETRO |
|---------------------------------------|-----------|
| Potencia de salida continua | 200W |
| Rango de voltaje de entrada | 10-15 VDC |
| Activación de entrada de bajo voltaje | 10.6 VDC |

| | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Protección de entrada de bajo voltaje | 10 VDC |
| Entrada sobre activación de voltaje | 15 VDC |
| Voltage de salida | 120 V |
| Frecuencia de salida | 60 +- 1 Hz |
| Eficiencia | 90% |
| Salida USB | 5 VDC, 00 mA |
| Display | Luz de interruptor de encendido |

Elaborado por: El investigador, en base a manual de compra.

3.2.6 Dimensionamiento y análisis estructural de la silla – bipedestadora

La estructura de la silla de ruedas bipedestadora cuenta con parámetros establecidos para su correcto funcionamiento por lo cual el sistema de automatización empleado se debe adaptar a ello sin dañar o alterar su estructura inicial, para esto se toma dos factores importantes y necesarios como son el espacio disponible y el ángulo de inclinación de la silla.



Figura 30: Silla de ruedas-bipedestadora.

Elaborado por: El investigador.

3.2.7 Medidas del espacio disponible

La mayoría de elementos empleados en el diseño se colocarán en la parte inferior de la silla, por lo que el espacio disponible en la silla de ruedas es de 0.65 x 0.42 metro cuadrados cuando funciona como bipedestador y de 0.32 x 0.42 metros cuadrados cuando funciona como silla de ruedas. Esto indica que el espacio de desplazamiento

en el cambio de silla de ruedas a bipedestador es de aproximadamente 30 cm, el espacio adicional quedara expuesto para la incorporación de soportes del actuador.



Figura 31: medidas del espacio disponible, parte trasera de la silla.

Elaborado por: El investigador.

3.2.8 Angulo máximo de inclinación

El parámetro de inclinación del bipedestador es de 80° , esta inclinación es la adecuada para que el paciente descanse en el soporte vertical, el sobrepasar este ángulo implicaría correr el riesgo de que el paciente pudiera caerse hacia adelante, además un juego de correas ergonómicas le permite mantenerse erguido y sujeto al bipedestador. Para la instalación del actuador se respetó el ángulo de inclinación original, ya que estas características de la silla están sujetas al consentimiento del paciente.



Figura 32: Angulo de inclinación, parte lateral del bipidestador.

Elaborado por: El investigador.

3.2.9 Soldado del eje secundario

La silla de ruedas bipidestadora fue diseñada para tener un funcionamiento totalmente manual, por lo cual su estructura no contaba con la facilidad necesaria para incorporar dispositivos mecánicos, debido a esto se soldó un eje secundario en la parte inferior de la silla para que sirva de soporte para incorporar el actuador lineal, este eje se soldó respetando la distancia máxima de desplazamiento del bipidestador (30 cm vástago y 65 cm en total). La técnica empleada para soldar fue mediante soldadura MIC, este tipo de suelda es mucho más resistente respecto a la soldadura por electrodo revestido debido a que es un proceso semiautomático teniendo así un mejor acabado.



Figura 33: Soldado del eje secundario y los soportes del actuador.

Elaborado por: El investigador.

3.2.10 Eliminación del seguro manual

El seguro manual era empleado para mantener el estado de una silla de ruedas, esto permitía que una vez puesto esto no haya ningún desplazamiento vertical de la silla, fue indispensable quitar este tipo de seguro ya que al pasar a un sistema de elevación automático este seguro no permitiría que el actuador funcione, el eliminar este seguro altera la estructura de la silla, pero no su funcionamiento.



Figura 34: Desmantelación del seguro manual de la silla.

Elaborado por: El investigador.

3.2.12 Ajuste de los amortiguadores hidráulicos

El uso de amortiguadores hidráulicos en la silla de ruedas- bipedestadora se los instala de forma preventiva, con el fin de ayudar al actuador lineal con la función de elevar la silla. El uso de dos amortiguadores hidráulicos de 400 N cada uno se los incorporo a cada costado. El diámetro de los amortiguadores es similar a la del actuador lineal, teniendo una distancia de recorrido de 63 cm y recogido de 30 cm, permitiendo así que el actuador y los amortiguadores trabajen conjuntamente y sin interferencia.



Figura 35: Posicionamiento de los amortiguadores hidráulicos.

Elaborado por: El investigador.

3.2.13 Pintado y corrección de fallas

El pintado y corrección de fallas se realizaron una vez terminadas todas las modificaciones en la estructura de la silla de ruedas, permitiendo así una mejor estética y un correcto funcionamiento.



Figura 36: Pintado del eje secundario.

Elaborado por: El investigador.

3.2.11 Incorporación del actuador lineal

El posicionamiento del actuador lineal se lo realizo en el punto central de la silla de ruedas con el fin de que la fuerza ejercida por el mismo sea pareja y equilibrada en todo el sistema, cumpliendo así con las normas de seguridad y ergonomía del paciente. Las medidas para que el actuador encaje en el espacio disponible de la silla se realizó mediante un análisis de tamaños, alimentación y fuerza ejercida entre diferentes actuadores disponibles en el mercado.



Figura 37: posicionamiento del actuador lineal, parte trasera del bipidedastador.

Elaborado por: El investigador.

3.2.14 Adaptación de la batería, inversor de voltaje y control

Los componentes de alimentación del sistema así como de su control está fijado de manera que su posicionamiento dentro de la silla no interrumpa ni altere su funcionamiento, su operación ni ergonomía.

La batería y el inversor de voltaje se lo coloco en la parte inferior de la silla de ruedas, la batería alimenta al inversor con 12 V CC y este envía un voltaje a sus salidas de 110V y 5V, permitiendo con esto alimentar el control y con la posibilidad de alimenta diversos dispositivos que podrían ser añadidos en forma progresiva.



Figura 38: Colocación del inversor y batería, parte inferior de la silla.

Elaborado por: El investigador.

3.2.15 Acoplamiento de interruptores, voltímetro

El sistema de control de todo el sistema se representa en la figura -- , en esta se utilizó un interruptor unipolar para el control de la alimentación del actuador lineal, un interruptor de 6 polos con el cual se pudo crear un cambio de giro permitiendo con esto tener el control del actuador tanto al extenderse como al recogerse y el voltímetro se lo conecto a la línea de voltaje de la batería para tener así información del nivel de la misma y poder suplirla una vez que el indicador señale el nivel bajo.

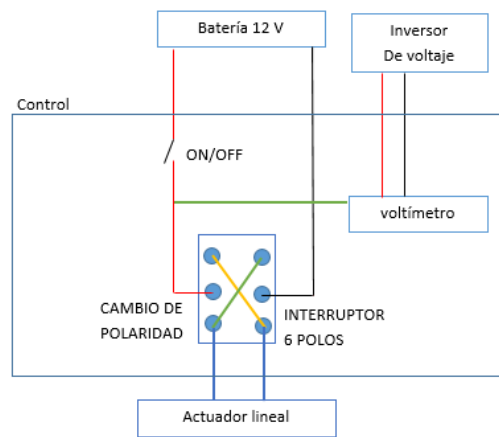


Figura 39: Esquema de conexión de los interruptores

Elaborado por: El investigador.



Figura 40: Implementación del circuito de control.

Elaborado por: El investigador.



Figura 41: Colocacion del circuito de control.

Elaborado por: El investigador.



Figura 42: Sistema de elevación terminado y conectado.

Elaborado por: El investigador.

3.3. Resultados

El sistema de automatización y control de una silla-bipedestadora para el centro de rehabilitación bendiciones permite al paciente que sufre de paraplejia un control sobre el cambio de silla a bipedestador, todo este procedimiento se realiza de manera automática y sin necesidad de personal adyacente que ayude en este proceso como el que se utilizaba cuando todo era manual.

En la figura 43, se observa cómo se realiza el cambio de silla a bipedestador antes de la automatización, la ayuda para realizar este procedimiento era necesaria y dificultosa por que el paciente no podía cambiar de posición libremente.



Figura 43: Elevación de la silla bipedestadora en estado manual.

Elaborado por: el investigador.

En la figura 44, ya realizada la automatización se observa al paciente que para poder hacer el cambio de silla a bipedestador no necesita ayuda adicional y además de permitiéndole controlar su ángulo de inclinación.



Figura 44: Elevación de la silla bipedestadora en automático.

Elaborado por: el investigador.

Para comprobar que el sistema funcione correctamente se realizaron pruebas de funcionamiento, en la tabla 8, se representa el tiempo en que se cumplía el desplazamiento del actuador.

Tabla 8:Tiempo de desplazamiento del actuador.

| Prueba | Tiempo de subida | Tiempo de bajada | Resultado |
|----------|------------------|------------------|-----------|
| Prueba 1 | 35.8 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 2 | 36 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 3 | 36 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 4 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 5 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 6 | 36 s | 35.9 s | exitoso |
| Prueba 7 | 36 s | 36 s | exitoso |

| | | | |
|-----------|--------|--------|---------|
| Prueba 8 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 9 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 10 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 11 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 12 | 35.9 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 13 | 36 s | 35.9 s | exitoso |
| Prueba 14 | 36 s | 36 s | exitoso |
| Prueba 15 | 35.9 s | 36 s | exitoso |

Elaborado por: El investigador.

Los resultados obtenidos mediante la realización de las pruebas del tiempo de desplazamiento fluctúan en un rango despreciable, lo que indica el correcto funcionamiento del actuador ante diversas circunstancias, cabe recalcar que estas pruebas fueron realizadas con el añadido del peso corporal del paciente.

La prueba de fluctuación de voltaje del actuador en funcionamiento y la variación del mismo tanto en el desplazamiento de subida como de bajada se expresan en la tabla 9.

Tabla 9: Variación de voltaje del sistema .

| Prueba | Voltaje en la subida | Voltaje en la bajada | Resultado |
|----------|----------------------|----------------------|-----------|
| Prueba 1 | 11.9 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 2 | 12 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 3 | 12 V | 11.9 V | exitoso |
| Prueba 4 | 12 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 5 | 12 V | 11.8 V | exitoso |

| | | | |
|-----------|--------|--------|---------|
| Prueba 6 | 11.8 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 7 | 11.9 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 8 | 12 V | 11.9 V | exitoso |
| Prueba 9 | 12 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 10 | 12 V | 11.8 V | exitoso |
| Prueba 11 | 12 V | 11.9 V | exitoso |
| Prueba 12 | 12 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 13 | 12 V | 11.8 V | exitoso |
| Prueba 14 | 11.8 V | 12 V | exitoso |
| Prueba 15 | 11.9 V | 12 V | exitoso |

Elaborado por: El investigador.

La variación de voltaje ejercida en el actuador es casi nula, debido a que la fuente de alimentación es prácticamente nueva y entrega un voltaje constante, las pequeñas variaciones se dan al cambio de estado del actuador entre subida y bajada, pero el funcionamiento del mismo es óptimo.

La última prueba realizada presente en la tabla 10, comprende el recorrido del actuador y como esto afecta a la estabilidad de la silla-bipedestadora.

Tabla 10: Estabilidad y recorrido del actuador.

| Prueba | Desplazamiento | Recorrido del vástago | Resultado |
|----------|----------------|-----------------------|-----------|
| Prueba 1 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 2 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 3 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 4 | estable | 30 cm | exitoso |

| | | | |
|-----------|---------|-------|---------|
| Prueba 5 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 6 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 7 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 8 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 9 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 10 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 11 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 12 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 13 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 14 | estable | 30 cm | exitoso |
| Prueba 15 | estable | 30 cm | exitoso |

Elaborado por: El investigador.

En todas las pruebas de funcionamiento ejercidas el actuador lineal se desplazó de forma correcta sin presentar ninguna interrupción en su funcionamiento, siendo así su movimiento controlado y estable, proporcionando casi ruido nulo en el proceso.

Los análisis obtenidos mediante las pruebas realizadas demuestran que el sistema de automatización y control de la silla bipedestadora funciona de manera correcta, estable y segura. En el anexo C se muestran evidencias fotográficas del funcionamiento de la silla bipedetadora.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

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

- Mediante un análisis efectuado a la estructura y movilidad de la silla bipidestadora, se determinó que esta al ser construida en un principio para que opere de forma manual, no contaba con todas las facilidades estructurales tanto en espacio como en desplazamiento para la incorporación de un sistema automático, por lo que se modificó su forma estructural, pero sin alterar su funcionamiento ni movilidad, manteniendo así la seguridad y ergonomía presentes en esta en un principio.
- Con el análisis ya establecido de las condiciones físicas de la silla se investigó en el mercado cuales son los dispositivos más adecuados para estas aplicaciones y que además sean de bajo coste, además que encajen en el espacio disponible para la incorporación del sistema, haciendo así una correcta elección de los mismos, ya que en la etapa de prueba no presentaron inconvenientes para el sistema
- Al ser un sistema que para la elevación trabaja con el añadido del peso corporal, se consideró utilizar un actuador lineal electrónico de distancia total de recorrido incluido el vástago de 65 cm y una fuerza de empuje de 6000 N, mediante las pruebas de funcionamiento se determinó que mientras mayor sea la fuerza de empuje que ejerce el actuador, mayor es el tiempo en que se demora en recorrer el vástago. El desplazamiento del actuador es lineal y constante y no presenta variación al añadir y quitar el peso corporal del paciente.

- La implementación del sistema de automatización para una silla bipedestadora se caracterizó por las pruebas de funcionamiento y movilidad realizadas, cumpliendo con los requerimientos personales establecidos por el propietario de la silla. En la etapa de pruebas se comprobó que la silla de ruedas bipedestadora tiene características únicas tanto en diseño como en la selección del actuador, debido a que está diseñada dependiendo las necesidades y nivel de paraplejia del paciente, por lo que la convierten en un dispositivo de uso personal, por lo cual, si se implementa el sistema de automatización para otras sillas se debe de tomar en cuenta las características establecidas por el propietario.

4.2 Recomendaciones

- El diseño del sistema de automatización y control de una silla bipedestadora se realizó bajo especificaciones personales y cubriendo las necesidades del propietario de la silla, ya que esta fue diseñada para su nivel de paraplejia, por lo cual si se desea replicar este sistema en otros dispositivos de movilidad asistida se recomienda tomar en cuenta las necesidades de cada paciente, su peso, el grado de inclinación necesario y su nivel de discapacidad ya que esto varía en cada caso.
- Para el correcto funcionamiento del actuador lineal se recomienda que por cada 5 min de funcionamiento continuo se debe realizar un reposo de aproximadamente 1 min, debido a que al mantenerse el actuador en funcionamiento prolongado y sin reposo, esto provocaría fallas en la ejecución del motor reductor interesado del dispositivo.
- Para futuras modificaciones en la silla o al añadir nuevos dispositivos o funciones se recomienda mantener el estado integro de la estructura de la silla de ruedas, ya que al modificar su estructura podría provocar fallas de funcionamiento, movilidad o elevación, perdiendo así su ergonomía y propósito inicial.
- Debido a la incorporación de equipos con un sistema de control sencillo no fue necesario la incorporación de tarjetas programables, pero para futuras modificaciones, se tendría más acciones a controlar por lo cual sería necesario el uso de unas para tener un control más compacto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. Fornell Sanchez, O. D. Veloz Segarra, and Espol, “Diseño e implementación de un sistema de control de una silla de ruedas eléctrica mediante sensores mioeléctricos EOG/EMG,” May 2017.
- [2] B. V. E. Quinatoa, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ANCLABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA TRASLADO AUTÓNOMO DE PERSONAS PARAPLÉJICAS EN ZONAS URBANAS,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Jun. 2019.
- [3] T. C. J. Armijos, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA SILLA DE BIPIDESTACIÓN ELÉCTRICA PARA PERSONAS CUADRIPLÉJICAS ACTIVADA POR VOZ, DE BAJO COSTO,” 2018.
- [4] F. Urrutia Urrutia, “CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD MÓVIL INFERIOR Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS,” 2016.
- [5] I. S. Kim, Hyeon Jun; Yeo, Hyeon Jin; Kim, Sung Soo; Chang, Sung Ho; Lee, Sang Ho; Bae, “Development of Non-Motorized Lifting Chair For the Elderly,” *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.*, vol. 38, no. 4, pp. 226–232, 2015, doi: 10.11627/JKISE.2015.38.4.226.
- [6] L. A. J. Noguera, S. Guerrero Aguilera, O. Carreño, “Aplicación en android para maniobrar una silla de ruedas eléctrica - Dialnet,” 2016. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6118797>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [7] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, “Estadísticas de Discapacidad,” 2018. [Online]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [8] Observatorio de discapacidad física, “La discapacidad física: ¿qué es y qué tipos hay? | Observatorio de la Discapacidad Física,” 2020. [Online]. Available: <https://www.observatoridiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica->

que-es-y-que-tipos-hay. [Accessed: 16-Apr-2020].

- [9] A. Padilla Muñoz, “Discapacidad: contexto, concepto y modelos, La discapacidad física: ¿qué es y qué tipos hay?,” 2010. [Online]. Available: <https://www.observatoridiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica-que-es-y-que-tipos-hay>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [10] O. M. de la S. who, “Lesiones medulares,” 2013. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [11] M. del P. A. M. Fergusson, “Cuerpo y corporalidad en la paraplejia,” 2012.
- [12] E. Arcos, “MOBILIARIO DE OFICINA PARA PERSONAS CON PARAPLEJIA,” 2016.
- [13] Elsevier, “Selección y adaptación de sillas de ruedas convencionales,” 2005. [Online]. Available: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13078588>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [14] O. M. de la salud Apps.who.int, *Pautas para el suministro de sillas de ruedas en entornos de menores recursos.* .
- [15] S. Medical, “Sillas de ruedas, grúas y scooters eléctricos.” [Online]. Available: <https://www.sunrisemedical.es/>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [16] U. De Carabobo, V. Saavedra, R. ; García, and S. Antonio, “Diseno de un equipo de bipedestación,” *Rev. Ing. UC*, vol. 20, no. 1, pp. 25–33, 2013.
- [17] M. Humana, “Bipedestador.” [Online]. Available: <https://www.movilidad-humana.com/bipedestador/>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [18] Asister, “Bipedestador con Desplazamiento LAZARÍM.” [Online]. Available: <https://www.asister.es/es/tienda/bipedestador-con-desplazamiento/>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [19] O. BERNAT, “Sillas Bipedestadoras manuales,” 2018. [Online]. Available: <http://www.ortopediabernat.com.ar/index.php/sillas-bipedestadoras-manuales/item/81-lcev>. [Accessed: 16-Apr-2020].

- [20] Beautynailhairsalons, “Bendiciones Centro De Rehabilitacion Fisica y Neurologica, Calle Diego Noboa, Ambato (2020).” [Online]. Available: <https://www.beautynailhairsalons.com/EC/Ambato/491554330942708/Bendiciones-Centro-De-Rehabilitacion-Fisica-y-Neurologica>. [Accessed: 16-Apr-2020].
- [21] E. I. Castellanos, E. : Liset, and R. Romero, *Sistemas de Automatización*. .
- [22] S. Juan and M. Alberto Perez Ing Analía Perez Hidalgo Bioing Elisa Perez Berenguer, “INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO.”
- [23] Aie.cl, “Actuadores,” 2019. [Online]. Available: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>. [Accessed: 17-Apr-2020].
- [24] I. L. Kosow, “Máquinas eléctricas y transformadores,” 1993. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=5hJzpimPyXQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. [Accessed: 17-Apr-2020].
- [25] LINAK, “¿Qué es un Actuador Lineal?” [Online]. Available: <https://www.regner.tech/articulos/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-actuadores/>. [Accessed: 07-Sep-2020].
- [26] Electricidad.usal.es, “Interruptor eléctrico,” 2020. [Online]. Available: <https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b=id:551>. [Accessed: 07-Sep-2020].
- [27] Bricos, “Interruptores eléctricos: Clasificación y componentes,” 2019. [Online]. Available: <https://bricos.com/2013/03/interruptores-electricos-clasificacion-y-componentes/>. [Accessed: 07-Sep-2020].
- [28] M. Gómez, “Posibilidades de tratamiento de residuos de pilas y baterías.”
- [29] Fluke, “Fundamentos De La Electricidad,” 2019. [Online]. Available:

<https://www.fluke.com/es-ec/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad>. [Accessed: 07-Sep-2020].

[30] Festo, “Actuadores lineales eléctricos.” p. 24, 2013.

[31] Importadora OTECE, “Multímetro digital MY60 CHINT,” 2020. [Online]. Available: <https://www.otece.com.ec/producto/multimetro-digital-my60-chint/>. [Accessed: 07-Sep-2020].

ANEXOS

Anexo A

Anexo fotográfico (recolección de información de la silla de ruedas)

En este anexo se presenta la visita al Señor Cristian Nuñez, el cual presenta un nivel de paraplejia del 90% y propietario de la silla bipedestadora. Además de tomas de diferentes ángulos de la silla bipedestadora.



Figura 45: Sr. Cristian Núñez - Propietarios de la silla dipidestadora.



Figura 46: Vista frontal de la silla bipidestadora



Figura 47: Vista posterior de la silla bipidestadora



Figura 48: Vista frontal de la silla bipidestadora.



Figura 49: Vista trasera de la silla bipidestadora.



Figura 50: Vista trasera de la silla ya en forma de bipedestador.



Figura 51: Vista lateral de la silla ya en forma bipedestador.

Anexo B

Anexo fotográfico (construcción del prototipo)



Figura 52: Soldado del eje secundario.



Figura 53: Separación del seguro manual.



Figura 54: Ajuste de amortiguadores hidráulicos.



Figura 55: Colocación del actuador lineal, inversor de voltaje y batería.



Figura 56: Encendido del sistema.

Anexo C

Anexo fotográfico (prueba de funcionamiento)

En este anexo se detallan los distintos estados de funcionamiento de la silla de ruedas bipedestadora ya una vez instalado el sistema.



Figura 57: Control encendido y stop.



Figura 58: Actuador encendido y stop.



Figura 59: Mecanismo encendido y stop- vista frontal .



Figura 60: Control encendido - movimiento ascendente del actuador.



Figura 61: Control encendido - movimiento ascendente del actuador.



Figura 62: Control encendido - movimiento ascendente del actuador- vista frontal.



Figura 63: Control encendido - movimiento descendente del actuador.



Figura 64: Control encendido - movimiento descendente del actuador.

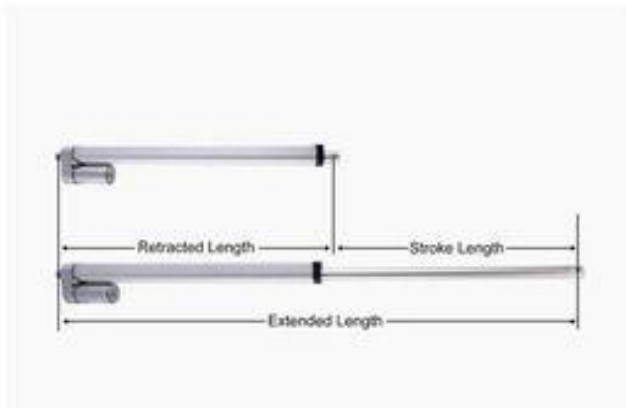


Figura 65: Control encendido - movimiento descendente del actuador - vista frontal.

Anexo D

Especificaciones y estructura del actuador lineal

En este anexo se desglosa todas las características tanto técnicas como de funcionamiento del actuador lineal electrónico.



Product information 1 , 8 Inch

| | |
|---------------------------------|---|
| Package Dimensions | 16.75 x 6.5 x 3.75 inches; 5.45 Pounds |
| Item Weight | 5.44 pounds |
| Manufacturer | Happybuy |
| ASIN | B07MK1X89X |
| Customer Reviews | 3.8 out of 5 stars 55 Reviews |
| Best Sellers Rank | #49,365 in Industrial & Scientific (See Top 100 in Industrial & Scientific) #40 in Linear Motion Actuators |
| Is Discontinued By Manufacturer | No |
| Date First Available | November 26, 2018 |

Features & details

- **PREMIUM MATERIAL** - Adopt 24mm thick aluminum alloy tube, metal construction for good load capacity and durability.
- **POWERFUL MOTOR** - DC 12V electric motor, this electric actuators can provide max.6000N pushing force and 4000N pulling force, easily to lift up or down beds, industrial equipment.
- **STROKE & RANGE** - 8" stroke, Max.extend length 22.6", retracted length 14.7".
- **FAST OPERATION** - Stable performance, fast to work with 5mm/s speed(load), quicker than most products on market.
- **SILENT WORK** - This electric actuators works with Max.48db sound, quiet on working, not to create annoying sound.

Product information 1 , 8 Inch

| | |
|--------------------|---|
| Package Dimensions | 16.75 x 6.5 x 3.75 inches; 5.45 Pounds |
| Item Weight | 5.44 pounds |
| Manufacturer | Happybuy |
| ASIN | B07MK1X89X |
| Customer | 3.8 out of 5 stars 55 |

Specifications

Material: Aluminum Alloy(24mm)
Input: DC 12V
Stroke Length: 200mm/7.8"
Min. Retract Length:375mm/14.7"
Max. Extend Length: 575mm/22.6"
Max. Pushing Force: 6000N
Max. Pulling Force: 4000N
Travel Speed: 5mm/s speed(load)
Limit Switch: Built-in
Protection Class: IP44
Noise Level: 48db

Package Content:

1 X 6000N Heavy Duty Electric actuators
1 X Screw Set

Features & details

- PREMIUM MATERIAL - Adopt 24mm thick aluminum alloy tube, metal construction for good load capacity and durability.
- POWERFUL MOTOR - DC 12V electric motor, this electric actuators can provide max.6000N pushing force and 4000N pulling force, easily to lift up or down beds, industrial equipment.
- STROKE & RANGE - 8" stroke, Max.extend length 22.6", retracted length 14.7".
- FAST OPERATION - Stable performance, fast to work with 5mm/s speed(load), quicker than most

Description

6000N/1320LB Electric actuators 8" Stroke DC 12V Electric Motor

This is an upgraded heavy duty 6000N electric actuators for home & industrial use. It applies good aluminum alloy material, DC 12V electric motor, to provide 6000N pushing force, and 4000N pulling force. Thus, it can easily lift up or down, stretch or pull devices, furniture etc.

Applications:

Electric actuators are widely used in home furniture, hospital & health care, industry, such as: to open doors, lift tables, raise flat screens, for floor cleaning machines, mobile traffic signs, to adjust recliners for headset, footrests, relaxation beds. And also for adjusting stretchers, procedural tables, hospital beds, wheelchairs, etc.

Specifications

Material: Aluminum Alloy(24mm)
Input: DC 12V
Stroke Length: 200mm/7.8"
Min. Retract Length:375mm/14.7"
Max. Extend Length: 575mm/22.6"
Max. Pushing Force: 6000N
Max. Pulling Force: 4000N
Travel Speed: 5mm/s speed(load)
Limit Switch: Built-in
Protection Class: IP44
Noise Level: 48db

Installation Guide



DC 12V POWER SUPPLY

Anexo D

Especificaciones del inversor de voltaje

En este anexo se desglosan todas las características técnicas y de funcionamiento del inversor de voltaje, datos tomados del manual de usuario





69BINV200

DC to AC Power Inverter

200/400watts
continuous peak

USER MANUAL

www.bkmiami.com

WARNING: This manual contains important safety and operating instruction. Please read it carefully before use.

13. Troubleshooting tips

| Fault/Display | Cause | Solution |
|---|---|---|
| No output voltage, the red indicator is on while the green indicator is off, buzzer sounds continuously | Low input DC voltage | Recharge or replace the battery. |
| | High input DC voltage | Do not use it when the battery is charging. Exam the rating voltage of the battery and make sure that it is in the allowable range of the input voltage. |
| The unit stops to output, and reset every 3-5 seconds | Overload or short circuit. | Reduce the load power. Eliminate short circuit. |
| No output voltage. The green indicator is off and the red indicator is on. buzzer sounds continuously The cover is too hot. | Over temperature | Cut the load and keep it cool naturally for 10 to 30minutes.Restart it after it resume to normal temperature. The load power is too large and reduce the total load power to the range of rating power. Avoid the obstruction of the vent and improve the ventilation condition. Reduce the ambient temperature. |
| No output voltage | Do not turn on the switch. | Turn on the power switch. |
| | The battery lead doesn't connect well | Check the joint and screw it. |
| Incorrect output voltage | Not measured by untrue RMS meter. The input voltage is too high or too low. | Use the true RMS meter to measure, such as the model FLUKE177/179. Try to keep the input voltage approximate to the rating voltage. |
| Cannot drive the load. | Load power is too large, or the actual power of the appliance exceeds nominal power. The acreage of the lead section is not enough or the joint is loose. The starting power is larger than rating power. | Reduce the load power. |
| | | Use proper wire and check the joints, see part 6. Use soft start to start it or change to other load. |
| Snowflake Noise | Disturbance. | Separate the inverter and antenna. Use screened antenna. |

If the unit still doesn't work after using all the above methods, it maybe the inner

12. SPECIFICATIONS

| ITEM | PARAMETER |
|--------------------------------|--------------------|
| Continuous output power | 200W |
| Input voltage range | 10~15VDC |
| Input under voltage activation | 10.6VDC |
| Input under voltage protection | 10VDC |
| Input over voltage protection | 15VDC |
| Output voltage | 120V |
| Output frequency | 60±1Hz |
| Output waveform | Modified sine wave |
| Efficiency | 90% |
| USB Output | 5VDC,500mA |
| Cigarette lighter output | 12VDC,8A |
| Overload protection | Yes |
| Short circuit protection | Yes |
| Thermal protection | Yes |
| Display | Power switch light |
| Fuse(inside) | 32VDC, 40Ax1 |
| Dimension(L×W×H) | 141x110x54mm |
| Weight | 0.4Kg |
| Working temperature | 0℃~40℃ |
| Storage temperature | -20℃~60℃ |
| Relative humidity | <90% |

6 CONNECTION

1. Connect to the lead acid battery

1) Please do all the safety precautions before connection, then check whether the battery voltage is in accordance with the input voltage of the inverter. Only the voltage of battery according with the requirements can be allowed to connect with the inverter.

2) The connecting wire must bare enough current. Depending on the below table, please select the input DC wire or larger one.

| Rated voltage of inverter | Current max. load power | Max. current of wire | Specification of wire |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 12V | 200W | 20A | 12AWG(3.3 mm ²) |

Notice:

1. The above table is only for your reference. In practice, the thick wire can be replaced by two thin parallel wires and the only condition is that the total section acreage of the wire meets the requirements.
2. In high current, the input DC wire may produce voltage drop, therefore, the operating voltage should be subject to the value on the terminals. If the voltage drop is too large, it can increase the acreage of the section or reduce the length of the lead. The recommended length of lead is 1~2m.

3) Connect cathode lead of the battery to the cathode terminal(black) on the back panel of inverter and then connect the anode lead of the battery to the anode terminal(red) on the inverter, and fix them.

5 BATTERY

1. Voltage and current of the battery

The battery is designed to supply the unit with DC input voltage and the rating voltage should be in accordance with the rating input voltage of the inverter. Any voltage which exceeds the range of the input voltage of the inverter will cause over voltage or under voltage protection.

In the meantime, the battery should supply sufficient current. The small capacity battery cannot drive the large power electrical appliance. In this case, the battery will be in under-voltage protection because of the over-discharge of the battery.

The simple calculation method of battery current is : load power ÷ battery voltage. Due to the consumption of the inverter itself, the actual current will be about 10% larger. For example, the voltage of lead acid battery is 12VDC, and load power is 200W, therefore, the actual current of the battery is about $200W \div 12V \times 110\% = 18.3A$

2. Battery operating time

Battery operating time depends on battery capacity and current, and the calculation method:

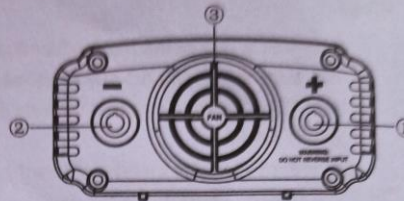
operating time = battery capacity ÷ current = battery capacity ÷ (the value of load power ÷ battery voltage × 110%). For example, battery specification is 12V.200Ah, load power is 100W, so the total discharging time is $200 \div (100 \div 12 \times 110\%) \approx 21.8$ Hours.

Notice: The result above are based on the battery with 20 hours discharging, that is the battery 200Ah, current is less than 10A. When the discharging current exceed 10A, the discharging time will be shorter, this part you can refer the specification from the battery supplier, in the meantime, the battery power is full or not also effect the result.

3. PARTS LIST

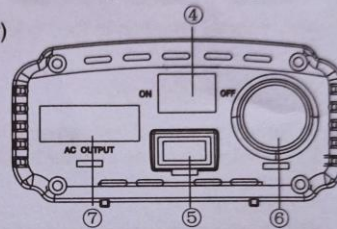
1 Back panel

- 1) Input terminal: positive (red)
- 2) Input terminal: negative (black)
- 3) Cooling fan



2 Front panel

- 4) Power switch (with power indicator)
- 5) USB port
- 6) Cigarette lighter socket (anode in center)
- 7) AC output socket



4 LOCATION

First, put the inverter on a stable space, such as floor, table and fixed kickstand etc, in order to avoid the damage caused by dropping.

Location should be in accordance with the following requirements:

- 1) Dryness: never drop water or other liquid on the inverter
- 2) Coolness: the ambient temperature should be 0~40°C, and the perfect temperature is 10°C~25°C. The lower the better in this range of the ambient temperature.
- 3) Ventilation: there should be a certain distance between the unit and the surrounding appliance. Do not obstruct the vent.
- 4) Don't install the unit in the place with dust, timbering residue or particles which may be brought into the product when the cooling fan is working and may interfere with the normal operation.
- 5) Do not place any combustible materials, such as gasoline and alcohol in the working environment as it may cause a fire if the unit connects with the battery.

1. BRIEF

This unit is one of the most advanced tools of power conversion and it can supply you with AC power converted from DC power sources. It is able to be used in cars and vessels and it also can be used during power failure.

In order to use the inverter efficiently and safely, please read the instructions carefully before use.

Pay special attention to the "WARNING" and "NOTICE" in this manual.

2. WARNINGS AND SAFETY

- 1) Read the manual before using the unit and keep it for future reference.
- 2) Do not expose the inverter to the sun. Keep it away from direct heat sources, liquid and moisture.
- 3) The inverter housing may be hot during use. Please avoid touching materials that can not stand high temperature, such as clothes, sleeping bag and carpet.
- 4) This unit is designed to be used in the cathode ground electrical system. Don't use it together with the anode ground electrical system! (In most current vehicles and boats, cathode ground is used.)
- 5) Do not disassemble the inverter, as electric shock or fire may be caused.
- 6) Keep unit away from children. Children should not use without parent supervision.
- 7) Please treat the output sockets as carefully as your household AC sockets and do not put any other things into the output terminal except for the plug of electrical appliance. It can cause electric shock or fire if it is used in a wrong way.
- 8) Disconnect the inverter and battery when they are not in use. Deal with the wires and joints of the battery carefully to avoid a direct short circuit.
- 9) Keep alert during operation.