



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**TEMA**

---

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

---

Proyecto de trabajo de graduación Proyecto de Investigación previo a la  
obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Robótica

**AUTOR:** Luis Fernando Bedón Vásquez

**TUTOR:** Ing. Julio Cuji , Mg.

**AMBATO – ECUADOR**

**julio de 2017**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: **“Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación.”** del señor LUIS FERNANDO BEDÓN VÁSQUEZ, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones , de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiendo aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

EL TUTOR

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to read "Julio Cuji" followed by a stylized flourish.

Ing. Julio Cuji , Mg.

## Aprobación de la comisión Calificadora

La comisión calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Victor Santiago Manzano Villafuerte e Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo, revisó y aprobó el informe final del proyecto de investigación SISTEMA DE CONTROL PARA LA MOVILIDAD Y EXTENSIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA DE BIPEDESTACIÓN, presentado por el señor Luis Fernando Bedón Vásquez de acuerdo al numeral 9.1 de los lineamientos generales para la aplicación de instructivos de las modalidades de titulación de las facultades de la Universidad Técnica de Ambato



Ing. Elsa Pilar Urrutia  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Victor Santiago Manzano  
**DOCENTE CALIFICADOR**



Ing. Geovanni Brito Moncayo  
**DOCENTE CALIFICADOR**

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado **“Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas Eléctrica de bipedestación.”**, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor



Luis Fernando Bedón Vásquez  
0503646556

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación. Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad



Luis Fernando Bedón Vásquez  
0503646556

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de culminación de mi carrera a Dios sobre todas las cosas, ha sido mi sustento en todos los momentos buenos y malos a mi lado, a mis padres que con esfuerzo y esmero han sustentado toda esta carrera, a mi esposa que cada día admiro más su esfuerzo



Luis Fernando Bedón

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar siempre conmigo por darme bendición, fuerzas y ánimo para seguir adelante cada día.

Agradezco a mi madre Lidia Vásquez, por nunca rendirse conmigo, vi su esfuerzo la motivación suficiente para ser mejor cada día

A la Universidad Técnica de Ambato que a través de sus aulas obtuve mucho más que conocimiento.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, sus maestros que han formado como profesional.



Luis Fernando Bedón

# ÍNDICE

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>AUTORÍA</b>	<b>III</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>DEDICATORIA</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>AGRADECIMIENTO</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>ÍNDICE</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación.....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes Investigativos.....	5
2.2 Fundamentación Teórica.....	6
2.2.1 Discapacidades Físicas.....	6
2.2.2 Silla de Ruedas.....	9
2.2.3 Bipedestador.....	10
2.2.4 Sistemas de Control.....	11
2.2.5 Fuente de Alimentación del Sistema.....	15
2.2.6 Dispositivos lógicos de control.....	18
2.2.7 Sistemas de Mando.....	22



2.2.8 Motores .....	24
2.2.9 Arquitectura del Servidor .....	26
2.2.10 Sistema de Gestión de Contenidos .....	29
<b>CAPITULO III</b>	<b>31</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
<i>3.1 Modalidad de la Investigación.....</i>	<i>31</i>
<b>CAPITULO IV</b>	<b>33</b>
<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b>	<b>33</b>
<i>4.1 Discusión.....</i>	<i>33</i>
<i>4.2 Análisis de dificultades y requerimientos de potenciales usuarios.....</i>	<i>33</i>
<i>4.3 Propuesta en diagrama de bloques del sistema de control para la silla de ruedas eléctrica de bipedestación.....</i>	<i>41</i>
<i>4.4 Selección de Dispositivos.....</i>	<i>61</i>
<i>4.5 Construcción del Prototipo .....</i>	<i>65</i>
<i>4.6 Presupuesto.....</i>	<i>66</i>
<i>4.7 Pruebas y Resultados.....</i>	<i>66</i>
<b>CAPITULO V</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 4.1 Diagrama de Cuerpo libre para el dimensionamiento de Potencia en estado de reposo
- Figura 4.2 Diagrama de la normativa INEN para la implementación de accesibilidad de personas al medio físico
- Figura 4.3 Diagrama de Cuerpo libre para el estudio de potencia requerida para romper la inercia en la elevación máxima dada por la norma INEN 245:200
- Figura 4.4 Diagrama de bloques a implementarse para la silla de ruedas eléctrica de bipedestación
- Figura 4.5 Dispositivo joystick implementado en el prototipo de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación
- Figura 4.6 Botón implementado en el prototipo de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación
- Figura 4.7 Diagrama Esquemático de un sensor de carga de batería
- Figura 4.8 Diagrama del sistema de alimentación del sistema de control
- Figura 4.9 Sistema de carga automático de baterías
- Figura 4.10 Fuente 5v/2A y Fuente 12v
- Figura 4.11 Conexión típica de los motores Dynamixel con un Arduino Mega
- Figura 4.12 Motor DC
- Figura 4.13 Dispositivo integrado Puente H
- Figura 4.14 Finales de Carrera
- Figura 4.15 Flujograma general de procesos del sistema de control
- Figura 4.16 Valores medidos en el potenciómetro del Joystick
- Figura 4.17 Valores medidos después de que la señal análoga haya sido transformada por el conversor ADC del microcontrolador
- Figura 4.18 Valores deseados para la implementación del sistema de control
- Figura 4.19 Diagrama de flujo Función Bipedestar
- Figura 4.20 Diagrama de flujo para la función principal de la silla de ruedas
- Figura 4.21 Flujograma de la transferencia de datos a la base de datos

- Figura 4.22 ISO de Raspbian
- Figura 4.23 Escritorio de Raspbian
- Figura 4.24 Pantalla inicial de un servidor web apache
- Figura 4.25 Características de la versión php instalada
- Figura 4.26 Login de la aplicación PHP MYADMIN
- Figura 4.27 Valor máximo de carga en la batería, para el circuito sensor de carga de batería
- Figura 4.28 Medición de la salida del divisor de voltaje del circuito sensor de batería para un valor de
- Figura 4.29 Medición de la salida del divisor de voltaje del circuito sensor de batería para un valor de carga en la batería del 61%
- Figura 4.30 Circuito simulado de la fuente de 5 v /2 Amperios
- Figura 4.31 Circuito de carga de batería con conexión a la red eléctrica

## **Índice de Tablas**

- Tabla 4.1 Datos obtenidos del trabajo investigativo de las personas de la rama de terapia física
- Tabla 4.2 Dimensionamiento de Energía necesaria a partir del peso del Sistema
- Tabla 4.3 Tabla de mediciones obtenidas en el dispositivo Joystick
- Tabla 4.4 valores de los elementos del circuito sensor de batería

## RESUMEN

El desarrollo tecnológico, así como el avance en la integración laboral han permitido la construcción de herramientas para la accesibilidad de las personas inválidas, brindando servicios como locomoción, extensión de un cuerpo atrofiado parcial o totalmente.

Actualmente existe en el mercado dispositivos motorizados que permiten la movilidad de personas inválidas, estos dispositivos suelen tener un alto costo en el mercado lo cual es un limitante en el momento de la adquisición del producto. El presente trabajo desarrollará un prototipo del sistema de control para una silla de ruedas eléctrica de bipedestación, la cual pueda ser fácilmente controlada por el paciente y que pueda obtener datos de usabilidad de la silla para el mejoramiento de las prestaciones que esta silla pueda tener en el mercado, este trabajo forma parte del proyecto ***“Implementación de criterios de ergonomía en el diseño y comercialización de Equipos de asistencia a personas con movilidad limitada, caso silla de ruedas de bipedestación”*** aprobado bajo resolución **HCU 2419-CU-P-2014** el cual tiene como objetivo principal el desarrollo de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación la cual pueda ser una alternativa de bajo precio en el mercado ecuatoriano, y pueda ser reparada con facilidad

**Palabras clave:** Silla de ruedas de bipedestación, equipamiento para minusválidos, sistema de control.

## ABSTRACT

Technological development and progress in the labor integration, building tools for accessibility of disabled people, providing services such as locomotion, the extension of a body part or completely atrophied. Currently on the market motorized devices that allow mobility of disabled people, these devices usually have a high cost in the market which is a limiting factor in the time of product purchase. This paper developed a prototype of the control system for an electric wheelchair in the standing position, which can be easily controlled by the patient and can obtain data from the usability of the chair for improving the requirements chair can have on the market, this work is part of the **"Implementation of ergonomic criteria in the design and marketing of equipment assistance to people with limited mobility, wheelchair standing"** approved under resolution **HCU 2419-CU-P-2014** project which which has as main principal the development of a power wheelchair from the standing position which can be a low cost alternative in the Ecuadorian market, and can be repaired with ease

**Keywords:** standing up wheelchair, disabled equipment, control system.

## INTRODUCCIÓN

El prototipo del sistema de control de una silla de ruedas de bipedestación aportó de nuevas capacidades para los minusválidos, y que esta alternativa pueda ser comercializado a un bajo costo en relación a las propuestas actuales del mercado.

- Desplazamiento autopropulsado
- Monitoreo del estado del sistema
- Transformación en bipedestación

Es necesario indicar que no existe en el mercado ecuatoriano una silla de ruedas de bipedestación de procedencia nacional, esta situación eleva los costos de adquisición y esto lo hace poco accesible

Las funciones que se desarrollaron en este prototipo, al ser implantado en el proyecto a gran escala, aumentarán la autonomía de los minusválidos en su vida cotidiana, y simplificará el trabajo de los cuidadores en residencias y hospitales. Algunas de las capacidades con las que se dotó a la silla de ruedas vienen motivadas por factores médicos. Ejemplos de ello son la función de bipedestación se consigue mejorar la función respiratoria y de circulación del enfermo.

El presente trabajo comprende de cinco capítulos, estos se describen a continuación:

### Capítulo I

En este capítulo se plantea el problema y se lo delimita, planteándose objetivos los cuales se tendrán que alcanzar, en esta sección del trabajo se justifica el mismo con datos que son relevantes para su implementación

### Capítulo II

En este capítulo se hace una breve investigación sobre trabajos similares que puedan servir de apoyo al presente trabajo, además de investiga a fondo los componentes que se utilizará para la implementación del sistema de control para una silla de ruedas eléctrica de bipedestación.

Además, en este trabajo se toma en cuenta datos de otras ramas de investigación que colaboran para el proyecto *“Implementación de criterios de ergonomía en el diseño y comercialización de Equipos de asistencia a personas con movilidad limitada, caso silla de ruedas de bipedestación”*

### Capítulo III

En este capítulo se describe la metodología de la investigación a aplicar, el planeamiento para la recolección y análisis de la información, también se establece la modalidad de la investigación

### Capítulo IV

En este capítulo, se procede a la interpretación de los datos obtenidos, estos datos serán usados para el desarrollo del presente proyecto, en esta sección del trabajo se describe el procedimiento que se realizó para llegar al cumplimiento de los objetivos establecidos en el capítulo 1

### Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones, se citarán todos los trabajos y documentos que han ayudado a la culminación de este trabajo, además se incluirá las recomendaciones que el autor hace para la implementación del mismo.

Por último, este proyecto está diseñado para que pueda ser modificado acorde a las necesidades de cada paciente y también es posible integrar nuevas funcionalidades en su servidor interno.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Tema**

Sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de rueda eléctrica de bipedestación.

### **1.2 Planteamiento del problema**

Según la Organización Mundial de Salud (OMS) alrededor de mil millones de personas a nivel mundial sufre algún tipo de discapacidad, este índice va en aumento, esto se debe a factores como el envejecimiento de la población, el aumento de enfermedades crónicas del tipo hereditario.

Las personas con discapacidad en edad de trabajar registran tasas de empleo considerablemente menores a las personas sin discapacidad, esto se debe a que una persona con discapacidad necesita un ambiente propicio para el desarrollo de una actividad laboral; según la OMS indica que las tasas de empleo son más bajas para los hombres con discapacidad (53%) y las mujeres con discapacidad (20%) que para los hombres sin discapacidad (65%) y las mujeres sin discapacidad (30%). [1].

Según datos de CEPAL publicado en el 2012 en panorama social más del 12% de la población de América Latina y el Caribe vive con algún tipo de discapacidad (5.4% en el Caribe y 12,4% en América Latina) y su prevalencia es en personas que exceden los 60 años, además existe una tasa más alta en adultos mayores de las zonas rurales

En América Latina el 80 por ciento de discapacitados están desempleados o no integrados a una fuerza laboral y esto hace que un discapacitado físicamente no



sea autosuficiente y tenga que buscar ayuda en los demás, influye en la pobreza y en el no desarrollo propio.

Uno de los problemas más severos con el que se enfrenta un discapacitado es la accesibilidad ya que no tiene los medios físicos para acceder a las diferentes edificaciones, pero en la actualidad existen muchos recursos mecánicos eléctricos para que la accesibilidad de una persona sea más independiente. [2].

Según el Consejo Nacional de Discapacitados (CONADIS) el 13,2 % del total de la población del Ecuador son personas con algún tipo de discapacidad y el 4.89% son personas con discapacidad por deficiencias físicas. Más específicamente, en la Provincia de Tungurahua están registradas 4.244 personas con discapacidad física. [2]

La presencia de una discapacidad física hace que las personas afectadas presenten una desventaja que imposibilita o limita su desempeño motor, por lo que generalmente requiere de la ayuda de otras personas para realizar las actividades de la vida diaria y esto evita que sean productivos ante la sociedad.

### **1.3 Delimitación**

**ÁREA ACADÉMICA:** Física y Electrónica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas Electrónicos

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Robótica

**DELIMITACIÓN ESPACIAL:** La presente investigación se desarrolló en el departamento de investigaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato

**DELIMITACIÓN TEMPORAL:** La presente investigación se desarrolló en los 6 meses posteriores a la aprobación del proyecto por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## 1.4 Justificación

Uno de los objetivos del “Plan Nacional Del Buen Vivir” gestionado por la Secretaria Nacional de Planificación, señala que se debe gestionar recursos estratégicos como es el sector industrial y científico a favor del bienestar de los ecuatorianos [3]

Según el Consejo Nacional de Discapacitados (CONADIS) el 13,2 % del total de la población del Ecuador son personas con algún tipo de discapacidad y el 4.89% son personas con discapacidad por deficiencias físicas. Más específicamente, en la Provincia de Tungurahua están registradas 4.244 personas con discapacidad física. [2]

En base en lo expuesto se plantea diseñar el sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas de bipedestación, este sistema debe permitir que el usuario pueda propulsarse y/o bipedestar de acuerdo a sus necesidades. Todo esto encaminado a la obtención de un producto relativamente económico y compuesto con materiales de comercialización local; facilitando así las labores de mantenimiento, reparación y adaptación a las particularidades del usuario.

Los beneficiarios de este proyecto son las personas que poseen algún tipo de discapacidad física, las mismas que podrán hacer uso del dispositivo de manera cómoda y sencilla, con un precio en el mercado que pueda ser accesible a personas de recursos económicos escasos.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

- Diseñar de un sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de rueda eléctrica de bipedestación.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Analizar las dificultades y requerimientos de las personas con discapacidad que potencialmente podrían utilizar la silla de ruedas eléctricas de bipedestación
- Determinar las funcionalidades y características técnicas de la silla.
- Seleccionar los dispositivos que permitirán el control de los sistemas de motorización
- Seleccionar los sistemas de motorización adecuados.
- Diseñar los sistemas de control asociados a la silla.
- Realizar las simulaciones del sistema de control en cada una de sus correspondientes etapas

# **CAPÍTULO II**

## **Marco Teórico**

### **2.1 Antecedentes Investigativos**

Al realizar la investigación sobre sistemas de control asociados a la movilidad en sillas de ruedas y/o bipedestación se han encontrado proyectos que tienen un grado de similitud.

Rafael Morales, Jonathan Becedas, Vicente Feliu, en su trabajo “Automatización de un Prototipo de silla con accionamiento eléctrico y capacidad de transferencia a cama”, Este proyecto consiste en el uso de los puertos del micro controlador con la tarjeta GPIO-104 las cuales controlan la mecánica de la silla y estas no presentan ningún problema al trabajar con condiciones de potencia superiores a las propuestas en este trabajo por ende hay que tomar en cuenta el sistema de control descrito en dicho trabajo [4].

Javier Alejandro López Celi, en su tesis “Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica con sistema de ascenso y elevación”, Este proyecto se basa en la construcción total de una silla de ruedas eléctrica en la cual se puede destacar los cálculos de potencia que realiza al dimensionar la potencia que deberá poseer los dispositivos de motorización, en este trabajo de investigación el dispositivo es diseñado para que pueda subir con facilidad veredas de la ciudad de Cuenca y este se basa en las normativas propias de la ciudad [5].

Henry Cortez y David Maya en su tesis “Desarrollo e Implementación de un sistema móvil de conducción para niños con insuficiencia motriz cerebral del centro San Juan de Jerusalén”, Este trabajo propone un sistema de carga de baterías pequeño, pero con grandes prestaciones como limitadores de corriente de entrada e indicadores del estado de la batería para salvaguardar el sistema de control [6].

## **2.2 Fundamentación Teórica**

### **2.2.1 Discapacidades Físicas**

Discapacidad Física es un término que describe la insuficiencia, restricciones y limitaciones físicas de participación de un individuo en un contexto social

La incapacidad de usar eficazmente las piernas, los brazos o el tronco debido a parálisis, rigidez, dolor u otras deficiencias es común. Podría deberse a defectos congénitos, enfermedades, envejecimiento o accidentes.

Las personas con deficiencias motrices y para desplazarse pueden hallar difícil participar en las actividades debido a las barreras sociales y físicas. Algunas de ellas son plenamente independientes, mientras que otras quizás necesiten ayuda a tiempo parcial o completo [7] [8].

Los ámbitos sociales en los que son afectados las personas que poseen una discapacidad física son los siguientes:

#### Familiares

- No comprensión de las incapacidades de la persona
- Súper protección de la persona haciendo que se impida el desarrollo personal
- Los facilitadores educativos no se adaptan totalmente a las necesidades que las personas con discapacidad poseen

#### Laboral

- Dificultad en la integración laboral
- Subestimación de las capacidades laborales por el difícil acceso que físicamente posee una persona discapacitada

### **Posibles causantes de atrofia o discapacidad**

#### **a. Amputaciones**

La pérdida de una extremidad puede darse como consecuencia de una lesión traumática, corte quemadura o aplastamiento o una enfermedad que requiere una intervención quirúrgica (cáncer, gangrena, diabetes...). La autonomía de las personas amputadas varía en función de la extremidad afectada y del nivel de amputación.

En miembros inferiores se pueden utilizar prótesis para recuperar el movimiento funcional.

En extremidades superiores las prótesis tienen un carácter más estético que funcional. [7] [8].

## **b. Afectación a la Columna vertebral**

### Lesión medular

Cuando ocurre una lesión medular, todos los nervios situados por encima de la lesión funcionan perfectamente, en cambio, por debajo se produce una desconexión entre el cerebro y las diferentes partes del cuerpo.

Dependiendo del lugar y grado de afectación esta desconexión puede ser total o parcial. Dependiendo del nivel de la lesión se pueden producir una paraplejia (afectación a miembros inferiores) o una Tetraplejia (afectación tanto a miembros inferiores como superiores).

### 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. [7] [8].

### **c. Enfermedades Degenerativas**

#### Ataxia de Friedreich

Enfermedad hereditaria que ocasiona un daño progresivo del sistema nervioso con síntomas que van entre debilidad muscular y problemas de dicción, por un lado, y enfermedad cardíaca por otro.

En general el primer rasgo que aparece es la dificultad para caminar y se va programando progresivamente a los brazos y al tronco [7] [8].

#### Esclerosis múltiple

Se trata de una enfermedad del sistema nervioso central que se produce cuando se destruye o deteriora la mielina perdiendo los nervios la capacidad de conducir los impulsos eléctricos. Los síntomas de esta enfermedad varían entre diferentes personas e incluso en un mismo individuo según los momentos. [7] [8].

#### Distrofia muscular progresiva

Se conoce a un conjunto de enfermedades, todas hereditarias, caracterizadas por una debilidad progresiva y un deterioro de los músculos esqueléticos o voluntarios que son los que se encargan del movimiento.

La forma más frecuente y grave es la distrofia muscular de Duchenne, con una expectativa de vida de 20 años. Estas personas son muy sensibles a las lesiones, hay que tener cuidado en los cambios de posiciones y los movimientos bruscos.

#### Corea de Hungtinton

También popularmente conocida como "Baile de San Vito". Es una enfermedad neurológica degenerativa caracterizada por movimientos involuntarios incontrolados, desarreglos psíquicos y pérdida de las funciones intelectuales (demencia) [7] [8].

### **d. Parálisis Cerebral**

Se trata de una anomalía de tipo neuromotor provocada por un desarrollo defectuoso o lesión del cerebro. Este trastorno no evolutivo puede afectar al control motor, al tono, al movimiento y a la postura.

La lesión cerebral puede tener lugar antes, durante o poco después del parto. En la mayoría de los casos de parálisis cerebral se debe a una anoxia cerebral

(insuficiencia de aporte de oxígeno a las células de la corteza cerebral), aunque también puede producirse por otras causas como infecciones (meningitis, encefalitis.), accidentes cerebrovasculares (cuando se interrumpe repentinamente el suministro de sangre a una parte del cerebro o se rompe un vaso sanguíneo en el cerebro) o por traumatismos craneoencefálicos. Esta enfermedad presenta algunas otras deficiencias, como en el lenguaje, disminuciones intelectuales (no forzosamente), convulsiones, problemas de visión y/o audición, alteraciones perceptivas, problemas afectivos [7] [8].

## **2.2.2 Silla de Ruedas**

### **Silla de Ruedas Comunes**

La silla de ruedas es una herramienta que fue creada con el fin de poder facilitar la movilización de las personas inválidas, perfeccionada en el siglo pasado haciendo un importante desarrollo en versatilidad, movilidad y comodidad.

Las sillas de ruedas son vehículos individuales que favorecen el traslado de personas que han perdido, de forma permanente, total o parcialmente, la capacidad de desplazarse. Hay que tener en cuenta que la silla de ruedas debe ser adecuada para su grado de invalidez, el tipo de sillas de ruedas que más se ha destacado es la silla de ruedas de tipo “plegable”, el cual ocupa el 60% de ventas en el mercado [9]



**Figura 2.1 Silla de Ruedas Plegable [10]**



## Sillas de Ruedas Motorizadas

La silla de ruedas motorizada es un dispositivo de tipo comercial que incorpora sensores y actuadores sobre la estructura básica de una silla de ruedas rectangular con tracción diferencial (dos ruedas controlables y dos ruedas libres), la rueda libre permite el giro de la silla en cualquier dirección, este tipo de sillas suelen estar controladas por un dispositivo joystick y alimentadas por un banco de baterías que alimenta el sistema y los dos motores DC que habitualmente poseen. [9].



Figura 2.2 Silla de Ruedas Motorizadas [11].

### 2.2.3 Bipedestador

La bipedestación es la capacidad de andar sobre dos extremidades inferiores, lo cual facilita el uso de las dos extremidades superiores para el desarrollo de las actividades cotidianas y en el ser humano se la puede determinar como una postura natural.

El uso excesivo de sillas de ruedas conlleva a varios problemas en el paciente debido a la postura que adopta en una silla no es a la que un cuerpo debe estar sometido. los problemas más comunes con la falta de una postura erguida(bipedestación) son:

- Afecciones en las funciones intestinales
- Disminución de circulación del torrente sanguíneo hacia las extremidades inferiores
- Incremento de presión en la zona de la cadera
- Disminución de la densidad del hueso de las extremidades inferiores

Para prevenir este tipo de anomalías, se han diseñado distintos tipos de artefactos los cuales “Simulan” una postura erguida y ayuda a prevenir las anomalías descritas anteriormente. [12] [9].



Figura 2.3 Bipedestadores para niños [11].

## 2.2.4 Sistemas de Control

Sistema de control de define como un sistema formado de elementos mecánicos, eléctricos, electromecánicos, electrónicos, hidráulicos, neumáticos, etc. Cuya función es controlar el funcionamiento de una máquina o proceso.

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

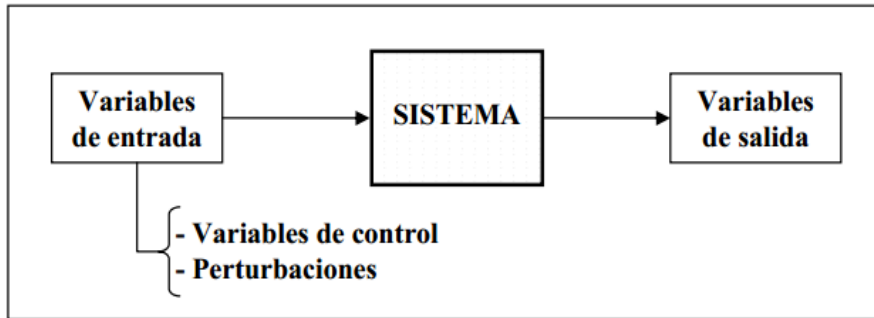


Figura 2.4 Representación de un sistema de control [13].

### Clasificación de los Sistemas de Control:

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto (o no Automático) y sistemas de lazo cerrado (retroalimentados o automáticos).

#### Sistema de Control de lazo Abierto

Es aquel sistema en el que el funcionamiento del mismo es independiente de la salida es decir funciona únicamente con los datos de la entrada del sistema. Este tipo de control generalmente se lo usa con actuadores para obtener un estado deseado dependiendo del medio.



Figura 2.5 Sistema de Control de lazo abierto [13].

#### Sistema de Control de Lazo Cerrado

Este tipo de sistema utiliza retro alimentación de la salida de tal forma que la acción de control está también en función de la salida con esto se logra un mejor control sobre el proceso [14].



Figura 2.6 Sistema de control de lazo cerrado [13].

## Componentes de un Sistema de Control

Los elementos principales que componen un sistema de control son:

- Sensor
- Controlador
- Actuador

Estos son elementos necesarios para el óptimo desarrollo y funcionamiento de un sistema de control. [14].

### Sensor

Estos elementos son capaces de convertir una señal física en una señal eléctrica de baja frecuencia, con lo cual se puede obtener valores de las variables que rigen este sistema de control [13] [14].

### 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 [13].

### Actuador

Es el elemento que ejecuta las acciones que el Controlador ha visto como convenientes y esto modifica las variables de control [14].

## La ingeniería en los sistemas de control

Los problemas considerados en la ingeniería de los sistemas de control, básicamente se tratan mediante dos pasos fundamentales como son:

- El análisis.
- El diseño.

En el análisis se investiga las características de un sistema existente, en el diseño se escogen los componentes para crear un sistema de control que posteriormente ejecute una tarea particular. Existen dos métodos de diseño:

- Diseño por análisis.
- Diseño por síntesis.

El diseño por análisis modifica las características de un sistema existente o de un modelo estándar del sistema y el diseño por síntesis en el cual se define la forma del sistema a partir de sus especificaciones. [13] [14].

La representación de los problemas en los sistemas de control se lleva a cabo mediante tres representaciones básicas o modelos:

Ecuaciones diferenciales, integrales, derivadas y otras relaciones matemáticas.

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

Los diagramas en bloque y las gráficas de flujo son representaciones gráficas que pretenden el acortamiento del proceso correctivo del sistema, sin importar si está caracterizado de manera esquemática o mediante ecuaciones matemáticas. Las ecuaciones diferenciales y otras relaciones matemáticas, se emplean cuando se requieren relaciones detalladas del sistema. Cada sistema

de control se puede representar teóricamente por sus ecuaciones matemáticas [13] [14].

## 2.2.5 Fuente de Alimentación del Sistema

### Fuente Convencional

Las fuentes convencionales o lineales, reducen la tensión mediante un transformador seguidamente de un puente de diodos el cual rectifica la forma de onda de salida del transformador y para que la tensión sea más limpia se usa condensadores conectados en paralelo a la salida de tensión. [15] [16].

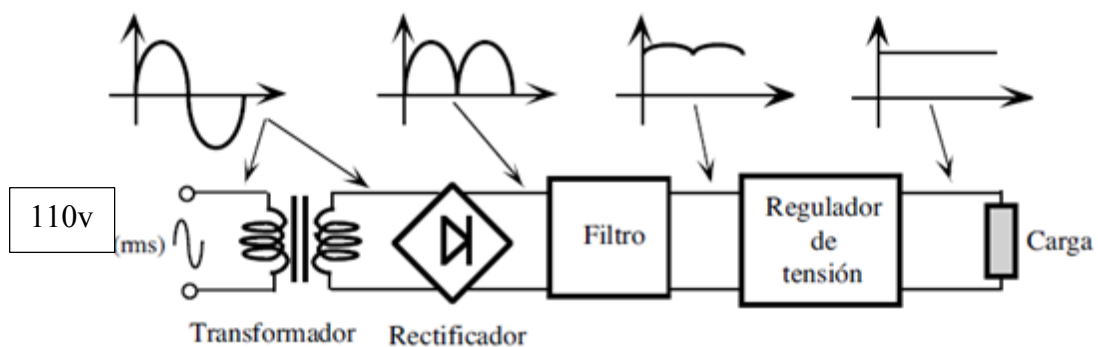


Figura 2.7 diagrama de una fuente convencional [14].

### Esquema de una fuente tradicional

Una desventaja que tiene este modelo de fuente es la pérdida de energía en el transformador.

### Fuente Conmutada

Es un dispositivo electrónico el cual transforma la energía eléctrica a través de transistores de conmutación.

Las fuentes de alimentación conmutadas utilizan el mismo principio que las fuentes lineales, pero con grandes cambios en la frecuencia de la corriente.

Se produce una oscilación en la corriente de 50/60 Hz a más de 100 Khz dependiendo del sistema utilizado, al aumentar la oscilación de la corriente se produce menos pérdidas por lo cual se puede reducir el peso del transformador. Los equipos electrónicos que usan fuentes lineales prácticamente han desaparecido o han sustituido su fuente por una fuente conmutada. [16].

## **Etapas de una Fuente Conmutada**

Existen variaciones en cuanto a la estructura de una fuente conmutada, pero todas ellas se sujetan a un esquema. [15] [16].

### **1. Protecciones de entrada**

Protege el circuito de las alteraciones en la red eléctrica pública y a la vez protege a la red de averías en el circuito [16].

### **2. Filtro EMC**

La función de esta etapa es absorber los problemas eléctricos de la red pública como ruidos transitorios, y a la vez protege a la red evitando que el dispositivo envíe interferencias. [16].

### **3. Rectificador Primario**

Esta etapa rectifica la corriente de tal manera que esta se desplaza en un solo sentido de modo que convierte la corriente de entrada en corriente pulsante, esta corriente oscila al igual que la corriente alterna, pero en un solo sentido [16].

### **4. Corrector de Factor de Potencia**

En determinados casos la corriente se desfasa en función de la tensión lo cual ocasiona que la potencia no sea bien aprovechada, en esta etapa se corrige dicho problema [16].

### **5. Filtro Primario**

Amortigua la corriente pulsante para presentarla de manera lineal en un valor estable [16].

## 6. Transistor

Se encarga del corte y saturación de la corriente lo cual ocasiona que la corriente continua sea pulsante [16].

## 7. Controlador

Activa y desactiva el transistor, suele tener varias funciones como protección contra cortocircuitos, sobrecargas, etc.

Además, mide la salida de la fuente para poder variar la frecuencia de oscilación de la corriente hasta llegar a un valor deseado [16].

## 8. Transformador

Reduce la tensión y aísla físicamente la entrada y la salida [16].

## 9. Rectificador Secundario

Convierte la corriente alterna del transformador en corriente pulsante [16].

## 10. Filtro Secundario

Convierte la corriente pulsante en continua al igual que el filtro primario [16].

## 11. Estabilizador de Tensión

Enlaza la salida de la fuente con el circuito de control, manteniéndose físicamente separados [16].

## Esquema de una fuente conmutada

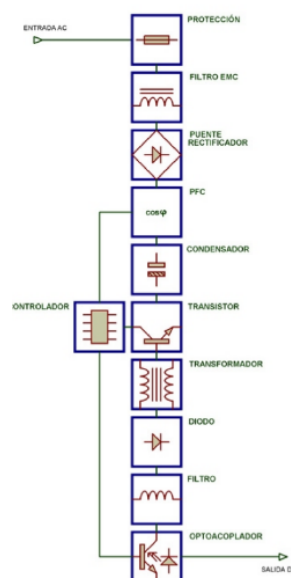


Figura 2.8 Esquema básico de una fuente conmutada [16].



## **2.2.6 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. [17] [18].

### **Ventajas de la lógica programable**

La lógica programable posee varias ventajas en relación a la lógica estándar como son

- 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 [17] [18].

### **Arquitectura de un controlador programable**

Los controladores lógicos programables en su gran mayoría constan de los siguientes 'módulos'

## **Unidad de Programación**

### **CPU**

Es el elemento inteligente capaz de leer e interpretar las instrucciones cargadas en la memoria adjunta al dispositivo y en base de los datos de entrada toma decisiones sobre las salidas del dispositivo [17] [18].

### **Fuente de Poder**

Suministra la energía necesaria para que el dispositivo pueda entrar en funcionamiento, con el avance de estos dispositivos la eficiencia energética ha ido creciendo. [17] [18].

### **Memoria**

Es donde se almacena las instrucciones que ejecuta el CPU además de los registros de configuración que el dispositivo guarde estas memorias pueden ser

- RAM
- ROM
- PROM
- EEPROM

### **Sistema de Salidas y Entradas**

Es la conexión entra el CPU y los dispositivos de campo, del estado de este bus depende el comportamiento de las decisiones del CPU. [17] [18].

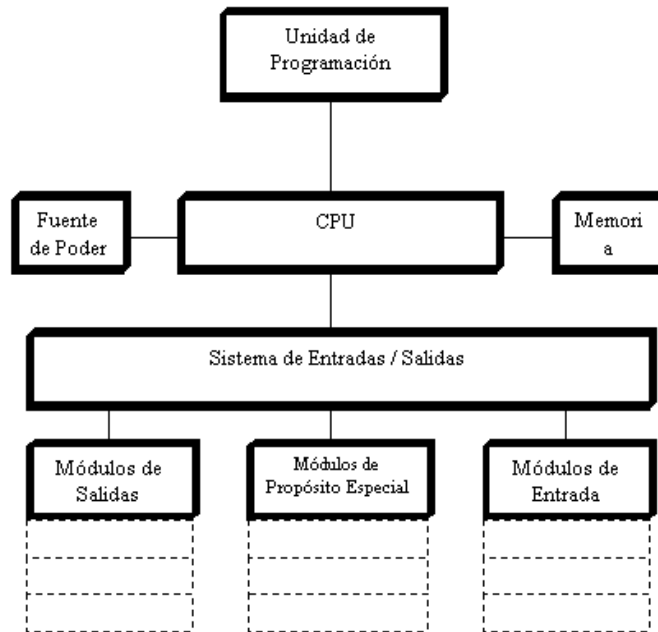


Figura 2.9 Diagrama de Componentes de un controlador lógico Programable [18].

## Raspberry Pi 3 como Controlador Lógico Programable

Este proyecto está basado en el dispositivo Raspberry pi3 como controlador del sistema de control, este dispositivo puede hacer uso de una arquitectura cliente servidor en la cual se puede observar el estado del sistema desde una interface web. [19].

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) de bajo coste desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas [19].

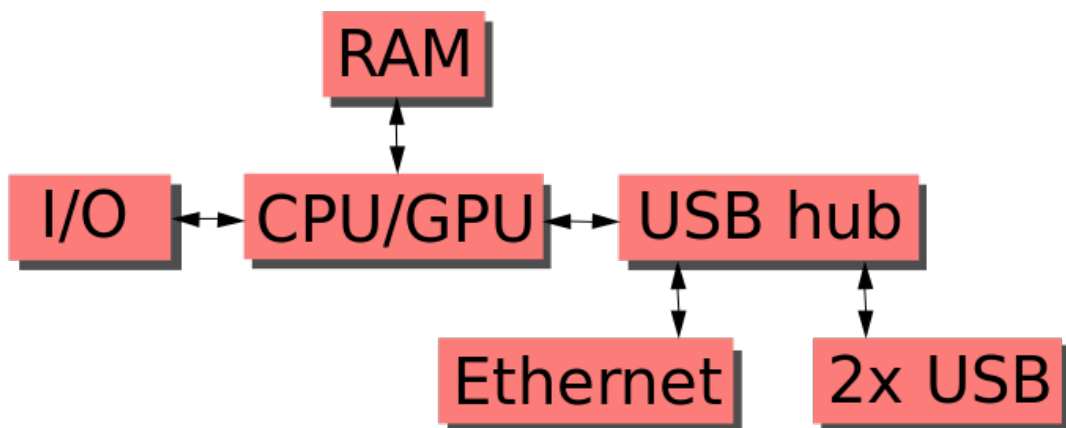


Figura 2.10 Diagrama de Bloques del dispositivo RASPBERRY [19].

Este ordenador reducido provee de una plataforma basado en Linux Debían llamada Raspbian en la cual se puede instalar paquetes y hacer uso de ellos, esta placa además cuenta con una GPU que nos permite hacer uso de una interfaz gráfica a través de un puerto HDMI [19].

### Puerto de comunicaciones del dispositivo RASPBERRY

Este dispositivo está provisto de un puerto RJ-45 para comunicación ethernet y con el cual se puede acceder a los recursos del dispositivo RASPBERRY.

En la versión 3 del dispositivo RASPBERRY este cuenta con un adaptador inalámbrico de red [19].

Detalles técnicos del dispositivo RASPBERRY

Tabla 1.1 Especificaciones básicas del dispositivo Raspberry pi [19].

CPU	1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8
GPU	Broadcom <a href="#">VideoCore</a> IV,, <sup>60</sup> OpenGL ES 2.0, MPEG-2 y VC-1 (con licencia), <sup>58</sup> 1080p30 <a href="#">H.264/MPEG-4 AVC</a> <sup>3</sup>
Puertos USB	4
Salida de Video	HDMI
Salida de Audio	1 RCA

## 2.2.7 Sistemas de Mando

### Joystick

Denominada también palanca de mando la cuál funciona en dos o tres ejes, este dispositivo de control es utilizado como control en un video juego hasta llegar a ser implementado en el control de aviones y transbordadores espaciales. [20].



Figura 2.12 Dispositivo Joystick [20].

### Clasificación de las palancas de mando

#### Palancas de Mando con Micro interruptores

Estas palancas de mando tienen pequeños interruptores que muevan la palanca en un número de direcciones fijas [20].

- Son bastante exactas y fáciles de controlar, haciéndoles el ideal para los juegos del combate y del rompecabezas.
- Tienden a producir un tecleo audible siempre que la palanca cambie direcciones.

#### Palancas de mando del universal del interruptor de la hoja

Estas hojas finas del metal del uso de las palancas de mando para mover la palanca, eliminando el ruido producido por las microconmutadores.

- Tienen una sensación más lisa que modelos de la microconmutador, pero tienen que ser reajustadas generalmente para mantener las hojas la posición.
- Son de uso general en los juegos de arcada que requieren dos al movimiento de cuatro terminales [20].

### **Palancas de mando rotatorias**

Las palancas de mando rotatorias tienen palancas giratorias que permitan que los elementos hagan frente a hasta 12 diversas direcciones de un punto fijo. Ofrecen generalmente diversos ajustes del movimiento, incluyendo configuraciones de dos vías, de cuatro terminales, y de la ocho-manera. Las palancas de mando rotatorias tempranas utilizaron los sensores ópticos para seguir el movimiento en la pantalla y también doblaron como hilanderos. Los modelos de Digitaces son relativamente costosos y se utilizan en un número limitado de juegos [20].

### **Palancas de mando de estado sólido**

Sensores de estado sólido del uso de las palancas de mando en vez de los interruptores, permitiendo un movimiento mucho más reservado del juego y del pulidor. Tienen generalmente ajustes seleccionables por el usuario para los movimientos de cuatro terminales y de la ocho-manera. Son más costosos que las palancas de mando universales, pero son más durables y requieren menos mantenimiento [20].

### **Palancas de mando análogas**

Las palancas de mando análogas poseen un sistema de botones a lo largo de la palanca.

Permiten una amplia gama del movimiento además de las dos posiciones del defecto, haciéndoles el ideal para el grande-formato y los juegos 3d [20].

### **Palancas de mando de 49-Way**

Estas palancas de mando permiten 16 direcciones, cada uno disponible en tres diversas intensidades. Incluyendo la posición central, esto asciende a 49 movimientos permitidos.

Son en funcionamiento similar a las palancas de mando análogas, pero tienen un porcentaje de averías más bajo y requieren menos mantenimiento.

Los utilizan raramente hoy y son solamente útil en juegos específicos y sus consecuencias [20].

## **2.2.8 Motores**

Un Motor de corriente continua es aquel artefacto que convierte la energía continua en mecánica, a partir de este principio se ha desarrollado muchas funcionalidades sobre los motores como: motores a pasos, Servo-motores, motores dc, etc.

Constitución de un Motor.

a. Estator

El estator lleva el bobinado inductor. Soporta la culata, que no es otra cosa que un aro de acero laminado, donde están situados los núcleos de los polos principales, aquí es donde se sitúa el bobinado encargado de producir el campo magnético de excitación.

b. Rotor

Esta construido con capas superpuestas y magnéticas. Dichas chapas, tienen unas ranuras en donde se alojan los bobinados.

c. Colector

Es donde se conectan los diferentes bobinados del inducido

d. Escobillas

Las escobillas son las que recogen la electricidad. Es la principal causa de avería en esta clase de motores, solo hay que cambiarlas con el mantenimiento habitual.

Para la implementación de este proyecto la locomoción de la silla de ruedas de bipedestación será a través de un actuador robótico (servo) DYNAMIXEL el cual su funcionamiento se basa en un motor de corriente continua DC [21].



Figura 2.13 Motores Dynamixel [21].

Este tipo de dispositivos tiene la capacidad de controlar su velocidad, tensión y carga soportada(Torque).

Este dispositivo posee un microcontrolador que entiende 50 comandos para su funcionamiento, la comunicación con estos dispositivos se los realiza a través del puerto serie (UART o USART) usualmente a través del protocolo RS-485 Este motor se ajusta a las necesidades del presente proyecto, a pesar de su tamaño nos proporciona el torque adecuado para el sistema de control. [21]

### **Estándar de Comunicación RS-485**

Está definido como un sistema de bus diferencial multipunto, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, esto se debe a que



el par trenzado reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par trenzado que admite 32, 128 o 254 estaciones en 1 solo par, con una longitud máxima de 1200 metros operando entre 300 y 19 200 bit/s y la comunicación half-duplex (semiduplex) dependiendo del consumo de cada driver. La transmisión diferencial permite alcanzar mayor distancia con una notable inmunidad al ruido, siempre que el bus de comunicación conserve las características de bus balanceado dando la posibilidad de una configuración multipunto. [22]

- Interfaz diferencial
- Conexión multipunto
- Alimentación única de +5V
- Hasta 32 estaciones (ya existen interfaces que permiten conectar 256 estaciones)
- Velocidad máxima de 10 Mbit/s (a 12 metros)
- Longitud máxima de alcance de 1200 metros (a 100 kbit/s)
- Rango de bus de -7V a +12V

### **2.2.9 Arquitectura del Servidor**

Para el desarrollo del presente proyecto, se decidió utilizar la infraestructura LAMP sobre el servidor montado en el Dispositivo RASPBERRY PI 3. [23] [24]

Esta infraestructura consta de las siguientes herramientas

- Linux (sistema Operativo)
- Apache (Servidor Web)
- Mysql (Gestor de bases de datos)
- Php(Lenguaje de Programación)

## Linux

Es un sistema operativo de libre distribución UNIX para computadoras, servidores y dispositivos móviles. [23] [24]

Sus principales características son:

- **Multitarea:** Permite realizar varias acciones a la vez ejecutadas por un mismo usuario
- **Multiusuario:** Varios usuarios pueden trabajar concurrentemente en un ordenador basado en Linux
- **Conectividad:** Un usuario puede conectarse a un sistema basado en linux a través de protocolos con SSH

### Distribuciones de Linux

Una distribución basada en linux es una distribución de software la cual ejecuta determinados paquetes de software para satisfacer las necesidades de diferentes usuarios, por lo generalmente estas “distro” tienen la mayor parte de su software de manera libre, como procesadores de texto, hojas de cálculo , etc [23] [24]

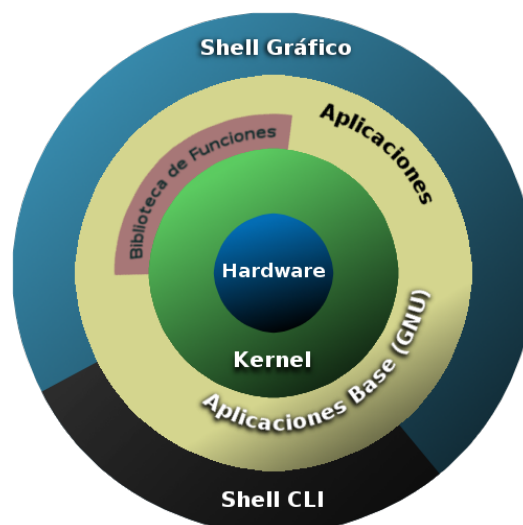


Figura 2.14 Estructura de un sistema basado en Linux [24]

## **Las distribuciones más importantes de Linux son:**

### **Ubuntu**

Es una distribución basada en Debian, esta distribución es orientada hacia la facilidad de uso, cuenta con una comunidad grande para el soporte de Ubuntu

### **RedHat**

Creada por Redhat Inc., fue una de las primeras distribuciones de linux la cual se utiliza como sistema operativo para servidores, así también como base para servidores de aplicaciones [25]

### **Fedora**

Fedora es una distribución de propósito general basada en Red Hat que tiene por objetivo la facilidad de uso, es fácil de usar y posee una comunidad la cual da soporte. [26]

### **Debian**

Debian es una distribución que ofrece gran estabilidad, posee una gran compatibilidad para varios dispositivos [26]

### **Centos**

Es una distribución basada en redhat , la cual fue liberada para poner a disposición un sistema de clase empresarial de manera libre, se defini como un sistema robusto estable y fácil de instalar [27]

### **Raspbian**

Es una distribución basada en debian la cual se usa en la placa Raspberry pi, es un port no oficial de Debian Wheezy armhf para el [procesador \(CPU\)](#) de Raspberry Pi [28]

## **Servidor web**

Es un software informático que procesa peticiones de un usuario o cliente realizando conexiones unidireccionales bidireccionales síncronas o asíncronas, cediendo una respuesta en cualquier lenguaje o aplicación del lado del cliente, este código recibido por el cliente suele ser compilado y ejecutado por un navegador web

### Apache

El servidor Apache es un servidor web HTTP de código abierto para plataformas UNIX. Es el servidor web más usado en el mundo, y por lo cual hace que tenga una comunidad muy activa que da soporte a los posibles errores que tenga este servidor

El servidor apache es fácil de configurar aspectos como bases de datos de autenticación y de administración de contenido

### **2.2.10 Sistema de Gestión de Contenidos**

Para poder visualizar los indicadores del sistema de control así como la visualización de la base de datos se hace uso de un CMS(Contend Manager System ) este gestiona los contenidos de una manera sencilla y este puede ser implementado en el servidor que está en el raspberry

El CMS que se escogió para la implementación de este proyecto es Wordpress este CMS es de código libre y además puede ejecutarse sobre arquitecturas LAMP [29]

WordPress es un sistema de gestión de contenidos o CMS (por sus siglas en inglés, Content Management System) enfocado a la creación de cualquier tipo de sitio. Originalmente alcanzó una gran relevancia usado para la creación de blogs, para convertirse con el tiempo en una de las principales herramientas para la creación de páginas web comerciales. Ha sido desarrollado en el lenguaje PHP para entornos que ejecuten MySQL y Apache, bajo licencia GPL y es

software libre. Su fundador es Matt Mullenweg. WordPress fue creado a partir del desaparecido b2/cafelog y se ha convertido en el CMS más popular de la blogosfera y en el más popular con respecto a cualquier otro CMS de uso general. [30]

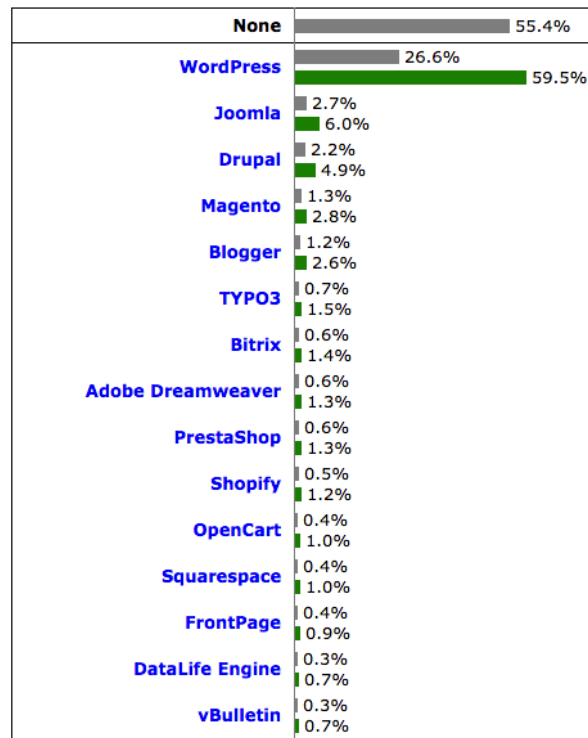


Figura 2.15 Uso de CMS (Content Manager System) [30]

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad de la Investigación**

El presente trabajo tiene el carácter de aplicada debido a que se recurrió a conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, teniendo en cuenta que se busca la manera más efectiva de realizarlo y que utilice sus recursos energéticos efectivamente

La investigación bibliográfica que se realice se la efectuó en la biblioteca de la facultad de ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, en publicaciones en los repositorios virtuales y trabajos anteriores realizados en la Universidad Técnica de Ambato, papers concernientes al tema

##### **3.1.1. BIBLIOGRÁFICA**

Esta investigación permitió ampliar los conocimientos y conceptos básicos de tecnologías, hardware y software, utilizados para desarrollar una solución para personas inválidas que tienen la necesidad de movilización y de extensión, considerando fuentes de estudio como papers, revistas y tesis

##### **3.1.2. EXPERIMENTAL**

Se evaluó la funcionalidad del sistema de control pudiendo calibrar variables físicas, velocidad de almacenamiento de datos y una mejor presentación de los mismos a través del prototipo

### **3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Para la investigación acerca de “Sistema de control para una silla de ruedas eléctrica de bipedestación” se recopiló la información necesaria haciendo uso de libros, internet y guías del tutor.

### **3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para la presente investigación se realizó el siguiente procesamiento y análisis de datos, detallado de la siguiente manera:

1. Estudio de los componentes que conforman el sistema de control
2. Revisión de las características necesarias para la implementación de este sistema de control
3. Análisis de componentes físicos del sistema de control
4. Análisis de secuencias a seguir en el sistema de control
5. Análisis e interpretación de resultados

## **CAPITULO IV**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **4.1 Discusión**

##### **Funcionalidades y características técnicas de la silla de ruedas**

Después de haber tomado en cuenta los fundamentos teóricos y los resultados de análisis de ergonomía se determinó que las funcionalidades que debería tener el sistema de control son

- El sistema de control debe proporcionar movilidad para el paciente a través de un control de mando
- El sistema debe permitir la bipedestación del paciente en cualquier momento en el uso de la silla
- El sistema debe contar con un sistema de carga de baterías
- El Sistema debe contar con movilidad en un área de ancho 40 cm, alto 25 cm, profundidad 40 cm

Recolección de datos de otras ramas que colaboran en el presente proyecto

En la siguiente tabla se puede apreciar los datos finales para la implementación de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación en el cual se aprecia las medidas principales de la silla

#### **4.2 Análisis de dificultades y requerimientos de potenciales usuarios**

El presente análisis de dificultades y requerimientos fue realizado por las partes colaboradoras del proyecto *“Implementación de criterios de ergonomía en el*



*diseño y comercialización de Equipos de asistencia a personas con movilidad limitada, caso silla de ruedas de bipedestación”.*

La tabla 4.1 describe el resultado de la investigación hecha por F. Urrutia, T. S. Antonio, M. A. Latta, P. Ortiz, J. López and P. Urrutia, bajo el tema de investigación "User centered design of a wheelchair based in an anthropometric study," [31]

**Tabla 4.1 Datos obtenidos del trabajo investigativo de las personas de la rama de terapia física Elaborado por F. Urrutia [31]**

<b>Medida Antropométrica</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor Determinado por [MONDELO]</b>	<b>Valor Recomendado por [PANERO]</b>	<b>Nombre de las magnitudes de la silla de ruedas</b>	<b>Valor numérico para el diseño en Centímetros</b>
Altura Codo asiento	CA	Promedio o Mínimo	50 Percentil	Altura Apoyabrazos asiento	22
Anchura de Caderas Sentado	CdCd	Máximo	95 Percentil	Ancho Asiento	51
Altura Subescapilar	AS	Mínimo	5 Percentil	Altura máxima asiento borde superior del respaldo	35
Altura Popiteo	AP	Mínimo o Ajuste con Apoyapiés	5 Percentil	Altura a Asiento suelo	32
Distancia Sacro Popiteo	SP	Mínimo + holgura	5 Percentil + holgura	Profundidad del asiento	41
Altura Iliocrestal	AI	Máximo	95 Percentil	Altura mínima asiento borde inferior del respaldo	22
Distancia Codo-Codo	CdCd	Máximo	95 Percentil	Separación entre apoya brazos	51
Altura de Hombros	HA		95 Percentil	Comprobación de la altura del asiento	69

Anchura de Hombros	HH		95 Percentil	Comprobación del ancho del asiento	56
Profundidad de Pecho	PP		5 Percentil	Diseño de Seguridad del Pecho	19

Los requerimientos especiales, de los potenciales usuarios de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación son

- La silla de ruedas debe ser fácil de maniobrar
- Que la silla de ruedas pueda extenderse, para que su cuerpo pueda cambiar de posición y evitar trastornos vasculares.
- Debe ser desmontable y fácil de transportar

Para dimensionar la cantidad de energía que se necesitan en los motores para la puesta en marcha de la silla de ruedas hay que tomar en cuenta el peso de todos los componentes que integran la silla de rueda como son: paciente, sistema mecánico, motores, etc.

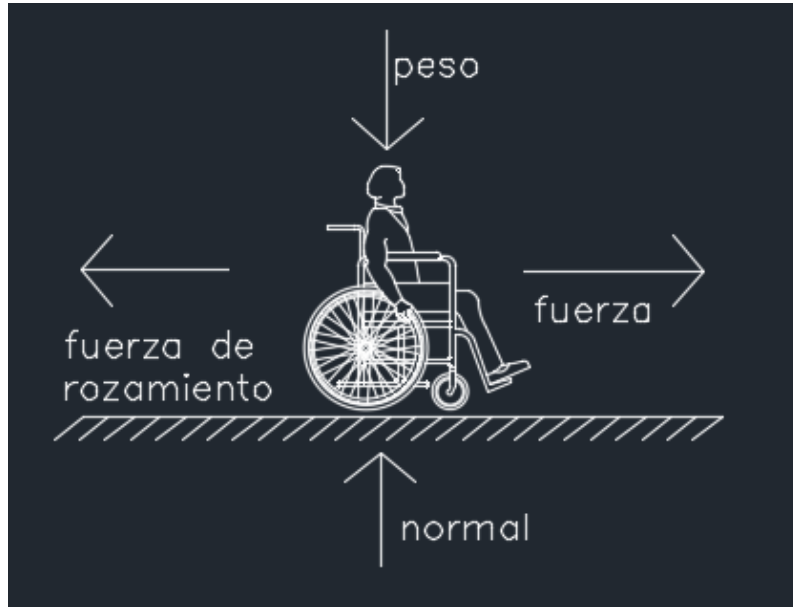
**Tabla 4.2 Dimensionamiento de Energía necesaria a partir del peso del Sistema**  
**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

Ítem	Descripción	Peso [N] (masa X gravedad)
1	Peso del paciente	803,6[N] dato obtenido por el director del proyecto
2	Motores	20[N]
3	Sistema mecánico	200[N]
4	Sistema de Control	9,8[N]
5	Total	1033.4 [N]

### Definición

*El Newton es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades.*

*Se define como la fuerza que aplicada durante un segundo a una masa de 1 kg incrementa su velocidad en 1 m/s.*



**Figura 4.1 Diagrama de Cuerpo libre para el dimensionamiento de Potencia en estado de reposo**

**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

Para materiales de hule sobre el concreto seco se toma un coeficiente de fricción cinético de aproximadamente 0,57

### **Sumatoria de Fuerzas en el eje "X"**

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F - Fr = 0$$

$$F = Fr$$

Donde:

*$\Sigma F_x$ ; es la sumatoria de fuerzas en el eje "X"*

*F; es la fuerza aplicada de manera paralela al eje "y"*

*Fr; es la fuerza de Rozamiento y es opuesto a la fuerza F*

Para el cálculo de la fuerza de rozamiento se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$Fre(máx) = \mu e * N$$

Donde:

$\mu e$  =coeficiente de rozamiento estático, 0.57 para el material hule que se utiliza en las llantas de las sillas de ruedas

N=Reacción normal entre los cuerpos en contacto

$$Fre(máx) = 0,57 * N \quad Ec(1)$$

### Sumatoria de Fuerzas en el eje "Y"

$$\Sigma Fy = 0$$

$$W - N = 0$$

$$W = N$$

$$W = 1033,4 [N]$$

Sustituyendo en la ecuación 1 se tiene que:

$$Fre(máx) = 0,57 * N$$

$$Fre(máx) = 0,57 * 1033,4$$

$$Fre(máx) = 589.038$$

Donde:

*Fre(máx): es la fuerza máxima para mover la silla en cualquier direccion en un plano no inclinado*

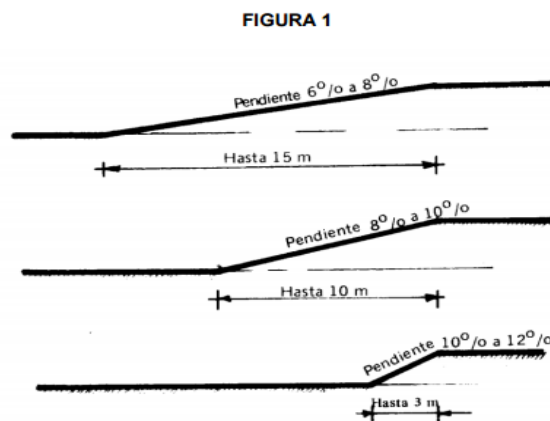
Tomando como referencia el análisis de las velocidades de las sillas de ruedas eléctricas existentes en el mercado se tiene que su velocidad varía desde los 8 Km/h hasta los 13 Km/h (Tecnum.net), para el cálculo se tomó una velocidad media de 10 km/h esto equivale a **2,78m/s**

Para un mejor dimensionamiento de potencia hay que hacerlo en un plano inclinado según las normativas que rigen en el Ecuador.

### **Norma INEN 2 245:200**

“Esta norma establece las dimensiones mínimas y las características generales que deben cumplir las rampas que se construyan en espacios abiertos y en edificaciones para facilitar el acceso a las personas.” (INEN, 200)

*“Pendientes longitudinales. Se establecen los siguientes rangos de pendientes longitudinales máximas para los tramos de rampa entre descansos, en función de la extensión de los mismos, medidos en su proyección horizontal” (INEN, 200)*



**Figura 4.2 Diagrama de la normativa INEN para la implementación de accesibilidad de personas al medio físico [2]**

Condiciones de la normativa

1. Hasta 15 metros, una pendiente del 6% al 8%
2. Hasta 10 metros, una pendiente del 8% al 10%
3. Hasta 3 metros, una pendiente del 10% al 12%

Para el análisis de este proyecto se tomó en cuenta el valor más adverso de inclinación de una rampa que es el de 12% hasta 3 metros.

$$\text{Tg}(\alpha) = 0,12$$

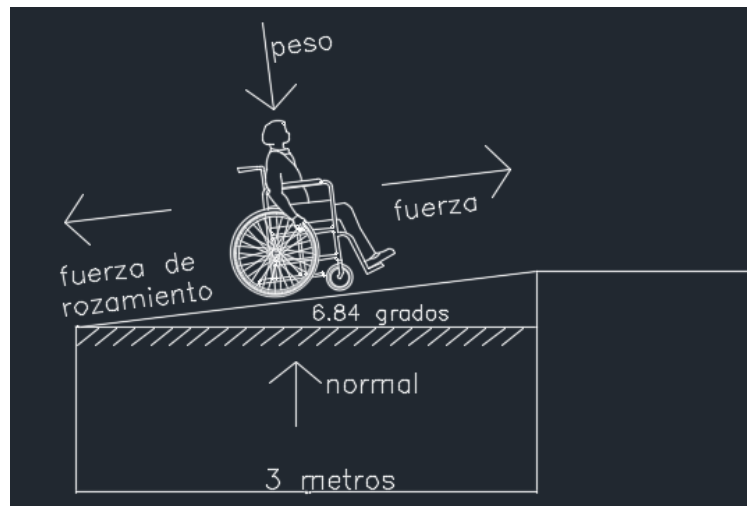
$$\alpha = \text{Tg}^{-1}(0,12)$$

$$\alpha = 6,84^\circ$$

Donde:

$\alpha$ : es el ángulo de elevación de la rampa de acceso

Utilizando funciones trigonométricas se obtiene el ángulo de elevación máxima de una rampa de acceso a los edificios en Ecuador



**Figura 4.3 Diagrama de Cuerpo libre para el estudio de potencia requerida para romper la inercia en la elevación máxima dada por la norma INEN 2 245:200  
Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

### **Diagrama de cuerpo libre para el análisis de fuerzas a una elevación de 6,8 grados**

Análisis de fuerzas en el eje "X"

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F - Fr - wx = 0$$

$$F = Fr + wx$$

$$F = \mu c * N + w * \text{Sen}(\alpha) \quad (2)$$

Donde:

$\Sigma F_x$ : es la sumatoria de fuerzas en el eje X

$F$  es la fuerza aplicada paralela al eje x

$Fr$ : es la Fuerza de Rozamiento

$w_x$ : es la componente en x del peso del paciente

Sumatorias de fuerzas en "Y"

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - w_y = 0$$

$$w_y = N$$

$$N = w * \text{Cos}(\alpha)$$

$$N = 1033,4 * \text{Cos}(6,84)$$

$$N = 1052.64$$

Sustituyendo en la Ecuación (2)

$$F = \mu c * 1352,703 + w * \text{Sen}(\alpha)$$

$$F = 0,57 * 1052 + 1033.4 * \text{Sen}(6,8)$$

$$F = 721.9986N$$

Esta es la fuerza requerida para que la silla de ruedas pueda subir una pendiente según la normativa INEN, ahora esta fuerza debe ser aplicada por las dos ruedas.

### **Cálculo del torque requerido**

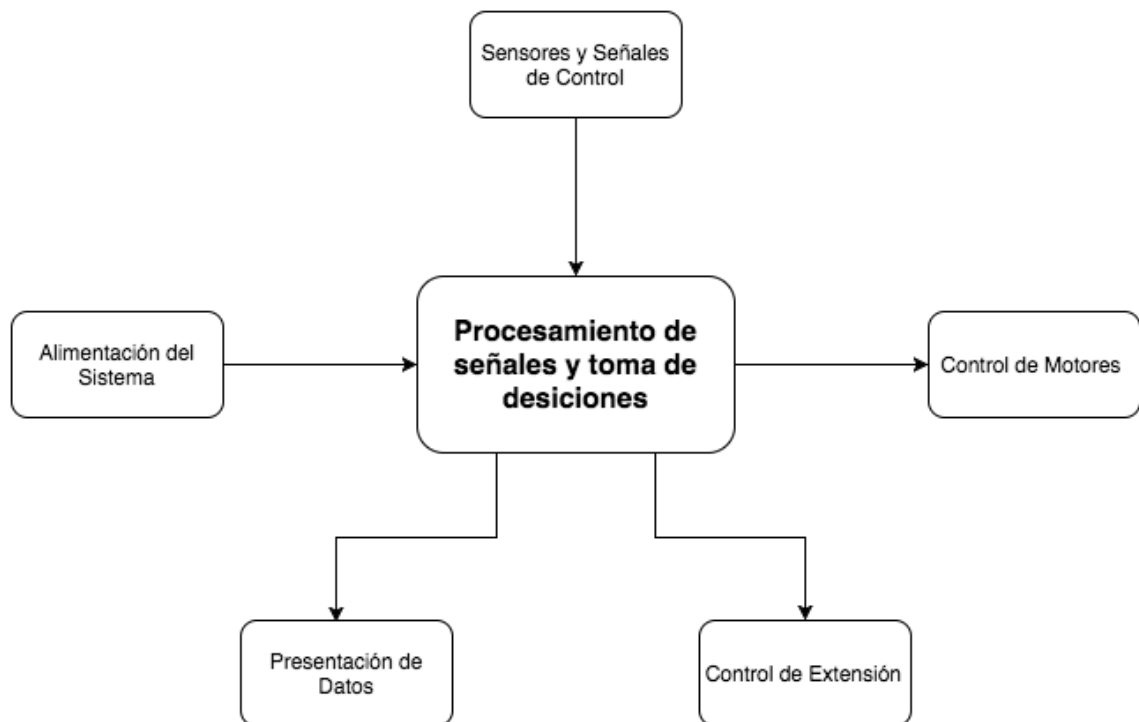
Se tiene que la mayor fuerza para que el sistema se desplace en condiciones de una superficie inclinada es 721.998 N, es decir cada motor tendrá que aplicar una fuerza de 360 N si transformamos esta fuera en KGF nos daría 36.70KGF por motor; para obtener el torque de cada motor se debe multiplicar por el

diámetro de la rueda, para este caso en particular se lo diseñó para una rueda de 9 pulgadas (0.2286 m), esta es la dimensión estándar para una silla de ruedas eléctrica

Cada motor deberá tener un torque de **8.3896 Nm**

### **4.3 Propuesta en diagrama de bloques del sistema de control para la silla de ruedas eléctrica de bipedestación**

Para la implementación de este proyecto se plantea el siguiente diagrama de bloques Figura 4.4, a continuación, se detalla el funcionamiento y componentes de cada uno de los bloques del diagrama



**Figura 4.4 Diagrama de bloques a implementarse para la silla de ruedas eléctrica de bipedestación**

**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

#### **A. Bloque de “Sensores y Señales de control”**

En este bloque de control están todos los sensores y dispositivos que interactúan con el medio físico.



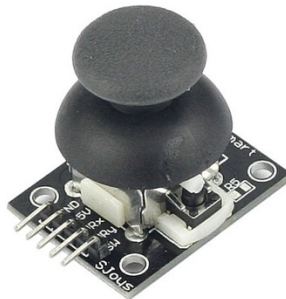
Estos dispositivos son:

- Joystick
- Botón
- Sensor de Carga de Baterías

A continuación, se describe cada uno de estos dispositivos y la función que desempeña en este sistema de control

### Joystick

Para la implementación de este sistema de control se seleccionó un Joystick basado en dos potenciómetros, uno para cada eje de desplazamiento.



**Figura 4.5** Dispositivo joystick implementado en el prototipo de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación

Estas señales han sido linealizadas en función de las mediciones obtenidas del dispositivo y el convertor ADC del microcontrolador, este proceso sirve para tener mayor exactitud en el control del movimiento de la silla

**Tabla 4.3** Tabla de mediciones obtenidas en el dispositivo Joystick

<i>Posición</i>		<i>Valor Medido (Voltios)</i>		<i>Valor Deseado</i>	
<i>Reposo</i>		RX: 2,7 V	RY: 2,56V	RX : 0	RY : 0
<i>Posición</i>	<i>Máxima</i>	RX : 5 V	RY : 4,9 V	RX : 255	RY: 256
<i>(Hacia adelante)</i>					
<i>Posición</i>	<i>Mínima</i>	RX : 0,2V	RY: 0V	RX: -255	RY: -256
<i>(Reversa)</i>					

Los valores deseados van a ser implementados como señal PWM en los controles de potencia en cada motor, la implementación de los valores deseados se lo realizó a través de una ecuación que obtiene estos valores, implementado en el microcontrolador ver en el apartado del bloque de procesamiento de señales y toma de decisiones

### **Botón**

Este dispositivo controla la extensión de la silla, al realizar la acción del botón provoca una interrupción en el microcontrolador el cual da paso al actuador del motor de extensión de la silla



**Figura 4.6 Botón implementado en el prototipo de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación**

### **Medidor de Voltaje en la Batería**

Basado en un circuito divisor de voltaje el cual da una señal continua en función del estado de carga de la batería, esta señal se almacena en una base de datos para monitorear el uso de la silla en función del desgaste de las baterías

Para poder determinar la relación entre las resistencias que conforman este divisor de tensión se analizó la definición de divisor de tensión

$$V_{OUT} = \frac{R2}{R1 + R2} * V_{IN}$$

Para el caso particular del presente trabajo la tensión de entrada corresponde al de la batería (12v) y la tensión de salida tiene un máximo de 5v cuando la batería esté completamente cargada

$$5 \text{ v} * (R1 + R2) = R2 * 12\text{v}$$

$$5 * R1 = 7 * R2$$

$$R1 = 7/5 * R2$$

En esta relación de resistencias podemos determinar el valor de las mismas, teniendo en cuenta que se desea que en el divisor de tensión pase una corriente de 1 mA entonces R2 posee un valor de 5K ohm para tener un valor máximo de voltaje de 5v; a R1 le corresponde el valor de 7.5k ohm según la relación entre resistencias obtenidas anteriormente

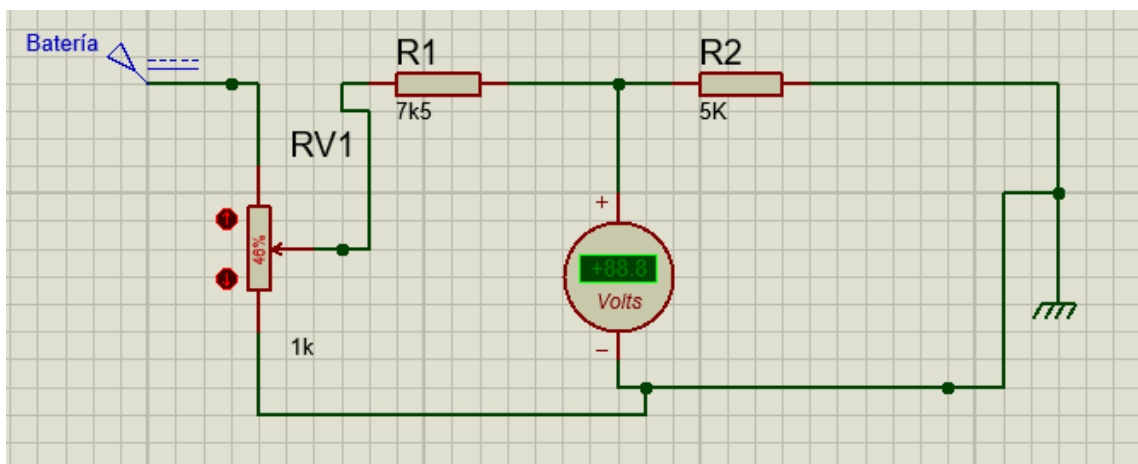


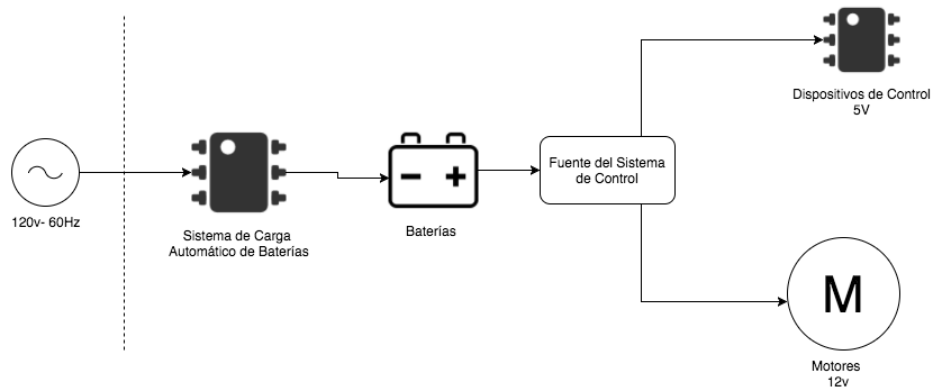
Figura 4.7 Diagrama Esquemático de un sensor de carga de batería

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

## B. Bloque de Alimentación del sistema

El objetivo de este bloque es proveer de la energía necesaria para que el sistema de control y los dispositivos de potencia puedan ejercer su función correctamente, este bloque posee los siguientes componentes:

- Sistema de carga de baterías
- Fuente 5V/2A, 12V
- Baterías



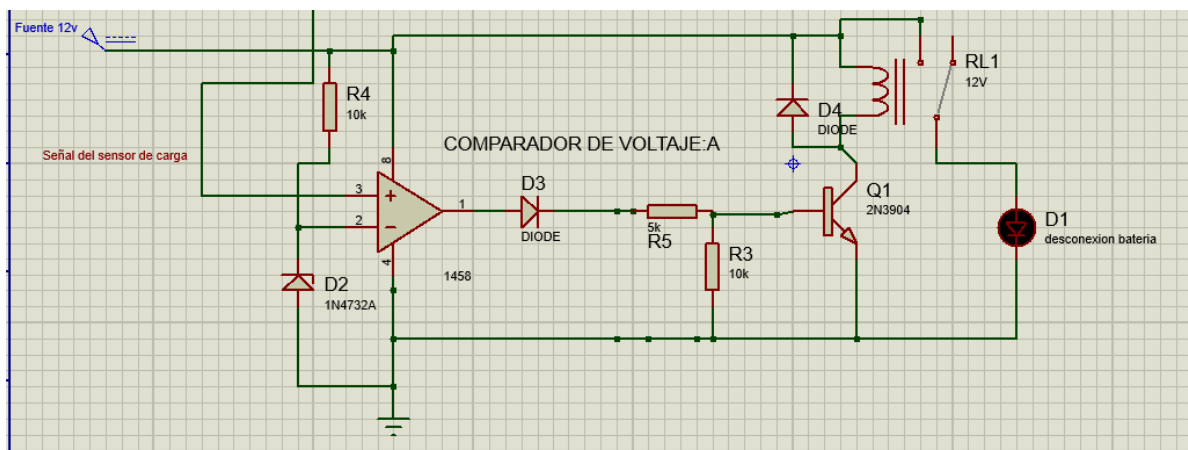
**Figura 4.8 Diagrama del sistema de alimentación del sistema de control**

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

### Sistema de Carga de Baterías

El funcionamiento de este circuito es de la carga de una batería y su desconexión automática cuando la batería este completamente cargada.

Hay que tomar en cuenta que para la alimentación de la batería hay un circuito que se conecta directamente a la red eléctrica y que a través de una pequeña fuente provee de la corriente necesaria para alimentar las baterías

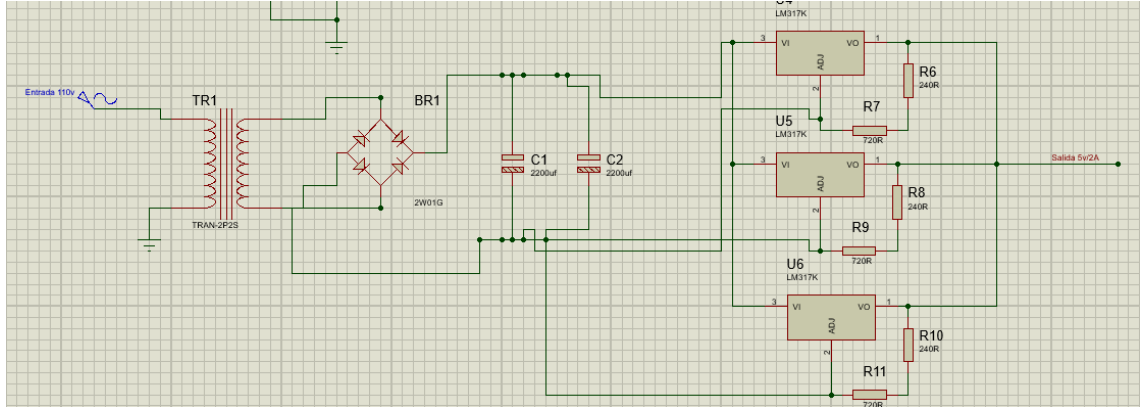


**Figura 4.9 Sistema de carga automático de baterías**

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

## Fuente de 5V/2A

Para alimentar el microcontrolador, los sensores y la Raspberry pi se necesita una fuente de estas características



**Figura 4.10 Fuente 5v/2A y Fuente 12v**  
Elaborado por: Luis Fernando Bedón

## C. Bloque Control de Motores

Para la implementación del proyecto se lo debe realizar con motores dynamixel los cuales son configurados y puestos en acción a través de una interface SPI, el uso de esta interface se facilita al hacer uso de “Dynamixel library for Arduino”, una librería gratuita para poder controlar estos tipos de motores.

Gracias a esta librería se puede controlar estos motores con sencillas funciones en las cuales se describe el identificador del motor y la acción correspondiente a ejecutar

El esquema lógico que siguen estos motores se lo describe en el apartado correspondiente al bloque de procesamiento de señales y toma de decisiones

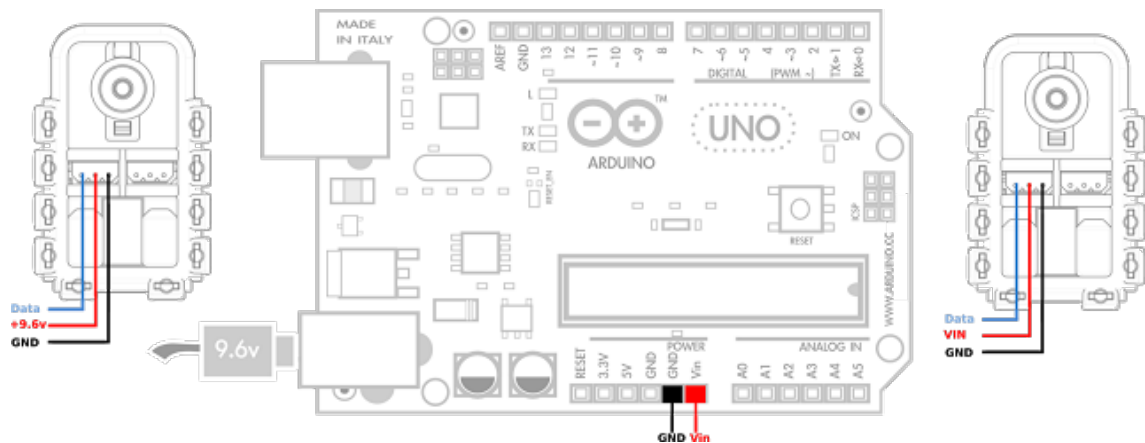


Figura 4.11 Conexión típica de los motores Dynamixel con un Arduino Mega

#### D. Bloque de Control de Extensión

Este bloque es ejecutado después de que el usuario haya accionado el botón el cual da lugar a una interrupción la cual ejecuta un script que controla la extensión de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación.

Este bloque está provisto de:

- Motor DC 12V
- Puente H
- Finales de Carrera

#### Motor DC

Provee de la fuerza necesaria para extender la silla hasta una posición determinada por sensores final de carrera, este motor a través de un mecanismo determinado transforma el movimiento angular en un movimiento lineal



Figura 4.12 Motor DC

### Puente H

Este dispositivo permite que el motor dc pueda cambiar el sentido de su giro, a través del cambio de polaridad de sus terminales

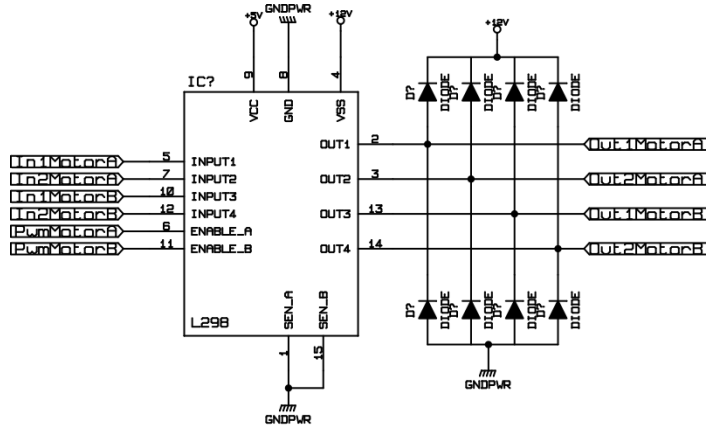


Figura 4.13 Dispositivo integrado Puente H

### Finales de Carrera

Estos sensores permiten limitar la extensión de la silla de ruedas, cuando estos sensores se activan el motor DC que controla la extensión se desconecta permitiendo solo en giro inverso



**Figura 4.14 Finales de Carrera**

### **E. Bloque de Control y toma de decisiones**

El propósito de este bloque es ejecutar todas las acciones de control sobre el sistema de control, estas acciones están configuradas en un microcontrolador Arduino.

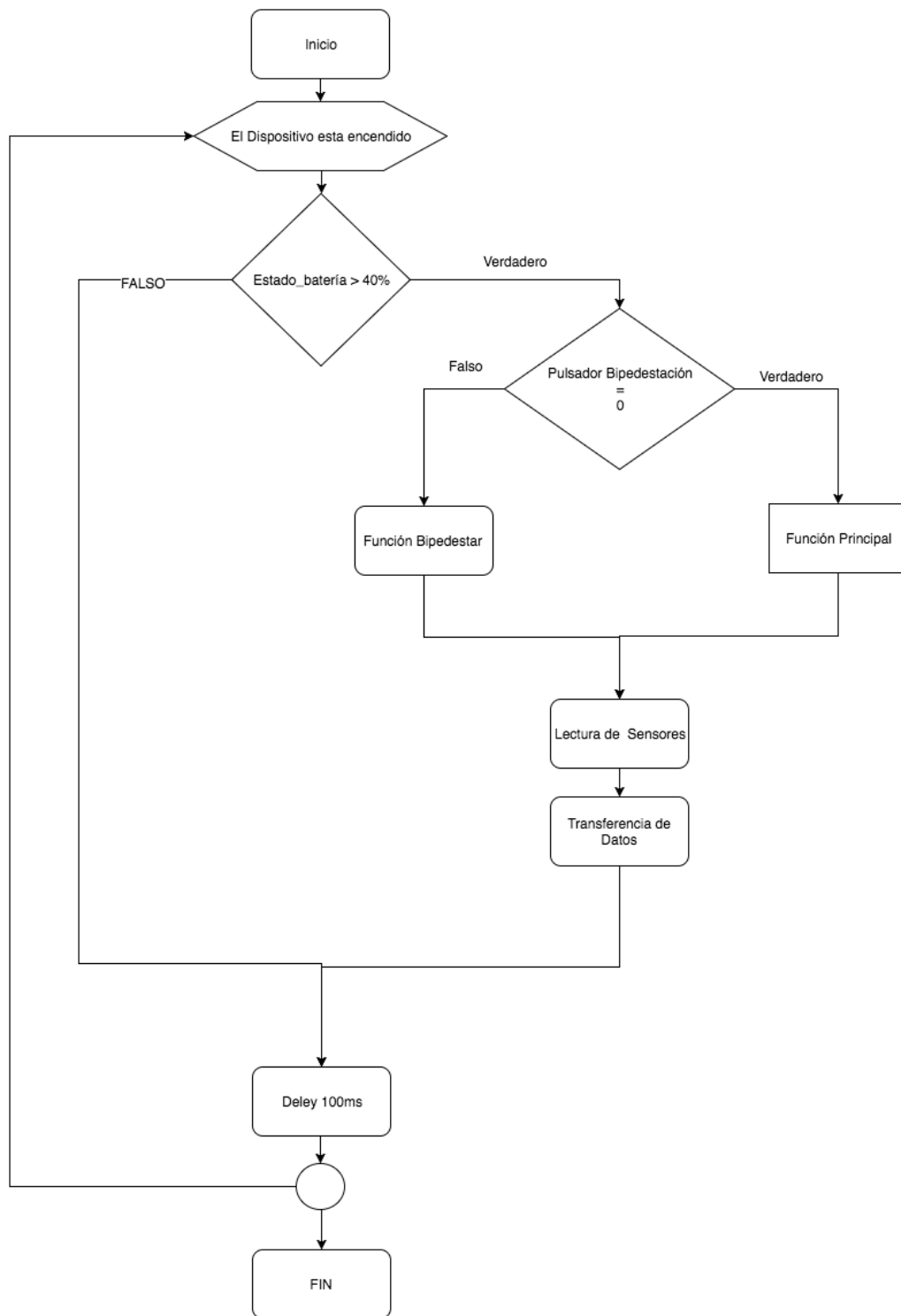
La programación del microcontrolador arduino está hecha en lenguaje de programación C, mientras que la lectura de datos del puerto SPI de arduino al puerto SPI de Raspberry pi está programada en lenguaje Pithon, debido a que es el lenguaje nativo de este dispositivo

La figura 4.15 representa el diagrama general de procesos que realiza el sistema de control, se puede apreciar que para el funcionamiento de este sistema de control es dependiente a un nivel óptimo de baterías, así como, del estado del botón de bipedestación el cual determina si la silla se extiende, o está hábil para la movilidad del paciente, no se puede usar las dos funciones a la vez porque esta situación causaría inestabilidad en la estructura física de la silla de ruedas.

A continuación, se detallan los siguientes bloques:

- Función Bipedestar
- Función Principal
- Lectura de Sensores
- Transferencia de datos





**Figura 4.15 Flujograma general de procesos del sistema de control**

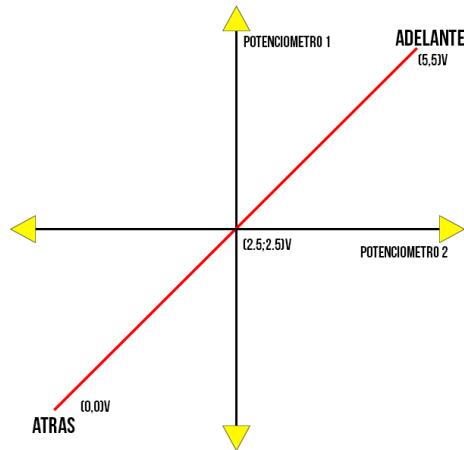
**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

Este flujograma se ejecuta mientras el dispositivo esté encendido y posteriormente compara los niveles de batería para su uso

## Función Linealizar

Esta función permite que las señales analógicas emitidas desde el joystick sean transformadas a una señal discreta de 8 bits con signo esto quiere decir valores entre -256 y +2563

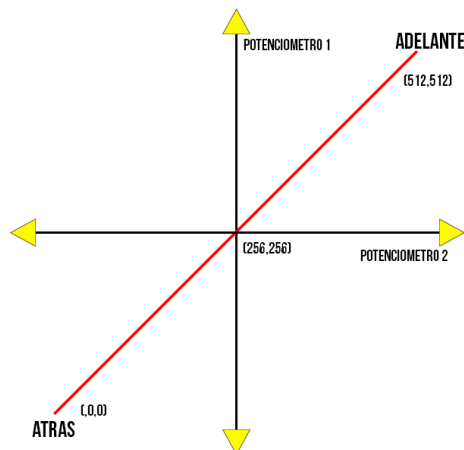
La figura 4.16 describe los valores medidos en voltios para cada potenciómetro del joystick



**Figura 4.16 Valores medidos en el potenciómetro del Joystick**

**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

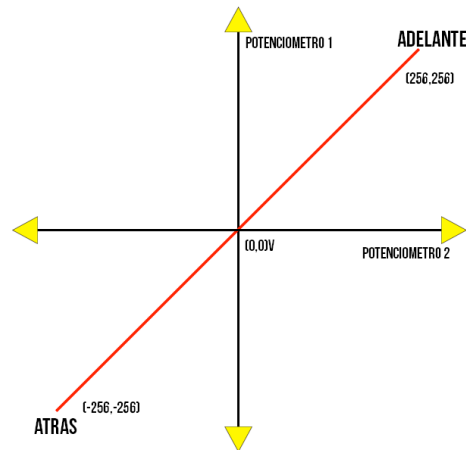
En la figura 4.17 se describe los valores resultantes al ingresar los datos de los potenciómetros en el convertidor análogo digital de 8 bits del microcontrolador



**Figura 4.17 Valores medidos después de que la señal analógica haya sido transformada por el conversor ADC del microcontrolador**

**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

Para poder obtener los valores requeridos, para el sistema de control, se requiere que los datos sean como se los presenta en la figura 4.18; al ser una función lineal lo único que haremos es restar 256 al valor obtenido del conversor análogo digital.



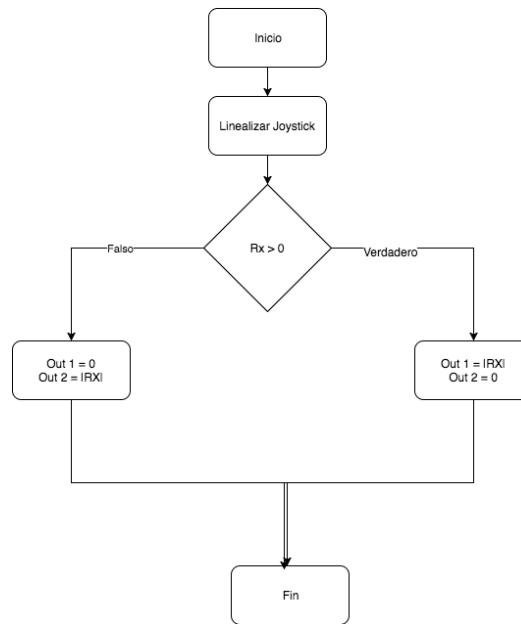
**Figura 4.18 Valores deseados para la implementación del sistema de control**

**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

### **Función Bipedestar**

Esta función se activa cuando permanece en estado pulsado el botón de bipedestar y su extensión es controlada a través del joystick

OUT 1 y OUT 2 corresponden a las salidas PWM del microcontrolador esto permite que la extensión de la silla de ruedas se lo haga de una forma progresiva, como se observó en el apartado anterior, la función linealizar devuelve valores para RX y RY entre -256 y +256 dependiendo de la dirección en la que se encuentre el joystick



**Figura 4.19 Diagrama de flujo Función Bipedestar**  
**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

### **Función Principal**

Esta función toma el control de los motores Dynamixel en los cuales a través de funciones propias del dispositivo se puede ingresar datos como dirección del giro y velocidad a la cual se va a desplazar.

En la figura siguiente se describe el funcionamiento de la silla de rueda cuando esta se mueve, los motores dynamixel se los controla a través del puerto SPI del dispositivo arduino y los comandos que se utiliza son:

`Begin()`

Este comando inicializa la conexión con los motores, debido a que la topología de estos motores está basado en la topología bus, cada motor tiene una dirección hexadecimal o su correspondiente decimal, en la función begin se determina la velocidad de transmisión de datos y los pines de emisión (RX) y recepción (TX) del dispositivo arduino.

`Dynamixel.setEndless()`

Esta función hace que los motores trabajen de una forma continua, es decir que roten similar a un motor dc, estos motores también pueden ser usados como

servomotores o motor a pasos, en el caso de este proyecto se requiere que se comporte como un motor DC, los parámetros que recibe esta función son los siguientes:

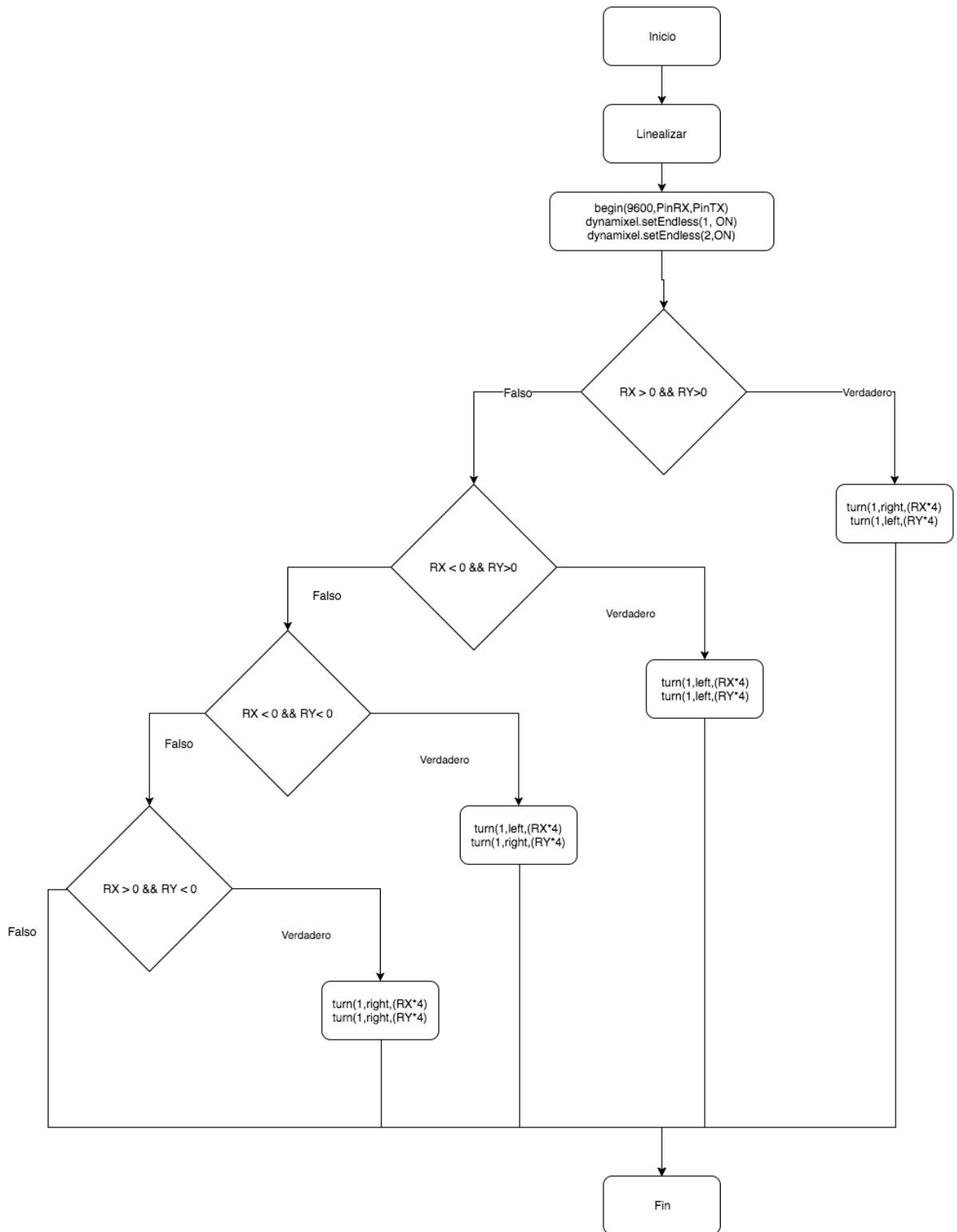
- Dirección del motor
- Estado de la condición

Turn()

Esta función determina la dirección del giro del motor, así como su velocidad, los parámetros que recibe esta función son:

- Dirección del Motor
- Dirección del giro del motor
- Velocidad

Hay que tomar en cuenta que el parámetro velocidad necesario para esta función está comprendida entre 0 y 1024 debido a que utiliza un convertor de 10 bits, por lo cual el valor que devuelve la función linealizar este valor se multiplica por 4.



**Figura 4.20 Diagrama de flujo para la función principal de la silla de ruedas**  
**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

## Transferencia de Datos

Para poder tener una estadística de los sensores que la silla de ruedas eléctrica de bipedestación es necesario que un microcontrolador lea estos datos y los empaquete en un arreglo para luego pasarlos al dispositivo RASPBERRY, el dispositivo Raspberry consta de 4 puertos USB a través de ellos se establece una comunicación serial entre el microcontrolador y el Raspberry.

Raspberry maneja como lenguaje nativo a PYTHON y a través de ese lenguaje de programación se lee los datos que son pasados desde el microcontrolador hacia el dispositivo Raspberry a través de una conexión serial, para ello se ejecuta el siguiente diagrama de flujo

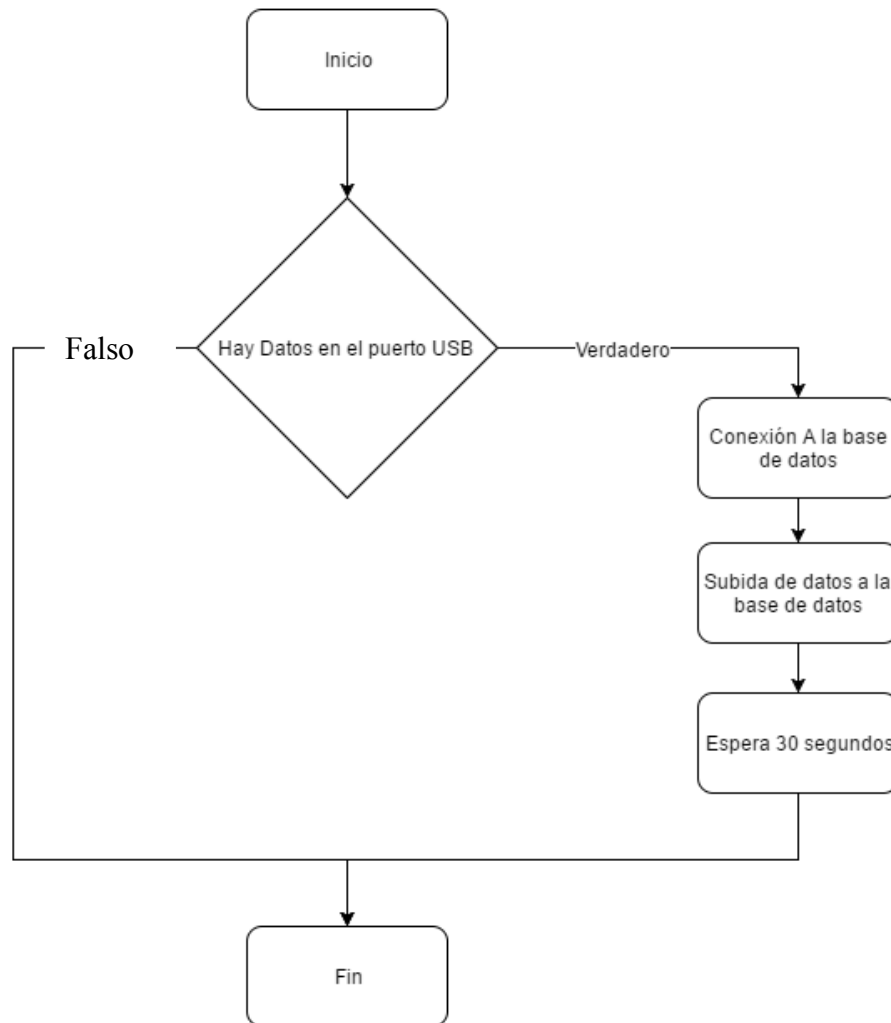


Figura 4.21 Flujograma de la transferencia de datos a la base de datos

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

La línea de programación correspondiente a este flujograma se encuentra en el anexo 1 del presente proyecto

## F. Bloque de presentación de datos

La presentación de datos se lo realizó a través de una interface web y estos datos sirven para hacer mejoras al prototipo estos datos son

- Estado de batería
- Temperatura del sistema
- Extensión de la silla

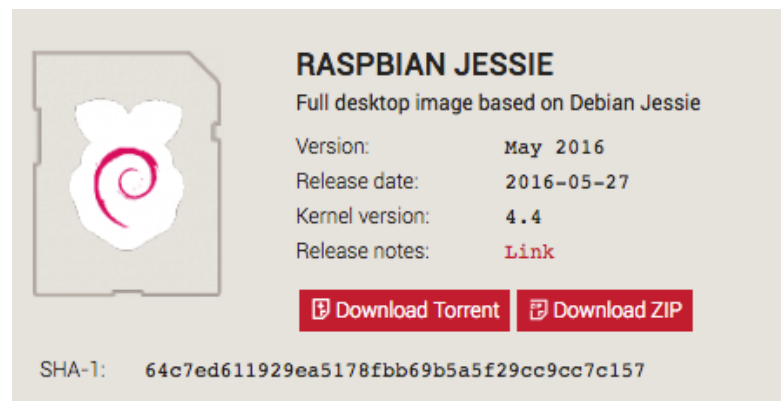
Este dato de usabilidad ayudó a que los usuarios de la silla de ruedas puedan aportar con datos para la mejora de la silla de rueda

La interface web se implementó en un servidor levantado en el dispositivo Raspberry,

### Implementación del servidor en el Raspberry Pi 3

Para poder establecer el sistema de control hay configurar el Raspberri pi de manera de que se pueda ejecutar un servidor con arquitectura LAMP.

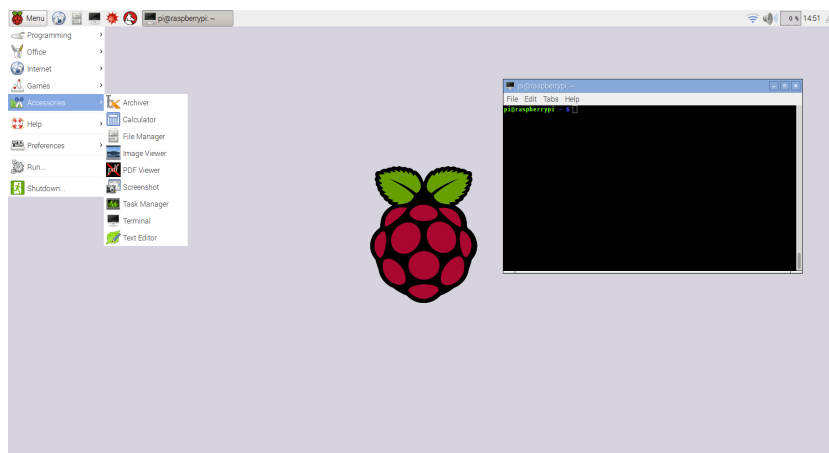
El fabricante recomienda descargar la versión más reciente y estable del sistema Raspbian desde su página web oficial, este sistema se descarga en formato .iso



**Figura 4.22 ISO de Raspbian**  
**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**



Al arrancar el dispositivo presenta una pantalla similar a esta



**Figura 4.23 Escritorio de Raspbian**  
Elaborado por: Luis Fernando Bedón

Listo el sistema operativo del dispositivo Raspberry Pi, hay que implementar las siguientes dependencias para que el dispositivo Raspberry funcione con arquitectura LAMP

- Linux(Sistema operativo - Raspbian)
- Apache (Servidor Web)
- Mysql (Gestor de Bases de Datos)
- PHP (Lenguaje de Programación)

### **Servidor Apache**

Apache es el más popular servidor de aplicaciones web, este puede ser instalado en el dispositivo raspberry, para implementar esta aplicación en el dispositivo Raspberry hay que ejecutar la siguiente línea de comandos en la terminal

```
sudo apt-get install apache2 -y
```

Cuando estas líneas son ejecutadas, descargan de internet cierto tipo de software el cual se ejecuta de manera local en la dirección 127.0.0.1 (Loopback Address)

Si la instalación se realizó con éxito al ingresar a 127.0.0.1, aparece una pantalla similar a esta

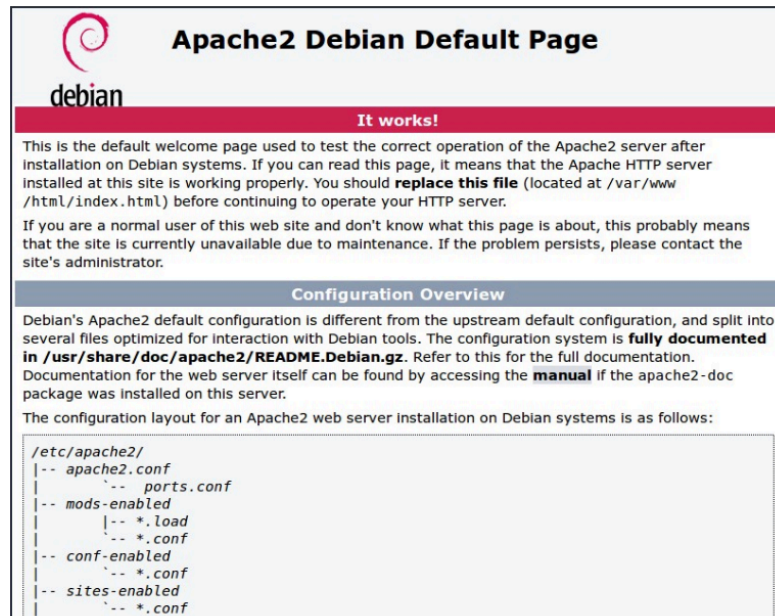


Figura 4.24 Pantalla inicial de un servidor web apache

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

La imagen anterior corresponde a la página cargada por defecto en el root del servidor apache, el directorio donde se encuentra todos los archivos públicos del servidor apache es el siguiente:

```
/var/www/html/
```

## Instalación de PHP

PHP es el lenguaje más popular en las aplicaciones web, para instalar este lenguaje de programación en el servidor se ejecuta la siguiente línea de comandos en el terminal de Linux

```
sudo apt-get install php5 libapache2-mod-php5 -y
```

Por motivos de comprobación de que esta instalación se haya realizado con éxito, se ejecuta el archivo el cual despliega las características de la versión php que se haya seleccionado a través del comando phpinfo()

PHP Version 5.2.3-1ubuntu6.3	
System	Linux grenadine 2.6.18-xenU #3 SMP Thu Jan 10 15:56:11 CET 2008 i686
Build Date	Jan 10 2008 09:24:13
Server API	Apache 2.0 Handler
Virtual Directory Support	disabled
Configuration File (php.ini) Path	/etc/php5/apache2
Loaded Configuration File	/etc/php5/apache2/php.ini
Scan this dir for additional .ini files	/etc/php5/apache2/conf.d
additional .ini files parsed	/etc/php5/apache2/conf.d/curl.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/gd.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/mysql.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/mysqli.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/pdo.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/pdo_mysql.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/pspell.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/ldap.ini
PHP API	20041225
PHP Extension	20060613
Zend Extension	220060519
Debug Build	no
Thread Safety	disabled
Zend Memory Manager	enabled
IPv6 Support	enabled

Figura 4.25 Características de la versión php instalada

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

### Instalación de MYSQL

MySQL es un sistema gestor de bases de datos relacionales, este gestor es uno de los más populares y con mayor soporte en el mercado, para instalar este gestor de bases de datos relacionales se debe ejecutar la siguiente línea de comandos en la terminal de Linux

```
sudo apt-get install mysql-server php5-mysql -y
```

al instalar MYSQL hay que ingresar una clave de root para tener acceso al administrador de bases de datos

Para tener una interface visual de la base de datos se procede a instalar la aplicación PHPMYADMIN con esta aplicación se puede gestionar la creación, actualización y borrado de las bases de datos, para instalar esta aplicación se ejecuta las siguientes líneas de comando

```
sudo apt-get install phpmyadmin
```

Para poder visualizar de manera gráfica las bases de datos levantadas en el servidor y operar sobre ellas se debe ingresar en la dirección

**127.0.0.1/phpmyadmin**



**Figura 4.26 Login de la aplicación PHP MYADMIN**

**Elaborado por: Luis Fernando Bedón**

Una vez instaladas estas aplicaciones sobre el servidor, se tiene un stack LAMP sobre el cual se puede agregar o desarrollar del tipo web, en el caso particular de este proyecto se desarrolló una aplicación que maneja los datos almacenados en la base de datos que provienen de los sensores del sistema de control

## **4.4 Selección de Dispositivos**

Para cumplir con los objetivos de ergonomía y de requerimientos anteriormente descritos se realizó una investigación sobre los dispositivos disponibles en el mercado ecuatoriano, así como los proveedores de estos dispositivos.

### **Selección de Joystic**

En el mercado ecuatoriano se dispone de los siguientes dispositivos Joystick

#### **Joystick Con Salida USB EXTREME 3D PRO JOYSTICK**

Este dispositivo se comunica con la computadora o dispositivo de juego a través de una comunicación serial la cual lleva inmersa el estado de los ejes de movimiento y de los botones



Imágen XXXXXX

### **Joystick con Salida Análoga**

Este dispositivo es utilizado en las palancas de mando de consolas de juego como PSP4 o XBOX360, las salidas de este dispositivo son analógicas de un voltaje comprendido entre 0 voltios y 5 voltios



ImagenXXXX

Se ha decidido que, por la facilidad de implementación, así como su gran disponibilidad en el mercado ecuatoriano, es el dispositivo que se usa para la implementación de este sistema de control.

### **Selección de Motores**

Para la implementación de este sistema de control es necesario de motores tanto para la locomoción como para la extensión de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación.

En el mercado ecuatoriano se puede encontrar tres tipos de motores

- Motor DC tipo Brushless
- Motor a Pasos
- Servo Motor

### **Motor Brushless**

Se decidió que en este proyecto no se usen este tipo de motores para la locomoción y extensión de la silla de ruedas, ya que estos motores no se pueden controlar y su consumo de energía es superior que los motores a pasos y motores Servo.

### **Motores a Pasos**

Estos tipos de motores poseen un control a pasos y estos pueden tener gran precisión, habitualmente se usan en máquinas CNC y se puede conseguir con facilidad en el mercado ecuatoriano.

Uno de los proveedores nos da 3 tipos de motores con diferente Torque

<b>N</b>	<b>Serie</b>	<b>Torque</b>
1	8GBYGH158	12N m
2	8GBYGH078	4,5N m
3	8GBYGH0	0,9N m

### **Definición**

#### ***Newton-Metro [Nm]***

*Newton metro es una unidad de medida de esfuerzo de torsión (también llamado «momento» o «torque») en el Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es «N m» o «N·m», 1 y a veces «newton-metro».*

Se seleccionó el motor de serie 8GBYGH158 para que este lleve a cabo la función de bipedestación, este motor se activará cuando el paciente decida extender su silla de ruedas

## **Selección de Motores para la función de Locomoción**

En el mercado ecuatoriano no existen motores a pasos que tengan la capacidad de locomoción para la silla de ruedas eléctrica, por esa razón se investigó otros tipos de motores que puedan satisfacer las necesidades de este sistema de control.

Uno de los proveedores con los cuales se contactó puede importar y abastecer el requerimiento de motores DYNAMIXEL.

Estos motores son controlados mediante una interfaz SPI con un modelo de RED BUS por lo cual su manejo es sencillo y posee la suficiente potencia para poder dar el movimiento apropiado a la silla de ruedas

En la sección 4.2 del presente trabajo se realiza el análisis del torque requerido por cada motor

## **Selección del Microcontrolador**

En el mercado ecuatoriano existe una amplia variedad de dispositivos microcontroladores entre los cuales están las familias de

- Microcontroladores PIC de la marca MICROCHIP
- Microcontroladores AVR de la Marca ATMEL

Se decidió que para la implementación tanto del prototipo como del dispositivo se usó el controlador AVR de la familia ATMEL, ya que se sugiere este tipo de microcontroladores para poder implementar la red de motores DYNAMIXEL

El microcontrolador Atmel está presente en el dispositivo Arduino Mega que se implementó en el prototipo, ya que hay una librería específica para los motores DYNAMIXEL, además nos da las siguientes facilidades

- Fácil de Implementar
- Consta de 3 puertos de SPI
- Código Abierto
- Programación en Lenguaje C

- Para la producción en grandes cantidades se puede ensamblarlo físicamente e implementar el framework de Arduino

Por estas razones se decidió implementar el sistema de control con un dispositivo arduino Mega, el cual nos permitirá ejecutar las funciones que previamente se había planteado para este sistema de control.

## **4.5 Construcción del Prototipo**

Se construyó el prototipo en el cual se implementó el sistema de control con las siguientes variaciones:

En lugar de los motores DYNAMIXEL se implementó con motores brushless

En lugar del Motor a pasos se sustituyó con un motor Brushless

Se realizó un sistema mecánico para que la silla de ruedas pueda extenderse debido a que esta sección del proyecto le corresponde al área de ingeniería en industrial

El sistema mecánico, así como la apariencia del prototipo no corresponde a la apariencia del proyecto a implementarse, ya que lo que se desea apreciar es el sistema de control que dirige la silla de ruedas.

Fase 1: Implementación de la estructura física

Para la implementación de la estructura física se requirió de una estructura que se asemeje a una silla de ruedas y que en ella pueda caber el sistema de control.

Conexión de motores



Los motores del prototipo al ser de tipo brushless estos están conectados a un puente H con el integrado L293 con este dispositivo los motores pueden ser controlados por una señal PWM que viene desde el microcontrolador.

#### 4.6 Presupuesto

Para la implementación del prototipo se invirtió los siguientes valores

<b>N</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Precio</b>
1	Raspberry pi 3	120
2	Arduino Mega	60
3	Comparador de Voltaje	2
4	Resistencias	2
5	Joystick	5
6	Regulador de Voltaje	0,50
7	Botón	1
8	Motores DC x 2	50
9	Estructura del prototipo	60
10	Llantas del Prototipo	25
11	Mecanismo de Elevación	60
12	Banco de Baterías	30
	<b>TOTAL</b>	<b>415,5</b>

#### 4.7 Pruebas y Resultados

##### Sensor de Carga de batería

Se simuló el circuito de sensor de carga de batería, en el programa PROTEUS para los siguientes valores

Tabla 4.4 valores de los elementos del circuito sensor de batería

<b>Resistencia 1</b>	<b>1.5k<math>\Omega</math></b>
<b>Resistencia 2</b>	<b>1k<math>\Omega</math></b>
<b>Batería</b>	<b>Valor máximo 12.5v</b>

## Resultado del divisor de Tensión

En función de la batería como máximo 5  
v

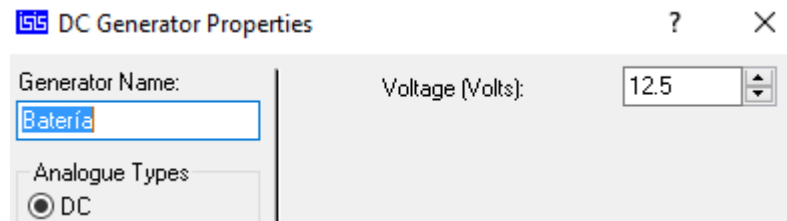


Figura 4.27

Valor máximo de carga en la batería, para el circuito sensor de carga de batería

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

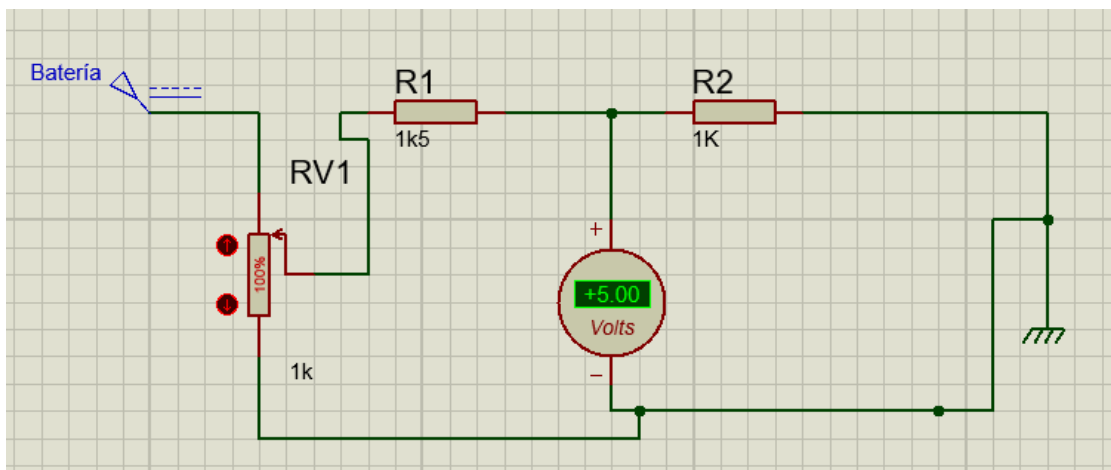


Figura 4.28

Medición de la salida del divisor de voltaje del circuito sensor de batería para un valor de carga en la batería de 12.5v

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

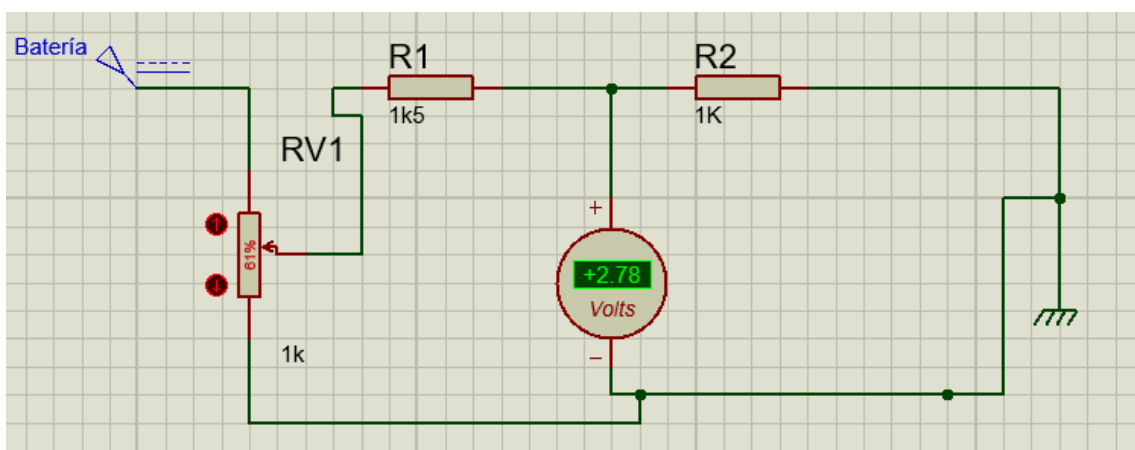


Figura 4.29

Medición de la salida del divisor de voltaje del circuito sensor de batería para un valor de carga en la batería del 61%

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

Fuente de 5v/2A

Para poder implementar esta fuente se requiere colocar en paralelo tres reguladores de voltaje lm317, los cuales poseen dos resistencias que permiten establecer un voltaje predeterminado.

Tabla 4.5 valores de las resistencias para la fuente de 5v/2A

R1	240Ω
R2	720Ω

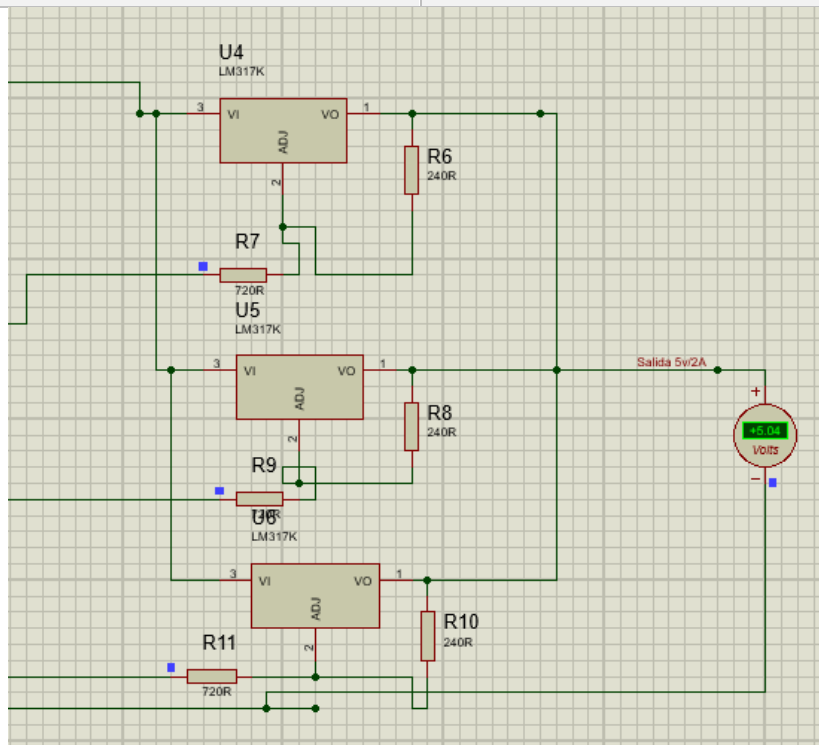
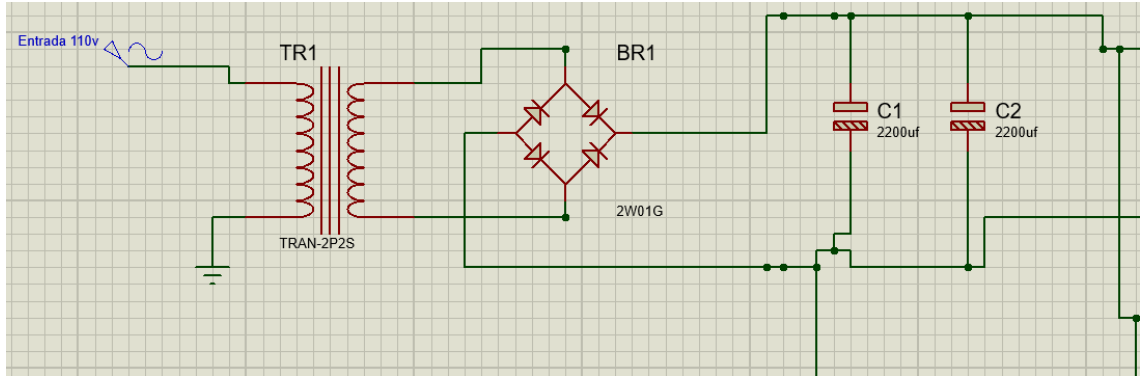


Figura 4.30 Circuito simulado de la fuente de 5 v /2 Amperios

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

### Conexión a la red eléctrica

Para poder cargar la batería se necesita transformar la corriente alterna en corriente directa para ello se implementó el siguiente circuito



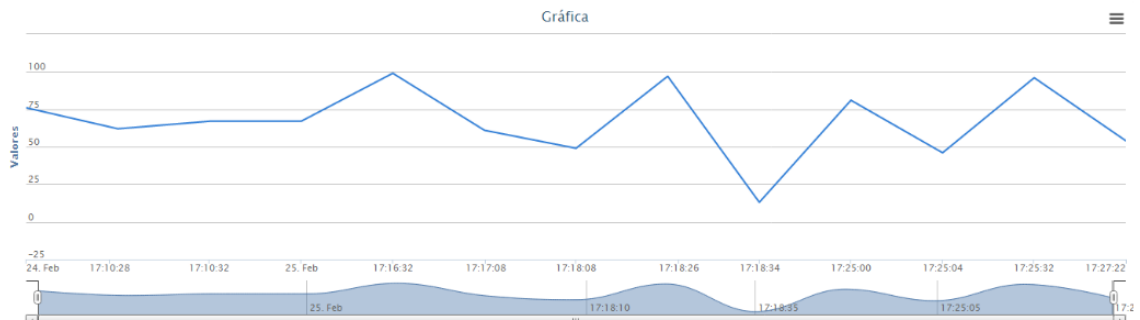
**Figura 4.31** Circuito de carga de batería con conexión a la red eléctrica

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

### Descripción estadística de los datos obtenidos en los sensores y almacenados en el servidor

Para una mejor comprensión de la usabilidad de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación, se a determinado que se almacene los datos de sensores como: Carga en la batería, temperatura del sistema, tiempo de uso, etc.

Esto permite a los investigadores del presente proyecto realizar adecuaciones en ergonomía y usabilidad de la silla



**Figura 4.32** Gráfica de datos en el servidor: Estado de la batería y tiempo de Uso

Elaborado por: Luis Fernando Bedón

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **Conclusiones**

- El dimensionamiento de los motores se lo realizó en base al trabajo “User centered design of a wheelchair based in an anthropometric study”[31] que es un trabajo asociado al proyecto *“Implementación de criterios de ergonomía en el diseño y comercialización de Equipos de asistencia a personas con movilidad limitada, caso silla de ruedas de bipedestación”*. El dato proporcionado por este estudio nos dio un aproximado del peso del paciente el cual se tomó de base para calcular el torque que se requiere por cada motor si este es aplicado a una rueda de 9 pulgadas, este resultado fue comparado con las características técnicas del motor y este dispositivo cumple con los requerimientos para la movilidad de la silla en una superficie inclinada según la normativa INEN
- El sistema de control según su funcionamiento solo permite estar encendido cuando los niveles de batería sean apropiados, para que esto no ocasione un problema con el uso de la silla este voltaje debe ser mayor a 11.5 V en la batería que a través del divisor de tensión implementado para conocer el estado de la batería es de 4.60V
- Se realizó una investigación de proveedores de implementos electrónicos tanto de control como de motores, estos datos se los puede apreciar como anexo a este trabajo, esta investigación se realizó ya que en caso de cualquier avería en el sistema esta pueda ser reparada rápidamente.
- Se han seleccionado los dispositivos tanto de motorización, así como de control en función a la disponibilidad en el mercado ecuatoriano debido a que se

requiere en el presente proyecto que este sistema de control pueda ser reparado fácilmente con implementos fáciles de encontrar.

- Los motores Dynamixe que se han seleccionado para el presente trabajo no son fabricados nacionalmente, pero existen varios proveedores que los importan de continuo ya que estos motores son de gran demanda en el mercado nacional, por esta razón se decidió escoger esta serie de motores
- Se ha establecido un servidor en el sistema de control con el propósito de almacenar datos relevantes a la silla de ruedas para que estos datos puedan ser presentados de manera estadística y ayude a tomar decisiones
- 
- El estudio del sistema de control para la movilidad y extensión de una silla de ruedas eléctrica de bipedestación permitirá que usuario pueda controlar fácilmente la silla de ruedas ya que las señales del joystick se han acoplado de manera que los movimientos que sean hechos no sean bruscos
- El sistema de carga de baterías se lo ha diseñado de tal manera que preserve la vida útil de la batería ya que cuenta con un circuito de desconexión cuando la carga está completa
- Los investigadores del proyecto *“Implementación de criterios de ergonomía en el diseño y comercialización de Equipos de asistencia a personas con movilidad limitada, caso silla de ruedas de bipedestación”* pueden realizar una mejor investigación ya que el presente sistema de control describe estadísticamente los datos de usabilidad de la silla de ruedas
- Los requerimientos de las personas que potencialmente podrían usar la silla de ruedas fueron analizados gracias al trabajo *“User centered design of a wheelchair based in an anthropometric study”* que está asociado al proyecto y a través de estos datos se realizó el dimensionamiento de los motores
- Se ha realizado un análisis de funcionalidades que sean útiles para los usuarios de las sillas de ruedas, así como para el desarrollo continuo y mejoras que se puedan hacer sobre este sistema de control
- Se ha determinado que los mejores dispositivos para la movilidad de la silla son los motores DYNAMIXE que nos dan gran prestación de potencia y ahorro de energía

- Se ha determinado que el sistema de mandos asociado al sistema de control de la silla de ruedas eléctrica de bipedestación es el basado en sistemas analógicos, ya que estos nos dan una lectura más exacta
- Se ha diseñado los sistemas de control de tal manera que este pueda ser modificado desde la parte de desarrollo de software
- Se ha realizado las simulaciones de cada una de las etapas del sistema de control de la silla eléctrica de bipedestación

## **Recomendaciones**

Basado en el presente proyecto se puede hacer mejoras en la parte de presentación de los datos y sustituir el CMS por un framework como Laravel o Django, los cuales ayudarían de mejor manera la presentación de datos

Con este sistema se puede presentar una solución de bajo coste para las personas discapacitadas.

El presente sistema de control puede ser analizado estadísticamente con respecto a cada usuario y en función de estas mediciones se puede generar mejoras específicas para cada tipo de usuario, debido a que el sistema consta de licencias libres para la modificación de cada uno de los componentes



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud, Banco Mundial, «Informe Mundial Sobre la Discapacidad,» Ediciones de la OMS, Ginebra, 2011.
- [2] M. d. S. Pública, «Consejo nacional Para la igualdad de discapacidades,» 2015.
- [3] S. n. d. Planificación, «Objetivo 11 del Buen vivir,» [En línea]. Available: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-11.-asegurar-la-soberania-y-eficiencia-de-los-sectores-estrategicos-para-la-transformacion-industrial-y-tecnolog>
- [4] J. B. V. F. Rafael Morales, «Automatización de un prototipo de silla con accionamiento eléctrico y capacidad de transferencia a cama,» *XXV Jornadas de Automática*, 2004.
- [5] J. A. I. Celi, «Diseño de un prototipo de Silla de Ruedas eléctrica, con sistema de Ascenso y el Universidad Politécnica Salesiana , Cuenca, 2014.
- [6] D. M. Henry Cortez, «Desarrollo e Implementación de un sistema móvil de conducción para niños con insuficiencia motriz cerebral del centro San Juan de Jerusalén,» Escuela Politécnica del Ejercito, Quito, 2008.
- [7] «lds.org,» [En línea]. Available: <https://www.lds.org/topics/disability/list/physical-disability?lang=spa>. [Último acceso: 6 Enero 2015].
- [8] [En línea]. Available: <http://www.efdeportes.com/efd98/discap.htm>. [Último acceso:
- [9] «HISTORIA DE LAS SILLAS DE RUEDAS,» [En línea]. Available: <https://wheelchairbeyondlimits.wordpress.com/2013/04/03/historia-de-las-sillas-de-ruedas/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2015].
- [10] «Salud Vertical,» [En línea]. Available: <http://www.saludvertical.com/sillas-de-ruedas-manuales-ligeras/26-silla-de-ruedas-autopropulsable-y-plegable.html>.
- [11] CIAPAT, «CIAPAT.ORG,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQy\\_fv287PAhWOsh4KHcsYCQkQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fciapat.org%2Fes%2Fcatalogo\\_solucion%2FMovilidad%2FSillas\\_de\\_ruedas\\_motorizadas\\_y\\_scooters&psig=A\\_FQjCNHJA235Zbn](https://www.google.com/ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQy_fv287PAhWOsh4KHcsYCQkQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fciapat.org%2Fes%2Fcatalogo_solucion%2FMovilidad%2FSillas_de_ruedas_motorizadas_y_scooters&psig=A_FQjCNHJA235Zbn).
- [12] L. B. Martinez, «BREVE HISTORIA DE LA SILLA DE RUEDAS,» [En línea]. Available: [http://www.minusval2000.com/otros/reportajes/historia\\_silla\\_de\\_ruedas/index.html](http://www.minusval2000.com/otros/reportajes/historia_silla_de_ruedas/index.html). [Último acceso: 5 Noviembre 2015].
- [13] B. c. Kuo, *Sistemas de Control Automático*, México: Paraninfo.
- [14] K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*, Pearson, 2004.
- [15] Wiki, «Fuente Conmutada,» [En línea].

- Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente\\_conmutada](https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada).  
[Último acceso: 15 2 2016].
- [16] E. N. Vilardell, Fuentes de Alimentación Conmutadas en la Práctica, Fidestec.
- [17] G. Ordoñez, «Arquitectura de los Controladores Lógicos Programables,» [En línea]. Available: [http://www.oocities.org/gabrielordonez\\_ve/ARQUITECTURA\\_PLC.htm](http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/ARQUITECTURA_PLC.htm).  
[Último acceso: 6 12 2015].
- [18] E. C. Bozich, «Introducción a los Dispositivos FPGA.,» La Plata, Argentina, 2005.
- [19] R. pi, «wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi). [Último acceso: 6 3 2016].
- [20] «Palancas de Mando,» [En línea]. Available: [http://www.pickyguide.es/ordenador\\_y\\_software/palancas\\_de\\_mando\\_guia.html](http://www.pickyguide.es/ordenador_y_software/palancas_de_mando_guia.html). [Último acceso: 11 11 2015].
- [21] DYNAMIXEL, «github.io,» [En línea]. Available: <https://poppy-project.github.io/pypot/pypot.dynamixel.html>.  
[Último acceso: 15 2 2016].
- [22] «Sistema de Bus RS485,» [En línea]. Available: <http://web.archive.org/web/20070626040348/http://www.wut.de/e-6www-11-apes-000.php3>. [Último acceso: 23 11 2015].
- [23] Debian.org, «Bienveniso a Debian,» [En línea]. Available: <https://www.debian.org/releases/wheezy/armel/ch01s02.html.es>. [Último acceso: 25 3 2016].
- [24] Ergodic, «Introducción a Linux,» [En línea]. Available: [http://ergodic.ugr.es/cphys/lecciones/linux/00.introduccion\\_a\\_linux.pdf](http://ergodic.ugr.es/cphys/lecciones/linux/00.introduccion_a_linux.pdf). [Último acceso: 11 3 2016].
- [25] RedHat, «RedHat/About,» [En línea]. Available: [https://access.redhat.com/documentation/es-ES/Red\\_Hat\\_Enterprise\\_Linux/7/html/7.2\\_Release\\_Notes/index.html](https://access.redhat.com/documentation/es-ES/Red_Hat_Enterprise_Linux/7/html/7.2_Release_Notes/index.html).  
[Último acceso: 5 3 2016].
- [26] Linux-es, «Distribuciones de Linux,» [En línea]. Available: <http://www.linux-es.org/distribuciones>. [Último acceso: 5 3 2016].
- [27] Centos, «Centos/About,» [En línea]. Available: <https://www.centos.org/about/>. [Último acceso: 3 5 2016].
- [28] Raspbian.org, «raspbian/about,» [En línea]. Available: <https://www.raspbian.org/RaspbianAbout>.  
[Último acceso: 5 3 2016].
- [29] w3tech, «w3tech/usageOfCMS,» [En línea]. Available: [https://w3techs.com/technologies/overview/content\\_management/all](https://w3techs.com/technologies/overview/content_management/all). [Último acceso: 15 3 2016].
- [30] Wordpress.org, «Wordpress/GNU,» [En línea]. Available: <https://wordpress.org/about/gpl/>. [Último acceso: 6 3 2016].
- [31] T. S. A. M. A. L. P. O. J. L. a. P. U. F. Urrutia, «User centered design of a wheelchair based in an anthropometric study,»

Chile, 2015.

[32] CEPAL, «Panorama Social 2012,» Cepal, Chile, 2012.

[33] L. H. M. Moreno, «Monografías.com,»

[En línea]. Available:

<http://www.monografias.com/trabajos94/proyecto-silla-ruedas/proyecto-silla-ruedas.shtml>.

[Último acceso: 14 07 2014].

# ANEXOS

## Anexo 1 Microcontrolador

Para el análisis del sistema de control se ha tomado en cuenta el microcontrolador Arduino MEGA, para que sea este dispositivo quien se encargue de la lectura de sensores y accionar motores.

Este dispositivo se lo describe a continuación.

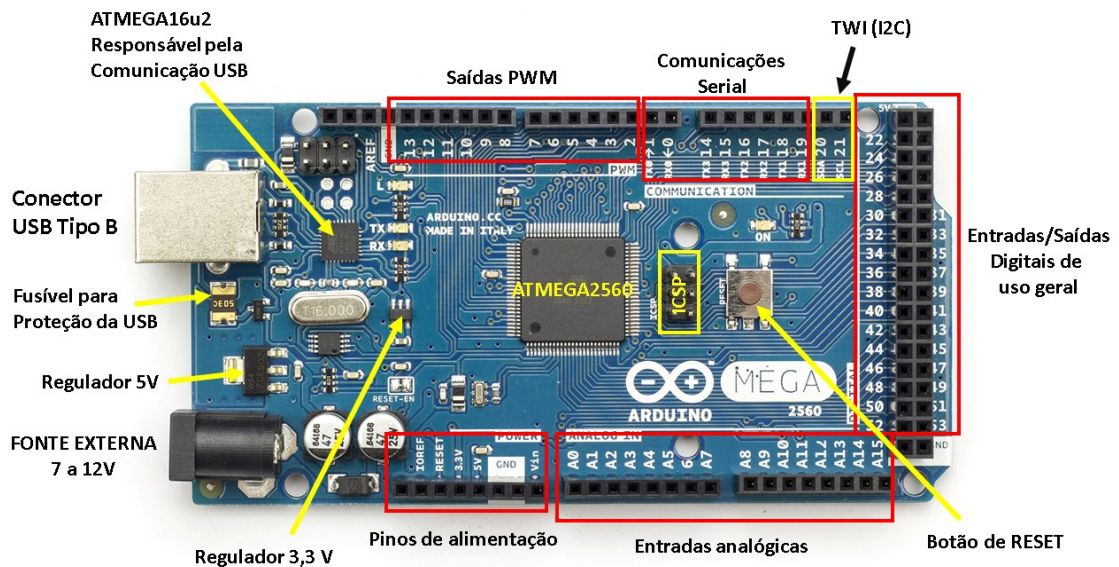


Imagen 5.1 estructura de Arduino Mega

## Anexo 2

**Código para sincronizar datos entre Microcontrolador y Raspberry pi 3**  
Código de Programación en Python para la comunicación y subida de datos a la base de datos entre los dispositivos arduino y raspberry

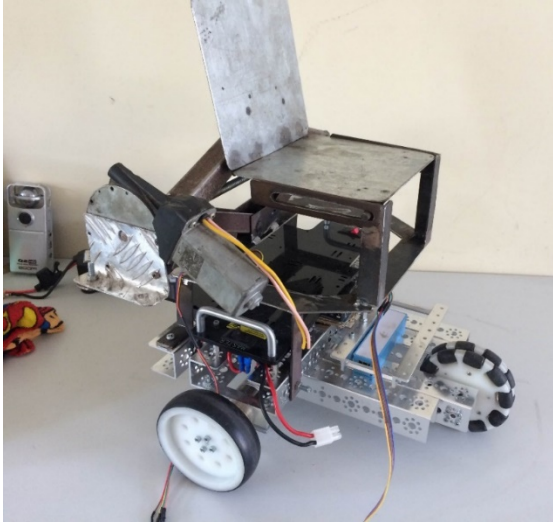
```

import
serial

import time
arduino=serial.Serial('/dev/ttyACM0',baudrate=9600)
arduino.close()
arduino.open()
arduino.flush()
count = 0
time.sleep(2)
while True:
    while arduino.inWaiting() > 4:
        rx=arduino.read(6);
        if rx[0]=='$':
            if rx[5] == '$':
                print rx
                if(count==300):
                    import MySQLdb
                    db = MySQLdb.connect("localhost","root","luisfer061991","datos")
                    cursor = db.cursor()
                    bateria = rx[1]
                    revoluciones = rx[2]
                    bipedestacion = rx[3]
                    emergencia = rx[4]
                    sql ="INSERT INTO `datos`.`silla` (`in`, `bateria`, `revoluciones`,
`bipedestacion`, `emergencia`) VALUES (NULL,"+bateria+", "+revoluciones+", "+bi$

                    cursor.execute(sql)
                    db.commit()
                    db.close()
                    contador=0
                else:
                    contador = contador +1
            else:
                arduino.close();
                arduino.open();
        else:
            arduino.close()
            arduino.open()
arduino.flush()
arduino.close()

```



**Anexo 3**  
**Imágenes del prototipo**

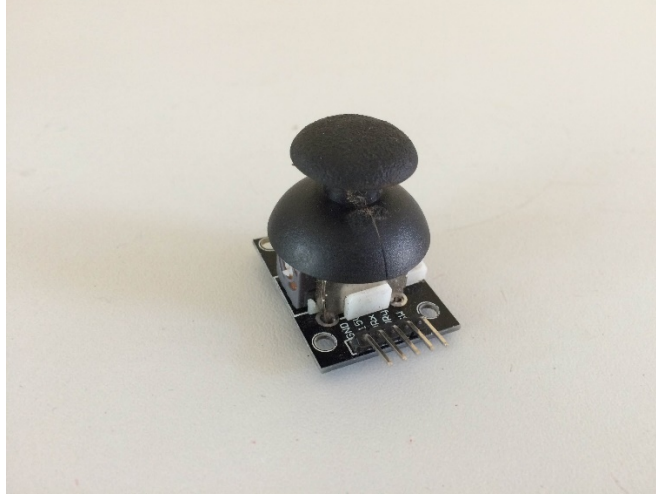


**Anexo 4**  
**Raspberry**



**pi**

## Anexo 5 Joystick



## Anexo 6 Código en el Microcontrolador

```
char tx[6] = { '$', '2', '3', '4', '5', '$'};
char orden='0';
int Xpos;
int Ypos;

int pwm_1 =9;
int pwm_2 =10;
int pwm_3 =11;
int pwm_4 =5;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  pinMode(13, OUTPUT);
  //A1 Eje x
  //Eje Y
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(pwm_1, OUTPUT);
  pinMode(pwm_2, OUTPUT);
  pinMode(pwm_3, OUTPUT);
  pinMode(pwm_4, OUTPUT);
}
void loop() {

  //lectura del Joystick
```

```

Xpos=linealizar(analogRead(A1));
Ypos=linealizar(analogRead(A2));

Motor_Izquierdo(Xpos);
Motor_Derecho(Ypos);
/*
  analogWrite(pwm_1,500);
  analogWrite(pwm_2,LOW);
  analogWrite(pwm_3,500);
  analogWrite(pwm_4,LOW);
  delay(1000);
  analogWrite(pwm_1,LOW);
  analogWrite(pwm_2,500);
  analogWrite(pwm_3,LOW);
  analogWrite(pwm_4,500);
  delay(1000);
*/

Serial.println(Xpos);
Serial.println(Ypos);
a

Serial.flush();

delay (230);

}

int linealizar(int valor)
{
  int x=0;
  x=(valor-512)/1.024;c
  if(abs(x)<25)
  {
    x=0;
  }

  return x;
}

void Motor_Derecho (int valor)
{
  if(valor==0)
  {
    digitalWrite(pwm_1,0);
    digitalWrite(pwm_2,0);
  }

  if(valor>150)
  {

    analogWrite(pwm_1,abs(valor));
    digitalWrite(pwm_2,0);

  }
}

```



```

if(valor<150)
{
    analogWrite(pwm_2,abs(valor));
    digitalWrite(pwm_1,0);
}
}

void Motor_Izquierdo (int valor)
{
    if(valor==0)
    {
        digitalWrite(pwm_3,0);
        digitalWrite(pwm_4,0);
    }

    if(valor>150)
    {
        analogWrite(pwm_3,abs(valor));
        digitalWrite(pwm_4,0);
    }

    if(valor<150)
    {
        analogWrite(pwm_4,abs(valor));
        digitalWrite(pwm_3,0);
    }
}

```