



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL BASADO EN ESTRATEGIAS DE EVASIÓN DE
OBSTÁCULOS PARA UN MÓDULO DE ELEVACIÓN Y
DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO, PRECAUTELANDO LA SEGURIDAD
DE PERSONAS PARAPLÉJICAS**

**AUTORES: PILATASIG AYNUCA, ALEXIS FABIAN
LÓPEZ INGA, TATIANA ALEXANDRA**

DIRECTOR: ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR COCHISE

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN ESTRATEGIAS DE EVASIÓN DE OBSTÁCULOS PARA UN MÓDULO DE ELEVACIÓN Y DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO, PRECAUTELANDO LA SEGURIDAD DE PERSONAS PARAPLÉJICAS”*** fue realizado por los señores ***Pilatasig Aynuca, Alexis Fabian y López Inga, Tatiana Alexandra***, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 09 de enero del 2019



Ing. Héctor Cochise Terán Herrera

C.C.: 050268046-5



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Pilatasig Aynuca, Alexis Fabian y López Inga, Tatiana Alexandra*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Diseño e implementación de un sistema de control basado en estrategias de evasión de obstáculos para un módulo de elevación y desplazamiento autónomo, precautelando la seguridad de personas parapléjicas*, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 10 de enero del 2019

Pilatasig Aynuca Alexis Fabian

C.C: 050372717-4

López Inga Tatiana Alexandra

C.C: 050423166-3



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

*Nosotros, Pilatasig Aynuca, Alexis Fabian y López Inga, Tatiana Alexandra, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema de control basado en estrategias de evasión de obstáculos para un módulo de elevación y desplazamiento autónomo, precautelando la seguridad de personas parapléjicas**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.*

Latacunga, 10 de enero del 2019

Pilatasig Aynuca Alexis Fabian

CC. 050372717-4

López Inga Tatiana Alexandra

CC. 050423166-3

DEDICATORIA

Este trabajo sin duda va dedicado a mis padres: Mario López y Blanca Inga, por brindarme todo su apoyo, su amor y la confianza para poder hablar con ellos de cualquier cosa, su ayuda económica durante toda mi trayectoria estudiantil, siempre me dieron el ejemplo de constancia y disciplina para poder cumplir este objetivo.

A mi hermano mayor: Marco López, que de alguna forma siempre me apoyo económicamente con todo lo que necesitaba y a mi hermana menor: Erika López, a pesar de mi mal genio, siempre permaneció a mi lado con toda la paciencia para que yo pudiera culminar este trabajo.

Tatiana Alexandra López Inga

El presente trabajo lo dedico en primera instancia al Todopoderoso, y en especial a mis padres: Luis Pilatasig y Narcisa Aynuca, por el apoyo incondicional que me han brindado durante mi trayectoria estudiantil, con su sabiduría, amor y su ayuda económica pude lograr cumplir grandes metas y adversidades que se me presento en mi vida.

A mis hermanas: Mayra Pilatasig-Evelyn Pilatasig y Nicole Pilatasig, por compartir mis alegrías y tristezas, que, con su calor incondicional y apoyo en todo momento, logré cumplir el sueño que siempre tuve planteado.

A mi Abuelito: Ramiro Pilatasig que a pesar que está en un mundo mejor, ahora puedo sentirme feliz por haber cumplido uno de sus mayores anhelos, sé que desde el cielo estará orgullo de mí, te quiero mi querido abuelito.

Y por último a mis amigos y familiares que estuvieron apoyándome, brindándome palabras de alientos y sus grandes experiencias de vida para sobrellevar las adversidades de la vida.

Alexis Fabian Pilatasig Aynuca

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a mi Padre: Mario López y mi Mami: Blanca Inga, por siempre estar presente en cada paso de mi vida, son lo más importante que Dios me pudo dar, gracias por todo, siempre voy a luchar por ustedes y para ustedes.

A nuestro tutor Ing. Héctor Terán, por guiarnos en todo el proceso que conllevo a la realización de este trabajo, gracias a su apoyo constante y el tiempo que nos dedicó.

Gracias a todas esas personas especiales que siempre tuvieron fe en mí y en mis capacidades intelectuales, por su amor y consejos para poder culminar este trabajo.

Tatiana Alexandra López Inga

De todo corazón agradezco a mi Padre: Luis Pilatasig a pesar que se encuentra fuera de mi país, nunca fue un obstáculo para guiarme de una manera correcta, con la finalidad de lograr cumplir mis metas planteadas, a mi madre: Narcisa Aynuca, con sus consejos, su amor y consejos para poder sobrellevar mis momentos más difíciles de mi vida.

A nuestro tutor Ing. Héctor Terán, por guiarnos durante el tiempo de realización de este proyecto, gracias a su apoyo constante y el tiempo que nos dedicó.

Con no agradecer a mis primos, tíos y amigos por estar siempre a mi lado brindándome palabras de aliento y por toda su fe que pusieron en mí.

Alexis Fabian Pilatasig Aynuca

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Planteamiento del problema	2
1.4	Justificación e Importancia.....	3
1.5	Objetivos	4
1.5.1	Objetivo General	4
1.5.2	Objetivos Específicos	4
1.6	Hipótesis.....	5

1.7	Estado del arte	5
1.7.1	Avances de sistemas bipedestadores	6
1.8	Diagnóstico de enfermedades de las extremidades inferiores.....	15
1.8.1	Campo Medico	15
1.9	Minusválida de las extremidades inferiores	16
1.10	Percentiles de la población ecuatoriana	18
1.11	Antropometría de las extremidades inferiores.	18
1.11.1	Antropometría	18
1.11.2	Material Antropométrico.....	19
1.11.3	Medidas antropométricas.	20
1.12	Sistema de control para el desplazamiento de personas parapléjicas.....	20
1.12.1	Ventajas del uso de los recursos tecnológicos (TIC) y discapacidad.....	20
1.12.2	Clasificación de sistemas	22
1.13	Sistemas de Control.....	25
1.13.1	Clasificación de los Sistemas de Control:	26
1.13.2	Componentes de un Sistema de Control	28
1.13.3	La ingeniería en los sistemas de control.....	28
1.14	Clasificación de Métodos para la Evasión de Obstáculos.....	30
1.14.1	Métodos de control reflexivo	31
1.14.2	Métodos de control reactivo	33

1.15	Medidas de seguridad.....	34
1.15.1	Análisis de seguridad	34
1.15.2	Medidas de Seguridad para el sistema	36
1.15.3	Normativa para el diseño de rampas estandarizadas	37

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL CONTROLADOR BIESTABLE

2.1	Factibilidad y planeación	38
2.1.1	Estructura funcional	38
2.2	Subsistema electrónico	39
2.2.1	Tipo de actuador.....	39
a.	Alternativas de diseño	39
b.	Evaluación y selección de alternativas.....	41
2.2.2	Motores.....	43
a.	Alternativas de diseño	43
b.	Evaluación y selección de alternativas.....	45
2.2.3	Batería	47
a.	Alternativas de diseño	47
b.	Evaluación y selección de alternativas.....	48
2.2.4	Medición distancia	49
a.	Alternativas de diseño	50

b.	Evaluación y selección de alternativas.....	50
2.2.5	Detección de inclinación.....	53
2.2.6	Fines de carrera.....	54
2.2.7	Mando de control.....	55
2.3	Subsistema de control.....	55
2.3.1	Tipo de microcontrolador.....	55
a.	Alternativas de diseño.....	56
b.	Evaluación y selección de alternativas.....	57
2.3.2	Medio de transmisión de datos.....	59
a.	Alternativas de diseño.....	60
b.	Evaluación y selección de alternativas.....	60
2.3.	Control del actuador lineal.....	63
2.4	Diseño de la batería.....	64
2.5	Diseño de la placa de circuitos impresos.....	66
2.5.1	Cálculo del ancho de pista.....	66
2.6	Adquisición de datos sensores.....	74
2.6.1	Sensor de distancia.....	74
2.6.2	Giroscopio.....	76
2.7	Modelado y simulación del sistema.....	76
2.7	Aplicación para teléfonos móviles.....	79

2.7.1	Navegación del Sistema	79
2.7.2	Arquitectura del Sistema	82
2.7.3	Programación por bloques aplicación para teléfonos móviles	86
2.7	Diagrama de flujo de la programación	92

CAPÍTULO III

INSTALACIÓN DEL CONTROL BIESTABLE

3.1	Implementación de los motores.....	94
3.2	Implementación del actuador	95
3.3	Implementación de los sensores	96
3.3.1	Implementación sensores de distancia	96
3.3.2	Implementación giroscopio	98
3.4	Implementación de la batería	98
3.5	Implementación del sistema de control.....	98
3.5.1	Botonera y mando de control	99
3.5.2	Control Manual	100

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	Desarrollo del protocolo de pruebas.....	102
4.2	Pruebas del sistema de elevación (Etapa 1)	103
4.2	Pruebas en el sistema de desplazamiento (Etapa2)	107
4.3	Pruebas del Control Autónomo basado en la Seguridad (Sensores) Etapa 3	109

4.3	Validación hipótesis	120
4.4	Análisis económico	122

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	126
5.2	Recomendaciones	127

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
---	------------

ANEXOS	134
---------------------	------------

CERTIFICACIÓN	135
----------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1 <i>Proyectos relacionados</i>	14
Tabla2 <i>Medidas antropométricas para el diseño del sistema de control</i>	20
Tabla3 <i>Subsistemas definidos para el diseño electrónico</i>	39
Tabla4 <i>Alternativas selección tipo de actuador</i>	41
Tabla5 <i>Ponderación de criterios de evaluación del tipo de actuador</i>	42
Tabla6 <i>Ponderación de instalación para las alternativas del tipo de actuador</i>	42
Tabla7 <i>Ponderación de control para las alternativas del tipo de actuador</i>	43
Tabla8 <i>Ponderación de costo para las alternativas del tipo de actuador</i>	43
Tabla9 <i>Conclusión en la selección del tipo de actuador</i>	43
Tabla10 <i>Alternativas para la selección del actuador</i>	45
Tabla11 <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección del motor</i>	46
Tabla12 <i>Ponderación de torque para alternativas del motor</i>	46
Tabla13 <i>Ponderación de velocidad de operación para alternativas del motor</i>	46
Tabla14 <i>Ponderación de peso para alternativas del motor</i>	46
Tabla15 <i>Conclusión en la selección del motor</i>	47
Tabla16 <i>Alternativas para la selección de la batería</i>	48
Tabla17 <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la batería</i>	48
Tabla18 <i>Ponderación de eficiencia para alternativas de la batería</i>	49
Tabla19 <i>Ponderación de costo de operación para alternativas de la batería</i>	49
Tabla20 <i>Ponderación de durabilidad para alternativas de la batería</i>	49
Tabla21 <i>Conclusión en la selección de la batería</i>	49
Tabla22 <i>Alternativas Mensaje distancia</i>	51

Tabla23 <i>Ponderación de criterios de evaluación del Sensaje de distancia</i>	51
Tabla24 <i>Ponderación de rango de operación para las alternativas del sensaje de distancia</i>	52
Tabla25 <i>Ponderación de tiempo de respuesta para las alternativas del Sensaje de distancia</i>	52
Tabla26 <i>Ponderación de costo para las alternativas del material del sensaje de distancia</i>	52
Tabla27 <i>Conclusión en la selección del Sensaje de distancia</i>	52
Tabla28 <i>Características MPU 6050</i>	53
Tabla29 <i>Características Fin de carrera</i>	54
Tabla30 <i>Características Joystick</i>	55
Tabla31 <i>Alternativas para la selección del microcontrolador</i>	57
Tabla32 <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección del microcontrolador</i>	58
Tabla33 <i>Ponderación de la eficiencia para alternativas del microcontrolador</i>	58
Tabla34 <i>Ponderación del costo para alternativas del microcontrolador</i>	58
Tabla35 <i>Ponderación del software para alternativas del microcontrolador</i>	58
Tabla36 <i>Conclusión en la selección del microcontrolador</i>	59
Tabla37 <i>Conclusión en la selección del microcontrolador</i>	59
Tabla38 <i>Alternativas para la selección del medio de transmisión de datos</i>	61
Tabla39 <i>Ponderación de criterios de evaluación para el medio de transmisión de datos</i>	61
Tabla40 <i>Ponderación de costo para las alternativas del medio de transmisión de datos</i>	62
Tabla41 <i>Ponderación de velocidad para las alternativas del medio de transmisión de datos</i>	62
Tabla42 <i>Ponderación de seguridad para las alternativas del medio de transmisión de datos</i>	62
Tabla43 <i>Conclusión en la selección de diseño del medio de transmisión de datos</i>	62
Tabla44 <i>Conclusión en la selección del medio de transmisión de datos</i>	63
Tabla45 <i>Características módulo relé dos canales</i>	64

Tabla46 <i>Características motor</i>	65
Tabla47 <i>Características Stepper Motor Driver Monster 30A</i>	66
Tabla48 <i>Adquisición de datos sensor de distancia HCSR-04</i>	75
Tabla49 <i>Bloques de programación Ventana Ingreso al Sistema</i>	87
Tabla50 <i>Bloques de programación Ventana Menú</i>	87
Tabla51 <i>Bloques de programación Ventana Funcionamiento</i>	88
Tabla52 <i>Bloques de programación Ventana Control</i>	91
Tabla53 <i>Bloques de programación Ventana Ayuda</i>	92
Tabla54 <i>Protocolo de pruebas en el sistema de elevación</i>	103
Tabla55 <i>Resultado pruebas actuador lineal</i>	104
Tabla56 <i>Resultado pruebas voltaje, corriente, potencia y torque.</i>	105
Tabla57 <i>Protocolo de pruebas en el sistema de desplazamiento</i>	107
Tabla58 <i>Resultado pruebas sistema desplazamiento motores</i>	108
Tabla59 <i>Protocolo de pruebas sensores</i>	110
Tabla60 <i>Datos pruebas realizadas sensor frontal</i>	111
Tabla61 <i>Datos pruebas realizadas sensor posterior</i>	112
Tabla62 <i>Datos pruebas realizadas sensor lateral derecho</i>	114
Tabla63 <i>Datos pruebas realizadas sensor lateral izquierdo</i>	115
Tabla64 <i>Datos pruebas realizadas sensor inferior</i>	117
Tabla65 <i>Resultado pruebas sensor giroscopio</i>	118
Tabla66 <i>Sistema de calificación validación hipótesis</i>	121
Tabla67 <i>Sistema de calificación validación hipótesis</i>	121
Tabla68 <i>Costos Materia Prima</i>	123

Tabla69 <i>Costos Mano de Obra</i>	123
Tabla70 <i>Costos Herramientas y Materiales</i>	124
Tabla71 <i>Costos Equipos</i>	124
Tabla72 <i>Costos Total</i>	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bipedestador	6
Figura 2 Bipedestador automático	8
Figura 3 Silla de elevación eléctrico	10
Figura 4 Bipedestador ergonómico	12
Figura 5 Diagrama de bloques a implementar	13
Figura 6 Sistema de control.....	25
Figura 7 Sistema de control abierto	26
Figura 8 Sistema de control en lazo cerrado	26
Figura 9 Diseño de rampas estandarizadas	37
Figura 10 Giroscopio MPU 6050.....	53
Figura 11 Sensor Fin de carrera	54
Figura 12 Joystick	55
Figura 13 Módulo relé dos canales	63
Figura 14 Stepper Motor Driver Monster 30A	66
Figura 15 Circuito de carga de batería	67
Figura 16 Elementos de electrónica para el control del bipedestador.....	68
Figura 17 Conexión sensores	69
Figura 18 Conexión pulsadores modos funcionamiento.....	70
Figura 19 Conexiones modos de funcionamiento e indicadores.....	70
Figura 20 Conexión fines de carrera	71
Figura 21 Conexión motores al driver	71
Figura 22 Conexión Joystick y Módulo Bluetooth	72

Figura 23 Conexión Parlante.....	72
Figura 24 Asignación de pines componentes de electrónica	73
Figura 25 Sensor de distancia HCSR-04.....	74
Figura 26 Voltaje VS Distancia sensor HCSR04.....	75
Figura 27 Modelo motor de corriente continua.....	76
Figura 28 Diagrama de bloques motor de corriente continua	77
Figura 29 Salida del motor de corriente continua	78
Figura 30 Esquema general de navegación del sistema	80
Figura 31 Distribución por niveles de navegación del sistema.....	81
Figura 32 Ventana Ingreso al Sistema	82
Figura 33 Ventana Menú del Sistema	83
Figura 34 Ventana Funcionamiento del Sistema	84
Figura 35 Ventana Control del Sistema	85
Figura 36 Ventana de Ayuda.....	86
Figura 37 Bloques de programación Ventana de Ingreso al Sistema.....	86
Figura 38 Bloques de programación Ventana de Menú.....	87
Figura 39 Bloques de programación Ventana de Funcionamiento	88
Figura 40 Bloques de programación	89
Figura 41 Bloques de programación elementos para establecer conexión Bluetooth.....	89
Figura 42 Bloques de programación botones ventana Control	90
Figura 43 Bloques de programación botones ventana Ayuda.....	91
Figura 44 Bloques de programación código funcionamiento	93
Figura 45 Instalación motores	95

Figura 46 Instalación llantas	95
Figura 47 Instalación actuador lineal	96
Figura 48 Impresión 3D sensor	96
Figura 49 Impresión 3D carcasa	97
Figura 50 Instalación sensores de distancia	97
Figura 51 Instalación giroscopios	98
Figura 52 Instalación baterías	98
Figura 53 Implementación circuito de control y potencia	99
Figura 54 Implementación circuito de potencia.....	99
Figura 55 Botonera de control.....	100
Figura 56 Mando de control.....	100
Figura 57 Implementación elementos	101
Figura 58 Carga vs Tiempo de ascenso y descenso en el sistema de elevación	105
Figura 59 Carga vs potencia y torque en el sistema de elevación.....	106
Figura 60 Tiempo vs velocidad.....	108
Figura 61 Grafica Tiempo-Voltaje-Velocidad-Carga	109
Figura 62 Distancia vs Tiempo sensor frontal	112
Figura 63 Distancia vs tiempo sensor posterior	113
Figura 64 Distancia vs tiempo sensor lateral derecho.....	115
Figura 65 Distancia vs Tiempo sensor lateral izquierdo.....	116
Figura 66 Distancia vs Tiempo sensor inferior	118
Figura 67 Calibración sensor giroscopio.....	120
Figura 68 Validación hipótesis test Chi cuadrado.....	122

Figura 69 Validación hipótesis análisis medias 122

RESUMEN

En presente proyecto se diseñó e implementó un sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento, precautelando la seguridad de personas con paraplejia, mediante la utilización de dispositivos electromecánicos y algoritmos de programación basados en estrategias de evasión de obstáculos. El cambio de posición fue posible gracias a la implementación de un sistema de control manual electromecánico, el cual controla, regula y acciona los sistemas. Se determino el control más optimo y a su vez los actuadores, los mismos permiten un desplazamiento del asiento de una posición horizontal a una posición vertical. El mando electromecánico se encarga de la elevación en estado estático y desplazamiento del sistema. El sistema puede ser comandado inalámbricamente por el usuario mediante un dispositivo móvil, se buscó un conjunto de sensores idóneos para la detección de obstáculos, el cual se realizó mediante sensores ultrasónicos que emiten una señal cuando detectan algún objeto a cierta distancia. Cuando existe algún obstáculo, o culminación del área de desplazamiento, el módulo procederá a desactivar el desplazamiento asegurando que el usuario no colisione con algún objeto. Basados en los requerimientos del sistema de control, se realizó una investigación exhaustiva para una apropiada selección de software, el cual permitió llegar a soluciones más rápidas en cuanto a la detección de obstáculos, manteniendo bajo control todas variables del sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO**
- **BIPEDESTADOR**
- **SISTEMAS ELECTROMECAÁNICO**

ABSTRACT

In this project was designed and implemented a control system for a module of lifting and displacement, preserving safety of people with paraplegia, through the use of electromechanical devices and programming algorithms based on strategies of evasion of obstacles. The change in position was made possible by the implementation of a system of electro-mechanical manual control, which controls, regulates, and power systems. I was determined the control more optimal and in turn actuators, they allow a displacement of the seat from a horizontal to a vertical position. The electromechanical control takes care of elevation in static state and displacement of the system. System can be wirelessly commanded by the user using a mobile device, we sought a set of sensors for the detection of obstacles, which was performed using Ultrasonic sensors that emit a signal when they detected an object at a distance. When there is an obstacle, or culmination of the scroll area, the module shall disable displacement, ensuring that user do not collide with an object. Based on the requirements of the control system, was carried out extensive research for a proper selection of software, which allowed to reach faster solutions in terms of the detection of obstacles, keeping under control all variables of the system.

KEY WORDS:

- **AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS**
- **BIPEDESTADOR**
- **ELECTROMECHANICAL SYSTEMS**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En presente proyecto se realiza la implementación de un sistema de control en un módulo de elevación y desplazamiento, está basado en estrategias de evasión de obstáculos, siempre pensando en la seguridad de los usuarios como prioridad. Esta implementación aportó de nuevas habilidades para las personas parapléjicas, además que este sistema sea accesible para cualquier persona con recursos moderados, por lo tanto, el sistema ayuda a las personas llevar una vida más comfortable.

Es necesario recalcar que este sistema no existe en el mercado ecuatoriano, por lo que la adquisición de otros países alza el costo y lo vuelve muy poco accesible para las personas, las diferentes funciones que cumple el sistema de control proporcionan la seguridad necesaria para el usuario, además aumenta la autonomía del mismo permitiéndole así realizar actividades que requieren de diferentes posiciones proporcionadas por el sistema.

El sistema de control implementado va reducir el trabajo de las personas que laboran en hospitales, además de familiares que deben estar al pendiente de la persona parapléjica, la seguridad de los usuarios está basado en estrategias de evasión de obstáculos, estas funciones permiten evadir algún obstáculo, subir rampas estandarizadas para personas con capacidades especiales, además existe una función que no le permite a la persona caer por las escaleras o en algún agujero.

1.2 Antecedentes

En el informe emitido por la organización mundial de la salud, se estima que más de mil millones de personas viven con algún tipo de capacidad especial, es decir alrededor del 15% de la población mundial, según las estimaciones en 2010 (OMS, 2018).

El Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades presenta la información estadística de las personas con capacidades especiales en el Ecuador, el 43.73% representa el mayor porcentaje, con 188.431 personas que presentan discapacidad física (CONADIS, 2017).

El sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento de personas parapléjicas, se usa para reducir o evitar alteraciones secundarias manteniendo la extensibilidad de las extremidades inferiores, aumentar la densidad mineral ósea y para promover un desarrollo musculoesquelético adecuado. El equipo adaptado debe proporcionar una correcta alineación anatómica del tronco y las extremidades inferiores. La implementación de sensores y la aplicación de estrategias de evasión de obstáculos, proporciona una respuesta en tiempo real, la cual garantiza la seguridad física de personas con parapléjica.

En la actualidad los sistemas de control para un módulo de elevación y desplazamiento son necesarios para mejorar la calidad de vida de las personas parapléjicas, se basa en la necesidad de hacer cambios de posición sedente a bípeda y así mejorar su condición postural, para poder relacionarse con el medio en que se encuentran.

1.3 Planteamiento del problema

En el Ecuador el 25% de personas posee inmovilidad motriz a nivel de extremidades inferiores, por lo que realizar actividades por si mismos es imposible. Esto se ha debido a que la silla de ruedas no está adecuada para este tipo de actividades, existen varias innovaciones en este campo, donde

se puede implementar un sistema de elevación y desplazamiento, con el cual la persona pueda cambiar de posición y realizar tareas por sí mismo.

La mayoría de sistemas de control para un módulo de elevación y desplazamiento, constan de un empuje muy fuerte al momento de ponerle verticalmente a la persona, lo que puede ocasionar lesiones además de dolor y limitación de movimientos, provocando que la persona no sólo esté físicamente incapacitada, también lo estará mental, social y económicamente, ya que estos procesos inflamatorios pueden derivar en traumatismos, dañando permanentemente al riñón y sus tejidos.

Las sillas tradicionales, así como los bipedestadores utilizados en la actualidad no proporcionan la seguridad necesaria para garantizar la integridad del paciente frente a la colisión con algún objeto o la culminación de un espacio físico para la movilidad, esto ocasiona falta de confianza en el producto y un rechazo por el paciente. Las estrategias de evasión de obstáculos permitirán brindar al paciente una mayor seguridad física y una buena autonomía, el paciente podrá realizar las diferentes actividades sin preocuparse de colisionar con algún objeto o caer por alguna escalera.

1.4 Justificación e Importancia

La mayoría de los médicos recomiendan al menos algún tipo de ejercicio para personas con paraplejia, ya que existen numerosos beneficios para la salud del paciente, los cuales son provocados por un ejercicio regular. El sistema de elevación y desplazamiento permite alcanzar el rango completo de movimiento, aumentando gradualmente la flexibilidad, cambio de posición sedente a bípeda, proporciona el calentamiento de los músculos evitando lesiones. El entrenamiento de la flexibilidad previene el acortamiento muscular que puede conducir a contracturas.

La implementación de un sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento permite ejecutar movimientos en una superficie horizontal. Es posible alcanzar áreas de trabajo

fácilmente, además gracias al sistema de control para elevación se puede realizar actividades en zonas altas manteniendo la estabilidad de la persona, lo que mejora la calidad de vida del paciente, proporcionándole más movimiento y actividad en su entorno.

El sistema de control permitirá mantener una posición erguida, generando en el paciente una fuerza diferente a la que se hace cuando está acostado o en la silla de ruedas. La implementación de un sistema de control basado en estrategias de evasión de obstáculos, proporcionan una mayor confiabilidad y garantiza la integridad de la persona con paraplejia, además de su seguridad personal, de esta manera el paciente puede perder ese miedo a este tipo de sistemas y se pretende que pueda integrarse a la sociedad, realizando tareas de su vida cotidiana con mayor seguridad física.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de control basado en estrategias de evasión de obstáculos para un módulo de elevación y desplazamiento, precautelando la seguridad de personas parapléjicas.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Investigar las tecnologías existentes vinculadas a técnicas basadas en estrategias de evasión de obstáculos.
- Implementación de un sistema control manual mediante la utilización de elementos mecánicos y electrónicos.
- Diseño e implementación de un sistema de control autónomo basado en estrategias de evasión de obstáculos mediante algoritmos de programación.

- Realización de pruebas y análisis de resultados del control tanto manual como autónomo para el sistema de elevación y desplazamiento.

1.6 Hipótesis

Mediante la implementación de un sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento basado en estrategias de evasión de obstáculos se permitirá precautelar la seguridad de personas parapléjicas.

Variables Independientes: Sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento basado en estrategias de evasión de obstáculos.

Variables Dependientes: Seguridad en el desplazamiento de personas parapléjicas.

1.7 Estado del arte

A continuación, se mencionará ciertas dificultades de la paraplejia y cuales han sido sus mecanismos o técnicas para la rehabilitación y recuperación de personas que prevalecen esta enfermedad. Por ende, se pretende elaborar una clasificación geográfica, con el objetivo de diferenciar entre; instituciones y proyectos orientados a la rehabilitación y recuperación de personas con paraplejia. Según las OMG (Organización Mundial de la Salud) existen las siguientes cifras importantes:

- Cada año en todo mundo existe un rango personas entre de 250000 y 500000 que sufren de lesiones medulares.
- Estas lesiones son producidas mayormente por; accidentes de tránsito, caídas o actos de violencia.

- En la totalidad de países bajos y medios, el promedio de vida de personas que contienen lesiones musculares tiende a ser menor, debido a que son más propensas a fallecer a diferencia de una persona que no padezca cierta enfermedad. (OMS, 2011).

1.7.1 Avances de sistemas bipedestadores

Bipedestador semiautomático

Tema

Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomática reajutable para personas con paraplejía.

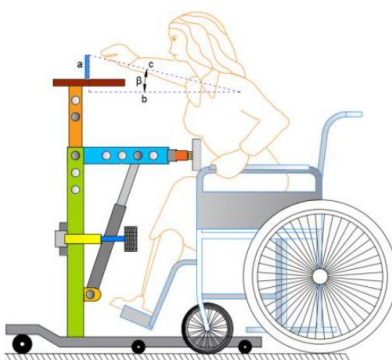


Figura 1 Bipedestador

Fuente: (Campaña Olmos & Barreno Oñate, 2017)

Autores

Elaborado en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Extensión Latacunga Campaña Olmos, María de los Ángeles. Barreno Oñate, Johnny Mauricio

Introducción

En el presente trabajo de titulación, se describe un estudio en donde se pretende implementar una máquina mecatrónica que permita alcanzar la bipedestación a personas que sufren de discapacidades físicas, como lo es la paraplejía, siendo el origen más habitual de lesiones lumbares

los accidentes de tránsito. Sin embargo, como las medidas antropométricas de cada usuario es diferente, se hace una compensación en el instante de la transición sit to stand y a su vez se consigue una trayectoria curva para la elevación, lo que significa que se disminuye la carga en las articulaciones de las rodillas y la cadera. (Campaña Olmos & Barreno Oñate, 2017).

Especificaciones Técnicas

El sistema bipedestador está orientado hacia personas con discapacidad física como la paraplejía, su accionamiento es semiautomático.

Partes constitutivas

- Base
- Sistema de Giro
- Sistema de Pesaje
- Sistemas de Rodilleras
- Columna Principal
- Sistema de Apoyo

Funcionamiento

El dispositivo permitirá que el usuario se coloque en posición vertical mediante el accionamiento de un actuador, el mismo que será alimentado con una fuente de energía, este sistema permitirá que la persona parapléjica pueda realizar ciertas actividades diarias.

Bipedestador Automático

Tema

Diseño e implementación de un bipedestador automático para la movilidad de adultos mayores del hogar de vida "Luis Maldonado Tamayo" ubicado en el cantón Pujilí.



Figura 2 Bipedestador automático

Fuente: (Paredes Torres & Toapanta Quimbita, 2018)

Autores

Proyecto desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Electromecánica por: Paredes Torres, Erika Katherine y Toapanta Quimbita, Jessica Estefanía.

Introducción

Implementación de un sistema de bipedestación tipo silla, que permitirá conseguir ayuda en la rehabilitación, mejorar el estado de ánimo en el instante que el beneficiario logre una posición vertical. Las medidas antropométricas tendrán una variación entre ciertos adultos mayores, se tiende a tomar una media para el instante de la elevación y descenso sea de trayectoria curva, para evitar movimientos bruscos en las articulaciones. Con el uso continuo del bipedestador, la rehabilitación de los adultos mayores será más factible. (Paredes Torres & Toapanta Quimbita, 2018).

Especificaciones técnicas

El sistema está enfocada a personas de la 3ra edad y está construido con un acero A36, para su accionamiento se utilizará un actuador eléctrico que se activará mediante un joystick, su

alimentación se realizará mediante una batería tipo gel, el mecanismo está diseñado para un peso de 100 kg.

Partes constitutivas

- Asiento móvil
- Base principal
- Control semiautomático
- Batería Gel

Funcionamiento

El sistema bipedestador con control semiautomático tiene la función de permitir la movilidad de personas de tercera edad, con el objetivo de facilitar sus actividades diarias.

Bipedestador grado IV

Tema

Silla bipedestador para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg.

Autores

Proyecto de titulación elaborado en la Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Mecánica por Obando-Herrera, T.G. Flores-Mugmal, J.I. Barbero-Palacios, L.A. Ortega-Bustamante “Silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100kg”.

Introducción

Diseño y construcción de una silla de rueda que sea capaz de permitir la posición de bipedestación a pacientes con discapacidad grado 4 en miembros inferiores de hasta 100kg de peso.

Para el dimensionamiento de la silla se consideró un análisis antropométrico siendo participes pacientes adultos del Centro de Rehabilitación Integral Especializado CRIE Nro. 1. Ubicado en la parroquia de Conocoto-Quito, Ecuador. (Obando Herrera, Flores Mugmal, Barbero Palacios, & Ortega Bustamente, 2017).

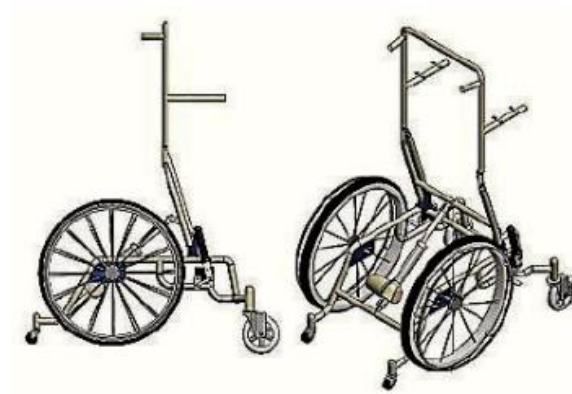


Figura 3 Silla de elevación eléctrico

Fuente: (Obando Herrera, Flores Mugmal, Barbero Palacios, & Ortega Bustamente, 2017)

Características técnicas

La estación bipedestadora está enfocada para personas con restricción de grado 4, la misma constara de una estructura de acero ASTM-36, con un actuador lineal Dewert modelo megamat 2 con una carga de empuje de 600N, con una velocidad de 28 mm/s y su voltaje de entrada de 110v.

Partes constitutivas

- Sistema móvil
- Base principal
- Control de elevación Eléctrico
- Batería

Funcionamiento

La silla bipedestadora está diseñada para superficies planas, por lo que se debe tomar encuentra ciertas medidas de seguridad, cuando se trabaje en una superficie inclinada se recomienda el acompañamiento de una o dos personas. Sin embargo, no se debe exceder el peso máximo de 100 kg, establecido en el diseño con anterioridad, con el propósito de evitar deformaciones en la estructura o elementos.

Bipedestador ergonómico

Tema

Facultad de medicina Diseño de un prototipo de bipedestador para pacientes pediátricos con espina bífida

Autores

Ha sido realizado en La Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina por Katherine Quiñones Argote; Aydee Robayo Torres; Andrés García Torre.

Introducción

La compostura bipodal del ente humano resulta de la madurez del método neuromotriz y es una carencia evolutiva que filogenéticamente hace viable la diferenciación de funciones entre secciones superiores e inferiores, condicionando un superior progreso de estas últimas. La probabilidad de bipedestación asistida por dispositivos ergonómicos, que a la razón sean económicos y funcionales, es planteada como un derecho para la población pediátrica con discapacidad motriz que no puede asumir o conservar esa postura. (Quiñones Argote, Robayo Torres, & Garcia Torres, 2013).



Figura 4 Bipedestador ergonómico

Fuente: (Quiñones Argote, Robayo Torres, & Garcia Torres, 2013)

Características técnicas

El prototipo puede soportar una carga estática de 100 kilogramos por un tiempo estimado de 24 horas, optaron por el aluminio como material, contiene un tablero de comandos tanto para la elevación como para el desplazamiento.

Funcionamiento

El bipedestador está orientado directamente a niños con discapacidad parapléjica, en una edad de 10 años proporcionalmente, con la intención que puedan independizarse y realizar sus actividades diarias, precautelando su seguridad.

Controlador Bipedestador

Tema

Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación.

Autores

Desarrollado en la Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en sistemas, Electromecánica e Industrial por: Luis Fernando Bedon Vásquez.

Introducción.

En base a lo exhibido se plantea diseñar un sistema de control para el movimiento horizontal y elevación de una silla de ruedas de bipedestación, este sistema debe permitir que el beneficiario pueda propulsarse y/o bipedestar de acuerdo a sus necesidades. Todo esto encaminado a la construcción de un producto respectivamente económico y compuesto con materiales de comercialización nacional; facilitando además las labores de mantenimiento, reparación y adaptación a las particularidades del usuario. (Bedón Vásquez, 2017).

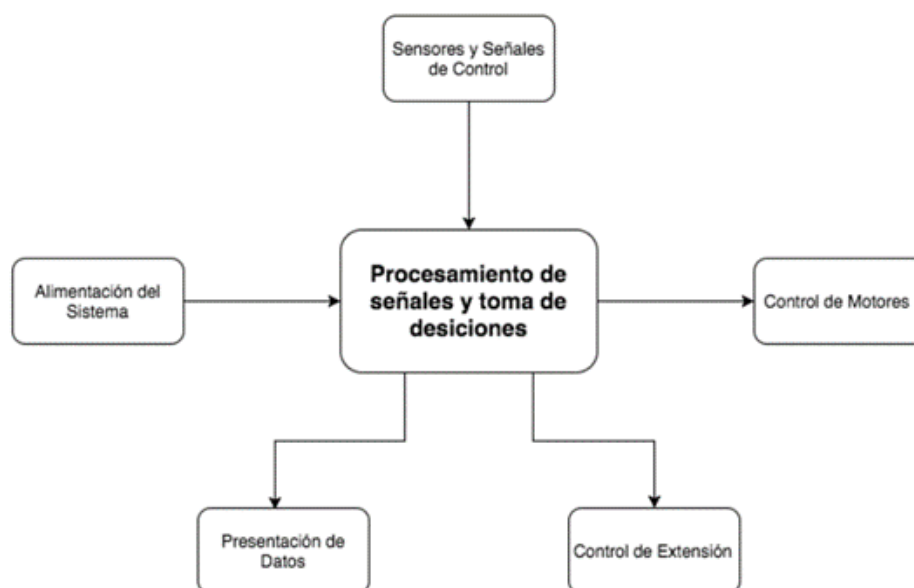


Figura 5 Diagrama de bloques a implementar

Fuente: (Bedón Vásquez, 2017)

Características técnicas.

Para el sistema de mando se utilizó un control tipo joystick basados en dos potenciómetros Con una fuente de 5v/2A y Fuente de 12V, con motores de tipo DC a 12v.

Partes constitutivas

- Sensor

- Controlador
- Actuador

Funcionamiento

Para su correcto funcionamiento el sistema contendrá las siguientes dimensiones; un área de 40 cm de ancho, 25 cm de alto y con una profundidad de 40 cm. Este sistema de control permitirá que los usuarios puedan elevar su bipedestador sin la necesidad de terceras personas, con la finalidad de poder realizar actividades básicas.

Mapa de estado del arte

En la anterior descripción de tipo de bipedestadores, se ha podido visualizar diferentes instituciones universitarias que han realizado distintas investigaciones con un propósito de encontrar soluciones para la paraplejia. A continuación, se resumirá en la Tabla1.

Tabla1

Proyectos relacionados

Nº	Autor	Lugar	Descripción
1	Campana Olmos, María de los Ángeles. Barreno Oñate, Johnny Mauricio	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Latacunga 2017)	Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomática reajutable para personas con paraplejia
2	Paredes Torres, Erika Katherine y Toapanta Quimbata, Jessica Estefanía.	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (Latacunga 2018)	Diseño e implementación de un bipedestador automático para la movilidad de adultos mayores del hogar de vida "Luis Maldonado Tamayo" ubicado en el cantón Pujilí.

CONTINÚA



3	Obando-Herrera, T.G. Flores-Mugmal, J.I. Barbero-Palacios, L.A. Ortega-Bustamante	Universidad Politécnica Salesiana (Quito 2017)	Silla bipedestador para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg
4	Katherine Quiñones Argote; Aydee Robayo Torres; Andrés García Torre.	Universidad Nacional de Colombia (Colombia 2013)	Facultad de medicina Diseño de un prototipo de bipedestador para pacientes pediátricos con espina bífida
5	Luis Fernando Bedon Vásquez.	Universidad Técnica de Ambato. (Ambato 2017)	Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación.

Para el sistema de mando se utilizó un control tipo joystick basados en dos potenciómetros Con una fuente de 5v/2A y Fuente de 12V, con motores de tipo DC a 12v.

1.8 Diagnóstico de enfermedades de las extremidades inferiores

1.8.1 Campo Medico

Las enfermedades neurológicas son trastornos del cerebro, la medula espinal y los nervios de todo el cuerpo; en conjunto, esos órganos controlan todas las funciones del cuerpo cuando algo funciona mal en algunas partes de los sistemas nerviosos, es posible que tenga dificultad para moverse hablar, traga, respirar o aprender. (stroke).

La coxa vara epifisaria (imperfección del cuello del fémur, que se caracteriza por un desgaste de su ángulo de inclinación), produce transitar con paso de pato, malestar en el muslo y rodilla y reducción acentuado de la extremidad, con prohibición de la abducción y del giro interno. Requiere proceso terapéutico.

La osteocondritis disecante de la culata, rodilla y rótula produce bloqueos articulares, con restricción brusca de la dilatación que se resuelve de modo espontánea con el desplazamiento. La reincidencia provoca desbordamiento articular. A la elevación de la pelvis, inicialmente existe una ligera molestia, que seguidamente produce gran restricción de los movimientos con grave dolor.

La condropatía de la patela es habitual en adolescentes, produce lesiones y derrame articular de prolongación, limitando al joven el mando de ciclomotores y con periodicidad empeorando al acudir el pedal de arranque.

La artrosis deformante de la pelvis y la articulación es una molestia que progresa con la edad, produce un inmenso dolor y restricción articular, y con reincidencia se presentan derrames articulares.

La hemartrosis, o también conocida por acumulación de sangre por derrame interno, hemofílica surge como resultado de traumatismos insignificantes por hemorragias articulares procedentes de la sinovial en la hemofilia A y B. Suelen localizarse con prioridad en la rodilla y conducen a una primordial lesión cartilaginosa con imperfección articular.

1.9 Minusválida de las extremidades inferiores

Amputaciones

La pérdida de una extremidad puede darse como secuela de una lesión traumática, corte, quemadura o una enfermedad que requiere una intervención quirúrgica. La autonomía de las personas amputadas tiene una variación de acuerdo a la extremidad afectada y a su funcionalidad en ocasiones al nivel de amputación. En extremidades inferiores se suele utilizar prótesis con el propósito de recobrar el movimiento correcto. En extremidades superiores las prótesis tienen un enlace más estético que funciona.

Afectación a la Columna vertebral

Lesión medular

Cuando ocurre una lesión medular, todos los nervios situados por arriba de la lesión funcionan correctamente, en cambio, por debajo se produce una desconexión entre el cerebro y las diferentes partes del cuerpo. Dependiendo la zona y grado de afectación esta desconexión puede ser total o arbitraria. Dependiendo del índice de la lesión se pueden determinar si existe una posible paraplejia: afectación solamente a las extremidades inferiores o una Tetraplejia: afectación a las dos extremidades. (efdeportes, s.f.).

Espina bífida

Consiste en una serie de malformaciones congénitas que se manifiesta por una falta de cierre o fusión de uno o varios arcos vertebrales posteriores dando como resultado un cierre anormal del tubo neural. Se sabe que el proceso comienza en el primer mes de gestación. (efdeportes, s.f.).

Parálisis Cerebral

Se trata como una rareza de tipo neuromotor provocada por un progreso incorrecto conocida igualmente por lesión del cerebro. Esta perturbación no creciente puede disimular el control motor, al tono, desplazamiento y a la actitud. La lesión cerebral puede poseer lugar antes, durante o después del parto. Por lo general los casos de parálisis cerebral se debe a una anoxia cerebral (escasez de contribución oxígeno a las células de la corteza cerebral), además puede generar por otras circunstancias como infecciones, accidentes cerebrovasculares (cuando se interrumpe repentinamente el suministro de sangre a una parte del cerebro) o por traumatismos craneoencefálicos. Esta enfermedad presenta algunas otras deficiencias, como en el lenguaje, disminuciones intelectuales, convulsiones, problemas de visión y/o audición, alteraciones perceptivas, problemas afectivos. (lds.org, s.f.).

1.10 Percentiles de la población ecuatoriana

Según (OMS, Who, 2013) existe un riesgo mayor de lesión medular en los hombres adultos jóvenes (20 a 29 años) y ancianos (70 años o más). Por otra parte, en el género femenino, el mayor riesgo se registra en la adolescencia (15 a 19) y a partir de los sesenta años. La relación hombres: mujeres es, como mínimo, de 2:1, aunque en algunos casos, puede llegar a ser mucho más elevada.

Población ecuatoriana

El Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades presenta la información estadística de las personas con capacidades especiales en el Ecuador, hasta el primer trimestre de lo que va el año, el 43.63% representa el mayor porcentaje, con 204.677 personas que presentan discapacidad física. (CONADIS, 2018).

E-life es una revista de investigación que en conjunto con la Organización Mundial de la Salud (OMS), realizó una investigación para determinar el crecimiento de la altura de la población mundial durante el último siglo. Los datos obtenidos permiten obtener una información confiable. Tanto el género masculino y femenino de cada país han ido aumentando en tamaño, además de proporcionar un ranking actual de estatura. Nuestro país se coloca en la tercera posición de los más pequeños del continente sudamericano, tanto en hombres y mujeres. El sexo masculino tiene una altura promedio de 167,1 cm y el femenino de 154,2 cm. (Metroecuador, s.f.).

1.11 Antropometría de las extremidades inferiores.

1.11.1 Antropometría

La antropometría es una estrategia científica que está significativamente conectada con la ergonomía física, la cual tiene muchas áreas de aplicación. Es una disciplina que se encarga en analizar las longitudes del cuerpo humano, los estudios y las estrategias para realizar las

mediciones, además de su análisis estadístico. Esto ayuda a dimensionar y diseñar un artefacto que cumpla con todas las características antropométricas de una persona con capacidad especial (Nariño & Alonso, 2016).

La antropometría, de acuerdo a la ergonomía, realiza una investigación para ofrecer datos antropométricos los cuales sirven para priorizar las longitudes de objetos, estos se acoplan perfectamente a las características que presentan las personas que van hacer uso de estos objetos. Los científicos más inmersos en este tema coinciden que la antropometría es la método que estudia las dimensiones dinámicas y estáticas del cuerpo humano, los procedimientos y las estrategias para la realización de las mediciones, el estudio estadístico; los resultados arrojan datos que ayudan al diseño de los aparatos siempre y cuando cumplan con las características más representativas de los consumidores, lo más relevante es lo ergonómico de acomodar los medios de elaboración a los trabajadores (Nariño & Alonso, 2016).

1.11.2 Material Antropométrico.

Debe ser natural, exacto y de cómoda maniobra. Lamentablemente, el material antropométrico de eficacia no suele ser económico. Existen pocos modelos que, dentro de unos límites aceptables de exactitud y fiabilidad, tengan un costo accesible. Otra dificultad es la comprobación del material. Por el uso, las ramas del plicómetro van perdiendo potencia, la consecuencia de la lectura será cada vez levemente más elevada. Hay dos opciones: o adquirir un aparato de comprobación o remitir el mismo a la casa para ser calibrado. Ambas opciones son bastante caras (Sillero, 2015).

Métodos de Valoración Antropométrica


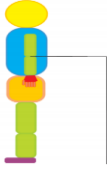

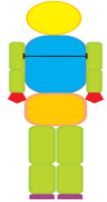
- Talla
- Diámetros

- Perímetros
- Pliegues (Witriw, 2016).

1.11.3 Medidas antropométricas.

Tabla2

Medidas antropométricas para el diseño del sistema de control

Medida	Definición	Ilustración
Peso del cuerpo	Vector que tiene magnitud y dirección, y apunta aproximadamente hacia el centro de la Tierra.	
Altura al codo	Distancia vertical desde la horizontal, la cual representa la sustentación, hasta la depresión del codo, aquí se unen los huesos del brazo y antebrazo.	
Anchura de hombros	Longitud medida desde los extremos de los brazos en donde se encuentran los músculos sobresalidos.	
Anchura de pecho	Distancia horizontal que cubre todo el pecho. Medida que atraviesa los pezones; en las mujeres, se encuentra encima del esternón.	

Fuente: (Carmenate & Moncada, 2014).

1.12 Sistema de control para el desplazamiento de personas parapléjicas

1.12.1 Ventajas del uso de los recursos tecnológicos (TIC) y discapacidad

Gracias al progreso tecnológico, los usuarios con capacidades especiales superan sus limitaciones cada día, para ascender hacia su composición digital y social en equivalencia de

condiciones. El título integrador de la evolución tecnológica es indiscutible y, gracias a los sistemas de soporte para personas con capacidades especiales se promueve una composición sobresaliente en el ámbito laboral y social que genera una igualdad en las oportunidades y fomenta una sociedad más firme (Barrera, 2016).

En la actualidad muchas personas sufren de alguna discapacidad y se pueden notar reducidas sus posibilidades tanto profesionales como personales, sin embargo, gracias al adelanto de las tecnologías y los sistemas de soporte para personas con discapacidad avanzan hacia su composición digital y social en simetría de circunstancias (Barrera, 2016).

Las ventajas de las TIC para las personas con capacidades especiales son más que evidentes y también se pone de público en el nuevo informe “Discapacidad, integración y el papel de las TIC”, elaborado por la Fundación Vodafone y Cocemfe en el cual se destaca que la práctica de las nuevas tecnologías está divulgando entre las personas con algún tipo de discapacidad ya que (Barrera, 2016).

- Un 83% dispone de celular de los que un 62% es un celular inteligente.
- Casi 7 de cada 10 de los usuarios con discapacidad encuestados se conecta a habitual a Internet.
- Un 80% usa algún medio tecnológico en su jornada.
- Los usuarios con discapacidad visual son las que hacen una rutina más habitual del aparato móvil.
- Un 17% emplea algún ejemplo de bienes tecnológico o sistema de soporte para personas con algún tipo de discapacidad.

Ventajas que aportan las TIC a las personas con discapacidad

- Favorece la autonomía propia al tiempo de remediar problemas y trámites cotidianos. Mejora la autoestima gracias al práctica de recursos tecnológicos para comunicarse, conseguir información o permitir a oportunidades laborales.
- Les pone en relación de forma directa con asociaciones o personas con discapacidad en su mismo contexto con las que pueden instituir redes colaborativas.
- Les permite acomodar su hogar y sus tareas gracias al uso de sistemas de soporte para personas con discapacidad.

1.12.2 Clasificación de sistemas

Sistemas alternativos y aumentativos

Son medios y herramientas TIC al favor de usuarios con algún tipo de discapacidad visual o auditiva, que modifican la señal, aumentándola o cambiándola para lograr ser percibida de una forma más asequible. Como hemos examinado, la tecnología para discapacitados visuales es uno de los términos más populares dentro de las búsquedas de sistemas de soporte para personas con discapacidad y la podemos hallar en: (Barrera, 2016).

Los sistemas de tipo aumentativos se enfocan en personas con dificultades visuales y auditivas, pero que todavía conservan porción de sus capacidades sensoriales. La función de este aparato es aumentar la señal, la cual es captada por el sujeto sin ningún problema.

Los sistemas alternativos son medios que permiten a los usuarios, que es casi imposible que la información les llegue mediante una determinada particularidad sensorial, cambiar la naturaleza de esa información de tal forma que puedan consentir a ella en base de otra particularidad sensorial que la persona mantenga funcional (Barrera, 2016).

Ejemplos de estos recursos para personas con discapacidad son:

Tecnologías del habla: afirmación de voz, transformación texto-voz, etc.

Sistemas multimedia interactivos: son sistemas que procesan, almacenan y transmiten de forma integrada retratos, frecuencia, texto y datos, ofreciendo la oportunidad de proceder sobre los contenidos de los mismos, de manera que la persona interactúe con ellos (Barrera, 2016).

Comunicaciones avanzadas: videotelefonía o aparato de textos.

Sistemas alternativos y aumentativos de comunicación

Existen personas que por su tipo de discapacidad no pueden conseguir una comunicación clara y precisa con otras personas, por esta necesidad se desarrollaron estos tipos de sistemas, los cuales permiten alcanzar un código tanto verbal como oral. Los sistemas aumentativos son instrumentos que complementan la expresión oral, cuando, para los usuarios resulta difícil realizarlos por ellos mismos. (Barrera, 2016).

Tecnologías de acceso al ordenador

Acomodar la tecnología para usuarios con algún tipo de discapacidad en base a instrumentos, herramientas, interfaces adaptativas. Por ejemplo:

Señalizadores y pulsadores: herramientas que permiten al beneficiario adherirse a periféricos del computador, sin necesidad de cambiarlos o adaptarlos. (Barrera, 2016).

Teclados: En la actualidad existe una gran variedad de teclados que son utilizados por personas con capacidades especiales. Los cuales pueden ser: teclados especiales (más amplios de lo estándar o más reducidos para adaptarlos a la extensión de movimiento de los usuarios); teclado ergonómico (para adaptarse a la forma de las manos o los dedos, o para ser usados con una sola mano) (Barrera, 2016).

Ratones: ratón de bola (permite conducir el movimiento del cursor con la bola central que posee, sin necesidad de tener que desplazarlo sobre la mesa); ratones especiales; ratón de barrido;

ratón boca; ratón por infrarrojos (emulador de ratón mediante un sensor colocado en la cabeza del beneficiario y un dispositivo de control colocada sobre el monitor del computador) (Barrera, 2016).

Otros dispositivos: Pizarras electrónicas, bastones digitales, navegadores adaptados, pantallas táctiles, etc.

Tecnologías para la movilidad personal

Conectados con la movilidad de las personas y las barreras arquitectónicas. Estos instrumentos están encargados de la disminución de la discapacidad en las personas, realizando alguna actividad que la persona afectado no puede realizar por ella sola. Por ejemplo: brazos o soportes articulados, comunicadores adosados a silla de ruedas, micro-robots, grúas adaptadas (Barrera, 2016).

Dos ejemplos de esta tecnología para personas con discapacidad motriz son:

“**Phantom**” o dedo-robot para ciegos: mecanismo que, mediante una mezcla de escenarios de realidad virtual acoplados a un robot, al cual se articula un dedo, permite que las personas ciegas puedan sentir el tacto de los objetos representados informáticamente, esto les permite a los usuarios estimar si una estructura es cóncava o convexa, o reconocer la textura o el espesor de una pieza. Unido, por ejemplo, al mapa de una casa, la persona ciega puede hacerse un croquis mental de ella y evitar los posibles obstáculos (Barrera, 2016)

Sistemas de control de entornos.

Estos sistemas cuentan con avances tecnológicos que permiten a los usuarios con algún tipo de discapacidad, la utilización de dispositivos que hacen posible controlar el entorno en el cual se encuentran, además es más accesible y se enfoca a una comunicación más agradable.

Dos ejemplos de esta tecnología son:

Control ambiental: Un fácil modelo de ellas es la denominada “Domótica”, tecnología que sirve de soporte a muchas de las funcionalidades de los hogares inteligentes (Barrera, 2016).

Realidad aumentada: Utiliza nuevos dispositivos de entrada y salida en ayuda a personas con discapacidad, tales como: guantes sensitivos; posicionadores en el territorio (que permiten la orientación del beneficiario); lentes inteligentes auditivas (dotadas con sensores y tecnología de realidad aumentada que convierten los obstáculos en sonidos tridimensionales y les guían para evitarlos) (Barrera, 2016).

1.13 Sistemas de Control

Un sistema de control administra, ordena, dirige o regula el comportamiento de otros dispositivos o sistemas que utilizan bucles de control. Puede abarcar desde un único controlador de calefacción doméstica que usa un termostato que controla una caldera doméstica hasta grandes sistemas de control industrial que se utilizan para controlar procesos o máquinas.

Para el control de modulación continua, se usa un controlador de retroalimentación para controlar automáticamente un proceso u operación. El sistema de control compara el valor o estado de la variable de proceso (PV) que se controla con el valor o punto de ajuste (SP) deseado, y aplica la diferencia como señal de control para llevar la salida de la variable de proceso de la planta al mismo valor que el valor punto fijo.

Este control se realiza en base de las condiciones de variables externas al sistema de control (Variables físicas).

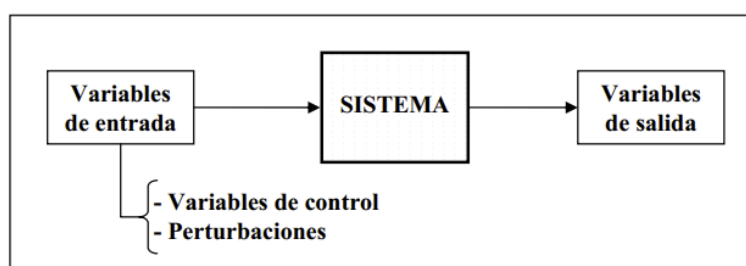


Figura 6 Sistema de control

Fuente: (Barrera, 2016).

1.13.1 Clasificación de los Sistemas de Control:

Sistema de Control de Lazo Abierto

Este tipo de control generalmente se lo usa con actuadores para obtener un estado deseado dependiendo del medio, este sistema trabaja únicamente con datos de la entrada del sistema ya que la salida es independiente del proceso.



Figura 7 Sistema de control abierto

Fuente: (Barrera, 2016).

Sistema de Control de Lazo Cerrado

El sistema posee retroalimentación en la salida, esto proporciona un mejor control sobre el proceso ya que la acción del control está en función de la salida del sistema, las variables del sistema van estar expuestas a una constante variación hasta lograr el control adecuado.



Figura 8 Sistema de control en lazo cerrado

Fuente: (Barrera, 2016).

Sistemas lineales y no lineales: un sistema es lineal si se aplica el principio de superposición.

En la práctica real, la mayoría de los sistemas son de naturaleza no lineal debido a la saturación, fricción, zona muerta, etc. La mayoría de los sistemas físicos no son lineales en cierta medida. Hay

algunas áreas de características dinámicas donde es posible realizar una linealización. Los procedimientos para encontrar soluciones a problemas de sistemas no lineales son complicados y requieren mucho tiempo, por lo que la mayoría de los sistemas no lineales se tratan como sistemas lineales para el rango limitado de operaciones con algunas suposiciones y aproximaciones.

Sistema de control de tiempo continuo y tiempo discreto.

En un sistema de tiempo continuo cada una de las variables del sistema son generadas de las funciones de una variable de tiempo continuo. En sistemas de tiempo discreto se conocen una o más variables del sistema en ciertos intervalos de tiempo discretos. No dependen continuamente del tiempo. Un ejemplo de este sistema son los microprocesadores ya que utilizan señales de tiempo discreto.

Sistemas de control determinista y estocástico:

- Se dice que un sistema de control es determinista cuando su respuesta a la entrada y el comportamiento a las perturbaciones externas es predecible y repetible.
- Si tal respuesta es impredecible, se dice que el sistema es de naturaleza estocástica.

Entrada única Salida única (SISO) y sistemas de salida múltiple de entrada múltiple (MIMO).

SISO:

Considere un sistema que tiene una entrada y una salida, por ejemplo, el ventilador tiene un regulador mediante el cual regulamos la velocidad y la salida está controlada. No hay retroalimentación; solo un punto de ajuste de entrada, es decir, la configuración del regulador, y solo una salida. SISO son sistemas de bucle abierto.

MIMO:

Cualquier sistema que tenga más de una entrada o salida. Las entradas pueden ser puntos de ajuste o retroalimentación o puntos de ajuste en cascada y las salidas pueden ser controladas, puntos de ajuste para el siguiente ciclo. En resumen, dichos sistemas son demasiado complicados.

1.13.2 Componentes de un Sistema de Control

Sensor: Estos elementos son capaces de convertir una señal física en una señal eléctrica de baja frecuencia, con lo cual se puede conseguir los datos de las variables que moldean el sistema de control.

Controlador: Se denomina controlador a la parte lógica de un sistema de control es decir el o los dispositivos que tomaran una decisión en función de las variables medidas y de la respuesta del sistema.

Actuador: Es el elemento que ejecuta las acciones que el Controlador ha visto como convenientes y esto modifica las variables de control.

1.13.3 La ingeniería en los sistemas de control

Consiste en la investigación y el análisis de las diferentes características de un sistema de control presente, para el diseño se escogen todos los componentes necesarios para formar el sistema de control que realice un trabajo específico, para este diseño se puede utilizar dos métodos los cuales son:

- Diseño por análisis.
- Diseño por síntesis.

El diseño por análisis está enfocado en reemplazar cada una de las características de un método ya existente o ya sea un modelo estandarizado, el diseño por síntesis en cambio necesita de todas

las especificaciones del sistema para poder definir su forma. Existen dos modelos de análisis los cuales son:

- Diagramas en bloque.
- Gráficas en flujo de análisis.

Los diagramas en bloque y las gráficas de flujo son representaciones gráficas que pretenden la reducción del transcurso corrector del sistema, no se toma en cuenta si estos están especializados ya sea esquemáticamente o mediante cálculos matemáticos. Los sistemas de ecuaciones diferenciales e integrales y demás procedimientos matemáticos se utilizan cuando se analizan partes específicas del sistema.

Dispositivos lógicos de control

En la actualidad los sistemas de control sostienen un nivel alto de complejidad en su diseño para poder dar soporte a procesos más exactos, por esta razón los dispositivos de control son cada vez más potentes y de mayor alcance, además que su facilidad de uso se ha ido incrementando pasando de la programación de bajo nivel hasta llegar a la programación de alto nivel o en algunos casos estos dispositivos simplemente se configuran desde interfaces gráficas.

Un dispositivo de control es aquel que posee un puerto digital el cual puede ser utilizado como entrada o salida de datos, este parámetro puede ser configurado mediante programación o interface gráfica.

Ventajas de la lógica programable

La lógica estándar es un método que no alcanzaba los niveles deseados por el sistema, mientras que las ventajas de la lógica programable son bastante superiores a la antigua, a continuación, se enlista cada una de las ventajas.

- Mayor Velocidad en el procesamiento de datos
- Menor Tamaño
- Adaptación a los cambios surgidos en un proyecto determinado
- Rapidez en el desarrollo de proyectos

Esta característica hace que implementar un proyecto estructurado bajo lógica programable sea más rápido, efectivo y de un rendimiento más alto en comparación a un proyecto hecho con lógica estándar.

1.14 Clasificación de Métodos para la Evasión de Obstáculos

Dentro de la categoría de robots móviles de ruedas, la principal tarea a desarrollar es evadir obstáculos durante su tránsito hacia la meta, para ello se han desarrollado series de algoritmos con la finalidad de minimizar errores y proporcionar una mayor autonomía cada vez más certera en el tránsito del robot móvil. Ante tal finalidad las referencias que se citan a continuación son las más representativas sobre robots móviles. En particular nos enfocaremos al problema de la evasión de obstáculos empleando campos potenciales con robots móviles cuya tracción principal son ruedas.

La teoría de control moderno circunscribe al robot móvil de ruedas convencionales como un sistema no-holónimo (Novel et al., 1991), cuando desarrolla la tarea de evasión de obstáculos, debido a la restricción que impone el elemento motriz convencional en el desplazamiento en dirección paralela al eje de rotación, (Divelbiss, 1997) considera que el movimiento se realiza sin deslizamiento.

El problema a solucionar consiste en evadir obstáculos en espacios de trabajo desconocidos o parcialmente conocidos, respetando las restricciones cinemáticas inherentes al modelo hasta que el móvil arribe a la meta, la diversidad de técnicas para lograr esto comienza con el desarrollo de

algoritmos primitivos (Borenstein y Koren, 1989) que detienen el tránsito del robot al momento de detectar un obstáculo; continuando con algoritmos sofisticados con capacidad de predecir la trayectoria del móvil al detectar un objeto y finaliza con algoritmos complejos con base a múltiples mediciones de sensores que detectan la dimensión y ubicación del obstáculo y logran planificar rutas hasta la meta. Del conjunto de estos algoritmos en la tarea de evasión de obstáculos, se identifican las siguientes tendencias (Borenstein y Koren, 1991)

CONTROL REFLEXIVO. Tiene como característica la ausencia de algún método cognoscitivo, es decir, no existe alguna metodología que planifique el tránsito. Con base a simples funciones detectan el obstáculo mediante algún tipo de sensor y ejecutan acciones básicas de evasión o seguimiento predefinido. La magnitud de respuesta depende de la magnitud del estímulo y se caracteriza por tiempos de respuesta rápidos.

CONTROL REACTIVO. Está basado en el modelo tradicional de inteligencia artificial de la cognición humana; siendo típicos algoritmos sofisticados y complejos que generalmente inician con la percepción del medio ambiente por algún tipo de sensor que provee la información al procesador digital, el cual generalmente construye un modelo del medio ambiente, tomando decisiones para la planificación del siguiente tránsito. Posee un nivel jerárquico de control. Son necesarios grandes recursos de cómputo que trabajen en tiempo real, estimulando un sistema electromecánico con tiempo de respuesta relativamente lento.

1.14.1 Métodos de control reflexivo

Ejemplos de algunos métodos de control reflexivo:

Método de seguimiento planeado. Se caracteriza por hacer uso de infraestructura especializada en pisos lisos, que en conjunto definen la trayectoria y orientación del móvil; en un principio eran

controlados con algoritmos primitivos, cuando se detectaba el campo magnético generado por conductores eléctricos inmersos en el concreto, ahora estos son sustituidos por tapetes magnéticos adheridos al piso, siendo detectado el campo magnético por sensores del tipo magnético montados en la estructura mecánica del móvil, y con la incorporación de sensores láser y ultrasónicos facilitan la orientación y navegación del robot, el tipo más común de robot móvil es el vehículo guiado automáticamente, gobernados llevan a cabo tareas de transporte de abastecimiento de materias primas y de productos terminados (SavantCart, 2006).

Método de comparación indirecta. En (Borenstein y Everett, 1997) enumera siete tecnologías de sensores de posición relativa, de la misma forma detalla sensores que describen la posición absoluta, ambos tipos de sensores son usados con métodos que estiman la posición en robots móviles dentro de un escenario de trabajo. Ejemplo de ello, es la plataforma móvil omnidireccional OmniMate (Borenstein, 2000), dotada con estos tipos de sensores, al móvil se le dirige remotamente y éste registra en formato digital la trayectoria que posteriormente reproduce.

Método de tele operación asistida. Se caracteriza en robots que actúan en dependencia de un agente controlador externo vinculado por algún canal de comunicación electrónica, el robot responde a comandos preestablecidos transmitiendo en todo momento hacia el controlador externo la información del medio ambiente y de la respuesta obtenida, ejemplo de esto (Sanchez et al., 2007) es el robot de asistencia quirúrgica da Vinci SiTM System.

Método inspirado en sistemas biológicos. BEAM (BEAMrobotics, 2009) Mecanismo electromecánico robótico inspirado en comportamientos neuronales de tipo biológico, cuyo funcionamiento radica en el estímulo-respuesta. Tilden con circuitos analógicos que emulan dichos comportamientos. Tales mecanismos están compuestos por sensores y electrónica analógica y estructuralmente, por materiales reciclados de aparatos electrodomésticos y de oficina. Una

derivación es el BEAM Robot, el cual combina la tecnología BEAM con electrónica digital programable, influenciado con un comportamiento horse-rider, la parte BEAM asume el papel de horse y cuando se presenten situaciones confusas, la parte de electrónica digital rider sugiere que se debe hacer.

1.14.2 Métodos de control reactivo

Ejemplos de algunos métodos de control reactivo:

Método de curvatura de velocidad (Simmons, 1996). Desarrollado por Reid G. Simmons. Es un método de evasión de obstáculos en robots móviles para superficies interiores, tiene como base la restricción en la optimización del espacio y la velocidad. Las restricciones físicas de la velocidad y aceleración, así como, la configuración de los obstáculos en el medio ambiente influye en la velocidad de traslación y rotación del robot móvil en tiempo real.

Método de detección de bordes (Borenstein y Koren, 1991). Para este método el algoritmo intenta determinar la existencia del borde vertical del obstáculo, permitiéndole navegar al robot móvil alrededor del obstáculo. Tiene la desventaja de detener el tránsito del robot frente al obstáculo y que continúe entorno a él, depende de la precisión en las lecturas de los bordes verticales del obstáculo que son detectadas por los sensores ultrasónicos, siendo probable que el algoritmo registre obstáculos donde no existen, debido a las siguientes causas: la limitada dirección del eje acústico entre el sensor y el borde vertical del objeto, interpretaciones erróneas (alias) debidas a la retroalimentación sonora de sensores vecinos y ruidos.

Método de cartografía de obstáculos (Borenstein y Koren, 1991). Es un método de evasión que aprovecha la representación de probabilidad de obstáculos en un medio ambiente cartesiano cuadrículado artificialmente por el robot móvil, donde cada celda contiene un valor de certeza que

indica la existencia de un obstáculo. El robot móvil permanece estacionado en postura panorámica y con sus múltiples sensores ultrasónicos, actualiza su cartografía de obstáculos y finalmente transita hacia la siguiente localidad.

Método de Aproximación de Ventana Dinámica para la Evasión de Colisiones (Quasny et al., 1991). Emplea un algoritmo en tiempo real, basado en la interacción de las velocidades de traslación y de rotación en un tiempo muy corto. Emplea comandos cuya composición dependen de las mediciones del progreso del robot móvil hacia la meta y la distancia relativa al próximo obstáculo.

Método de campos potenciales artificiales. Consiste en aplicar una función de campo potencial artificial en algoritmos de evasión de obstáculos en tiempo real para la navegación de robots móviles y planificación de trayectorias en robots articulados. Supone que la función potencial artificial está compuesta por un potencial atractivo y un potencial repulsivo y la combinación de estas promueven la navegación del móvil, el cual parte del inicio y transita hacia la meta.

1.15 Medidas de seguridad.

1.15.1 Análisis de seguridad

A la etapa de ejecutar una investigación de seguridad, en un diseño de aparato, en un estudio de peligrosidad o bien en la producción de normas y disposiciones de empleo, se han de tener presentes todos y cada uno de los peligros susceptibles de ser generados por las máquinas (Seguridad, 2015).

Análisis de peligros

Alcances de la máquina

- En el entorno, desplazamiento y recorridos.

- En la práctica-condiciones de manejo.
- En el tiempo-vida total o de las partes.

Posibles situaciones que pueden afectar a la maquina

En su ensamble.

En su manutención.

- Transporte.
- Elevación

En su instalación.

En su puesta en marcha.

En su funcionamiento.

- Manteniendo el control.
- Contra fallo.
- Contra error.

En su mantenimiento.

En su puesta fuera de servicio.

Valoración del riesgo

Para la valoración del peligro se ha de tener presente:

- Si existe alguna posibilidad que se genere algún tipo de daño.
- La superior dificultad previsible resultante de este daño.

La posibilidad de producirse un daño está relacionada con la exhibición al riesgo (periodicidad de acceso y persistencia en la zona peligrosa), así como con la habilidad de desencadenarse un fracaso. La dificultad de los daños puede reformar en función de numerosos factores que se debe

pretender prever. El daño que es predecible se puede considerar como el más peligroso, por eso es importante considerarlo.

Balance económico

En la designación de una o varias medidas de seguridad, se debe pretender llegar a una proporción entre:

- La seguridad en sí misma.
- Los costos de las medidas de seguridad además de la elaboración y utilización de la máquina.
- La capacidad del aparato para trabajar su puesto (sin entorpecimientos) y la habilidad de ejecutar su mantenimiento.

1.15.2 Medidas de Seguridad para el sistema

- Se recomienda examinar a su clínico o terapeuta antes de emprender un programa de bipedestación (Rehab, 2016).
- Inspeccione periódicamente el dispositivo para verificar que todas las tuercas, pernos y piezas ajustables estén perfecto asegurados.
- No haga ajustes al aparato mientras el beneficiario se encuentre parado.
- Los movimientos violentos pueden hacer inclinar el equipo
- El dispositivo electrónico del ascensor eléctrico podría hallarse afectado por Interferencias de Frecuencias de Radio e Interferencias Electromagnéticas. Se debe tener cuidado al ocupar equipos de comunicación portátiles y/u otros dispositivos electrónicos en cercanía de dichos equipos. En caso de observar una conducta errática, utilizar el desbloqueo mecánico para descender la unidad a la posición

de asiento en forma inmediata y desconectar la unidad hasta que haya perdido la interferencia.

- Se recomienda quitar las baterías si el aparato no va a utilizarse por una etapa de 6 meses o más.

1.15.3 Normativa para el diseño de rampas estandarizadas

La pendiente, la cual representa el ángulo de inclinación de la plataforma, es fundamental en el diseño de la rampa puesto que es una de las condiciones que más afecta a la accesibilidad de esta, a continuación, se muestra el porcentaje de la pendiente en rampas normalizadas: (Jimenez, 2016).

- Rampas que no pueden ser utilizadas poseen una Pendiente de 12%
- Rampa menor a tres metros de longitud, debe tener una Pendiente Máxima de 10%
- Rampa menor a seis metros de longitud, debe tener una Pendiente Máxima de 8%
- Rampa mayor a seis metros de longitud, debe tener una Pendiente Máxima de 6%

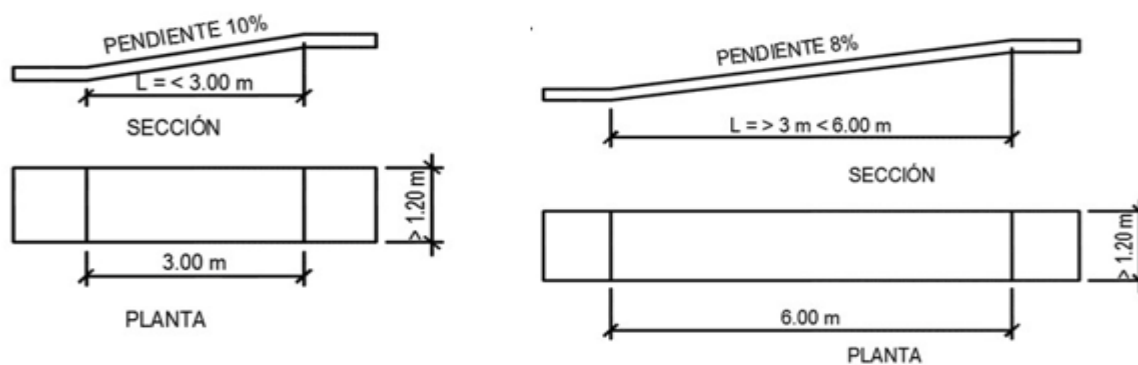


Figura 9 Diseño de rampas estandarizadas

Fuente: (Jimenez, 2016).

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL CONTROLADOR BIESTABLE

El capítulo se basa en el diseño electrónico del bipedestador. Se inicia con la planeación de los módulos de diseño en donde se presentan las alternativas de los elementos a utilizar, después de realizar las tablas de ponderación se establece los elementos que se utilizarán para la implementación de la parte de electrónica y control de la estación bipedestal. Se realiza el dimensionamiento de baterías, motores, sensores que se implementarán. Se desarrolla diagramas de flujo que gobiernan el funcionamiento del bipedestador. Mediante un software se va modelando cada uno de los circuitos eléctricos utilizados para el control del bipedestador. Se realiza un análisis del modelo matemático que rige el sistema de traslación. Se explica la arquitectura y navegación de la HMI diseñada en App Inventor para el funcionamiento inalámbrico. Y se confluye con los diagramas de flujo de la programación.

2.1 Factibilidad y planeación

2.1.1 Estructura funcional

Se establecen las características técnicas más importantes a fin de determinar las posibilidades para implementar los diseños. En base a los objetivos planteados definimos los subsistemas para el desarrollo del sistema electrónico. Además, se analiza las diferentes funciones que deben realizar cada uno de los subsistemas. Considerando los siguientes módulos mostrados en la Tabla3 para el diseño electrónico del bipedestador.

Tabla3*Subsistemas definidos para el diseño electrónico*

No.	Característica Técnica	Función
1	Sensaje distancia	Determina la detección de un obstáculo o la culminación del área de desplazamiento.
2	Sensaje inclinaciones	Determina la detección de inclinaciones.
3	Tarjeta de control	Determina la tarjeta encargada de ejecutar el algoritmo de control.
4	Medio de transmisión de datos	Determina el medio que se utilizará para realizar la transmisión de datos.

El proceso de diseño de un producto según (Ulrich & Eppinger,2012), presenta dos etapas:

- Diseño Preliminar: en esta etapa se enumeran, evalúan y selecciona las alternativas de diseño.
- Diseño Final: en esta etapa se desarrollan las alternativas seleccionadas. Para el presente proyecto, se consideran el diseño electrónico, de control y de software.

2.2 Subsistema electrónico

2.2.1 Tipo de actuador

a. Alternativas de diseño

Actuador Neumático

Transforman la energía acumulada en el aire comprimido en trabajo mecánico de movimiento circular o movimiento rectilíneo. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos: cilindros neumáticos y motores neumáticos.

Ventajas

- Bajo costo
- Rapidez

- Sencillos
- Robustos

Desventajas

- Requieren de instalaciones especiales
- Ruidosos

Actuador Hidráulico

Obtienen su energía de un fluido a presión, generalmente algún tipo de aceite mineral. Los actuadores hidráulicos se clasifican en tres grandes grupos: cilindros hidráulicos, motores hidráulicos y válvulas hidráulicas. La principal ventaja de estos actuadores es su relación potencia/peso.

Ventajas

- Rápidos
- Alta capacidad de carga
- Presentan estabilidad frente a cargas estáticas.

Desventajas

- Requieren de instalaciones especiales
- Son de difícil mantenimiento
- Resultan poco económicos

Actuador Eléctrico

Transforman la energía eléctrica en energía mecánica rotacional. Podemos encontrar tres grandes grupos de actuadores eléctricos: motores de corriente continua, motores de corriente alterna y motores de paso a paso.

Ventajas

- Precios fiables
- Silenciosos
- Su control es sencillo
- Son de una fácil instalación

Desventajas



- Potencia limitada

b. Evaluación y selección de alternativas

A continuación, en la Tabla4 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.

Tabla4

Alternativas selección tipo de actuador

Solución	Imagen	Características
Actuador neumático Solución A		<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Rapidez - Sencillos - Robustos
Actuador hidráulico Solución B		<ul style="list-style-type: none"> - Rápidos - Alta capacidad de carga - Presentan estabilidad frente a cargas estáticas.

CONTINÚA





Fuente: (SoloRobotica, 2018)

Para la selección del tipo de actuador se considera los siguientes factores:

- Instalación
- Control
- Costo

En la Tabla5 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

Tabla5

Ponderación de criterios de evaluación del tipo de actuador

	Instalación	Control	Costo	TOTAL	
Instalación	-	10	10	20.00	44.4%
Control	5	-	5	10.00	22.2%
Costo	10	5	-	15.00	33.3%
				45.00	100.0%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla6, Tabla7, Tabla8) para optimizar la selección y que el diseño cumpla con los requerimientos del usuario.

Tabla6

Ponderación de instalación para las alternativas del tipo de actuador

Instalación	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	1/10	5	5.10	16.9%
Solución B	1/10	-	5	5.10	16.9%
Solución C	10	10	-	20.00	66.2%
				30.20	100.0%

Tabla7*Ponderación de control para las alternativas del tipo de actuador*

Control	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	5	1/10	5.10	14.4%
Solución B	1/5	-	10	10.20	28.9%
Solución C	10	10	-	20.00	56.7%
				35.30	

Tabla8*Ponderación de costo para las alternativas del tipo de actuador*

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	1/5	5	5.20	25.4%
Solución B	1/5	-	1/10	0.30	1.5%
Solución C	5	10	-	15.00	73.2%
				20.50	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla9 por ser la que cumple con los criterios planeados.

Tabla9*Conclusión en la selección del tipo de actuador*

	Instalación	Control	Costo	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0.0751	0.0321	0.0846	19.2%	2
Solución B	0.0751	0.0642	0.0049	14.4%	3
Solución C	0.2943	0.1259	0.2439	66.4%	1
				100.0%	

2.2.2 Motores

Estos elementos son los encargados de generar la energía traslacional que moverá al bipedestador.

a. Alternativas de diseño

Motor paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Ventajas

- Voltajes de operación de 6 a 36 voltios
- Control sencillo
- Fácil montaje

Desventajas

- El funcionamiento a bajas velocidades no es suave, ya que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto.

Servomotor

Es un dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación y mantenerse estable en dicha posición.

Ventajas

- Baja Inercia
- Elevado par de pico

Desventajas

- Potencia limitada

Motor DC

El motor de corriente continua (motor DC) es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. En algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales.

Características

- Convertir energía eléctrica CC en energía mecánica rotativa.
- Permiten Aceleración suave, retardo o desaceleración mediante la variación del voltaje.
- Cambios de velocidad controlados de amplio rango.

b. Evaluación y selección de alternativas

A continuación, en la Tabla 10 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.

Tabla10

Alternativas para la selección del actuador

Solución	Imagen	Características
Servomotor TowerPro MG995		<ul style="list-style-type: none"> - Par de funcionamiento: 15 kg / cm - Costo: \$15 - Voltaje de operación: 4.0 a 7.2 volts - Velocidad de giro a 4.8 volts: 0.2 sec / 60 ° - Compatible con tarjetas como Arduino y microcontroladores que funcionan a 5 volts
Motor paso a paso		<ul style="list-style-type: none"> - Motor bipolar (2 fases) - Torque de 5,5 kilogramos por centímetro = 0,54 newtons por metro - Pasos de 1,8° o 200 pasos para una revolución - Voltaje de operación entre 4,2 - 36 VDC - Costo: \$30
Motor Dc Con Micro Reductor		<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad: 50RPM - Torque: 15 Kg.cm - Voltaje de operación: 12 V - Costo: \$35

Para la selección del Actuador se considera los siguientes factores:

- Torque
- Voltaje de operación

En la Tabla 11 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

Tabla11

Ponderación de criterios de evaluación para la selección del motor

	Torque	Velocidad de operación	Peso	TOTAL	
Torque	-	10	10	20.00	44.4%
Velocidad de operación	5	-	5	10.00	22.2%
Peso	10	5	-	15.00	33.3%
				45.00	100%

A continuación, se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14) para optimizar la selección.

Tabla12

Ponderación de torque para alternativas del motor

Torque	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	1/10	10	10.10	33.3%
Solución B	1/5	-	5	5.20	17.2%
Solución C	10	5	-	15.00	49.5%
				30.30	100.0%

Tabla13

Ponderación de velocidad de operación para alternativas del motor

Velocidad de operación	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	5	10	15.00	42.5%
Solución B	1/5	-	10	10.20	28.9%
Solución C	10	1/10	-	10.10	28.6%
				35.30	100%

Tabla14

Ponderación de peso para alternativas del motor

Peso	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	5	1/5	5.20	14.8%
Solución B	5	-	10	15.00	42.6%
Solución C	5	10	-	15.00	42.6%
				35.20	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla 15 por ser la que cumple con los criterios planeados.

Tabla15

Conclusión en la selección del motor

	Torque	Velocidad de operación	Peso	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0.1481	0.0944	0.0492	29.2%	2
Solución B	0.0763	0.0642	0.1420	28.3%	3
Solución C	0.2200	0.0636	0.1420	42.6%	1
				100.0%	

2.2.3 Batería

La batería es uno de los métodos de suministro de energía más utilizados en aplicaciones inalámbricas de robótica.

a. Alternativas de diseño

Polímero de Litio

Las baterías LiPo se caracterizan por ser ligeras y por poder almacenar una gran cantidad de energía. Normalmente las baterías LiPo están compuestas por multitud de celdas. Cada celda tiene un voltaje máximo de entre 3,7 y 4,2V dependiendo de los materiales con los que se ha hecho la batería. (Wikipedia, 2018)

Plomo Acido



Suele proporcionar una tensión de 6 V, 12 V u otro múltiplo de 2, ya que la tensión que suministra cada celda es de 2 V. Pueden suministrar unas intensidades de corriente relativamente grandes, lo que las hacen ideales para los motores de arranque. (Wikipedia, 2018)

b. Evaluación y selección de alternativas

A continuación, en la Tabla16 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.

Tabla16

Alternativas para la selección de la batería

Solución	Imagen	Características
Polímero de Litio Solución A		<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia Carga/Descarga 99.8% - Costo Alto - Durabilidad <1000 ciclos
Plomo Ácido Solución B		<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia Carga/Descarga 50-95% - Costo Medio - Durabilidad 500-800 ciclos

Para la selección de la batería se considera los siguientes factores:

- Eficiencia
- Costo
- Durabilidad

En la Tabla17 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

Tabla17

Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la batería

Criterio	Eficiencia	Costo	Durabilidad	TOTAL	
Eficiencia	-	10	1	11.00	40%
Costo	10	-	5	15.00	55%
Durabilidad	1	1/5	-	1.20	4%
				27.20	100%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla18,Tabla19,

Tabla20) para optimizar la selección y que el diseño cumpla con los requerimientos del usuario.

Tabla18*Ponderación de eficiencia para alternativas de la batería*

Eficiencia	A	B	TOTAL	
Solución A	-	1/10	0.10	1%
Solución B	10	-	10.00	99%
			10.10	100%

Tabla19*Ponderación de costo de operación para alternativas de la batería*

Costo	A	B	TOTAL	
Solución A	-	5	5.00	50%
Solución B	5	-	5.00	50%
			10.00	100%

Tabla20*Ponderación de durabilidad para alternativas de la batería*

Durabilidad	A	B	TOTAL	
Solución A	-	1/5	0.20	4%
Solución B	5	-	5.00	96%
			5.20	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla21 por ser la que cumple con los criterios planeados.

Tabla21*Conclusión en la selección de la batería*

	Eficiencia	Costo	Durabilidad	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0.0040	0.2757	0.0017	28%	2
Solución B	0.4004	0.2757	0.0424	72%	1
				100%	

2.2.4 Medición distancia

Los sensores de distancia y transductores de distancia, están pensados para realizar la medida de distancia lineal o desplazamiento lineal de una forma automatizada, ya que proporcionan una señal eléctrica según la variación física, en este caso la variación física es la distancia.

Los rangos de medida disponibles son muy diversos, según el tipo de sensor de distancia empleado. Así pues, hay modelos que tienen rangos de unas pocas micras y otros modelos que pueden llegar a medir cientos de metros. (Sensing, 2018)

a. Alternativas de diseño

Ultrasónico

El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio por lo que está reemplazando a los sensores polaroid en los robots más recientes. (Electronilab, 2018)

Infrarrojo

Un detector de obstáculos infrarrojo es un dispositivo que detecta la presencia de un objeto mediante la reflexión que produce en la luz. El uso de luz infrarroja (IR) es simplemente para que esta no sea visible para los humanos.

Constitutivamente son sensores sencillos. Se dispone de un LED emisor de luz infrarroja y de un fotodiodo (tipo BPV10NF o similar) que recibe la luz reflejada por un posible obstáculo. (Electronilab, 2018)

b. Evaluación y selección de alternativas

A continuación, en la Tabla22 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.

Tabla22
Alternativas Sensaje distancia

Solución	Imagen	Características
Ultrasónico Solución A		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$2 - Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm - Tensión de alimentación: 5 Vcc - Frecuencia de trabajo: 40 KHz - Rango máximo: 4.5 m - Rango mínimo: 1.7 cm - Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μS. - Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μS.
Infrarrojo Solución B		<ul style="list-style-type: none"> - Número de modelo: FC-51 - Ángulo de cobertura: 35 ° - Voltaje de funcionamiento: 3.0V – 6.0V - Rango de detección: 2 cm – 30 cm (ajustable con el potenciómetro) - PCB tamaño: 3,1 cm (largo) x 1,4 cm (W) - Dimensión total: 4,5 cm (L) x 1,4 cm (W), 0.7cm (H) (WebRobotica, 2018)

Para la selección del sensor de distancia se considera los siguientes factores:

- Rango de operación
- Tiempo de respuesta
- Costo

En la Tabla23 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

Tabla23
Ponderación de criterios de evaluación del Sensaje de distancia

Criterio	Rango de operación	Tiempo de respuesta	Costo	TOTAL	
Rango de operación	-	10	10	20.00	55%
Tiempo de respuesta	10	-	5	15.00	41%

Costo	1	1/5	-	1.20	3%
				36.20	100%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla24,Tabla25,Tabla26) para optimizar la selección.

Tabla24

Ponderación de rango de operación para las alternativas del sensaje de distancia

Rango de operación	A	B	TOTAL	
Solución A	-	10	10.00	67%
Solución B	5	-	5.00	33%
			15.00	100%

Tabla25

Ponderación de tiempo de respuesta para las alternativas del Sensaje de distancia

Tiempo de respuesta	A	B	TOTAL	
Solución A	-	5	5.00	50%
Solución B	5	-	5.00	50%
			10.00	100%

Tabla26

Ponderación de costo para las alternativas del material del sensaje de distancia

Costo	A	B	TOTAL	
Solución A	-	1/5	0.20	4%
Solución B	5	-	5.00	96%
			5.20	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla27 por ser la que cumple con los criterios planeados.

Tabla27

Conclusión en la selección del Sensaje de distancia

	Rango de operación	Tiempo de respuesta	Costo	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0.3683	0.2072	0.0013	58%	1

Solución B	0.1842	0.2072	0.0319	42%	2
				100%	

Se selecciona el sensor de distancia HCSR-04 para la detección de obstáculos cuyos cálculos de distancia se basan en las ecuaciones mostradas a continuación:

$$Velocidad = \frac{Espacio}{Tiempo} \quad (2.1)$$

$$Velocidad\ del\ sonido = 343 \frac{m}{s} = 0.0343\ cm/us$$

$$Espacio = 0.0343 * Tiempo$$

Como la onda recorre el camino dos veces, se divide para dos para conocer la distancia a la que se encuentra el obstáculo.

$$Espacio = 0.01715 * Tiempo \quad (2.2)$$

2.2.5 Detección de inclinación

Se utilizará para la detección de inclinación el giroscopio MPU 6050 que presenta las características mostradas en la Tabla28 .



Figura 10 Giroscopio MPU 6050

Fuente: (Robotshop, 2018)

Tabla28

Características MPU 6050

MPU6050

Salida digital	6 eies
Sensibilidad	± 250 , ± 500 , ± 1000 y ± 2000 dps
Voltaje alimentación de	2.37 a 3.46 V
Voltaje lógico	1.8 V $\pm 5\%$ o VDD

Fuente: (Robotshop, 2018)

2.2.6 Fines de carrera

Se utilizará el fin de carrera de la Figura 11 cuyas características se detallan en la Tabla29.



Figura 11. Sensor Fin de carrera

Fuente: (Electrónica Embajadores, 2018)

Tabla29

Características Fin de carrera

Z-15GW255-B Omron 151808	
Valor de Corriente	15 A
Voltaje máximo AC	500 V
Voltaje máximo DC	250 VDC
Fuerza de operación	1.27 N

Fuente: (Uptronik, 2018)

2.2.7 Mando de control

En el mando de control se utilizarán pulsadores, interruptores y un joystick que permitirá dar el movimiento y giro a la plataforma. En la Figura 12 se muestra el joystick utilizado cuyas características técnicas se muestran en la Tabla30.



Figura 12. Joystick

Fuente: (Mil YunPartes, 2016)

Tabla30

Características Joystick

Módulo Joystick	
Voltaje de la bobina	12 VDC
Corriente	15 mA– 20 mA
Dimensiones	4 cm * 2.6 cm * 3.2 cm
Peso	14 g

Fuente: (Mil YunPartes, 2016)

2.3 Subsistema de control

2.3.1 Tipo de microcontrolador

El microcontrolador se encarga de ejecutar el algoritmo de control y de procesar la información de los sensores. La adecuada selección del tipo de controlador permite un diseño óptimo y económico para el funcionamiento del sistema.

a. Alternativas de diseño

AVR (Advanced Virtual RISC)

Es una familia de microcontroladores de 8 bits, fabricados por la empresa noruega ATMEL.

Características

- Compiladores de lenguaje C, C++, Basic, cuyos IDE se pueden descargar gratuitamente en la web.
- En el microcontrolador se incluye un bloque oscilador formado por un arreglo RC para proveer la señal de reloj.
- Reducido consumo de voltaje y corriente.
- Bajo costo.
- Amplia disponibilidad y difundido mundialmente
- Gran poder de procesamiento
- Ejecuta la mayoría de sus instrucciones en un solo ciclo de reloj.

PIC (Peripheral Interface Controller)

Es una familia de microcontroladores de 8 bits, fabricados por la empresa estadounidense MICROCHIP.

Características

- Compilador de lenguaje C, C++, Basic, cuyos IDE tienen costo.
- Sencillo de grabar.
- Alta difusión global, por lo que se tiene alcance de gran cantidad de información.
- Eficiencia de código: gran capacidad de comparación de programas.
- Posibilidad de protección de código.

- Necesita múltiples ciclos de reloj por instrucción.

b. Evaluación y selección de alternativas




De acuerdo con los requerimientos del proyecto se concluye que el tipo de microcontroladores para uso en el proyecto es el AVR. Debido a factores como:

- Eficiencia del microcontrolador.
- Costo
- Software de programación se lo puede descargar libremente en internet.

A continuación, en la Tabla31 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.

Tabla31

Alternativas para la selección del microcontrolador

Solución	Imagen	Características
ATMEGA 328P Solución A		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$3.31 - Memoria Flash:32 KB - SRAM:2KB - Frecuencia máxima: 16MHz - Canales PWM:6
ATMEGA 168 Solución B		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$5.42 - Memoria Flash:16 KB - SRAM:1 KB - Frecuencia máxima: 16MHz - Canales PWM:6 -
ATMEGA 8 Solución C		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$4.32 - Memoria Flash:8 KB - SRAM:1 KB - Frecuencia máxima: 16MHz - Canales PWM:3

En la Tabla32 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

Tabla32

Ponderación de criterios de evaluación para la selección del microcontrolador

	Eficiencia	Costo	Software	TOTAL	
Eficiencia	-	10	10	20.00	44.4%
Costo	5	-	5	10.00	22.2%
Software	10	5	-	15.00	33.3%
				45.00	100.0%

A continuación, se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver

Tabla33,Tabla34,

Tabla35) para optimizar la selección y que el diseño cumpla con los requerimientos del usuario.

Tabla33

Ponderación de la eficiencia para alternativas del microcontrolador

Eficiencia	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	10	10	20.00	79.1%
Solución B	1/10	-	5	5.10	20.2%
Solución C	1/10	1/10	-	0.20	0.8%
				25.30	100.0%

Tabla34

Ponderación del costo para alternativas del microcontrolador

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	10	10	20.00	39.8%
Solución B	1/5	-	10	10.20	20.3%
Solución C	10	10	-	20.00	39.8%
				50.20	

Tabla35

Ponderación del software para alternativas del microcontrolador

Software	Solución A	Solución B	Solución C	TOTAL	
Solución A	-	1/5	5	5.20	25.4%
Solución B	1/5	-	1/10	0.30	1.5%
Solución C	5	10	-	15.00	73.2%
				20.50	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla36 por ser la que cumple con los criterios planeados.

Tabla36

Conclusión en la selección del microcontrolador

	Eficiencia	Costo	Software	TOTAL
Solución A	0.3513	0.0885	0.0846	52.4%
Solución B	0.0896	0.0452	0.0049	14.0%
Solución C	0.0035	0.0885	0.2439	33.6%
				100.0%

De acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla36, se selecciona la solución con la prioridad 1, por ser la que cumple de mejor manera los criterios planteados. Por lo tanto, se selecciona el microcontrolador ATMEGA 328P, el cual presenta las características que se muestran en la Tabla37.

Tabla37

Conclusión en la selección del microcontrolador

Características	Valor
PWM	6 canales
Voltaje de operación	de 1.8 a 5.5 V
Temperatura de trabajo	de -40°C a 105 °C
ADC	10 bits
Canales ADC	6
Timers	3
Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

2.3.2 Medio de transmisión de datos

El medio de transmisión de datos permitirá la comunicación entre el bipedestador y la computadora.

a. Alternativas de diseño

Comunicación Serial

Un puerto serial es conocido también como RS-232. El término serial se refiere a los datos enviados mediante un solo cable, es decir los bits se envían uno detrás de otro.

Características

- La comunicación serial puede ser síncrona o asíncrona
- Fácil administración y configuración
- Se utiliza para transmitir datos en formato ASCII
- Bajo costo
- Permite trabajar en grandes distancias entre el emisor y el receptor (máx. 12000m)

Comunicación Bluetooth

Es un protocolo de comunicación, se basa en una emisión de radiofrecuencia de baja potencia.

Características

- Elimina todo tipo de cables para las conexiones entre equipos
- Fácil instalación
- Lenta velocidad de transmisión
- Reducido alcance (máx. 30 m)
- Conexión universal para distintos dispositivos
- Soporta diversos tipos de datos para el envío
- Buffer limitado para transferencia de datos
- Dificultad para emparejar más de dos dispositivos

b. Evaluación y selección de alternativas



De acuerdo con los requerimientos del proyecto para la comunicación de datos entre la PC y tarjeta de control, se necesita principalmente factores como:

- Debe ser económica
- La comunicación debe ser rápida
- Se debe transmitir cadenas de caracteres

- La distancia de transmisión es corta
- Debe permitir una conexión segura y confiable

Tabla38

Alternativas para la selección del medio de transmisión de datos

Solución	Imagen	Características
Comunicación Serial D-SUN USB a TTL		<ul style="list-style-type: none"> - Comunicación rápida - Distancia de transmisión corta - Costo: \$5 - Velocidad: 112Kbps - Tamaño de datos: 1 bit de inicio + 5 a 8 bits de datos + 1 bit de parada
Módulo Bluetooth		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$7.50 - Velocidad de 2 a 3 Mbps - Tamaño de datos: 8 bits de datos + 1 bit de parada

Para la selección de los medios de transmisión de datos se considera los siguientes factores:

- Costo
- Velocidad
- Seguridad

En la Tabla39 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

Tabla39

Ponderación de criterios de evaluación para el medio de transmisión de datos

Criterio	Costo	Velocidad	Seguridad	TOTAL	
Costo	-	10	10	20.00	55%
Velocidad	10	-	5	15.00	41%
Seguridad	1	1/5	-	1.20	3%
				36.20	100%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla40, Tabla41,

Tabla42,Tabla43) para optimizar la selección.

Tabla40

Ponderación de costo para las alternativas del medio de transmisión de datos

Costo	A	B	TOTAL	
Solución A	-	5	5.00	33%
Solución B	10	-	10.00	67%
			15.00	100%

Tabla41

Ponderación de velocidad para las alternativas del medio de transmisión de datos

Velocidad	A	B	TOTAL	
Solución A	-	1/10	0.10	1%
Solución B	10	-	10.00	99%
			10.10	100%

Tabla42

Ponderación de seguridad para las alternativas del medio de transmisión de datos

Seguridad	A	B	TOTAL	
Solución A	-	5	5.00	33%
Solución B	10	-	10.00	67%
			15.00	100%

Tabla43

Conclusión en la selección de diseño del medio de transmisión de datos

	Costo	Velocidad	Seguridad	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A				20%	2
	0.1842	0.0041	0.0110		
Solución B				80%	1
	0.3683	0.4103	0.0221		
				100%	

De acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla43, se selecciona la solución con la prioridad 1, por ser la que cumple de mejor manera los criterios planteados. Por lo tanto, se selecciona el Bluetooth HC-05 como medio de transmisión de datos cuyas características se muestran en la Tabla44.

Tabla44

Conclusión en la selección del medio de transmisión de datos

Características	Valor
Frecuencia	2.4 GHz
Potencia de emisión	<4 dB
Alcance	5 a 10 m
Voltaje de alimentación	3.6 a 6 V
Dimensiones totales	1.7 cm x 4 cm

2.3. Control del actuador lineal

Se utiliza un módulo relé de dos canales (ver Figura 13) va conectado a cada fase del actuador lineal Gnd o Vcc, para conseguir que el actuador gire en uno u otro sentido.



Figura 13 Módulo relé dos canales

Fuente: (Electronilab, 2018)

Las características técnicas del módulo relé de dos canales se muestra en la Tabla45.

Tabla45*Características módulo relé dos canales*

Módulo relé dos canales	
Voltaje de la bobina	12 VDC
Corriente	15 mA– 20 mA
Longitud del cuerpo	17 mm *50mm * 40mm
Temperatura	-15 a +95 °C

Fuente: (Electronilab, 2018)

2.4 Diseño de la batería

Para la selección de las baterías se utiliza las relaciones de potencia mecánica y la potencia eléctrica con las siguientes variables mostradas en la ecuación 2.3.

$$T * \omega = I * V \quad (2.3)$$

Donde T es el torque de motor, ω es la velocidad angular, I es la intensidad de corriente y V es el voltaje de operación.

Se considera como torque máximo del motor 1.96 Nm , la velocidad angular $5.81 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ y el voltaje de operación para este tipo de aplicaciones es de 12 V .

Se procede a calcular la corriente necesaria para que se puedan mover los motores del bipedestador como se observa en la ecuación 2.4.

$$I = \frac{T * \omega}{V} \quad (2.4)$$

$$I = \frac{1.96 \text{ Nm} * 5.81 \text{ rad/s}}{12 \text{ V}}$$

$$I = 0.95 \text{ A}$$

Se establece la capacidad de la batería, determinado por la intensidad de corriente capaz de suministrar en un tiempo establecido, en este caso se considera un tiempo de uso de 2 h como se observa en la ecuación 2.5.

$$c = I * t \quad (2.5)$$

$$c = 0.95 \text{ A} * 2 \text{ h} = 1.9 \text{ Ah}$$

Donde c es la capacidad de la batería, I es la intensidad de corriente y t es el tiempo de uso de la batería. Para hallar la capacidad de la batería final es necesario multiplicar la expresión por el factor de carga y por el factor de seguridad.

El factor de carga f_c el cual establece que la capacidad de una batería debe ser de 1.2 veces el valor dimensionado para evitar la caída de tensiones, debido a las descargas de las baterías, no afecten el funcionamiento.

El factor de seguridad f_z el cual permite omitir errores en el proceso de dimensionamiento. Para el caso de las baterías el valor recomendado es de 1.1 veces el valor dimensionado. Calculando el c_{final} mostrado en la ecuación 2.6.

$$c_{final} = c * 1.2 * 1.1 \quad (2.6)$$

$$c_{final} = 1.9 Ah * 1.2 * 1.1$$

$$c_{final} = 2.5 Ah$$

Se utiliza un motor SF7152 de 125 kg*cm cuyas características se muestran en la Tabla46.

Tabla46

Características motor

MOTOR SF7152	
Par de torsión	125 kg*cm
Velocidad de operación	150 rpm
Corriente	14.26 A
Voltaje	12 V

Para el control de los motores se utiliza un módulo VNH2SP30 Stepper Motor Driver Monster 30 A que se muestra en la Figura 14 cuyas características se detallan en la Tabla47.



Figura 14 Stepper Motor Driver Monster 30A

Fuente: (Microjpm, 2018)

Tabla47

Características Stepper Motor Driver Monster 30A

VNH2SP30		
Voltaje máximo		16
		V
Corriente máxima	nominal	30
		A
Continua Corriente		14
		A
Frecuencia máxima de PWM		20
		KhZ

Fuente: (Microjpm, 2018)

2.5 Diseño de la placa de circuitos impresos

Se realiza el diseño de la placa para el circuito de carga de la batería y para la conexión de los elementos de Sensaje y transmisión de datos.

2.5.1 Cálculo del ancho de pista

En el diseño de PCBs, es importante el cálculo del ancho de la pista, ya que dependiendo de la corriente que vaya a través de la misma puede ocasionar daños en la placa y en los elementos.

El cálculo del ancho de pista también involucra dos parámetros más que son la temperatura y la altura, a continuación, se detalla los parámetros para la placa superior.

- Corriente máxima 3A

- Diferencia de altura con el ambiente 15 °C
- Altura de 35 micras

$$\text{ancho de pista} = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_1 \times \Delta T^{k_2}}\right)^{\frac{1}{k_3}}} \quad (2.7)$$

ya que la pista es externa las constantes tienen los siguientes valores:

- $K_1=0.0647$
- $K_2=0.4281$
- $K_3=0.6732$

Reemplazando las constantes se obtiene el ancho de la pista = 20 mil. Con el cálculo para el ancho de la pista se realiza el diseño de la PCB en proteus para la placa.

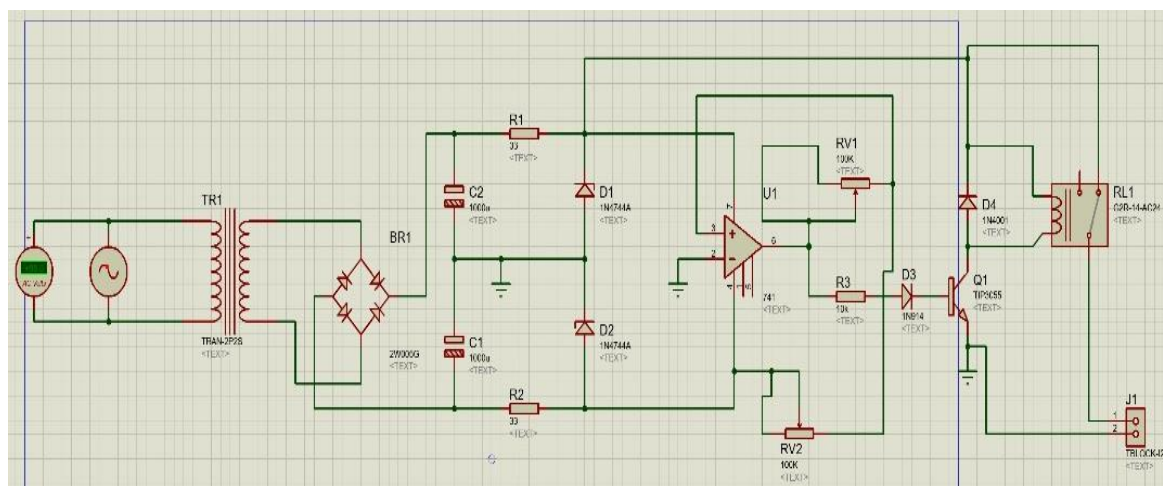


Figura 15 Circuito de carga de batería

En la Figura 16 se muestra la conexión de los elementos de electrónica en los que se incluye:

- 1 sensor giroscopio MPU6050
- 5 sensores ultrasonidos HC-SR04
- 1 bluetooth HC-05
- 1 driver puente H 30A

- 2 módulos relé dos canales
- 1 módulo joystick
- 3 leds
- 4 pulsadores
- 2 interruptores

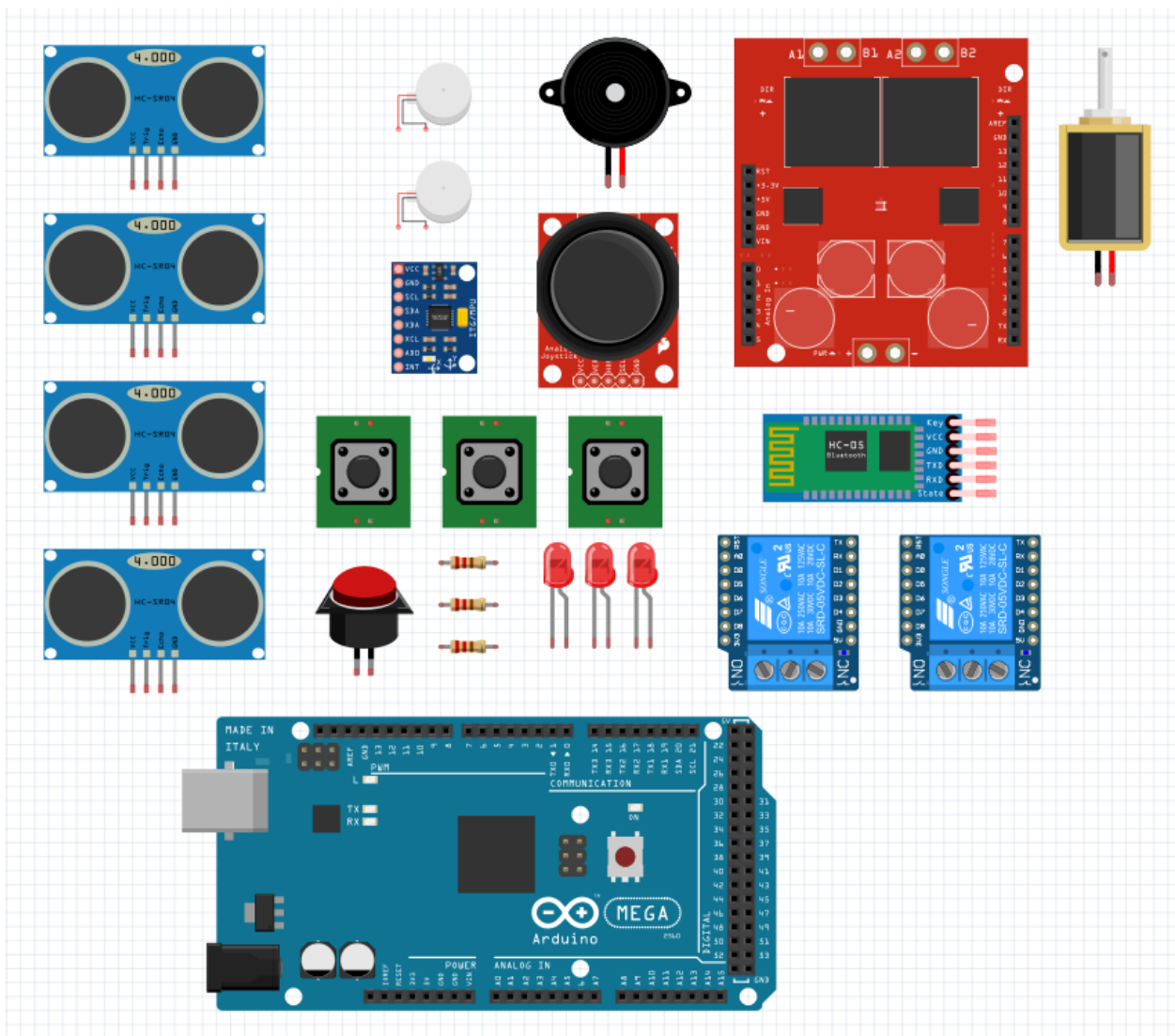


Figura 16 Elementos de electrónica para el control del bipedestador

En el esquema de la Figura 17 se muestra la distribución de los pines de conexión de los sensores a la placa de control.

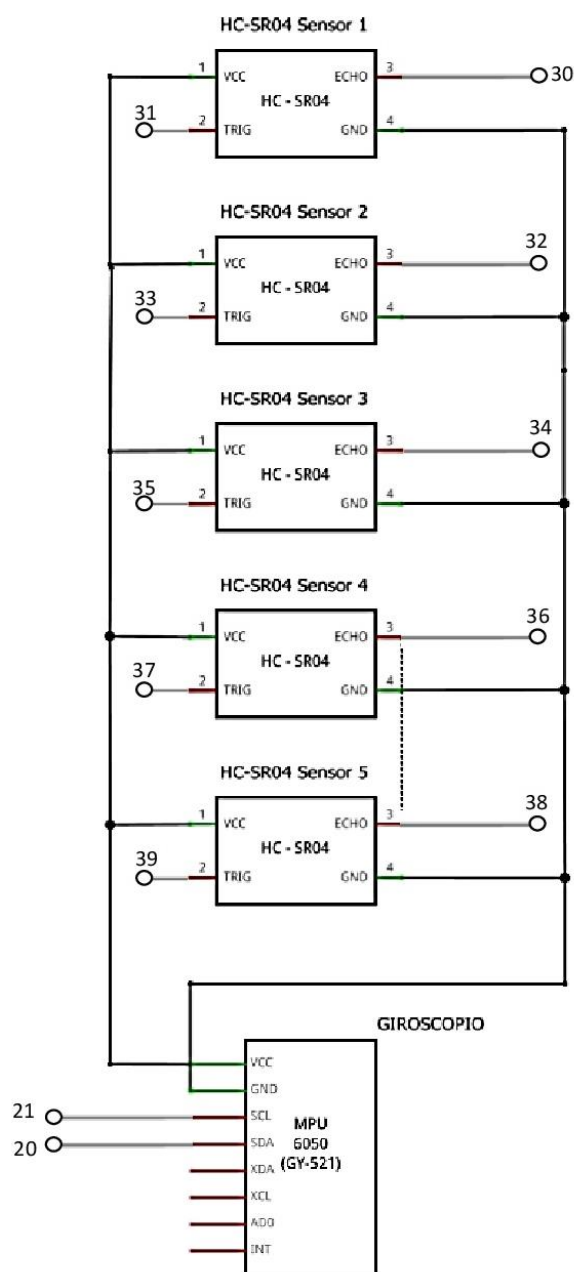


Figura 17 Conexión sensores

En el esquema de la Figura 18 y Figura 19 se muestra la distribución de los pines de conexión de los elementos del mando de control y sus indicadores.

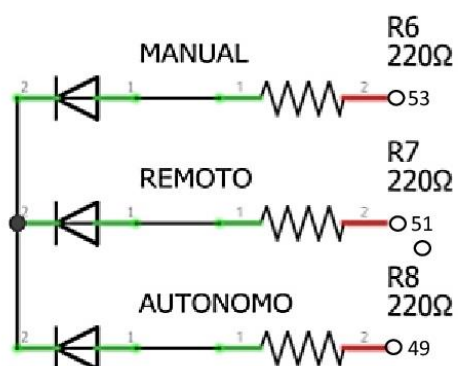


Figura 18 Conexión pulsadores modos funcionamiento

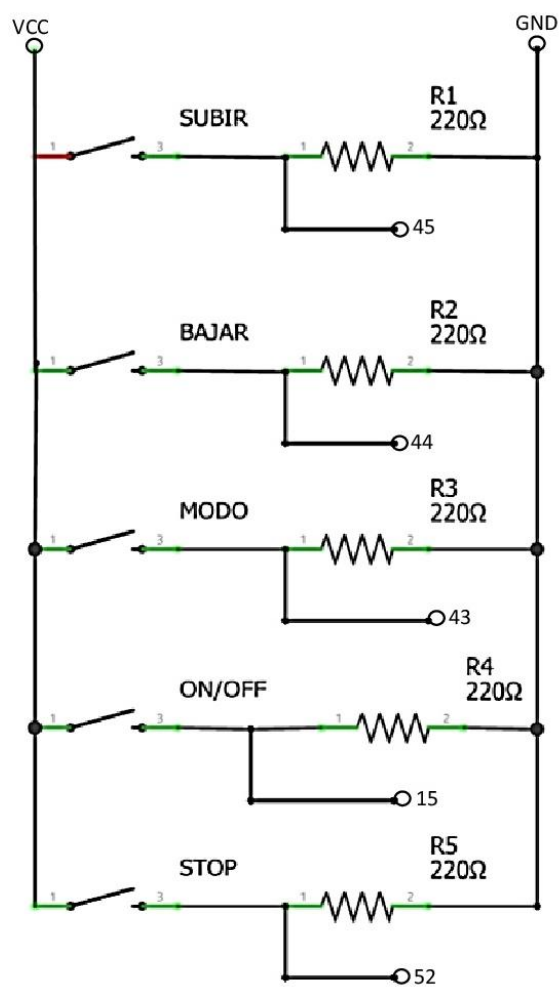


Figura 19 Conexiones modos de funcionamiento e indicadores

En el esquema de la Figura 20 se muestra la conexión de los fines de carrera a la placa de control.

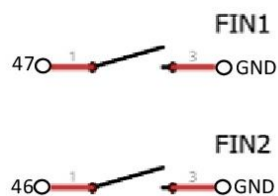


Figura 20 Conexión fines de carrera

En el esquema de la Figura 21 se muestra la conexión de los motores al driver y a la placa de control.

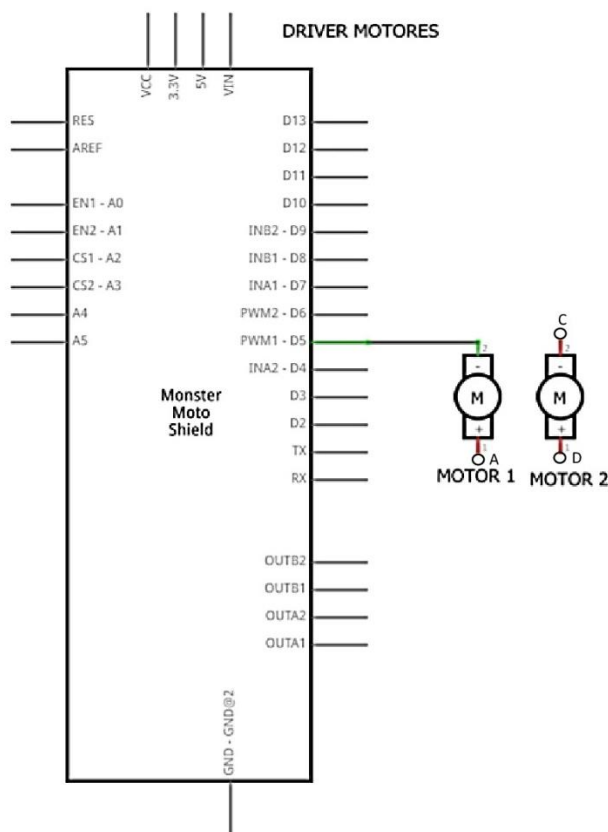


Figura 21 Conexión motores al driver

En el esquema de la Figura 22 se muestra la conexión del joystick y del módulo bluetooth y en la Figura 23 la asignación de pines del parlante.

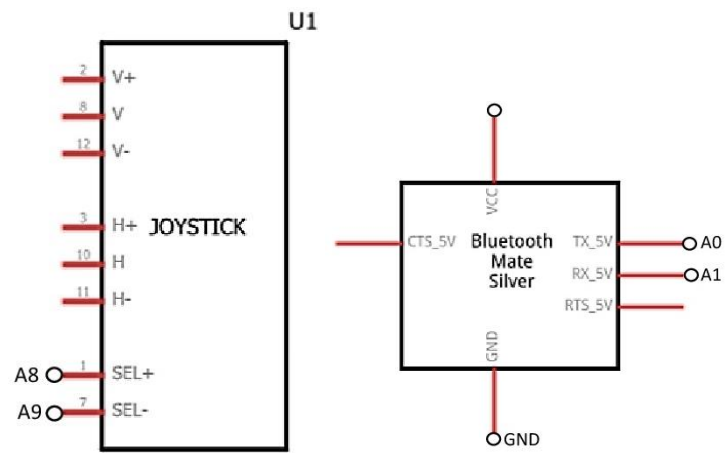


Figura 22 Conexión Joystick y Módulo Bluetooth

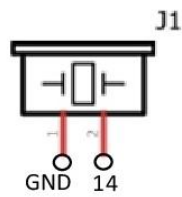


Figura 23 Conexión Parlante

Finalmente, en la Figura 24 se muestra la asignación de pines de la placa de control.

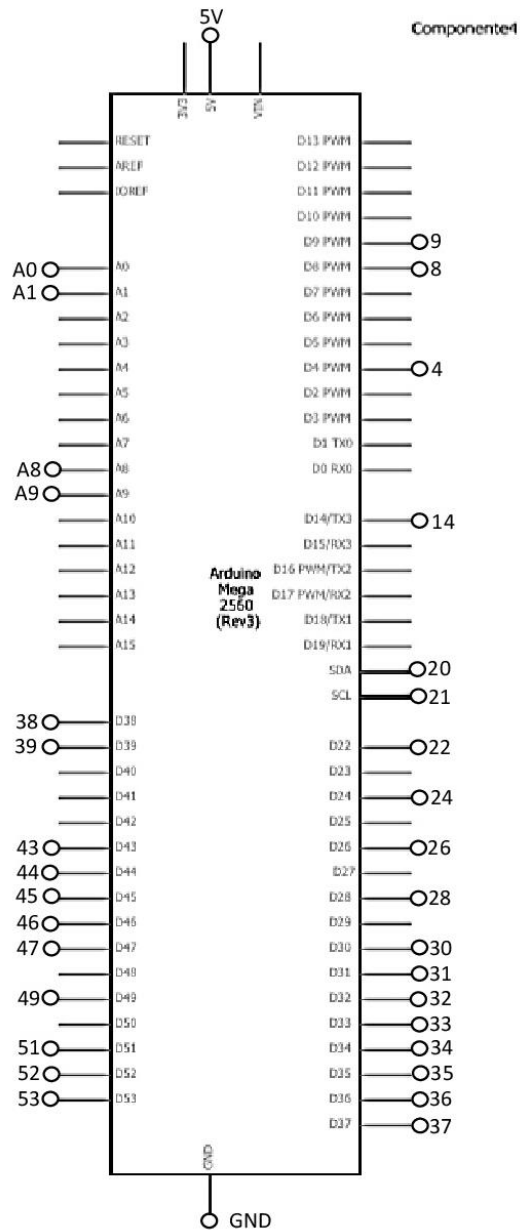


Figura 24 Asignación de pines componentes de electrónica

2.6 Adquisición de datos sensores

2.6.1 Sensor de distancia

Se utiliza para la detección de obstáculos 4 sensores ultrasónicos HCSR04. Este sensor dispone de un emisor y receptor de ondas de ultrasonidos. El emisor "dispara" una onda ultrasónica que se propaga a 340 m/s y se inicia un temporizador. Si encuentra un objeto, la onda rebota. Esta onda reflejada o eco es capturada por el módulo receptor y el temporizador interno se para. De esta manera midiendo el tiempo que la onda tarda en ir y reflejarse, junto con la velocidad de propagación, el sensor calcula la distancia a la que se encuentra el objeto. (Ies, 2016)



Figura 25 Sensor de distancia HCSR-04

Fuente: (Bricogeek, 2018)

Se realizó la adquisición de datos del sensor HCSR-04 para comprender mejor el comportamiento del mismo a fin de encontrar una relación entre la distancia de entrada y el voltaje de salida del sistema a implementar. En la Tabla48 se observa los datos obtenidos cuya relación se detalla en la Figura 26.

Tabla48

Adquisición de datos sensor de distancia HCSR-04

Distancia [mm]	Voltaje [V]
12	0.5327
26	0.8505
41	1.1910
57	1.5542
72	1.8947
88	2.2579
103	2.5984
118	2.8886
133	3.2758
143	3.6674
153	3.8632
160	3.8923

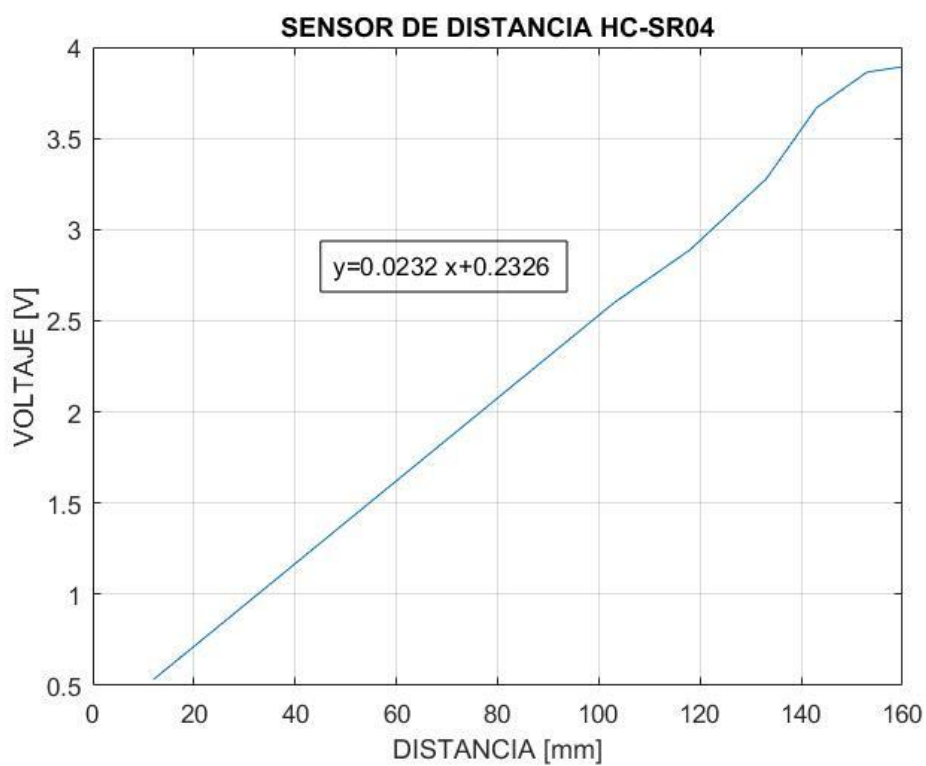


Figura 26 Voltaje VS Distancia sensor HCSR04

Fuente: Matlab

2.6.2 Giroscopio

El giroscopio es un sensor que mide la velocidad angular la misma que representa la tasa de cambio del desplazamiento angular por unidad de tiempo, es decir que tan rápido gira un cuerpo alrededor de su eje.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.8)$$

Los giroscopios utilizan un MEMS (MicroElectroMechanical Systems) para medir la velocidad angular usando el efecto Coriolis.

Con un giroscopio se puede medir la velocidad angular, y si se integra la velocidad angular con respecto al tiempo se obtiene el desplazamiento angular. (Robologs, 2018)

Si se sabe el valor inicial del ángulo del giroscopio se podrá hallar el nuevo ángulo a través de la ecuación 2.9

$$\theta_y = \theta_{yanterior} + \omega_{giroscopio} * \Delta t \quad (2.9)$$

Dónde:

- $\theta_{yanterior}$: Ángulo Inicial
- $\omega_{giroscopio}$: Velocidad angular del giroscopio
- Δt : Tiempo

2.7 Modelado y simulación del sistema

Se realiza la modelación del sistema de translación utilizando las ecuaciones que rigen el comportamiento del motor de corriente continua. En la Figura 27 se muestra los elementos presentes en el motor de corriente continua.

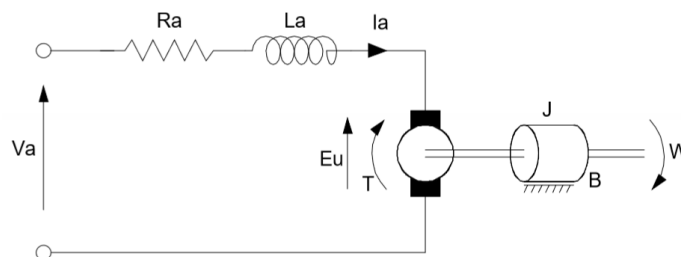


Figura 27 Modelo motor de corriente continua

$$V_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + E_u \quad (2.10)$$

$$T = k_t i_a \quad (2.11)$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (2.12)$$

$$E_u = k_u \omega \quad (2.13)$$

Dónde:

- V_a : Voltaje de entrada
- L_a : Inductancia
- R_a : Resistencia
- i_a : Corriente
- E_u : Voltaje de salida
- J : Momento de Inercia
- B : Fricción Viscosa
- ω : Velocidad angular

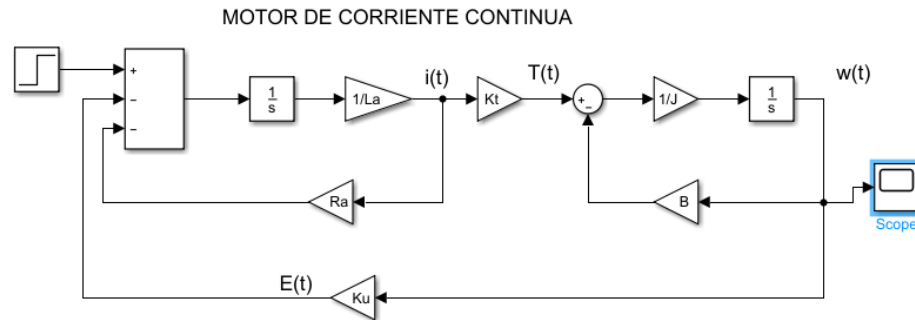


Figura 28 Diagrama de bloques motor de corriente continua

Con las características de los motores teniendo como entrada el Voltaje se obtiene como salida la Velocidad angular mostrada en la Figura 29.

- $V = 12 V$
- $L_a = 0.0005$

- $R_a = 0.1$
- $K_t = 0.6$
- $J = 0.15$
- $B = 0.005$
- $K_u = 2.3$

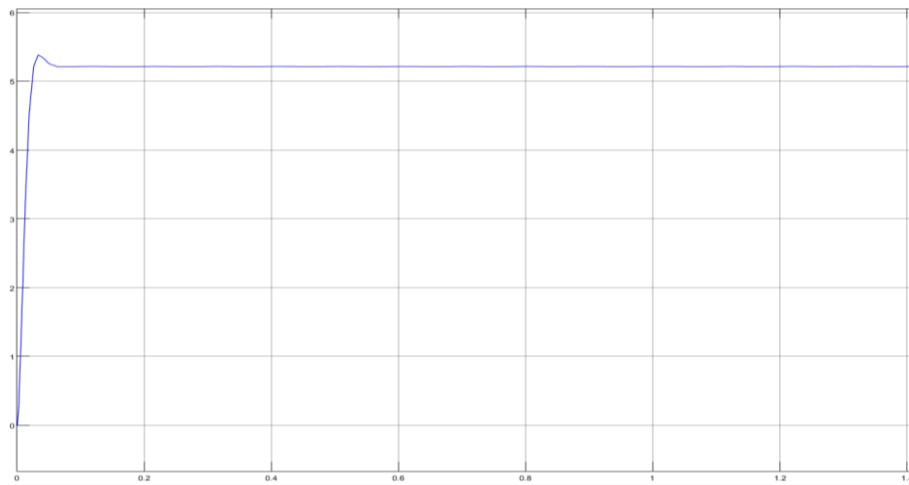


Figura 29 Salida del motor de corriente continua

Se obtiene como salida la Velocidad angular correspondiente al valor final del sistema.

$$\omega = 5.216 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El error en estado estable

$$e_{ss} = (A - Vf) * 100\%$$

$$e_{ss} = (5.23 - 5.216) * 100\%$$

$$e_{ss} = 1.4 \%$$

El tiempo de establecimiento

$$t_s = 0.15 \text{ s}$$

2.7 Aplicación para teléfonos móviles

Se desarrollo la aplicación para el funcionamiento del bipedestador en forma inalámbrica se utilizó App Inventor que permite la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android.

Para un mejor entendimiento se detalla a continuación la Navegación y Arquitectura de la HMI desarrollada.

2.7.1 Navegación del Sistema

La navegación del sistema permite entender de mejor manera el direccionamiento entre las ventanas. El esquema de navegación de una HMI debe ser intuitivo y fácil de usar. Para lo cual se utilizan diferentes elementos, como botones, menús, submenús, entre otros. En este esquema se establece como navegar a lo largo del sistema, y se estructura como es el orden de las ventanas. En la Figura 30 se muestra el esquema general de navegación del sistema.

A continuación, en la Figura 31 se muestra la distribución por niveles de acceso de las ventanas de la HMI.

- **Primer Nivel:** Ventana Ingreso
- **Segundo Nivel:** Ventana Menú.
- **Tercer Nivel:** Ventana Funcionamiento, Ventana Control, Ventana Ayuda.

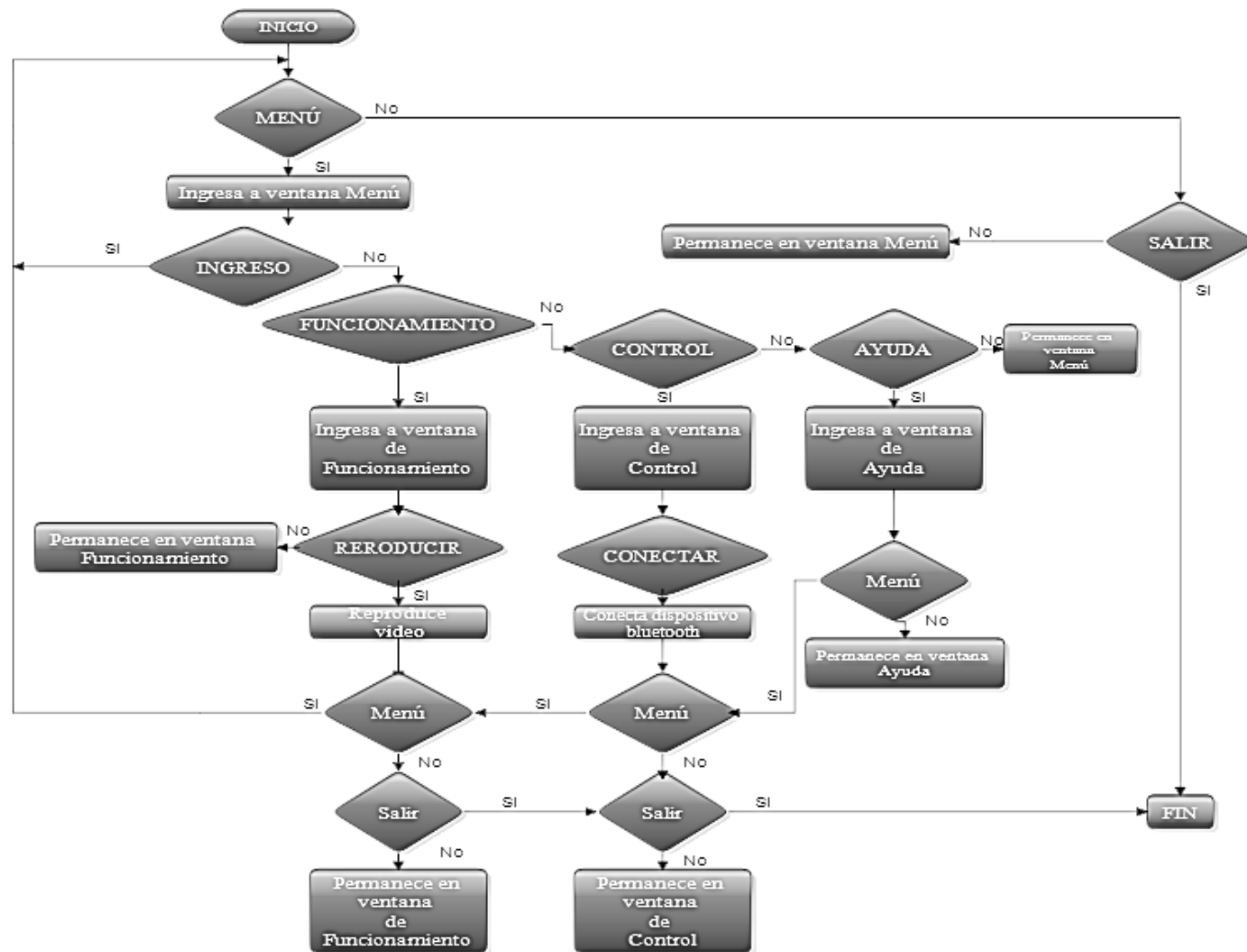


Figura 30 Esquema general de navegación del sistema



Figura 31 Distribución por niveles de navegación del sistema

2.7.2 Arquitectura del Sistema

En la arquitectura utilizada se debe considerar todos los tipos de pantallas presentes en la HMI. Es importante mantener una distribución organizada de las ventanas, la arquitectura permite ver la relación entre ellas para una fácil navegación.

En este proyecto se utilizaron 5 ventanas cuyas características se detallan a continuación:

1. Ingreso al Sistema

En la pantalla Ingreso se detalla el Título del proyecto, los nombres de los autores; se muestran dos botones, el uno permite el ingreso al Menú del sistema y el otro permite cerrar la aplicación.

En la Figura 32 se observa la ventana creada.



Figura 32 Ventana Ingreso al Sistema

2. Menú

En la ventana de Menú que se muestra en la Figura 33, se observan las opciones de ingreso a la ventana de Funcionamiento, Control, o Ayuda y de se puede regresar a ventana de Ingreso.

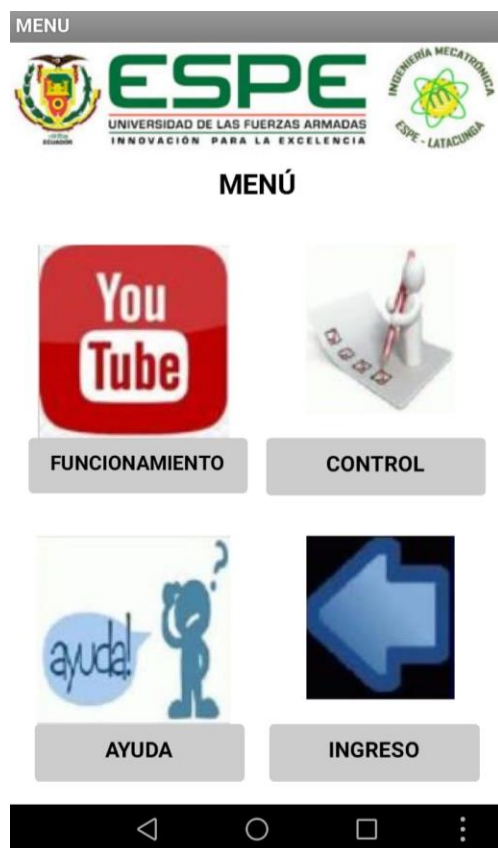


Figura 33 Ventana Menú del Sistema

3. Funcionamiento

En la ventana Funcionamiento se muestra el botón REPRODUCIR el cual permite el direccionamiento a un enlace que dirige a la página de YouTube en donde se tiene un video explicativo acerca del funcionamiento del bipedestador. Al dar clic en el botón MENU se regresará al Menú del sistema.



Figura 34 Ventana Funcionamiento del Sistema

4. Control

En la ventana Control se puede visualizar la adquisición de datos de los sensores de distancia y el giroscopio, así como también permite realizar el movimiento de la plataforma y del actuador lineal instalados.

Para un correcto funcionamiento de esta ventana se debe seguir los siguientes pasos:

- Emparejar el dispositivo bluetooth con el teléfono móvil
- Dar clic en el botón Seleccionar Bluetooth para escoger de entre los dispositivos emparejados con el teléfono celular, posterior a ello se presiona el botón Conectar.
- Una vez realizado esto en el label Estado de conexión aparecerá CONECTADO o DESCONECTADO según sea el caso.

- Se visualizará el Mensaje de los 3 sensores de distancia y del Giroscopio.
- Se presentan los botones para el movimiento del bipedestador: Adelante, Atrás, Derecha, Izquierda, Parar motores, Subir actuador, Bajar actuador y detener el movimiento del actuador.
- En esta ventana se incluye las alarmas de detección de obstáculos y de inclinación, se emitirá una señal sonora cuando los sensores detecten una distancia menor a los 5cm y mayor a los 10° de inclinación.

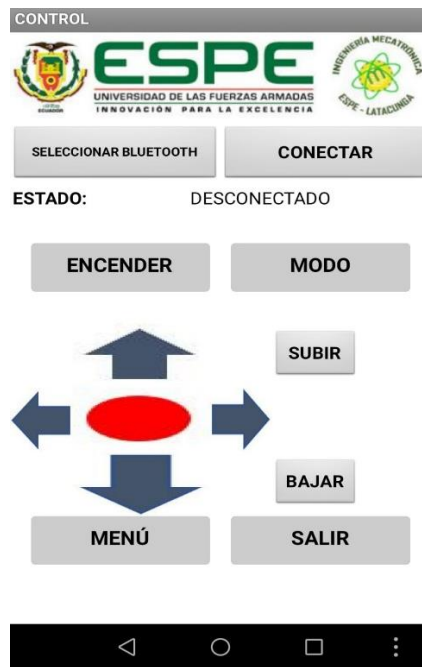


Figura 35 Ventana Control del Sistema

5. Ayuda

En la ventana de ayuda se describe el funcionamiento de las demás ventanas.

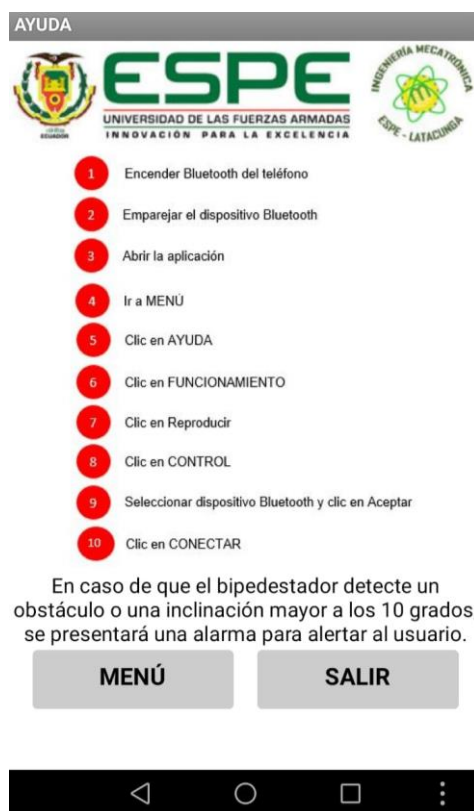


Figura 36 Ventana de Ayuda

2.7.3 Programación por bloques aplicación para teléfonos móviles

Se realizó la programación por bloques en App Inventor de cada una de las ventanas a continuación se detallan los elementos utilizados para cada una de las ventanas.

1. Ingreso al sistema

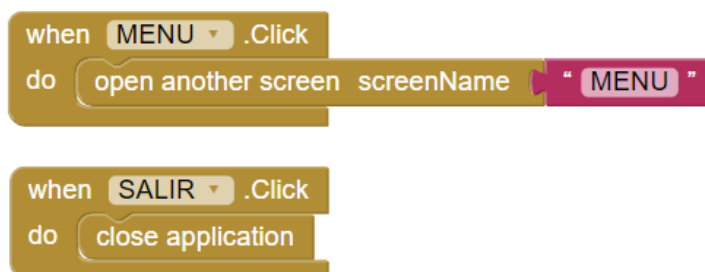


Figura 37 Bloques de programación Ventana de Ingreso al Sistema

En la Tabla49 se describe la función de cada bloque utilizado para la programación de la ventana de Ingreso al Sistema.

Tabla49

Bloques de programación Ventana Ingreso al Sistema

Bloque	Función
Menú	Abre la nueva ventana de nombre "MENU"
Salir	Cierra la aplicación

2. Ventana de Menú del sistema

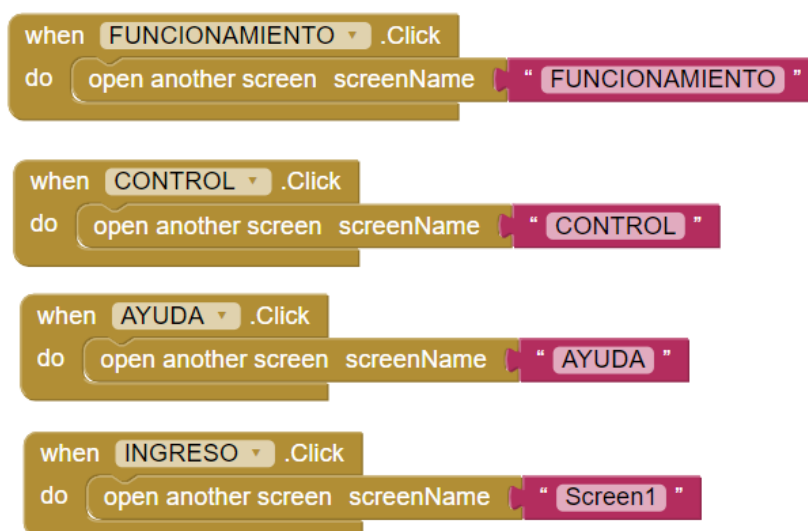


Figura 38 Bloques de programación Ventana de Menú

En la Tabla50 se describe la función de cada bloque utilizado para la programación de la ventana Menú.

Tabla50

Bloques de programación Ventana Menú

Bloque	Función
Ingreso	Regresa a la ventana de nombre "INGRESO"
Control	Abre la ventana de "CONTROL"
Funcionamiento	Abre la ventana "FUNCIONAMIENTO"
Ayuda	Abre la ventana "AYUDA"

3. Ventana de Funcionamiento del sistema

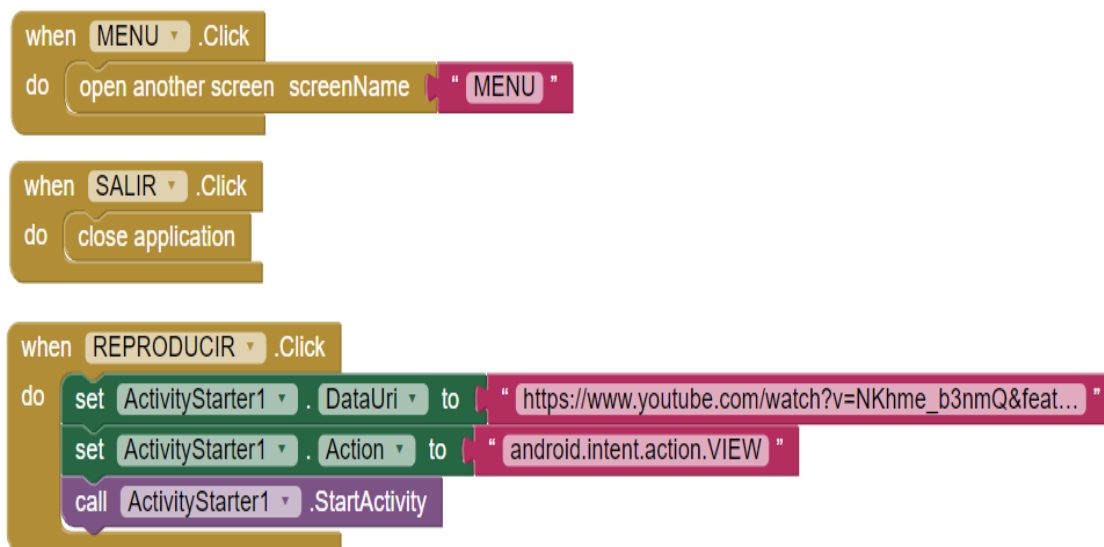


Figura 39 Bloques de programación Ventana de Funcionamiento

En la Tabla51 se describe la función de cada bloque utilizado para la programación de la ventana Menú.

Tabla51

Bloques de programación Ventana Funcionamiento

Bloque	Función
Reproducir	Direcciona a la página de YouTube para visualizar el video de funcionamiento
Menú	Abre la nueva ventana de nombre "MENU"
Salir	Cierra la aplicación

4. Ventana Control del sistema

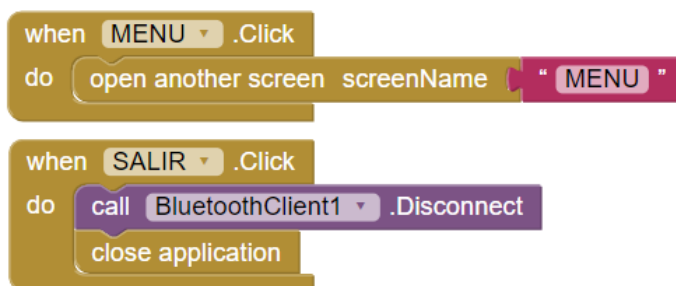


Figura 40 Bloques de programación

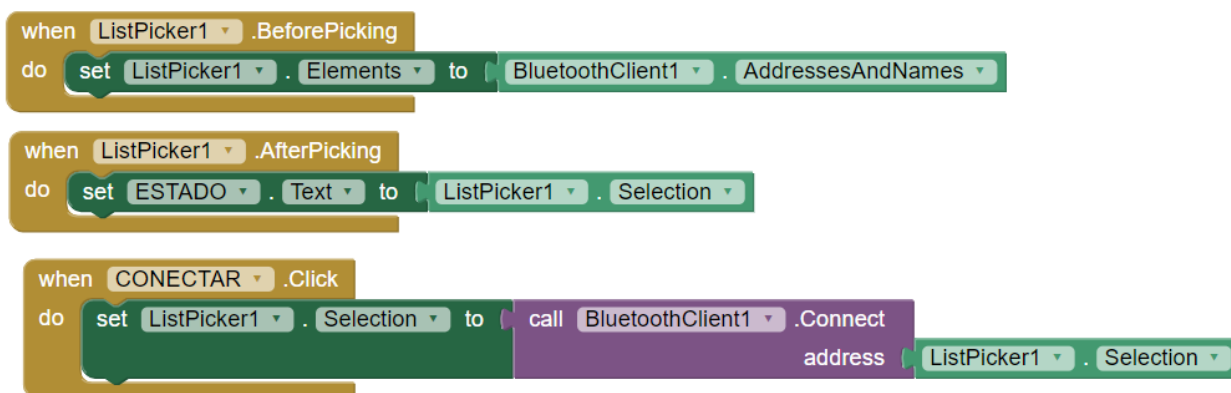


Figura 41 Bloques de programación elementos para establecer conexión Bluetooth



Figura 42 Bloques de programación botones ventana Control

En la Tabla52 se describe la función de cada bloque utilizado para la programación de la ventana Menú.

Tabla52

Bloques de programación Ventana Control

Bloque	Función
Seleccionar Bluetooth	Abre una nueva ventana para seleccionar la dirección del bluetooth al que se desea conectar.
Conectar	Conecta el teléfono con el módulo Bluetooth
Encender	Envía una la letra “E” para encender el bipedestador
Modo	Envía la letra “T” para usar el bipedestador en modo inalámbrico.
Subir	Envía la letra “M” para subir el actuador.
Bajar	Envía la letra “N” para bajar el actuador.
Adelante	Envía la letra “W” para mover la plataforma hacia adelante.
Atrás	Envía la letra “S” para mover la plataforma hacia atrás.
Centro	Envía la letra “P” para detener la plataforma.
Derecha	Envía la letra “A” para mover la plataforma hacia la derecha.
Izquierda	Envía la letra “D” para mover la plataforma hacia la izquierda.
Estado	Muestra el estado de la conexión: “CONECTADO” /”DESCONECTADO”
Menú	Abre la nueva ventana de nombre “MENU”
Salir	Cierra la aplicación

5. Ventana de Ayuda

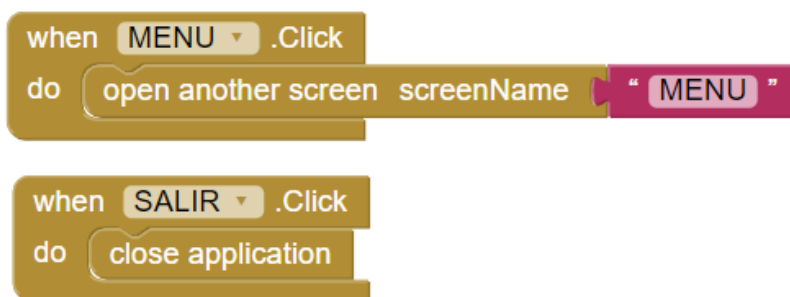


Figura 43 Bloques de programación botones ventana Ayuda

En la Tabla53 se describe la función de cada bloque utilizado para la programación de la ventana Menú.

Tabla53*Bloques de programación Ventana Ayuda*

Bloque	Función
Menú	Abre la nueva ventana de nombre "MENU"
Salir	Cierra la aplicación

2.7 Diagrama de flujo de la programación

A continuación, en la Figura 44 se muestra el diagrama de flujo de la programación. Como se observa en el diagrama de la Figura 44 se realiza la detección de obstáculos y planos inclinados, emitiendo una alarma sonora en caso de tener una distancia mayor a los 4cm y un ángulo de inclinación mayor a los 10°.

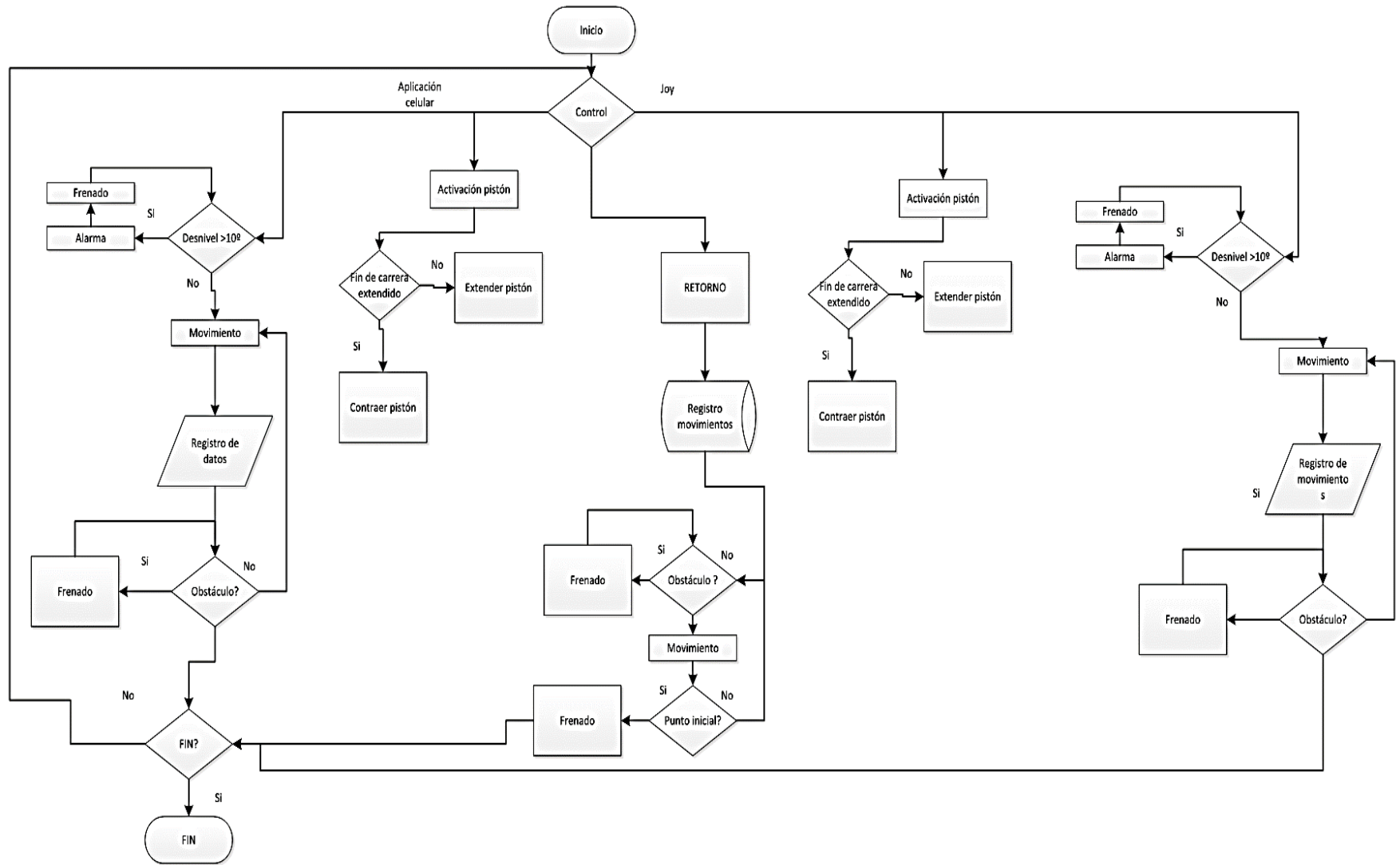


Figura 44 Bloques de programación código funcionamiento

CAPÍTULO III

3. INSTALACIÓN DEL CONTROL BIESTABLE

El capítulo se basa en la instalación de los componentes que forman parte de la estación bipedestal. Se inicio el proceso de construcción con el corte y soldadura de la estructura metálica considerando las dimensiones de los perfiles diseñados en el capítulo 2. Posterior a ello se realiza la instalación de motores y llantas para verificar la movilidad. El proceso continúa con la instalación del actuador. Una vez verificado que las dimensiones de la estructura son las adecuadas se realiza el pintado de la estructura metálica para realizar la instalación final de los motores y el actuador. Se realiza la construcción de la carcasa de protección de los circuitos eléctricos, para ellos se usa el proceso de corte, masillado, lijado y pintura final. Con esto se realiza la implementación de los elementos de electrónica en la base de la estructura. Se procede con la instalación de los cojines en el pecho y las rodillas para el soporte de la persona. Se realiza la instalación de los elementos del panel de control conformado por los botones e indicadores: Botón subir pistón, bajar pistón, botón de selección de modo de operación y paro de emergencia. Se tiene un mando lateral donde va colocado el joystick que dirigirá el movimiento de la estructura.

3.1 Implementación de los motores

En la Figura 45 se muestran los motores utilizados cuyas características se detallan en el capítulo 2.



Figura 45 Instalación motores

En la Figura 46 se muestra la instalación de los motores en la estructura.



Figura 46 Instalación llantas

3.2 Implementación del actuador

En la Figura 47 se muestra la instalación del actuador lineal que permitirá subir y bajar a la persona de la estación bipedestal.



Figura 47 Instalación actuador lineal

3.3 Implementación de los sensores

3.3.1 Implementación sensores de distancia

Se realizó la implementación de los sensores de distancia para lo cual se diseñó una carcasa de protección que permitirá asegurar los sensores en la base de la estructura como se muestra en la Figura 48.



Figura 48 Impresión 3D sensor

La instalación se realizó en los puntos mostrados en la Figura 50 a fin de tener mayor radio de cobertura para el movimiento de la estructura bipedestal.

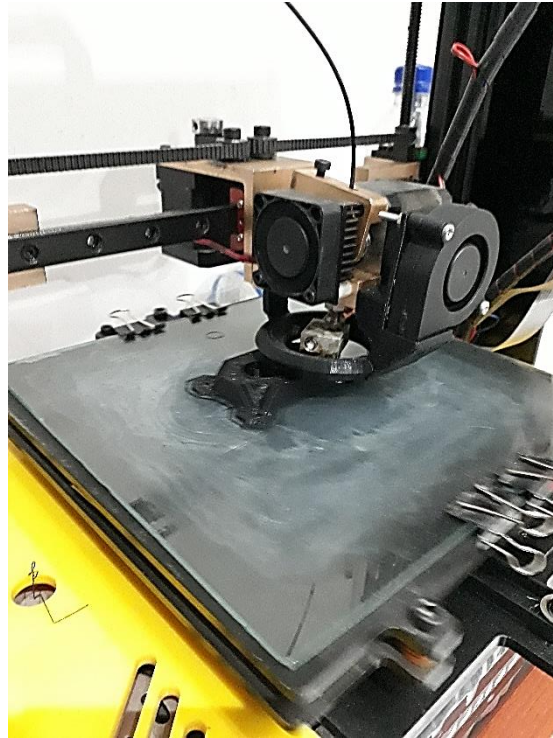


Figura 49 Impresión 3D carcasa

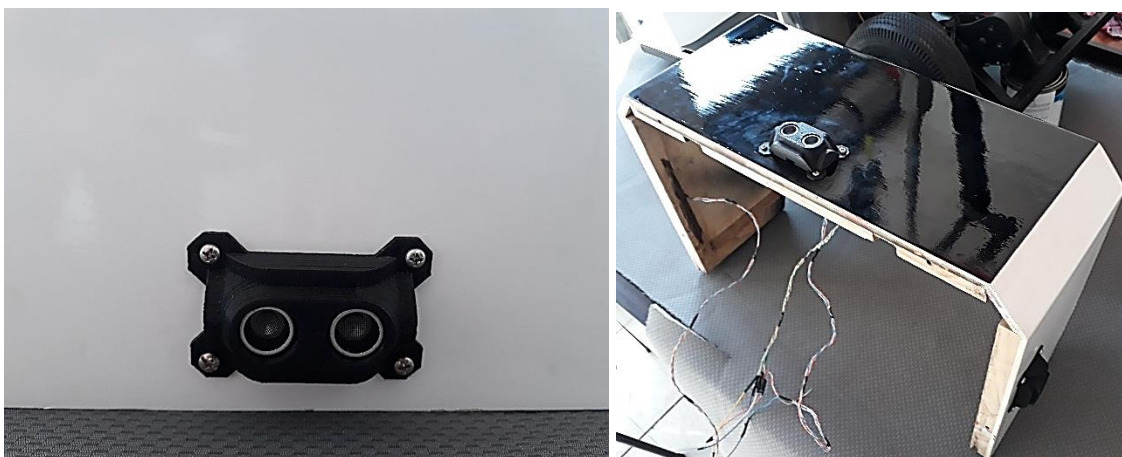


Figura 50 Instalación sensores de distancia

3.3.2 Implementación giroscopio

Para la instalación de los sensores se imprimió en 3d una carcasa que permite la sujeción de los sensores a la estructura como se muestra en la Figura 51.

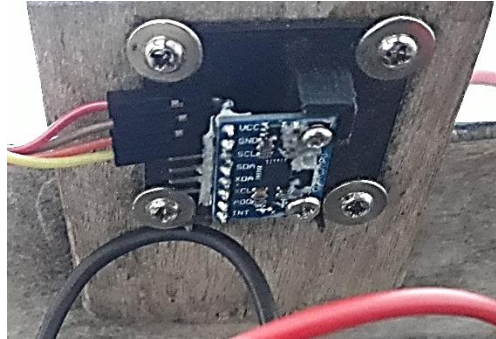


Figura 51 Instalación giroscopios

3.4 Implementación de la batería

En la Figura 52 se muestra la instalación de la batería en la plataforma colocado en la base de la estructura para facilitar el movimiento.



Figura 52 Instalación baterías

3.5 Implementación del sistema de control

Se realizó la instalación de los elementos de control y potencia como se observa en la Figura 53, en esta se muestra la batería de 9V, el relé de dos canales, el controlador, y la batería de 12V.

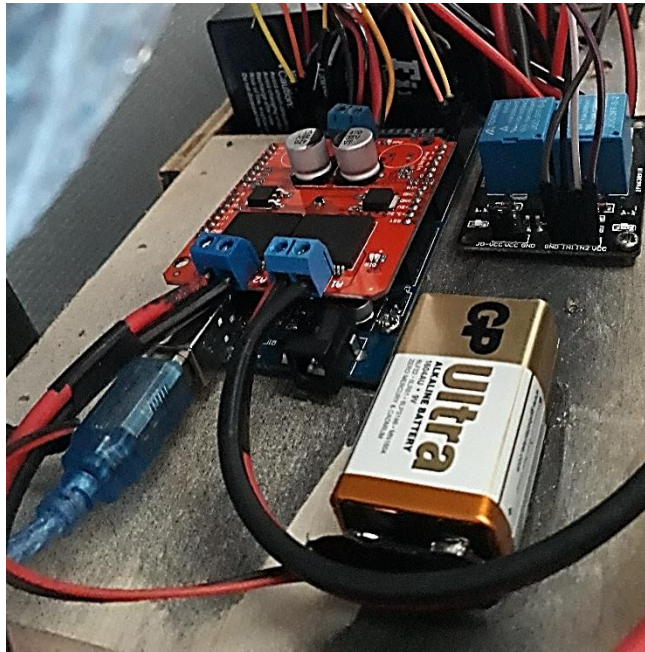


Figura 53 Implementación circuito de control y potencia

Para el control se utiliza relés de dos canales como se observa en la Figura 54

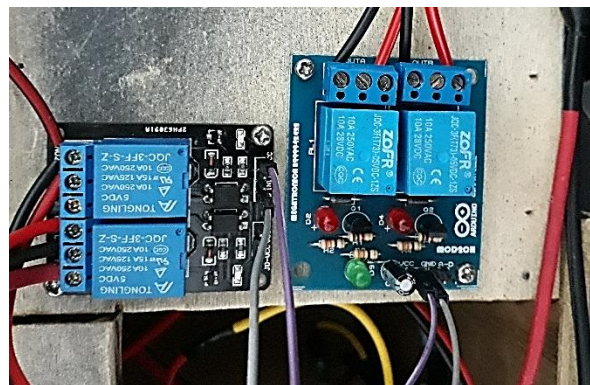


Figura 54 Implementación circuito de potencia

3.5.1 Botonera y mando de control

En el mando de control se tiene 3 pulsadores con sus respectivos leds indicadores, para seleccionar el modo de funcionamiento, subir actuador, bajar actuador y paro de emergencia. Se

tiene un mando lateral conformado por un joystick que permite el movimiento de la plataforma ir hacia adelante, atrás, derecha, izquierda.



Figura 55 Botonera de control



Figura 56 Mando de control

3.5.2 Control Manual

Finalmente, en la Figura 57 se muestra la estructura bipedestal con los componentes electrónicos que permiten el movimiento y funcionamiento correcto de la plataforma.



Figura 57. Implementación elementos

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realizan pruebas a los elementos de electrónica de la plataforma bipedestal. El proceso inicia con el desarrollo del protocolo de pruebas para cada etapa. En la primera etapa se realiza pruebas al sistema de elevación para verificar el funcionamiento del actuador lineal. En la segunda etapa se verifican conexiones y el funcionamiento de los motores que permiten el desplazamiento lineal de la plataforma. En la tercera etapa se prueban los sensores en la detección de obstáculos y la detección de planos inclinados.

4.1 Desarrollo del protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas se realizó en tres etapas que se detallan a continuación:

- **ETAPA 1:** Elevación

En la primera etapa se realiza un análisis del sistema de elevación verificando el funcionamiento del actuador lineal.

- **ETAPA 2:** Desplazamiento

En la segunda etapa se verificó el funcionamiento de los motores instalados en la plataforma los mismos que permitirán el desplazamiento.

- **ETAPA 3:** Control Autónomo basado en la Seguridad (Sensores)

En la tercera etapa se verificó el funcionamiento de los sensores para la detección de obstáculos y planos inclinados.

4.2 Pruebas del sistema de elevación (Etapa 1)

En las pruebas realizadas al sistema de elevación se verificó el correcto funcionamiento del actuador lineal. El protocolo desarrollado se detalla en la Tabla54 en donde se incluye los pasos que se realizó para la obtención de datos.

Tabla54

Protocolo de pruebas en el sistema de elevación

PRUEBA	
IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA	Sistema elevación
TIPO DE PRUEBA	Prueba de sistema de elevación
COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA	Bipedestador
LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN	Latacunga 08 de octubre de 2018
RESPONSABLES	Tatiana López Alexis Pilatasig
OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA	Verificar el funcionamiento del actuador del sistema de elevación a través de la realización de varios experimentos.
DURACIÓN ESTIMADA	1 hora aproximadamente
PARTICIPANTES	
NOMBRE	Mayra Paredes Fisioterapeuta, propietaria del consultorio "FISIORECOVERY"
	Raúl Sánchez Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación (70kg)
	Emilia Corrales Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación (60kg)
	Marco Condor Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación (80kg)
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la conexión de los cables del actuador 2. Revisar la polaridad de la conexión 3. Energizar el sistema 4. Verificar encendido relés 5. Enviar señal de salida al actuador 	

Se tomo como referencia el tiempo nominal, el cual fue extraído de los datos presentados en el datasheet del actuador (Amazon, 28), luego se realizaron mediciones del tiempo de subida y bajada del actuador con carga y sin carga, los datos tomados se muestran en la Tabla55.

Tabla55
Resultado pruebas actuador lineal

Sistema de elevación					
Carga [kg]	Tiempo nominal [s]	Tiempo de ascenso [s]	Tiempo de descenso [s]	Error ascenso [%]	Error descenso [%]
0	7	7,5	7,2	7,1	2,9
40	15	16,6	16,1	10,7	7,3
50	17	18,8	17,9	10,6	5,3
60	20	22,1	21,1	10,5	5,5
70	23	25,5	24,2	10,9	5,2
80	26	28,9	27,3	11,2	5,0
90	29	32,2	30,5	11,0	5,2
95	31	34,8	32,8	12,3	5,8
100	33	37,1	34,7	12,4	5,2

La Figura 58 presenta las curvas del tiempo de ascenso y descenso del sistema de elevación en relación con la carga aplicada sobre el actuador, como se puede visualizar que a medida que la carga va aumentando el tiempo de ascenso tiene a elevarse, esto debido a que el tiempo es inversamente proporcional a la velocidad del actuador, se realizó los cálculos basados en el datasheet del actuador en donde se tiene una velocidad de 11.5 m/s en la máxima carga, de ahí podemos deducir que a medida que la velocidad va disminuyendo la carga sigue aumentando y por consiguiente el tiempo sigue aumentando.

Se tiene un error máximo de 12,4 % y mínimo de 7.1% con respecto al tiempo nominal del actuador, el cual no representa ningún problema al momento de la elevación de la persona, puesto que como máximo tuviéramos una variación de 0.5 s al momento de la elevación. El tiempo de descenso también aumenta conforme la carga, la razón es la misma explicada en el tiempo de ascenso, este tiempo es menor que el tiempo de ascenso, esto debido a la gravedad ya que cuando el actuador se contrae el peso actúa a favor de la gravedad, es decir que la velocidad aumenta y por

ende el tiempo tiende a disminuir. El error máximo es de 7.3% y el mínimo de 2.3% con respecto al tiempo nominal. Este error es menor con respecto al tiempo de ascenso.

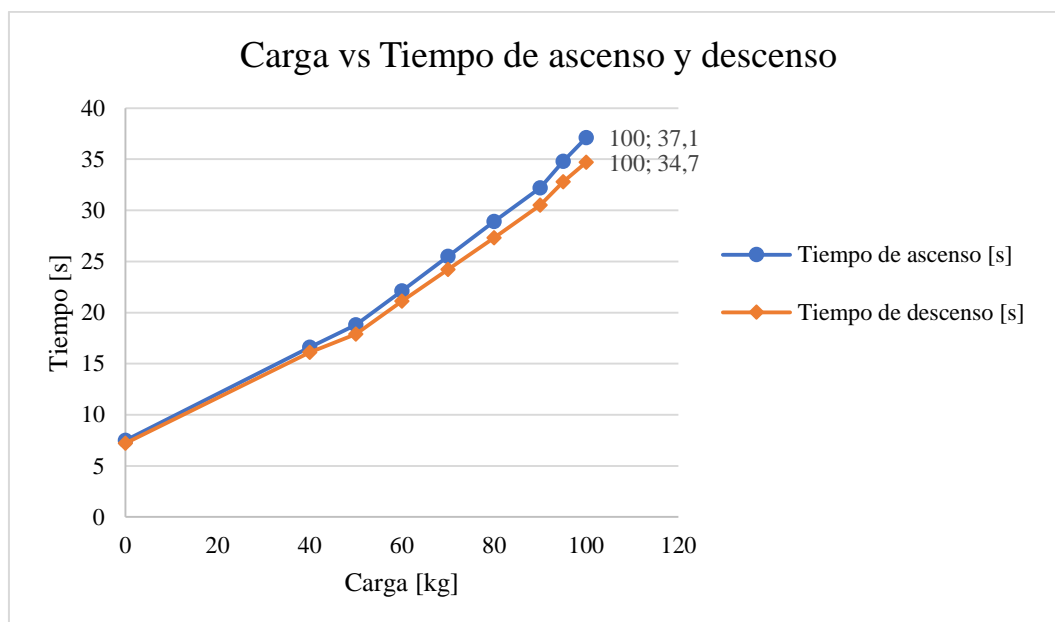


Figura 58 Carga vs Tiempo de ascenso y descenso en el sistema de elevación

Se realizaron mediciones de voltaje función del ángulo de inclinación cuyos resultados se muestran en la Tabla56.

Tabla56

Resultado pruebas voltaje, corriente, potencia y torque.

SISTEMA DE ELEVACIÓN					
Carga [kg]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Torque [Nm]	Eficiencia [%]
0	10,15	1,2	12,18	17,18	90
40	11,44	2,32	26,54	37,44	90
50	13,35	2,9	38,72	54,61	90
60	16,02	3,48	55,75	78,64	90
70	19,07	3,62	69,03	97,38	90
80	22,02	3,7	81,47	114,93	90
90	22,88	3,75	85,80	121,04	90
95	23,58	3,78	89,13	125,74	90
100	24	3,98	95,52	134,75	90

En la Figura 59 se presenta la carga vs la potencia y el torque del sistema de elevación, las curvas obtenidas representan una función potencial creciente, a medida que la carga va aumentando la potencia aumenta, esto se debe a que la potencia eléctrica es igual al voltaje multiplicado por la corriente, es decir que la potencia es directamente proporcional al voltaje y corriente, la potencia eléctrica representa la energía que entra al actuador lineal.

En el punto máximo tenemos una carga de 100kg con una potencia de 95,52 W, el voltaje en ese punto es de 24V que representa lo máximo a lo que puede trabajar el actuador. El torque es directamente proporcional a la potencia por lo que también presenta una curva creciente, el torque es la fuerza con la que el actuador puede elevar una carga, entonces analizamos el punto crítico que sería a los 100kg de carga, con los datos obtenidos se presenta un torque de 134,75 Nm.

La eficiencia del sistema es la relación que existe entre la potencia mecánica con respecto a la potencia eléctrica, la potencia mecánica siempre va ser menor que la potencia eléctrica ya que existen pérdidas producidas por ruido. Tenemos una eficiencia de 90 % la cual es aceptable puesto que en el datasheet del actuador lineal se presenta una eficiencia mínima de 85%.

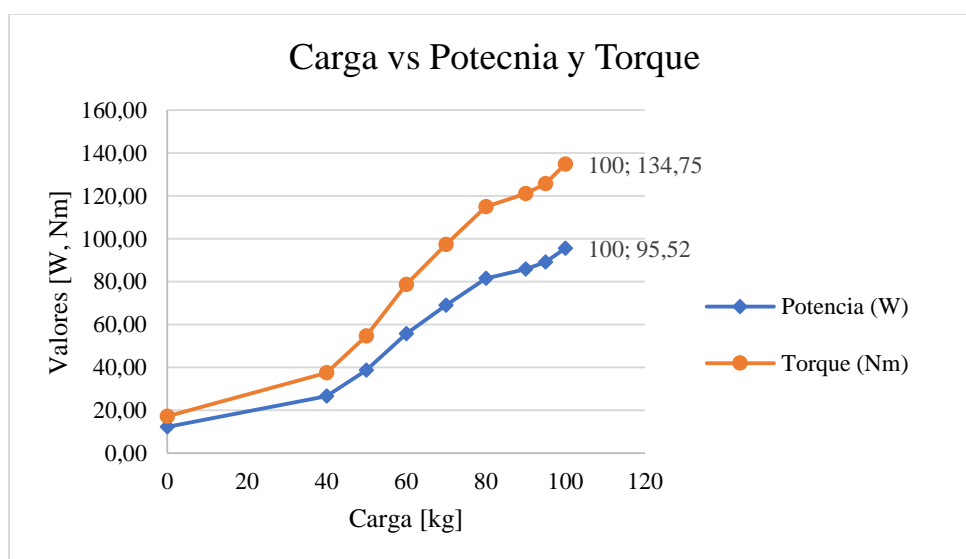


Figura 59 Carga vs potencia y torque en el sistema de elevación

4.2 Pruebas en el sistema de desplazamiento (Etapa2)

En las pruebas realizadas al sistema de desplazamiento se comprobó el funcionamiento de los motores de traslación lineal. El protocolo desarrollado se detalla en la Tabla 57 en donde se incluye los pasos que se realizó para la obtención de datos.

Tabla57

Protocolo de pruebas en el sistema de desplazamiento

PRUEBA	
IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA	Sistema de traslación
TIPO DE PRUEBA	Prueba de sistema de traslación
COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA	Bipedestador
LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN	Latacunga 08 de octubre de 2018
RESPONSABLES	Tatiana López Alexis Pilatasig
OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA	Verificar el funcionamiento de los motores instalados en la plataforma para realizar el movimiento de traslación del bipedestador.
DURACIÓN ESTIMADA	2 horas aproximadamente
PARTICIPANTES	
NOMBRE	Mayra Paredes Fisioterapeuta, propietaria del consultorio "FISIORECOVERY"
	María Espinoza Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación
	Pablo Martínez Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación
	Ernesto Chicaiza Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la conexión de los cables de los motores 2. Revisar la polaridad de la conexión 3. Energizar el sistema 4. Verificar encendido puente H 5. Conectar motores al puente H 6. Mover hacia adelante 7. Realizar la toma de datos 8. Mover hacia atrás 9. Realizar la toma de datos 	

Las pruebas se realizaron sin carga y con carga obteniendo los resultados de la Tabla 58.

Tabla58

Resultado pruebas sistema desplazamiento motores

SISTEMA DESPLAZAMIENTO				
Carga x10 [kg]	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad [m/s]	Voltaje [V]
0	3	5	0,60000	5
1	3	5,25	0,57143	5,3
2	3	6,15	0,48780	6,2
3	3	5,9	0,50847	6,5
4	3	6,8	0,44118	6,8
5	3	7,7	0,38961	7,1
6	3	8,6	0,34884	7,4
7	3	9,5	0,31579	7,7
8	3	10,4	0,28846	8
9	3	11,3	0,26549	8,3
10	3	12,2	0,24590	9,6
11	3	13,4	0,22388	10,5
12	3	14,6	0,20548	11
13	3	15,5	0,19355	11,9998

Al realizar las pruebas experimentales se considera las siguientes condiciones iniciales, distancia=3m, rpm=120 de cada motor (1m/s), tiempo de 0 segundos y una carga de 0kg. Al incrementar el tiempo de traslación, la velocidad disminuye por ende se puede concluir que la velocidad es su punto más crítico es en el instante que el tiempo tiende a valer 15,5 segundo.

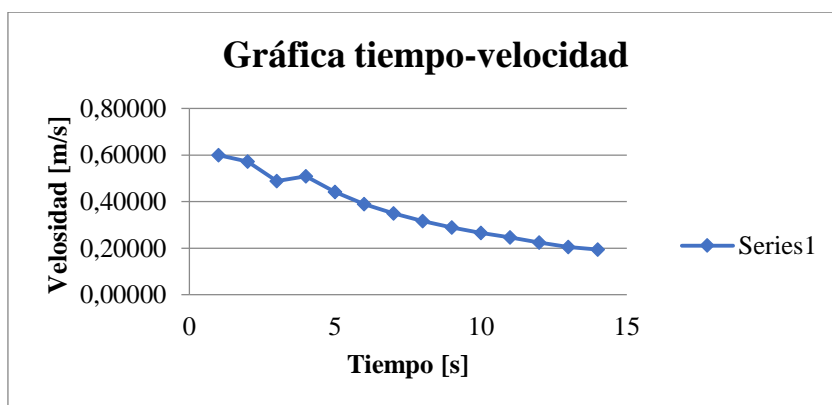


Figura 60 Tiempo vs velocidad

De acuerdo a la gráfica la velocidad es inversamente proporcional a la carga, es decir a mayor carga menor velocidad, obteniendo el punto más crítico cuando el valor de la carga es mayor a 130 kg la velocidad tiene a ser 0, permitiendo que la maquina este de forma estática en su movimiento horizontal. En el instante que la carga supere los 130 kg la velocidad se aproximará a cero debido a que la maquina no tendrá una distancia de desplazamiento, por ende, a mayor carga(130kg), mayor voltaje (11,99), y mayor tiempo de desplazamiento (15,5), la velocidad cera cero.

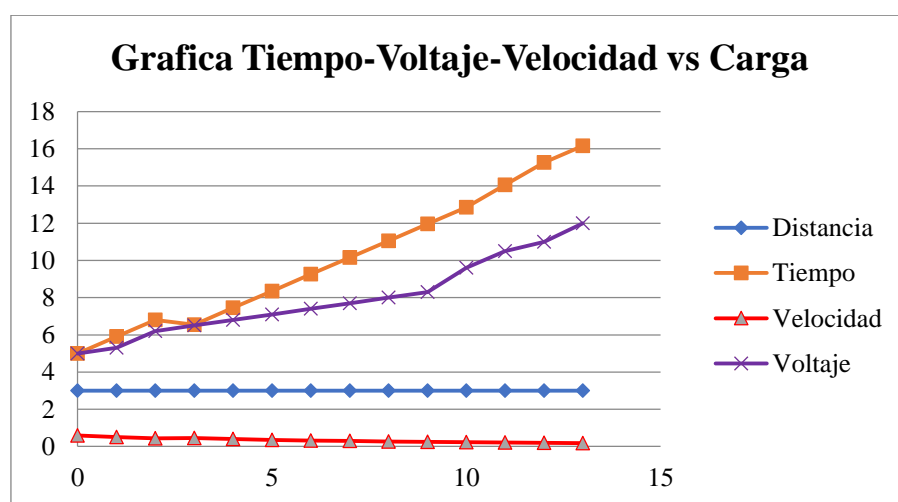


Figura 61 Grafica Tiempo-Voltaje-Velocidad-Carga

4.3 Pruebas del Control Autónomo basado en la Seguridad (Sensores) Etapa 3

En las pruebas realizadas al control autónomo basado en la seguridad de los usuarios, se verificó el correcto funcionamiento de los sensores ultrasónicos y el sensor giroscopio, cuyo protocolo a seguir se detalla en la

Tabla59.

Tabla59
Protocolo de pruebas sensores

PRUEBA	
IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA	Sensores
TIPO DE PRUEBA	Prueba de sensores
COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA	Bipedestador
LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN	Latacunga 08 de octubre de 2018
RESPONSABLES	Tatiana López
	Alexis Pilatasig
OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA	Verificar el funcionamiento de los sensores en la adquisición de datos.
DURACIÓN ESTIMADA	1 hora aproximadamente
PARTICIPANTES	
NOMBRE	Mayra Paredes Fisioterapeuta, propietaria del consultorio "FISIORECOVERY"
	Carmen Tapia Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación
	Inés Bautista Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación
	José Luis Escobar Paciente del centro de fisioterapia y rehabilitación
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar la polaridad de la conexión 2. Energizar el sistema 3. Verificar el funcionamiento de los sensores 4. Realizar la adquisición de datos 5. Verificar la detección de obstáculos 	

Se realizaron pruebas para la detección de obstáculos, para lo cual se utilizó un flexómetro para medir la distancia real a la que se encuentra el sensor frente al obstáculo y para determinar la distancia que detecta el sensor se utilizó un programa en Arduino. En base a estos datos se calculó el tiempo de respuesta del sensor y además se obtuvo el error porcentual de la distancia real con respecto a la distancia del sensor, estos datos se muestran en la Tabla60.

Tabla60*Datos pruebas realizadas sensor frontal*

SENSOR FRONTAL			
Distancia real [cm]	Distancia del sensor [cm]	Tiempo de respuesta [ms]	Error [%]
1,9	2,0	0,1	5,3
2	2,2	0,1	10,0
4	4,5	0,3	12,5
6	6,8	0,4	13,3
8	9,1	0,5	13,8
10	11,2	0,7	12,0
12	13,5	0,8	12,5
14	15,3	0,9	9,3
16	18,1	1,1	13,1
18	20,3	1,2	12,8
20	22,4	1,3	12,0
22	25,1	1,5	14,1
24	26,7	1,6	11,3
26	28,6	1,7	10,0
28	30,2	1,8	7,9
30	33,4	2,0	11,3
32	34,8	2,1	8,7
34	37,3	2,2	9,7
36	39,7	2,3	10,3
38	41,1	2,4	8,2
40	43,4	2,6	8,5

A continuación, se presenta la gráfica: distancia vs tiempo del sensor frontal, Figura 62. En la cual se puede visualizar una función lineal, a medida que la distancia en la que se encuentra el obstáculo aumenta, el tiempo de respuesta tiende a aumentar, esto se debe a que el sensor utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto, por lo cual la distancia es directamente proporcional al tiempo de respuesta.

El punto mínimo es de 2cm con un tiempo de respuesta de 0,12ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 2 cm, el módulo se va a detener a 1.9 cm del obstáculo, gracias a que el tiempo de respuesta es mínimo el usuario no va a sufrir ningún tipo de daño. El punto máximo es de 43,4 cm con un tiempo de respuesta de 2,56 ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 43.4cm, el módulo se va a detener a 40cm del obstáculo, dicho valor es aceptable ya que la distancia es mínima y no representa daños para el usuario.

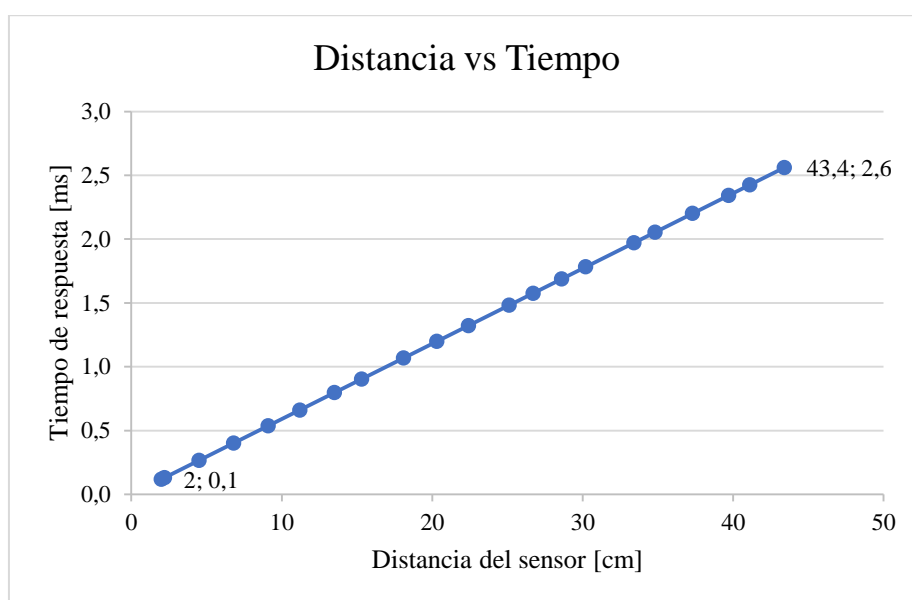


Figura 62 Distancia vs Tiempo sensor frontal

Tabla61

Datos pruebas realizadas sensor posterior

SENSOR POSTERIOR			
Distancia real [cm]	Distancia del sensor [cm]	Tiempo de respuesta [ms]	Error [%]
1,7	2,0	0,1	17,6
2	2,4	0,1	20,0
4	4,6	0,3	15,0
6	6,6	0,4	10,0
8	9,3	0,5	16,3
10	11,8	0,7	18,0
12	13,9	0,8	15,8
14	16,1	0,9	15,0



16	18,7	1,1	16,9
18	20,8	1,2	15,6
20	22,9	1,4	14,5
22	25,1	1,5	14,1
24	27,2	1,6	13,3
26	29,3	1,7	12,7
28	31,5	1,9	12,5
30	33,8	2,0	12,7
32	35,9	2,1	12,2
34	38,0	2,2	11,8
36	40,1	2,4	11,4
38	42,3	2,5	11,3
40	44,5	2,6	11,3

A continuación, se presenta la gráfica: distancia vs tiempo del sensor posterior, Figura 63. El punto mínimo es de 2cm con un tiempo de respuesta de 0,13ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 2 cm, el módulo se va a detener a 1.7 cm del obstáculo. El punto máximo es de 44,5 cm con un tiempo de respuesta de 2,63 ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 44.5cm, el módulo se va a detener a 40cm del obstáculo, la diferencia de distancia en ambos casos es mínima por lo que no provoca daños para el usuario.

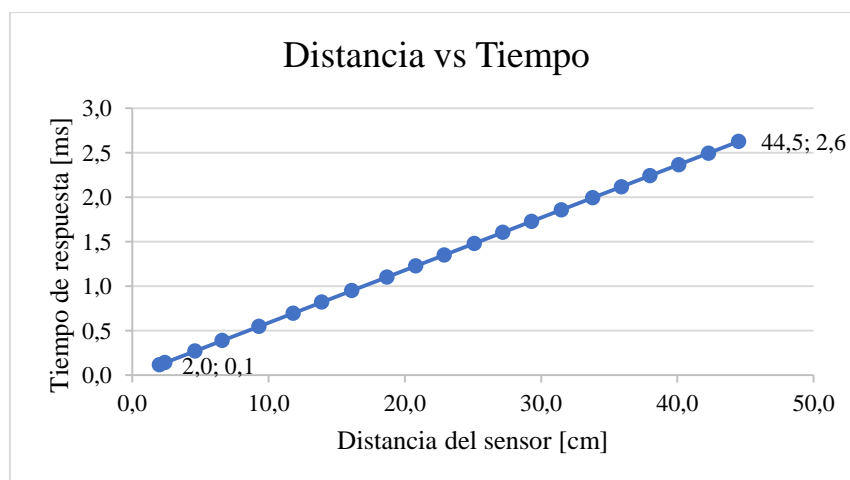


Figura 63 Distancia vs tiempo sensor posterior

Tabla62*Datos pruebas realizadas sensor lateral derecho*

SENSOR LATERAL DERECHO			
Distancia real [cm]	Distancia del sensor [cm]	Tiempo de respuesta [ms]	Error [%]
1,2	2,0	0,1	66,7
2	3,2	0,2	60,0
4	6,1	0,4	52,5
6	8,5	0,5	41,7
8	10,6	0,6	32,5
10	13,2	0,8	32,0
12	15,5	0,9	29,2
14	17,8	1,1	27,1
16	20,1	1,2	25,6
18	22,3	1,3	23,9
20	24,4	1,4	22,0
22	26,6	1,6	20,9
24	28,6	1,7	19,2
26	30,8	1,8	18,5
28	32,9	1,9	17,5
30	35,1	2,1	17,0
32	37,2	2,2	16,3
34	39,3	2,3	15,6
36	41,5	2,4	15,3
38	44,4	2,6	16,8
40	46,2	2,7	15,5

A continuación, se presenta la gráfica: distancia vs tiempo del sensor lateral derecho, Figura 64.

El punto mínimo es de 2cm con un tiempo de respuesta de 0,14ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 2 cm, el módulo se va a detener a 1.2 cm del obstáculo, el tiempo de respuesta aumentó debido a que el obstáculo se encuentra en una posición curva, por lo tanto, su detección se vuelve más complicada, sin embargo, la distancia todavía es aceptable ya que el módulo no colisiona con el obstáculo.

El punto máximo es de 46,5 cm con un tiempo de respuesta de 2,73 ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 46.5cm, el módulo se va detener a 40cm del obstáculo.

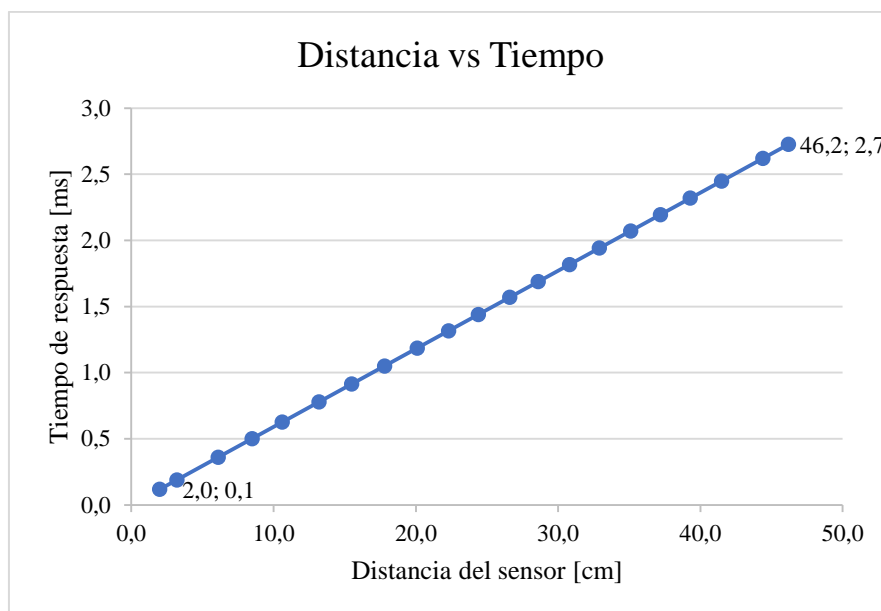


Figura 64 Distancia vs tiempo sensor lateral derecho

Tabla63

Datos pruebas realizadas sensor lateral izquierdo

SENSOR LATERAL IZQUIERDO			
Distancia real [cm]	Distancia del sensor [cm]	Tiempo de respuesta [ms]	Error [%]
1,5	2,0	0,1	33,3
2	2,9	0,2	45,0
4	5,3	0,3	32,5
6	7,5	0,4	25,0
8	9,9	0,6	23,8
10	12,3	0,7	23,0
12	14,8	0,9	23,3
14	17,1	1,0	22,1
16	19,5	1,2	21,9
18	21,9	1,3	21,7
20	24,1	1,4	20,5
22	26,2	1,5	19,1
24	28,3	1,7	17,9
26	30,1	1,8	15,8
28	33,1	2,0	18,2

CONTINÚA



30	35,5	2,1	18,3
32	37,9	2,2	18,4
34	39,3	2,3	15,6
36	41,5	2,4	15,3
38	43,8	2,6	15,3
40	45,5	2,7	13,8

A continuación, se presenta la gráfica: distancia vs tiempo del sensor lateral izquierdo, Figura 65. El punto mínimo es de 2cm con un tiempo de respuesta de 0,13ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 2 cm, el módulo se va a detener a 1.5 cm del obstáculo, el tiempo de respuesta decreció con respecto al sensor lateral derecho, esto se debe a la ubicación del sensor en el módulo. El punto máximo es de 45,5 cm con un tiempo de respuesta de 2,68 ms, esto quiere decir que cuando el sensor detecte un obstáculo a 45.5cm, el módulo se va a detener a 40cm del obstáculo. Estos valores siguen siendo mínimos por lo que no representa ningún riesgo para la persona parapléjica.

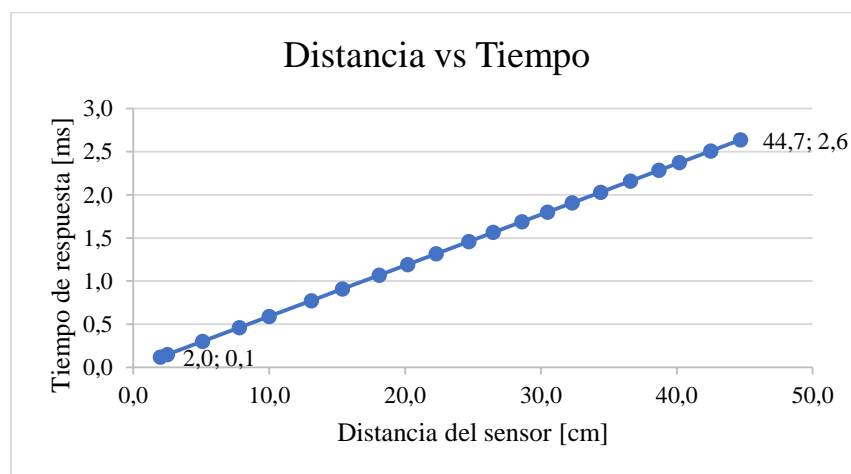


Figura 65 Distancia vs Tiempo sensor lateral izquierdo

Tabla64*Datos pruebas realizadas sensor inferior*

SENSOR INFERIOR			
Distancia real [cm]	Distancia del sensor [cm]	Tiempo de respuesta [ms]	Error [%]
1,6	2,0	0,1	25,0
2	2,5	0,1	25,0
4	5,1	0,3	27,5
6	7,8	0,5	30,0
8,6	10,0	0,6	16,3
10	13,1	0,8	31,0
12	15,4	0,9	28,3
14	18,1	1,1	29,3
16	20,2	1,2	26,3
18	22,3	1,3	23,9
20	24,7	1,5	23,5
22	26,5	1,6	20,5
24	28,6	1,7	19,2
26	30,5	1,8	17,3
28	32,3	1,9	15,4
30	34,4	2,0	14,7
32	36,6	2,2	14,4
34	38,7	2,3	13,8
36	40,2	2,4	11,7
38	42,5	2,5	11,8
40	44,7	2,6	11,8

A continuación, se presenta la gráfica: distancia vs tiempo del sensor inferior, Figura 66. El sensor inferior es utilizado para la detección de la culminación de área, es decir para gradas o agujeros, cuando el sensor detecte una superficie a 10cm o mayor, el módulo se detendrá. Cuando el sensor detecta 10cm se tiene un tiempo de respuesta de 0.6ms, esto quiere decir que el módulo va recorrer 1.4cm adicionales, la distancia que existe entre el sensor y las llantas del módulo es de 5cm, por lo que la distancia adicional no va provocar daño alguno al paciente.

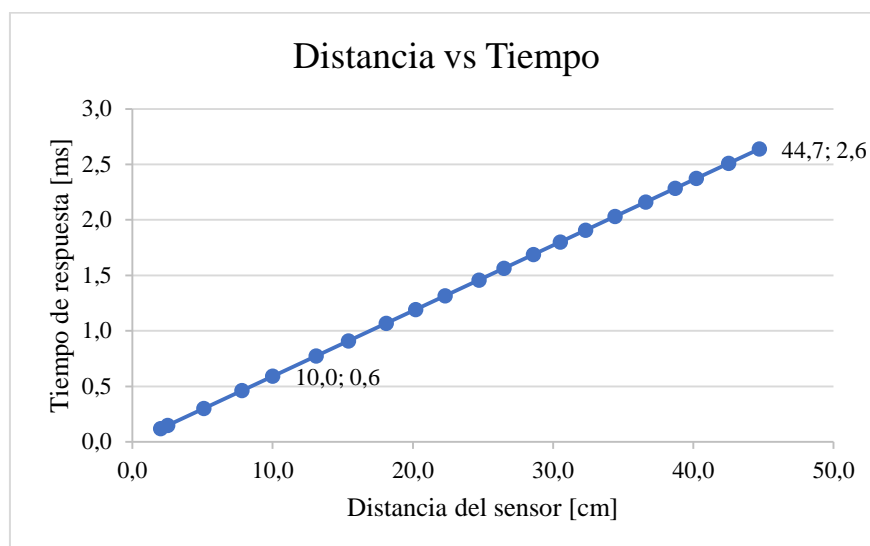


Figura 66 Distancia vs Tiempo sensor inferior

Se realizó la calibración del sensor giroscopio mediante un programa desarrollado en el software Arduino. El programa trata de corregir los errores de las medidas, para ello modifica constantemente el offset, usando un filtro. Se realizaron 200 mediciones con un ángulo de 0 a 20 grados, además de 5 experimentos para verificar las mediciones del ángulo de inclinación cuyos resultados obtenidos se muestran en la Tabla65.

Tabla65

Resultado pruebas sensor giroscopio

SENSOR GIROSCOPIO					
# Medición	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4	Experimento 5
1	0.09616927	0.31083188	0.18773354	0.00731248	0.06127148
10	0.58071019	0.87635044	1.40614482	0.72658472	0.93128078
20	1.73921298	2.5262896	2.17801828	1.41016228	1.72828867
30	2.68685398	3.74762135	3.81316868	2.46636302	2.85375839
40	3.32453568	4.74683457	4.59848076	3.50633078	3.70506659
50	4.99705516	6.41801381	5.50194745	4.40900708	4.64136759
60	5.72350463	6.8843594	6.52194683	5.39466703	5.74114155
70	6.43861785	7.79138744	7.00544069	6.39144547	6.32445122
80	7.17887239	9.71225658	7.8765005	7.29549503	7.63698013

CONTINÚA



90	7.75692609	10.2951658	8.67383264	8.78851674	8.57280273
100	9.03119304	11.2870707	10.0782155	9.66560039	9.20896407
110	10.2704171	12.0517948	11.0327621	11.29633	10.2221181
120	11.4563105	13.0167063	11.8188472	12.1422086	11.4572915
130	12.5482069	13.8220709	12.656655	13.1521602	12.4632188
140	13.26637	15.1526344	13.3899121	14.5873484	13.448899
150	14.3850057	15.765076	14.0535044	15.5859463	14.3691905
160	15.5492485	16.5748519	15.1887892	16.6483791	15.4664153
170	16.4911504	17.2398429	15.9584765	17.86716	16.6145764
180	17.7023431	18.1056533	17.5746262	18.8036257	17.4377114
190	18.7116641	18.7376869	18.5294327	19.4448855	18.919653
200	19.9718919	19.9579695	19.724214	19.9628641	19.9064747

A continuación, se presenta la gráfica: medición vs ángulo de inclinación, Figura 67. En base a las curvas obtenidas se puede identificar que la mayor repetitividad se presenta en el experimento 1 y 5, puesto que ahí los valores del ángulo presentan mayor exactitud.

Las rampas estandarizadas para discapacitados presentan una pendiente máxima de 10 grados, por lo que analizamos la medición 100 donde se obtiene 9.03 grados en el experimento 1 y 9.2 en el experimento 5, el error porcentual entre estos dos valores es de 1.8%, un error muy bajo que no representa mayor cambio al momento de la medición del ángulo, lo que nos asegura un correcto funcionamiento al momento de emitir la alarma y bloquear el sistema si se sobrepasa los 10 grados de pendiente para rampas estandarizadas.

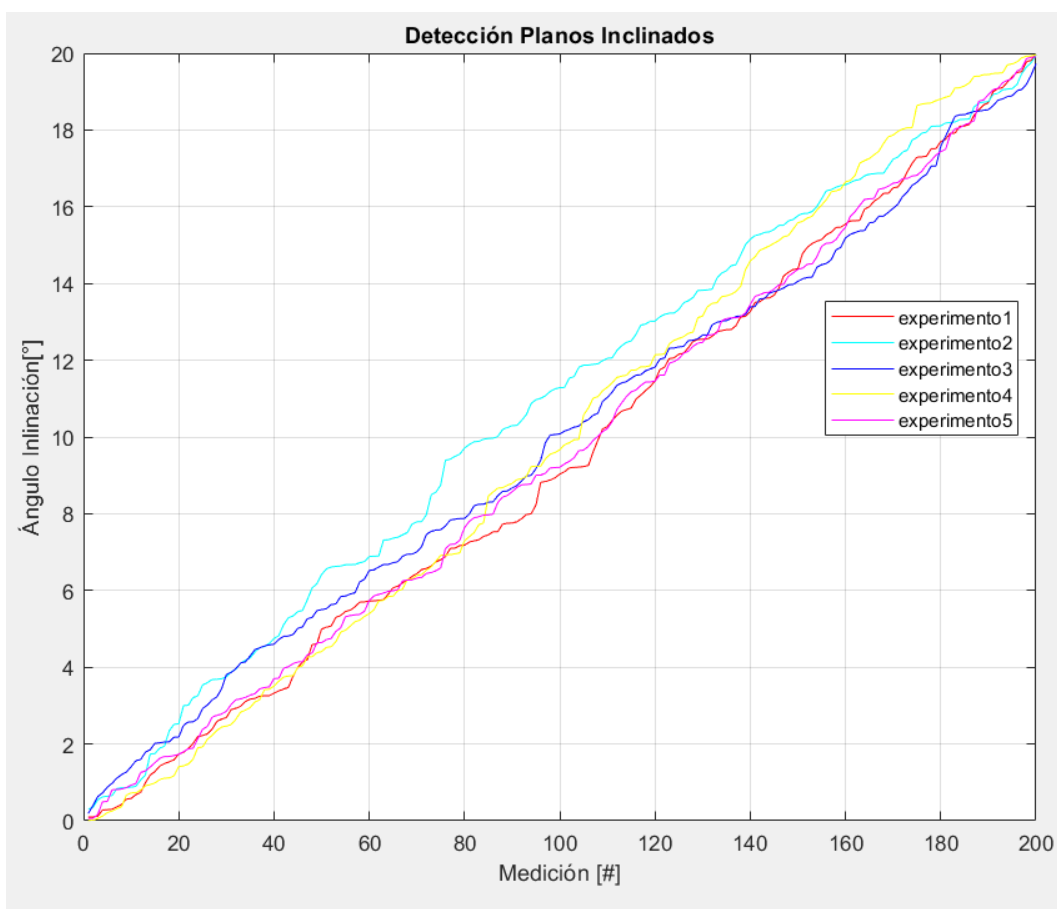


Figura 67 Calibración sensor giroscopio

4.3 Validación hipótesis

Mediante la implementación de un sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento basado en estrategias de evasión de obstáculos se permitirá precautelar la seguridad de personas parapléjicas.

Variabes Independientes: Sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento basado en estrategias de evasión de obstáculos.

Variabes Dependientes: Seguridad en el desplazamiento de personas

Para comprobar la hipótesis nula se utiliza el análisis de medias del chi cuadrado considerando las siguientes hipótesis.

Hipótesis Nula (H0): El módulo de elevación y desplazamientos brindará seguridad en el desplazamiento de personas.

Hipótesis No Nula (H1): El módulo de elevación y desplazamientos no brindará seguridad en el desplazamiento de personas.

Tabla66

Sistema de calificación validación hipótesis

VALORIZACIÓN DE CRITERIOS	EQUIVALENCIA INDICADORES		DE
	1-3	4-7	8-10
Operación	Difícil	Normal	Fácil
Confiabilidad	Malo	Dudoso	Bueno

Tabla67

Sistema de calificación validación hipótesis

Experimento	Operación	Confiabilidad
A	8	8
B	9	8
C	6	8
D	7	6
E	8	7
F	8	9
G	8	8
H	7	8
I	9	7
J	8	7

Se hizo un análisis a través del test de chi cuadrado como se muestra en la Figura 68 obteniendo un valor de $h=0$, en este caso se acepta la Hipótesis Nula. Para validar el resultado se realiza el análisis de medias de los datos como se muestra en la Figura 69.

```

>> v
v =
Columns 1 through 17
     8     8     9     8     6     8     7     6     8     7     8     9     8     8     7     8     9
Columns 18 through 20
     7     8     7
>> [h1,p1] = chi2gof(v,'alpha',0.05)
h1 =
     0

```

Figura 68 Validación hipótesis test Chi cuadrado

En el análisis de medias se considera un porcentaje de confiabilidad del 95%, obteniendo un valor de p de 0.4141 menor a 0.5 por lo que se acepta la hipótesis nula. (García & Martínez, 2014)

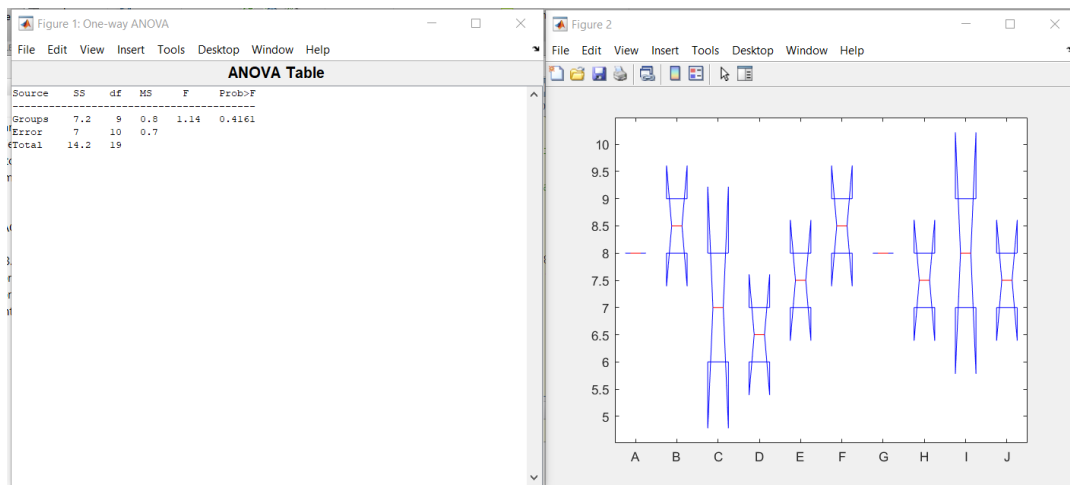


Figura 69. Validación hipótesis análisis medias

4.4 Análisis económico

Se realiza un análisis económico del proyecto en el que se considera los costos de materia prima (ver Tabla68), costos de herramientas y materiales (ver Tabla70), costos de mano de obra (ver Tabla69), y los costos de equipos (ver Tabla71).

Tabla68
Costos Materia Prima

COSTOS MATERIA PRIMA				
	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Materiales mecánicos				
Base fija	Mpu 6050 Giroscopio	2	\$ 80.00	\$ 160.00
	Sensor Ultrasónico	3	\$ 22.00	\$ 66.00
	Arduino Mega	1	\$ 18.00	\$ 18.00
	Puente H	2	\$ 20.10	\$ 40.20
	Motor	2	\$ 60.00	\$ 120.00
	Joystick	2	\$ 10.00	\$ 20.00
	Protoboard	1	\$ 15.00	\$ 15.00
	Cables	1	\$ 27.85	\$ 27.85
	Modulo Bluetooth	1	\$ 18.00	\$ 18.00
Base movil	Modulo RS485	3	\$ 35.00	\$ 105.00
	Arduino Nano	3	\$ 60.00	\$ 180.00
	Batería 12V	2	\$ 29.50	\$ 59.00
TOTAL				\$ 829.05

Tabla69
Costos Mano de Obra

COSTOS MANO DE OBRA				
Item	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Corte perfiles	Corte	1	\$ 80.00	\$80.00
Soldadura estructura	Soldadura	1	\$ 280.00	\$280.00
Doblado de tubos	Doblado	1	\$ 20.00	\$20.00
Proceso de pintura	Pintura	1	\$120.00	\$120.00
Proceso fibra de vidrio	Fibra de vidrio	1	\$100.00	\$100.00
Diseño e Ingeniería	Diseño sistema mecatrónico	30	\$12.50	\$375.00
Planos Mecánicos	Planos de las partes	15	\$12.50	\$187.50
Diagramas eléctricos	Diagramas eléctricos	8	\$12.50	\$100.00
Programación	Desarrollo algoritmos	40	\$8.00	\$320.00
TOTAL				\$ 1,222.50

Tabla70
Costos Herramientas y Materiales

COSTO HERRAMIENTAS Y MATERIALES				
	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Materiales electrónicos				
Accesorios electrónicos	Calibrador	2	\$20.00	\$40.00
	Destornilladores	3	\$13.00	\$39.00
	Lijas	1	\$15.00	\$15.00
	Pintura base	1	\$30.00	\$30.00
	Estaño	2	\$3.25	\$6.50
	Cautín	1	\$4.50	\$4.50
Herramientas	Electrodos	1	\$10.00	\$10.00
	Disco de corte	1	\$8.00	\$8.00
	Hojas de sierra	1	\$10.00	\$10.00
	Disco para pulir	4	\$0.80	\$3.20
	Pintura automotriz	1	\$60.00	\$60.00
	Thinner	2	\$5.80	\$11.60
	Masilla	1	\$2.50	\$2.50
TOTAL				\$240.30

Tabla71
Costos Equipos

COSTO EQUIPOS				
	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Impresora 3D	Horas de impresion	4	\$ 3.50	\$ 14.00
Dobladora de tubos	Horas de doblado	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Cortadora Láser	Horas de corte	1	\$ 3.50	\$ 3.50
Computador	Computador	30	\$ 2.20	\$ 66.00
TOTAL				\$ 93.50

En la Tabla72 se tiene el costo total del proyecto.

Tabla72
Costos Total

COSTO TOTAL	
Detalle	Costo
Costo Materia Prima	\$ 829.05
Costos Materiales y Herramientas	\$ 240.30
Costo Equipos	\$ 93.50
Costo Mano de obra	\$ 1,222.50
TOTAL	\$ 2,385.35

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se implementó un sistema de control manual a través de la utilización de pulsadores, indicadores y joystick que permite la movilidad de la plataforma en entornos con superficies planas y únicamente inclinaciones de máximo 10° .
- Se implementó un control inalámbrico a la estación bipedestal a través del uso de un módulo bluetooth que permite la comunicación entre el teléfono móvil y el microcontrolador. Se diseñó la HMI en App Inventor y se dio un tiempo de envío de datos de 10 ms permitiendo que el microcontrolador reciba las señales de control y ejecute acciones de manera automática y precisa.
- Se realizó la detección de obstáculos a través del uso de 5 sensores ultrasonidos colocados de manera uniforme en la plataforma bipedestal para tener una mayor área de alcance, estableciendo como valor permisible los menores a 4cm, y en caso de sobrepasar este valor dependiendo de la pared que sea detectada se bloquea el control en esa dirección, pero se mantienen habilitadas las demás direcciones de movimiento.
- En la detección de planos inclinados se utilizaron giroscopios estableciendo como rango normal de funcionamiento los menores a 10° , en caso de sobrepasar este valor se emite una alarma sonora y se bloquea el movimiento hacia adelante.
- Se establecieron protocolos de pruebas para verificar el funcionamiento del sistema de elevación considerando como variable de análisis el tiempo de ascenso y descenso del actuador dependiendo de la carga aplicada para verificar si el voltaje o la corriente

sobrepasaba el valor nominal obteniendo errores máximos del 4.94% y 4.80% respectivamente.

- Al implementar el sistema de control en forma autónoma, se logró precautelar la seguridad de la persona parapléjica, con sus componentes electrónicos insertados en la parte inferior de la maquina el paciente puede evadir obstáculos sin ninguna alteración.
- El sistema de control de elevación, permitió que la persona parapléjica pueda utilizar la estación bipedestadora como un sistema de rehabilitación, debido a que dicho sistema puede colocarse en diferentes posiciones, siendo de gran ayuda al sistema motriz.
- Al implementar el sistema de control en forma autónoma, se logró precautelar la seguridad de la persona parapléjica, con sus componentes electrónicos insertados en la parte inferior de la maquina el paciente puede evadir obstáculos sin ninguna alteración.
- El sistema de control de elevación, permitió que la persona parapléjica pueda utilizar la estación bipedestadora como un sistema de rehabilitación, debido a que dicho sistema puede colocarse en diferentes posiciones, siendo de gran ayuda al sistema sicomotriz.
- Se diseñó un sistema de control para un sistema de bipedestación para precautelar la seguridad de personas parapléjicas, la misma tendrá una capacidad de carga de 100kg, con un tiempo de elevación de 25,1seg y un tiempo de descenso de 28,51 seg, logrando una fiabilidad del 97%.

5.2 Recomendaciones

- Para la seguridad de los usuarios se propone utilizar unas correas que soporte la mayor parte del peso aplicado en el punto crítico, esto por falta de movilidad en sus extremidades inferiores, además esto le puede brindar mayor comodidad a la persona.

- La falla principal que presenta el control implementado en el sistema de elevación y desplazamiento, se presenta al momento del cableado de los circuitos, puesto que para la detección de obstáculos se necesitan 5 sensores, lo que ocasiona que se aumente el número de cables, por ende, esta propenso sufrir daños e interferencia en la señal, se recomienda realizar una placa para cada una de las entradas con sus respectivos puertos para que no exista errores al momento de la comunicación.
- Si existe alguna anomalía en el instante de manipular la estación ya sea de forma autónoma o manual se recomienda presionar una sola vez el paro de emergencia con esto hará que la maquina se detenta de forma inmediata.
- Se recomienda no sobrepasar carga de 100kg en sistema de elevación y 130kg en sistema de elevación debido que los actuadores pueden sufrir daños, y el mantenimiento del sistema será complejo.
- El sistema de evasión de obstáculos solo funcionara en el estado automático, jamás sobrepasar los 10 grados a lo que se refiere a una pendiente, ya que la maquina pierde estabilidad y pueden sufrir graves lesiones.
- En las pruebas de movimiento se pudo observar que las ruedas colocadas en la parte trasera de la maquina no permiten que se direcciona a la posición deseada, por lo que se recomienda usar llantas denominas ruedas locas.
- Implementar un variador de velocidades debido a que los usuarios al iniciar el movimiento la máquina, detectan un arranque brusco, por lo ende suelen a tener temor a que el sistema puede volcarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amazon*. (16 de Octubre de 2018). Recuperado el 01 de 09 de 2018, de <https://www.amazon.es/Actuador-lineal-Eco-Worthy-10-150/dp/B01LZ7959V?th=1&fbclid=IwAR2BcTpWZHQHUCBkd6XJ50dq6AgeIpwTXt6N10sl7k3dnys-RRHR-aiE28>
- Barrera, A. (11 de Octubre de 2016). *Andalucía es digital*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de andaluciaesdigital: https://www.blog.andaluciaesdigital.es/recursos-tecnologicos-para-personas-con-discapacidad/#Ventajas_del_uso_de_los_recursos_tecnologicos_TIC_y_discapacidad
- Bedón Vásquez, L. F. (07 de 2017). Recuperado el 21 de 10 de 2018, de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26094>
- Bricogeek. (21 de Enero de 2018). Recuperado el 10 de 10 de 2018, de <https://tienda.bricogeek.com/sensores-distancia/741-sensor-de-distancia-por-ultrasonidos-hc-sr04.html>
- Campaña Olmos, M. D., & Barreno Oñate, J. M. (15 de 09 de 2017). Recuperado el 13 de 10 de 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13501>
- Carmenate, L., & Moncada, F. (1 de Mayo de 2014). *Manual de medidas Antropométricas*. Recuperado el 28 de 10 de 2018, de Repositorio: <http://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/8632/MANUAL%20ANTROPOMETRIA.pdf>
- efdeportes*. (s.f.). Recuperado el 22 de 03 de 2018, de <http://www.efdeportes.com/efd98/discap.htm>

- Electrónica Embajadores*. (12 de Enero de 2018). Recuperado el 6 de 10 de 2018, de <https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/IT41T31/interruptores-conmutadores-pulsadores/finales-de-carrera/final-de-carrera-microswitch-grande-con-palanca-msstc11da30>
- Electronilab*. (20 de Febrero de 2018). Recuperado el 02 de 11 de 2018, de <https://electronilab.co/tienda/modulo-rele-de-2-canales-salidas-optoacopladas/>
- Electronilab. (6 de Junio de 2018). *Electronilab*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>
- García, A., & Martínez, B. (2014). *Inferencia estadística (intervalos de confianza y p-valor). Comparación de dos poblaciones (test t de comparación de medias, comparación de dos proporciones, comparación de dos varianzas)*. Valencia: Universidad Cardenal Herrera. Recuperado el 12 de Febrero de 2018
- Ies, R. (Junio de 27 de 2016). Recuperado el 10 de 10 de 2018, de <http://arduino123.blogspot.com/p/control-y-robotica.html>
- Jimenez, A. (16 de Marzo de 2016). *esarco*. Recuperado el 29 de 10 de 2018, de *esarco* web site: <https://esarco.es/rampas-minusvalidos/>
- lds.org*. (s.f.). Recuperado el 22 de 06 de 2018, de <https://www.lds.org/topics/disability/list/physical-disability?lang=spa&old=true>
- Metroecuador*. (s.f.). Recuperado el 22 de 03 de 2018, de <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2016/07/26/167-cm-estatura-promedio-ecuatorianos.html>
- Microjpm*. (14 de Enero de 2018). Recuperado el 11 de 11 de 2018, de <https://www.microjpm.com/products/vnh2sp30-stepper-motor-driver-monster-30a/>

- Mil YunPartes*. (16 de Marzo de 2016). Recuperado el 10 de 11 de 2018, de <http://milyunpartes.com/otros-tipos/41-arduino-ky-023-modulo-joystick-de-eje-xy.html>
- Nariño, R., & Alonso, A. (19 de Enero de 2016). *Revista EIA*. Recuperado el 25 de 11 de 2018, de Antropometría: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n26/n26a04.pdf>
- Obando Herrera, F. E., Flores Mugmal, T. G., Barbero Palacios, J. I., & Ortega Bustamente, L. A. (17 de 05 de 2017). Recuperado el 20 de 10 de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/321322430_Silla_bipedestadora_para_personas_con_movilidad_restringida_grado_iv_en_las_extremidades_inferiores_con_una_capacidad_de_carga_de_100kg
- OMS. (2011). Recuperado el 20 de 10 de 2018, de www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf?ua=1
- Paredes Torres, E. K., & Toapanta Quimbita, J. E. (09 de 02 de 2018). Recuperado el 12 de 10 de 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13995>
- Quiñones Argote, K., Robayo Torres, A., & Garcia Torres, A. (21 de 11 de 2013). Recuperado el 12 de 10 de 2018, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/42798/47621>
- Rehab. (3 de Mayo de 2016). *REHAB*. Recuperado el 8 de 11 de 2018, de REHAB web site: <http://www.rehab.com.ar/upload1/Evolv%20Manual%20de%20USO.pdf>
- Robologs. (25 de Julio de 2018). Recuperado el 12 de 09 de 2018, de <https://robologs.net/2014/10/15/tutorial-de-arduino-y-mpu-6050/>
- Robotshop*. (15 de Febrero de 2018). Recuperado el 10 de 11 de 2018, de <https://www.robotshop.com/es/es/giroscoPIO-acelerometro-imu-mpu-6050-6->

dof.html?gclid=Cj0KCQiA_s7fBRDrARIsAGEvF8QPoTmpP6pg3vgyZD-
iL0KIRwWtDVtWld0UYmPfKnFzzbLSTpit7RMaApzQEALw_wcB

Seguridad, I. N. (2 de Enero de 2015). *insht*. Recuperado el 29 de 10 de 2018, de insht web site:

[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/
201a300/ntp_235.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_235.pdf)

Sensing. (6 de Junio de 2018). Recuperado el 23 de octubre de 2018, de [http://www.sensores-de-](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/)

[medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/)

Sillero, M. (5 de Junio de 2015). *Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el 28 de 10 de

2018, de INEF: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Tema-2_unlocked.pdf

SoloRobotica. (16 de Enero de 2018). Recuperado el 9 de 10 de 2018, de

<http://solorobotica.blogspot.com/2011/08/actuadores-en-robotica.html>

SoloRobotica. (15 de Febrero de 2018). Recuperado el 18 de Septiembre de 2018, de

<http://solorobotica.blogspot.com/2011/08/actuadores-en-robotica.html>

stroke, N. I. (s.f.). *Enfermedades de la neurona motora*. Recuperado el 15 de noviembre de 2017,

de Enfermedades de la neurona motora:

https://www.espanol.ninds.nih.gov/trastornos/enfermedades_de_la_neurona_motora.htm

Uptronik. (16 de Enero de 2018). Recuperado el 24 de Noviembre de 2018, de

[http://www.uptronik.es/es/sensores-industriales/1032-interruptor-de-final-de-carrera-z-
15gw255-b.html](http://www.uptronik.es/es/sensores-industriales/1032-interruptor-de-final-de-carrera-z-15gw255-b.html)

WebRobotica. (6 de Junio de 2018). Recuperado el 11 de Marzo de 2018, de [https://www.web-](https://www.web-robotica.com/arduino/conceptos-basicos-arduino/como-usar-el-modulo-sensor-de-infrarrojos-ir-fc-51-para-evitar-obstaculos-con-robot-arduinogenuino)

[robotica.com/arduino/conceptos-basicos-arduino/como-usar-el-modulo-sensor-de-
infrarrojos-ir-fc-51-para-evitar-obstaculos-con-robot-arduinogenuino](https://www.web-robotica.com/arduino/conceptos-basicos-arduino/como-usar-el-modulo-sensor-de-infrarrojos-ir-fc-51-para-evitar-obstaculos-con-robot-arduinogenuino)

Wikipedia. (16 de Enero de 2018). Recuperado el 13 de 09 de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido

Witriw, A. (3 de Julio de 2016). *Antropométria*. Recuperado el 24 de 12 de 2018, de fmed.uba: <http://www.fmed.uba.ar/depto/nutrievaluacion/ANTROPOMIA~TECNICAS%20DE%20MEDICION%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que presente trabajo fue realizado por los estudiantes; **Srta. López Inga Tatiana Alexandra** y el **Sr. Pilatasig Aynuca Alexis Fabian**. En la ciudad de Latacunga a los diez días del mes de enero del año dos mil diecinueve. Aprobado por:

Latacunga, 10 de enero del 2019

