



UNIVERSIDAD DE XALAPA

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SILLA DE
RUEDAS ELÉCTRICA BIPEDESTADORA MEDIANTE EL
MECANISMO PARALELOGRAMO ARTICULADO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRESENTA

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ GARCÍA

XALAPA – EQUEZ., VER.

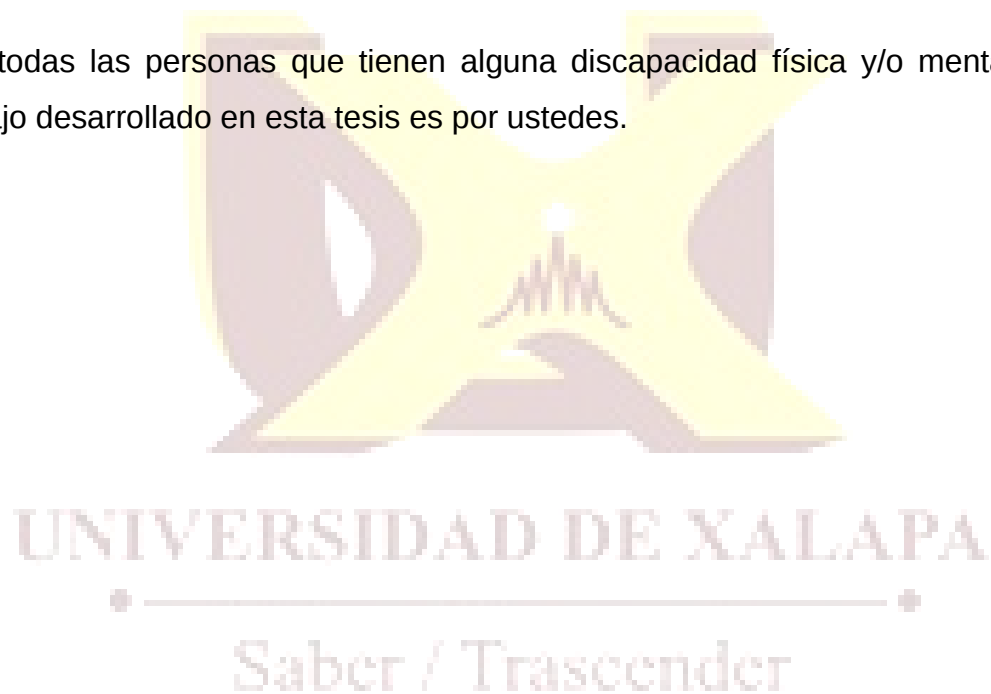
OCTUBRE 2020

DEDICATORIAS

A mis padres, en especial a mi madre Sabina por inculcarme disciplina, educarme, apoyarme y alentarme a nunca darme por vencido.

A mi hermanito Martin por estar presente en todo momento, por brindarme consuelo, amor y por confiar siempre en mí, incluso desde antes que yo naciera en este mundo.

Y a todas las personas que tienen alguna discapacidad física y/o mental, el trabajo desarrollado en esta tesis es por ustedes.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al jefe de la escuela de ingenierías de la Universidad de Xalapa y Director de Tesis, al Dr. Sergio Hernández Méndez, por los conocimientos brindados, por el apoyo y la guía para realizar y concluir este trabajo de tesis.

Agradezco también a la Universidad de Xalapa por brindarme el espacio, las herramientas y por los docentes que me formaron para ser un gran profesionista.

Por último, agradezco a mi familia y amigos por siempre estar presentes en todo momento, en las buenas y en las malas, pero en especial a mi madre Sabina García Hernández, sin el amor, la guía y apoyo de mi madre, nada de esto sería posible.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

En el desarrollo de la silla de ruedas bipedestadora de este trabajo de tesis se aplicaron varias ramas de la Mecatrónica, las cuales son programación, mecánica, electrónica, control y diseño CAD. Para la estructura de la silla se formó conforme a las medidas antropométricas de México, las dimensiones aplicadas, los grados de bipedestación, el diagrama a bloques del sistema electrónico, el diagrama de conexión, el diseño CAD y la silla de ruedas en forma física se muestra detallado en los siguientes capítulos.

La silla de ruedas bipedestadora está enfocada a personas con alguna discapacidad como la paraplejia, al ponerse de forma bípeda las personas con paraplejia tienen la sensación de estar de pie; la posición bípeda evita enfermedades físicas y psicológicas en las personas parapléjicas que surgen cuando la persona está todo el tiempo sentada; el desplazamiento de la silla de ruedas al ser totalmente eléctrica funciona como transporte personal.

Los datos obtenidos, los errores que surgieron en el proceso de la implementación y los pasos que se siguieron para corregir estos mismos se detallan en el capítulo de experimentación. Las conclusiones, citas bibliográficas, apéndices y anexos se muestran al final del documento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO	2
1.1 Descripción del área de oportunidad.....	3
1.2 Antecedentes de la situación.	4
1.3 Pregunta de Investigación.	8
1.4 Justificación del estudio.	9
1.5 Objetivo del estudio.....	9
1.5.1 Objetivo general.	9
1.5.2 Objetivo específico.	10
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	11
2.1 Antropometría.	12
2.2 Tipos de mecanismos para la bipedestación.	14
2.3 Proyectos relacionados.....	17
CAPÍTULO 3: PROPUESTA.....	25
3.1 Nombre de la propuesta.	26
3.2 Selección de materiales.....	27
3.3 Componentes.....	27
3.3.1 Arduino Mega 2560.....	27
3.3.2 Joystick.....	29
3.3.3 Motores.....	30
3.3.3.1 Motor DC para silla de ruedas.	30
3.3.3.2 Actuador Lineal.	31
3.3.4 Puente H.	33
3.3.5 Optointerruptor.....	35
3.4 Factibilidad y viabilidad de la propuesta.	37

3.5 Requerimientos de la implementación.	38
3.6 Esquemas y diagramas.	39
3.7 Implementación.	45
CAPÍTULO 4: EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.	50
4.1 Lectura de RPM sin peso del usuario.	51
4.2 Cálculo de velocidad angular y velocidad lineal sin peso del usuario.	53
4.3 Lectura de RPM con peso del usuario.	54
4.4 Cálculo de velocidad angular y velocidad lineal con peso del usuario.	56
4.5 Prueba de posición sedestación-bipedestación.	57
4.6 Comparación de la propuesta con proyectos similares.	58
CONCLUSIONES.	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	62
APENDICES Y ANEXOS.	64

INTRODUCCIÓN

5.7 millones de personas en México padecen alguna discapacidad, dentro de este porcentaje tienen limitaciones para para caminar y/o moverse, la persona con paraplejia al estar todo el tiempo sentado le surge más enfermedades que reducen la vida de esta misma persona, es importante que la persona que está en silla de ruedas pueda ponerse de pie para brindar beneficios en la salud tanto físico como mental.

Es por eso que la presente investigación e implementación se enfoca al tema de discapacidades, la silla de ruedas eléctrica bipedestadora pone de pie a la persona parapléjica y facilita la movilidad de las personas sin necesidad de desgastarse físicamente.

The logo of the University of Xalapa, featuring a stylized yellow 'X' with a purple outline, set against a purple background.

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO

UNIVERSIDAD DE XALAPA

• ————— •
Saber / Trascender

1.1 Descripción del área de oportunidad.

La silla de ruedas eléctrica bipedestadora se enfoca a personas con paraplejia. En los hospitales y lugares ortopédicos es necesario el traslado de pacientes ya sea para el intercambio de edificio, área o simplemente para que el paciente tome aire fresco, no solo se necesita moverlo de un lugar a otro, también es necesario que el paciente se pueda poner de forma vertical para que se active la circulación sanguínea y pueda mantenerse el calcio en los huesos para evitar posibles fracturas. El desarrollo de este trabajo de tesis cubre las áreas de la mecatrónica que son, mecánica, electrónica, e informática; su implementación de la silla de ruedas eléctrica bipedestadora cubre una necesidad social que es la discapacidad de paraplejia, la función de la bipedestación en la silla de ruedas brindará beneficios médicos y psicológicos que se pueden encontrar en el trabajo de (Quintero, 2013), y se resumen a continuación.

- Brinda la correcta alineación anatómica del tronco y de sus extremidades inferiores.
- El calcio en los huesos se mantiene, previniendo así la osteoporosis y futuras fracturas.
- Se evitan las retracciones musculo-tendinosas.
- La circulación sanguínea se activa en el componente cardíaco como periférico, previniendo así un paro cardíaco grave o un derrame cerebral.
- La respiración funciona correctamente, ya que el consumo de oxígeno aumenta favoreciendo la expansión pulmonar.
- Peristaltismo intestinal en aumento, se previene el estreñimiento.
- Se evita la aparición de úlceras por presión en cualquier parte del cuerpo humano.
- Los usuarios con estado de mínima conciencia mejoran la atención arousal y su exploración en el entorno.
- El desarrollo de equilibrio en la parte superior del cuerpo mejora.
- Se desarrolla fuerza en los músculos antigravitarorios.

Por lo tanto, es necesario cubrir una oportunidad dentro del sector salud.

1.2 Antecedentes de la situación.

Conocer los datos oficiales, o bien, datos actualizados sobre la discapacidad en México es difícil, ya que solo se cuenta con el INEGI para saber qué porcentaje de población tiene esta discapacidad en el país, los últimos datos actualizados por parte del (INEGI, 2010) se estima que una población de 7.65 millones de personas reportaron tener al menos alguna discapacidad ya sea física o mental.

Por otra parte, en la actualidad se puede encontrar diferentes tipos de sillas de ruedas, que son las sillas de ruedas manuales, sillas de ruedas eléctricas, silla de ruedas para deportes y silla de ruedas bipedestadoras.

Las sillas de ruedas manuales pueden ser impulsadas por el usuario o por otra persona externa, este tipo de sillas de ruedas cuentan con dos ruedas grandes traseras, dos ruedas pequeñas al frente a la altura del reposapiés. Las sillas de ruedas tienen años que se han estado comercializando. La primera silla creada de esta categoría fue en el año de 1933 por un ingeniero mecánico y hasta la fecha, el diseño de las sillas de ruedas manuales o plegables siguen estando vigentes para su fabricación y comercialización.

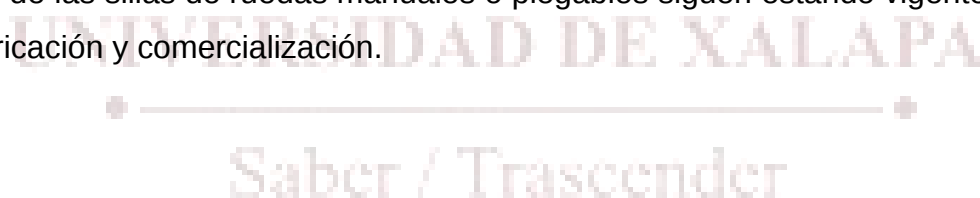


Figura 1

Silla De Ruedas Tradicional



Nota. La silla de ruedas tradicional ha estado vigente a través de los años. Tomada de *Vida Abuelo* [Fotografía], Vida Abuelo, 2020, <https://vidaabuelo.com/producto/silla-de-ruedas-con-descansabrazos-y-descansapiés-abatibles>.

A través de los años surgieron más propuestas para las sillas de ruedas, la silla de ruedas plegable antes mencionada sigue estando vigente por su fácil funcionamiento, traslado, y por la densidad de dicho material al ser utilizada; a diferencia de la silla de ruedas manual a la eléctrica es en los motores con ruedas. Las ruedas de estos motores suelen ser diferentes dependiendo el tipo del piso en el que será rodada la silla.

Figura 2

Silla De Ruedas Eléctrica



Nota. La silla de ruedas eléctrica es similar a la tradicional. Tomada de *Costco de México* [Fotografía], Costco de México, 2020, <https://www.costco.com.mx/Salud-y-Belleza/Ortopedia-y-Rehabilitacion/Sillas-de-Ruedas/Powercar-Silla-de-Ruedas-Elctrica/p/627849>.

La idea de desarrollar sillas de ruedas de diferentes diseños y mecanismos es para incluir en la sociedad a las personas con esta discapacidad. Y en el deporte no podría faltar, es por eso que los ingenieros y diferentes marcas de algunas partes del mundo se han tomado la tarea de fabricar las sillas de ruedas deportivas, la estructura no se diseña con las medidas estándar, son medidas con las dimensiones del propio atleta.

La fabricación de las sillas de ruedas deportivas tiene que ser extremadamente ligeras en su peso, por lo cual ocupan material como el aluminio ya que la densidad de este material lo hace más óptimo ya que es resistente y no genera mucho peso a la silla.

Figura 3

Silla De Ruedas Deportiva



Nota. La fabricación de las sillas de ruedas deportivas tiene que ser extremadamente ligeras en su peso. Tomada de *Silla de Ruedas y Artículos Vida Independiente* [Fotografía], Silla de Ruedas y Artículos Vida Independiente, 2020, <https://www.tiendavidaindependiente.com/products/silla-deportiva-de-baloncesto>.

Cada modelo de silla bipedestadora es implementada de acuerdo con las condiciones que el usuario requiera y el piso en el que será rodada.

En México se conoce una sola marca que tiene por nombre Get Up. La silla de (Kiron Store, 2019) cuenta con las dos ruedas grandes para el impulso del usuario y el bipedestador se acciona con un motor actuador lineal. La desventaja de este tipo de silla de ruedas bipedestadora es que no es completamente eléctrica y sigue generando un esfuerzo físico extra al usuario lo cual es innecesario.

Figura 4

Silla Bipedestadora Get Up



Nota. La silla Get Up se comercializa en México. Tomada de Kirón Store [Fotografía], Kirón Store, 2020, <https://www.kironstore.com/mx/producto/getup/>.

Los modelos de las sillas de ruedas son implementados con mecanismos diferentes, tipos de ruedas, motores con diferentes capacidades, el joystick de desplazamiento y diseño de acuerdo al fabricante. En el siguiente capítulo en el apartado de proyectos relacionados se muestra los diferentes prototipos de sillas de ruedas bipedestadoras.

1.3 Pregunta de Investigación.

¿Cómo poner de forma bípeda a una persona parapléjica estando en una silla de ruedas?

1.4 Justificación del estudio.

Al estar de forma bípeda la persona, mejora la circulación sanguínea, la respiración se normaliza, la densidad ósea, la función de la vejiga y la función intestinal funcionan correctamente. Al poner de forma vertical al usuario no solo brinda beneficios a la salud, también brinda un beneficio psicológico con el simple hecho de poner de pie a las personas parapléjicas. Más beneficios a la salud se encuentran detallados en el trabajo de (Quintero, 2013).

Por otra parte, a las personas con paraplejia se les hace difícil moverse de un sitio a otro, los transportes no están diseñados para este tipo de personas, la silla de ruedas funciona como un medio de transporte único para personas discapacitadas.

El mecanismo paralelogramo articulado es un mecanismo de cuatro barras, el mecanismo es fácil de acoplarse con el actuador lineal, el mecanismo no ocupa demasiado espacio ni está diseñado de forma robusta, reduciendo el espacio en la silla y disminuyendo el peso de la silla de ruedas.

Para brindar estos beneficios de salud, psicológicos y brindar un medio de transporte personal para personas que cuentan con esta discapacidad, se pretende diseñar e implementar una silla de ruedas eléctrica bipedestadora por medio del mecanismo de paralelogramo articulado, para mejorar la posición vertical y brindarle al usuario un transporte por el cual pueda moverse de un lugar a otro.

1.5 Objetivo del estudio.

1.5.1 Objetivo general.

Diseñar e implementar una silla de ruedas eléctrica bipedestadora, mediante el mecanismo de paralelogramo articulado, para personas parapléjicas.

1.5.2 Objetivo específico.

- Comparar los componentes electrónicos que se proporcionaran a la silla bipedestadora.
- Implementar un motor lineal para el mecanismo de paralelogramo articulado.
- Implementar un tacómetro para determinar la velocidad de los motores en las llantas.
- Implementar un puente h para invertir el giro de los motores
- Incorporar medidas antropométricas a la estructura de la silla de ruedas bipedestadora.





CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

UNIVERSIDAD DE XALAPA



Saber / Trascender

2.1 Antropometría.

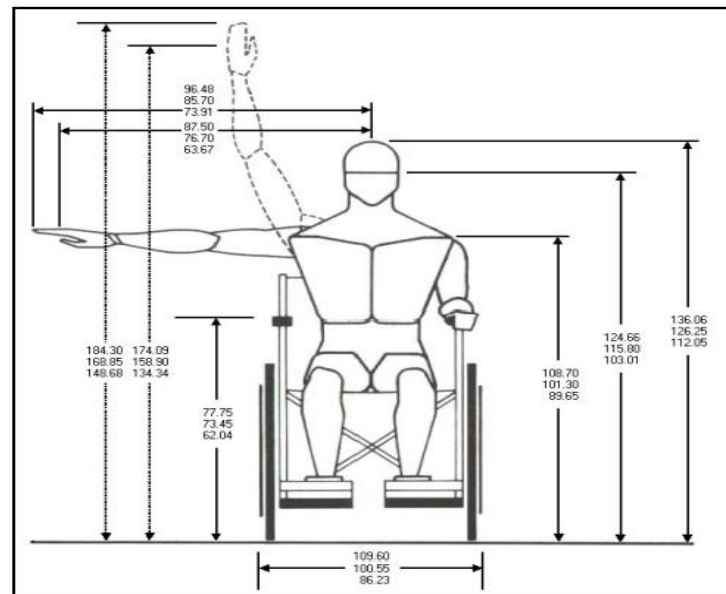
La antropometría en México por parte de (De la vega Bustillos, López-Millan, & Soto, 2004) surge para cubrir el bienestar ya sea físico y/o mental de las personas que son dependientes entre la relación de factores que afecten directa o indirectamente los espacios en donde realiza sus labores, estos pueden ser accesos públicos o privados, ya sea en escuelas, trabajos, oficinas y/o su propio hogar. Los accesos son definidos mediante dimensiones promedio por cada país, las dimensiones estándar son diseñadas pensando en las personas con alguna discapacidad como la paraplejía. El diseño de las sillas de ruedas tiene que ser guiadas conforme a la antropometría mexicana para facilitar el acceso a estos espacios y que se amolde al cuerpo físico de la persona con discapacidad.

La antropometría permite conocer las dimensiones físicas promedio del cuerpo humano; mide la altura, peso, diámetro, longitud y/o pliegues cutáneos. En la *Figura 5* y *Figura 6* se muestra las dimensiones físicas desde la vista frontal y vista lateral.



Figura 5

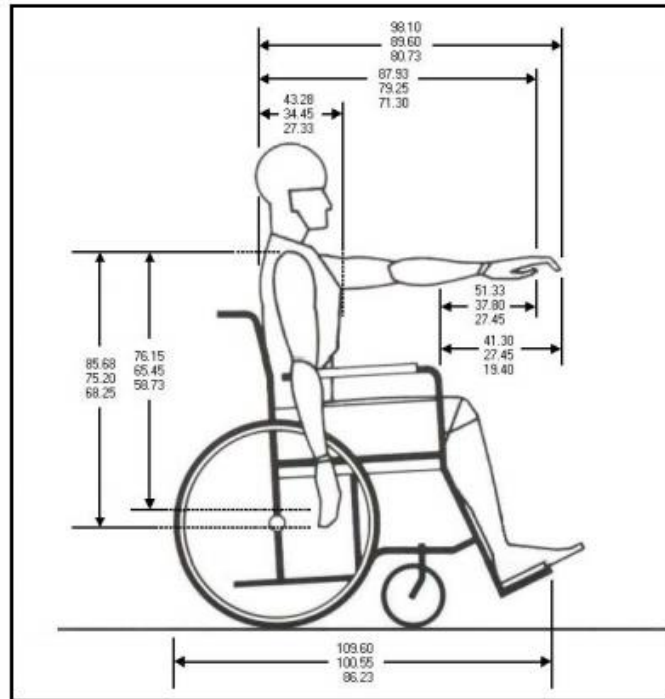
Medidas Antropométricas Vista Frontal



Nota. La figura permite conocer las medidas físicas promedio desde la vista frontal. Tomada de *Antropometría para Discapacitados* [Fotografía], De la Vega Bustillos, López-Millan, & Soto, 2004.

Figura 6

Medidas Antropométricas Vista Lateral



Nota. La figura permite conocer las medidas antropométricas en vista lateral. Tomada de *Antropometría para Discapacitados* [Fotografía], De la Vega Bustillos, López-Millan, & Soto, 2004.

UNIVERSIDAD DE XALAPA

2.2 Tipos de mecanismos para la bipedestación.

Saber / Trascender

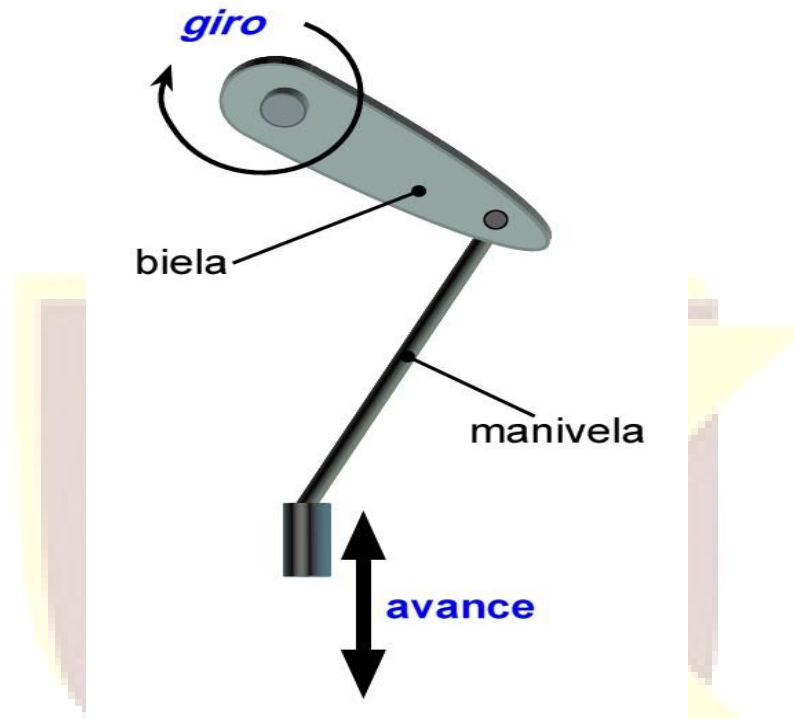
Mecanismo biela-manivela:

Este tipo de mecanismo realiza un movimiento circular haciendo accionar el pistón, lo que esté sujeto al pistón es lo que sufrirá algún cambio.

Un ejemplo en el que fue utilizado este tipo de mecanismo es en las locomotoras de vapor.

Figura 7

Mecanismo Biela-Manivela



Nota. El pistón genera un cambio circular en el mecanismo. Tomada de *Edu Xunta Gal*

[Fotografía], Lozano & Francisco, 2020,

https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/53_bi_elamanivela.html.

Mecanismo de tijera:

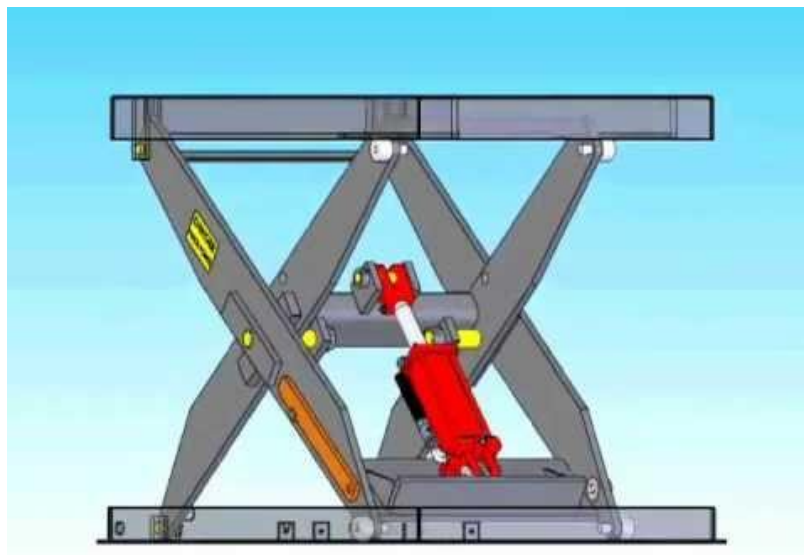
El mecanismo de tijera es utilizado para el levantamiento de cargas pesadas, en algunas de sus aplicaciones son el gato hidráulico y/o elevadores de personas.

Requiere eslabones en las partes intermedias de algún material especial para el perfecto movimiento del mecanismo, lo cual resulta complejo adquirir y elevaría el

precio para la implementación del bipedestador, si se implementara este mecanismo ocuparía mucho espacio al ser un mecanismo robusto.

Figura 8

Mecanismo Tijera



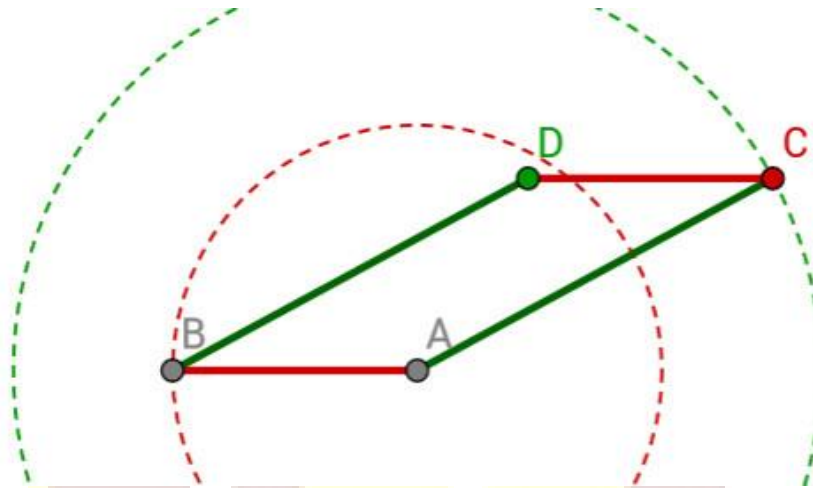
Nota. El mecanismo requiere eslabones en la parte intermedia. Tomada de *Trinoko* [Fotografía], Trinoko, 2019, <http://trinoko.com/cuerpo/mecanismo-de-tijera-funcionamiento>.

Mecanismo paralelogramo articulado:

El mecanismo paralelogramo articulado se compone de cuatro barras, deben de tener la misma longitud dos a dos, para la implementación y el correcto funcionamiento de este mecanismo se tiene cuatro eslabones en cada una de las uniones de las barras.

Figura 9

Mecanismo Paralelogramo Articulado



Nota. Para accionar el mecanismo paralelogramo articulado se requiere de un actuador lineal.
Tomada de *Matemáquinas* [Fotografía], Jmora7, 2020,
http://jmora7.com/GG5/Maquinas/indice_mecan7.html.

El mecanismo de paralelogramo articulado que se muestra en la *Figura 9* fue seleccionado para la implementación en el bipedestador de este trabajo de tesis, entra en función en el levantamiento del asiento poniendo de forma vertical a la persona con un movimiento en las cuatro barras, la ventaja es en no utilizar demasiado espacio. Se necesitará de un actuador lineal para accionar este mecanismo.

2.3 Proyectos relacionados.

En el trabajo de (Obando-Herrera; Flores-Mugmal; Barbero-Palacios; Ortega-Bustamante, 2017) se desarrolló una silla de ruedas bipedestadora la cual su diseño y construcción le permite que pase a la posición de sedestación a bipedestación a los pacientes que tienen la discapacidad de paraplejia, el peso

máximo que tiene de soporte la silla es de 100 *Kg* (Kilogramos) de peso. Para implementar el diseño de la estructura, las dimensiones fueron consideradas de acuerdo a un análisis antropométrico que se realizó a 19 pacientes de edad adulta de origen ecuatoriano. El software Autodesk Force Effect es utilizado para el cambio de posiciones en los pacientes, considerando controlar las posiciones relativas de los miembros inferiores, el rango de movimiento es de 15° a 75°, se desarrolló una base de datos que es utilizada para seleccionar el sistema impulsor. El software Autodesk Inventor V15 es utilizado para designar cargas críticas, con el software se realiza un análisis de esfuerzos.

El material para la estructura es acero de tipo ASTM A-36, es seleccionado este material por su resistencia y fácil soldabilidad a diferencia del aluminio y acero inoxidable. La corrosión se evitó recubriendo de pintura anticorrosiva.

El motor actuador lineal que es utilizado para el sistema de elevación, se utilizó el actuador lineal Dewert modelo megamat 2, el cual tiene una carga de empuje de 600 *N* (Newton), la velocidad máxima que tiene como límite este tipo de motor es de 28 *mm/s* (Milímetros/Segundo), con una longitud de carrera como límite máximo es de 425 *mm* (Milímetros), el voltaje de entrada es de 110 *V* (Voltios).

◆ ————— ◆
Saber / Trascender

Figura 10

Silla De Ruedas Bipedestadora



Nota. La silla bipedestadora tiene un soporte de 100kg. Tomada de *Silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado iv en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg* [Fotografía], Obando-Herrera, Flores-Mugmal, Barbero-Palacios, & Ortega-Bustamante, 2017.

El proyecto de (Giraldo Gómez, 2012) se basa en la estabilidad del dispositivo, por lo tanto, se realizó un cálculo para su centro de masa en las posiciones de sedestación y bipedestación. El cálculo de potencia de esta silla se realizó para la aplicación del desplazamiento y accionamiento de su sistema bipedestador con el desarrollo de dos diagramas de cuerpo libre, el desarrollo del primero se realizó con un ángulo θ , el desarrollo del segundo diagrama fue representado para la bipedestación del dispositivo.

Los materiales utilizados para la implementación de la silla de ruedas bipedestadora fueron diferentes en cada pieza. Se utilizó el material polietileno de densidad baja para las piezas de asiento, para espaldar y apoya pies; el material AISI 316 con un perfil de 25x25 mm de 3 mm fue utilizado para las piezas de barras de asiento, barras de espaldar, barras de altura, barras apoya pies y barras de conexión de ruedas.

El software Autodesk Inventor Professional 2013 es utilizado para el ensamble de la silla. Para la simulación de los materiales es utilizado el software Autodesk Simulation Multiphysics. La carga aplicada en el asiento es de 1100 N , en el respaldo donde es colocada las baterías, circuitos electrónicos y potencia. Se le aplicó un peso de 60 N .

Figura 11

Silla De Ruedas Bipedestadora En Simulación



Nota. La silla se basa en la estabilidad del dispositivo. Tomada de *Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior* [Fotografía], Giraldo Gómez, 2012.

El trabajo de (Quintero, 2013) es para uso exclusivo de niños, en la metodología del diseño se toman en cuenta diferentes requerimientos, parámetros y factores. En el factor de contexto es necesario que el usuario se sienta de manera segura y cómoda desde el interior y exterior de su casa, así también en los lugares donde acuda a terapias y cualquier lugar en el que se encuentre; en el factor humano se toman en cuenta el nivel antropométrico para la implementación de las dimensiones

físicas de la silla, los usuarios son de la edad de 4 a 6 años de origen colombiano, y también que esta silla resulte a la medida del usuario sin dejar a un lado la seguridad ya que es la parte más importante, dentro del factor humano también se toma en cuenta el nivel psicológico y nivel social.

Se utilizaron diferentes tipos de materiales para la implementación de este trabajo, la lámina de aluminio que tiene como propiedad un favorable peso es utilizada para el bastidor; las barras de soporte también son elaboradas con aluminio con el propósito de disminuir peso en el sistema; para la elaboración de los ejes que cubren parte del sistema, el material utilizado fue de hierro acerado, con el único propósito de que se soporte la mayor cantidad en peso y así mismo en la fricción.

En la posición de bipedestación, las barras que unen los lados que complementan este mecanismo se realiza el movimiento en el ángulo que, en la estructura del asiento, por nombre sujeto de rotación se mantiene en unión y realiza el movimiento en el eje de rotación al mismo tiempo, el respaldo realiza el movimiento a la posición vertical.

Figura 12

Silla De Ruedas Bipedestadora Exclusiva En Niños



Nota. Las medidas antropométricas cambian al ser exclusiva en niños. Tomada de *Sistema de bipedestación para niños con parálisis cerebral espástica* [Fotografía], Quintero, 2013.

UNIVERSIDAD DE XALAPA

En el trabajo de (Omeo Technology, 2017) lleva por nombre el Ogo Evolution I, este trabajo es una silla de ruedas con una gran diferencia a las sillas de ruedas tradicionales, esta silla de ruedas va dirigida para las personas discapacitadas entre jóvenes y personas mayores, soldados, viajeros, y para los de seguridad.

Su funcionalidad es diferente, la dirección del asiento es controlada con su control dinámico operada por manos libres desde su maletero, empuñadura o desde un joystick. El alcance de esta silla es de 25 millas con una velocidad de 12 millas por hora.

La silla de ruedas llamada Ogo Evolution I, también está diseñada con estabilizadores automáticos, autonivelantes, reposapiés plegables y traseros. Lo cual puede resultar fácil a la hora de transportarla en un avión o incluso en el automóvil.

Figura 13

Silla Movable Omeo



Nota. La silla tiene una velocidad de hasta 12 millas por hora. Tomada de *Omeo Technology* [Fotografía], Omeo Technology, 2017, <https://omeotechnology.com/>.

El siguiente trabajo por (Telam, 2014) es una silla de ruedas conducida con voz o solo con la inclinación de la cabeza. Los autores de este trabajo tomaron una silla de ruedas eléctrica obsoleta, lo que implementaron fue el dispositivo conectado a un acelerómetro, el acelerómetro lo que hace es leer las inclinaciones que el usuario realiza de la cabeza.

Para poder ser operada, el usuario utiliza un auricular en el oído y al inclinar la cabeza hacia alguna dirección la silla realiza el movimiento hacia la dirección que fue inclinada la cabeza. Las lecturas son realizadas desde una aplicación móvil, por medio de bluetooth, la aplicación registra la dirección en la que se dirigirá la silla. Para cuestiones de seguridad se utilizó dos sensores, uno en la parte de enfrente y otro en la parte trasera, estos sensores entran en funcionamiento cuando detectan

que el usuario sufrirá algún accidente y realiza una maniobra para retroceder la silla.

La aplicación móvil que se desarrolló fue para el sistema operativo Android, utilizando las librerías de Google.

Figura 14

Silla Proyecto Hybri-Voz



Nota. Al inclinar la cabeza hacia alguna dirección la silla realiza el movimiento hacia la dirección que fue inclinada la cabeza. Tomada de *Telam 75 años* [Fotografía], Telam, 2014, <https://www.telam.com.ar/notas/201406/68954-estudiantes-desarrollan-una-silla-de-ruedas-que-se-conduce-con-la-voz-o-inclinando-la-cabeza.html>.



CAPÍTULO 3: PROPUESTA

UNIVERSIDAD DE XALAPA



Saber / Trascender

3.1 Nombre de la propuesta.

Diseño e implementación de una silla de ruedas eléctrica bipedestadora mediante el mecanismo paralelogramo articulado.

La diferencia de este trabajo de tesis a los trabajos anteriores y/o similares es que se está desarrollando de forma física. Se realizaron pruebas con una persona de tamaño promedio según la medida estandar en México. Por lo tanto las dimensiones físicas deben de estar relacionadas con las medidas antropométricas mexicanas; las dimensiones físicas del prototipo no solo se amoldaran al cuerpo de la persona, también la silla de ruedas podrá acceder a edificios, puertas de acceso, carriles exclusivos para personas con discapacidad.

Los bipedestadores y las sillas de ruedas suelen ser productos individuales y de su función al operar es de forma manual, en este trabajo el bipedestador y la silla de ruedas se hacen uno mismo, la forma de operar es eléctrica lo cual reduce un esfuerzo físico extra a la persona.

Para la realización de este trabajo se toma en cuenta dos áreas importantes de la Ingeniería Mecatrónica que son el diseño electrónico y el diseño mecánico. En este capítulo se mostrará cada uno de los componentes utilizados y el proceso del desarrollo.

No se realizó pruebas con diferentes personas debido a la contingencia que se presentó a nivel mundial, el virus del Covid-19.

3.2 Selección de materiales.

Aluminio: La resistencia mecánica de este material es media 214 *MPa* (Megapascuales), la densidad es de 2.70 *Kg/m³* lo cual es baja, es resistente a la corrosión, la desventaja del material es que es muy costosa, requiere equipo especial para soldar.

Acero: La resistencia mecánica de el acero es alta 352 *MPa*, su densidad es de 7.85 *Kg/m³* lo cual es elevada, su resistencia a la corrosión es baja, necesita de un protector especial, su costo es de nivel medio, fácil de soldar.

Hierro: La resistencia mecánica de el hierro es media 221 *MPa*, la densidad es de 7.90 *Kg/m³* lo cual es elevada, no es resistente a la corrosión, fácil de soldar, su precio es muy bajo a comparación de los dos anteriores.

Se utilizó el acero como material para la implementación de este prototipo por su resistencia mecánica, precio y fácil de obtener y trabajar a la hora de soldar.

3.3 Componentes.

3.3.1 Arduino Mega 2560.

La placa Arduino Mega 2560 funciona con un microcontrolador AtMega, la placa Arduino Mega tiene 54 pines digitales que tienen como funcionamiento Entrada/Salida; aparte de los pines digitales también tiene 16 entradas analógicas, tiene incorporado un cristal oscilador de 16 *MHz* (Megahertzios), conexión usb y su cable de alimentación.

La placa Arduino Mega funciona con un voltaje de entrada de 7 a 12V, con un voltaje operativo de 5V, la corriente DC entre los pines Entrada/Salida trabajan a 40mA

(miliamperios), la corriente DC (corriente directa) que trabaja en el pin de 3.3V es de 50mA; el microcontrolador que hace funcionar la Arduino Mega es el microcontrolador ATmega2560. Entre los pines digitales 15 de ellos cuentan con salida *PWM* (modulación por ancho de pulsos). Utiliza 256 KB (Kilobytes) en su memoria flash, 8 KB en SRAM (memoria estática de acceso aleatorio) y 4 KB en EEPROM (memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente). La velocidad del reloj es de 16MHz.

La arduino Mega también cuenta con pines de alimentación aparte de su entrada de alimentación. Estos son VIN que funciona como voltaje de entrada, 5V donde es posible obtener el voltaje de 5V y corriente de 40mA, en el pin 3.3V se obtiene un voltaje de 3.3V y corriente de 50mA, en el GND se obtiene la tierra de la placa.

Arduino cuenta con su propio lenguaje de programación, donde es programada en la interfaz Arduino IDE para sistemas operativos de Windows, Linux, Mac OS.

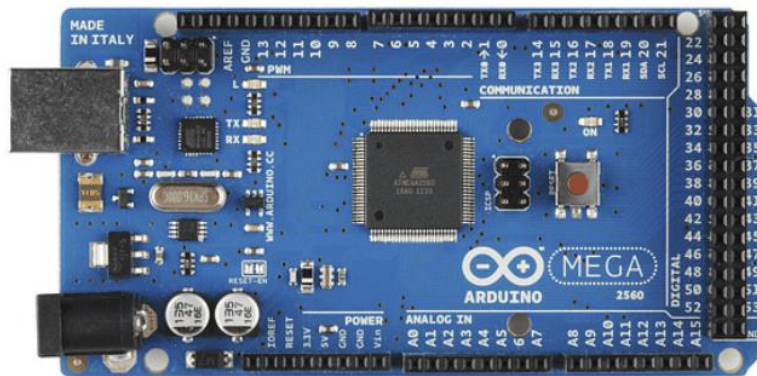
Teniendo en cuenta la capacidad de la placa Arduino Mega a diferencia de las otras placas arduino, se optó por la Mega 2560, ya que tiene mayor cantidad de pines en los cuales trabajar, la placa Mega 2560 hará funcionar la silla de ruedas bipedestadora, entrando en función con los puentes H, los joysticks, tacómetros, y motores.

En la interfaz Arduino IDE, será mostrado por medio del monitor serial las revoluciones por minuto en la cual giran los motores con peso y sin peso de la persona que utilizará la silla. Sabiendo a cuantas RPM (revoluciones por minuto)

trabajan los motores se calculó la velocidad en la que se traslada la silla de ruedas bipedestadora.

Figura 15

Arduino Mega 2560



Nota. La placa Arduino Mega 2560 funciona con un microcontrolador AtMega. Tomada de *Arduino en Español* [Fotografía], Delgado, 2020, <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>.

3.3.2 Joystick.

El joystick es un módulo compatible para la placa Arduino, el módulo joystick tiene 5 pines, los cuales son: VCC (voltios de corriente continua), GND (tierra), VRX (voltaje en la resistencia x), VRY (voltaje en la resistencia y) y SW (interruptor); para el desarrollo de esta silla solo se utilizó 4 pines descartando el pin de SW, es importante conocer que el joystick es analógico por lo que realiza lecturas precisas a comparación de otras palancas.

Las conexiones son las siguientes: Arduino 5V a VCC Joystick, Arduino GND a GND Joystick, Arduino A0 a VR/Y, Arduino A1 a VR/X.

Figura 16

Módulo Joystick Para Arduino



Nota. El joystick es un módulo compatible para la placa Arduino. Tomada de *Web-Robótica* [Fotografía], Web-Robótica, 2019, <https://www.web-robotica.com/arduino/como-utilizar-el-modulo-joystick-con-arduino>.

3.3.3 Motores.

UNIVERSIDAD DE XALAPA

3.3.3.1 Motor DC para silla de ruedas.

Saber / Trascender

El motor eléctrico para la silla de ruedas es una máquina como cualquier motor DC, los motores para que puedan realizar algún movimiento la energía eléctrica la transforma en energía mecánica con la ayuda de interacciones electromagnéticas.

Existen diferentes modelos de motores para silla de ruedas, esto cambiando algunas características en ellos, algunos modelos alcanzan diferente tipo de velocidad, ya sea de 5 *km/h* hasta 9 *km/h*. La autonomía mostrará el recorrido que se podrá realizar antes de que la batería se consuma, esto se dictamina con

relación a la velocidad de la silla, la inclinación de la pendiente a ascender, el peso del usuario y el tipo de batería.

Los motores para silla de ruedas se alimentan con 2 baterías de 12 V. Con un amperaje entre 7Ah a 14Ah dependiendo de las características del modelo del motor.

Figura 17

Motor Para Silla De Ruedas Eléctrica



Nota. El motor que se muestra en la figura es exclusivo para silla de ruedas. Tomada de *Alibaba* [Fotografía], Alibaba, 2020, <https://spanish.alibaba.com/product-detail/topmedi-rehabilitation-therapy-supplies-12v-150w-electric-wheelchair-motor-60103212883.html>.

3.3.3.2 Actuador Lineal.

Los actuadores lineales son motores que realizan un movimiento en forma lineal, es la diferencia de los motores eléctricos convencionales. Al utilizar un motor eléctrico convencional se tendría que aplicar engranes para funcionar como motorreductor y aplicarlo a otro tipo de mecanismo como el mecanismo de tijera que se muestra en la *Figura 8*, el cual fue descartado por su poca factibilidad.

Al utilizar el actuador lineal no se necesita un sistema de engranes, ya que el propio actuador lineal funciona como motorreductor. Al realizar un movimiento en forma lineal pone en acción al mecanismo paralelogramo articulado, poniendo la silla de forma bipeda.

Existen diferentes marcas como Invacare que se especializan en sillas de ruedas. Es importante conocer cuanto peso cargará el mecanismo, esto en relación con el peso de la persona parapléjica.

El actuador lineal que se implementó en este prototipo carga un peso de 1500 *N* como máximo, tiene una salida lineal de 300 *mm*, la salida lineal ayudará al mecanismo de poner en posición sedestación a bipedestación en 90° que sería la forma vertical en la que estaría la persona parapléjica, los 90° son por motivos de seguridad, si se incrementa los grados para la bipedestación la persona podría perder el equilibrio y sufrir un accidente.

Figura 18

Motor Actuador Lineal



Nota. El actuador lineal acciona el mecanismo bipedestador. Tomada de *Alibaba* [Fotografía], Alibaba, 2020, <https://spanish.alibaba.com/product-detail/linear-actuator-500mm-stroke-1500n-62359548149.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5cde3290wHpTAO>.

3.3.4 Puente H.

El puente h es importante para la implementación de este proyecto, ya que permitirá que los motores puedan invertir los giros. Los puentes h se pueden

encontrar en módulos, o bien, se pueden realizar con circuitos integrados, y/o componentes electrónicos.

Usualmente suelen constituirse de 4 interruptores ya sean mecánicos o transistores. El puente h no solo sirve para invertir el giro de los motores, también se utiliza para frenar el motor de forma áspera.

Figura 19

Puente H L298N



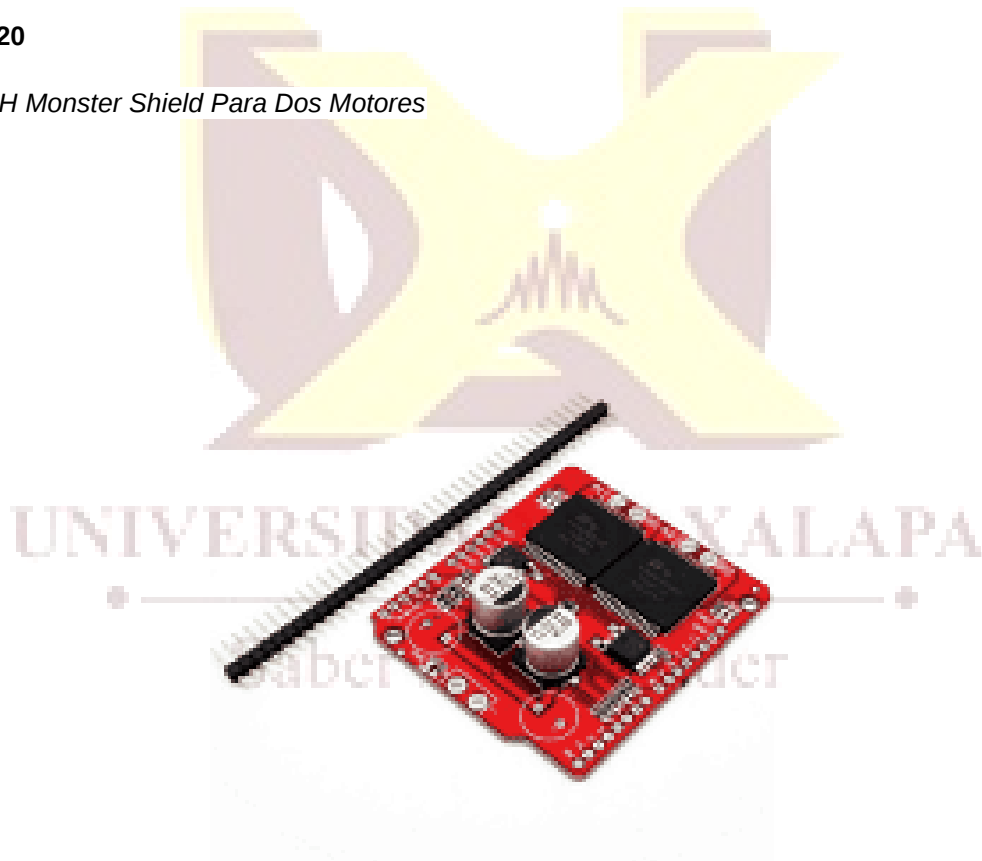
Nota. El Puente H L298N invierte el giro del motor. Tomada de *Mercado Libre* [Fotografía], Mercado Libre, 2020, https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-706035746-modulo-puente-h-l298-motor-driver-arduino-pic-raspberry-_JM?matt_tool=65873753&matt_word=&gclid=CjwKCAjw19z6BRAYEiwAmo64LUnt4149iSP8bMfLIDYKVOsBjwOzqqXwzzCk1enSYP9PQ4oNtdmd8xoCrv4QAvD_BwE.

Se tomaron en cuenta 2 módulos puente h para Arduino, el primero fue el controlador L298N y la Monster Shield, ambos invierten los giros de los motores y

tienen incluido el PWM, los dos módulos controlan 2 motores al mismo tiempo; la diferencia está en la intensidad del trabajo, el controlador L298N trabaja en un máximo de 3A, la Monster Shield trabaja en un máximo de 30A. Los motores trabajan en un amperaje de 7A, por lo que la Monster Shield se implementó en este trabajo de tesis.

Figura 20

Puente H Monster Shield Para Dos Motores



Nota. El puente H Monster Shield invierte el giro de los motores con alto amperaje. Tomada de *Mercado Libre* [Fotografía], Mercado Libre, 2020, https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-563513242-puente-h-doble-30a-monster-moto-shield-vnh2sp30-arduino-robot-_JM#position=1&type=item&tracking_id=46aea5a8-25f5-43b6-9216-be168836c940.

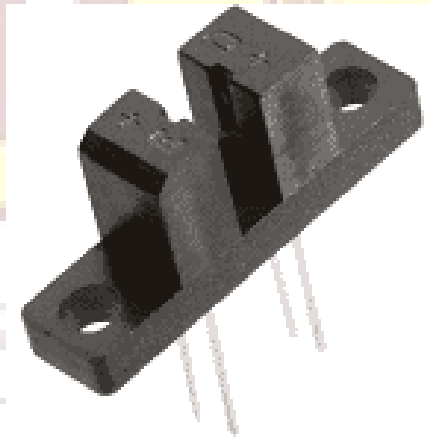
3.3.5 Optointerruptor.

El Optointerruptor es un sensor que permitirá detectar objetos que pasan entre la ranura interior. Entre uno de los extremos se tiene un diodo emisor de infrarrojos, y el otro extremo contiene un fototransistor que es la que recibe la señal.

Cuando el objeto pasa entre la ranura interior este objeto interrumpe la luz infrarroja, este es detectado por el fototransistor.

Figura 21

Optointerruptor Integrado De 30 V



Nota. Cuenta con cuatro pines; ánodo, cátodo, colector, emisor. Tomada de *Mercado Libre* [Fotografía], Mercado Libre, 2020, https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-563513242-puente-h-doble-30a-monster-moto-shield-vnh2sp30-arduinorobot-_JM#position=1&type=item&tracking_id=46aea5a8-25f5-43b6-9216-be168836c940.

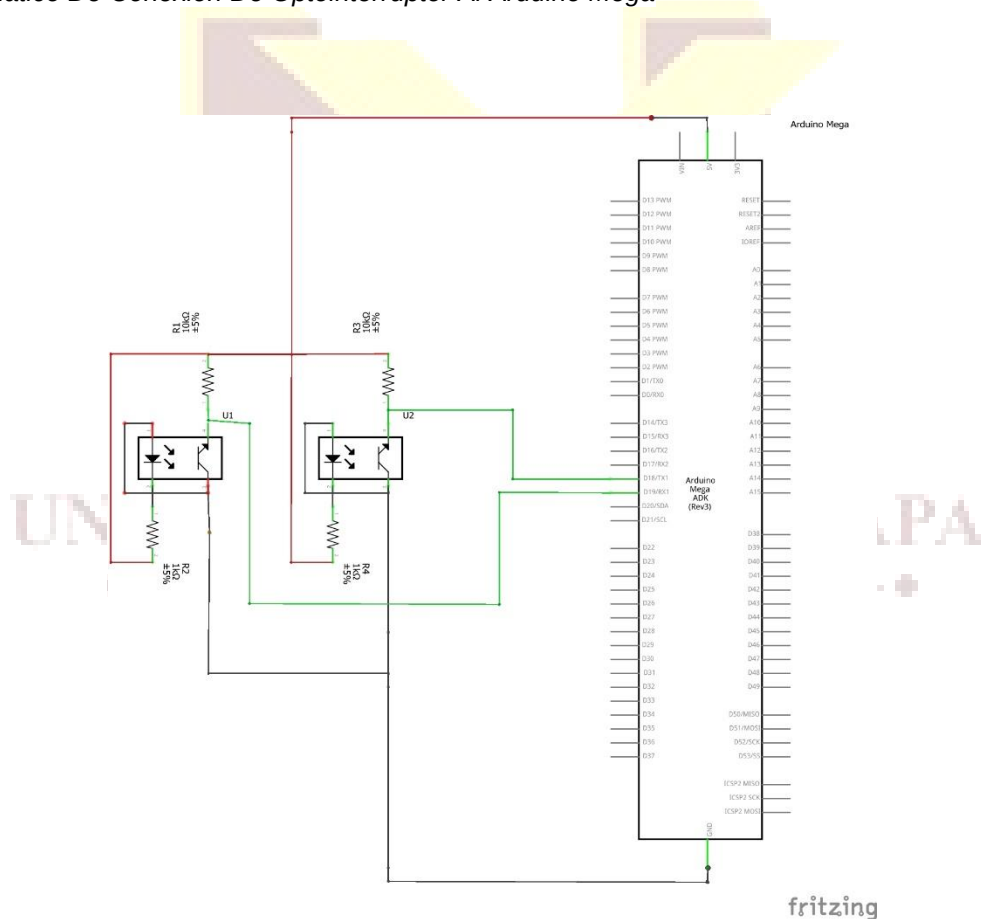
El optointerruptor fue implementado como encoder. Para detectar las interrupciones se empleó un disco con ranuras, el disco es acoplado al eje del motor, cuando el eje del motor gira las ranuras del disco son detectadas por el fototransistor del optointerruptor.

Optointerruptor ITR8102 fue implementado como encoder, cuenta con 4 pines; ánodo, cátodo, colector, emisor.

Por lo tanto, el encoder fue aplicado al motor izquierdo y motor derecho de la silla de ruedas para poder tener una lectura de las RPM que se tiene del motor y calcular la velocidad de la silla.

Figura 22

Esquemático De Conexión De Optointerruptor Al Arduino Mega



Nota. El optointerruptor es implementado como encoder. Elaboración propia.

3.4 Factibilidad y viabilidad de la propuesta.

Los elementos electrónicos que se utilizaron para el completo funcionamiento de la silla eléctrica bipedestadora son los siguientes:

- 1 Arduino Mega.
- 2 Modulos puente H Monster Shield.
- 2 Modulos joystick para arduino.
- 2 Motores con llantas para tipo Go Kart 12V 7A.
- 1 Actuador lineal 12V 7A. 1500N.
- 1 Bateria recargable 12V 7Ah.
- 2 optointerruptor ITR8102

Las sillas de ruedas eléctricas bipedestadoras comerciales utilizan un joystick para que pueda avanzar, retroceder, girar y accionar el sistema bipedestador; la desventaja de este joystick es que tiene un precio comercial en México de \$6,000.00 aproximadamente. El joystick implementado en este trabajo de tesis funciona teniendo los mismos resultados que el joystick comercial lo cual hace factible y viable la propuesta.

El material que se utilizó en la parte mecánica son los siguientes: _____ ♦

- Tubo negro $\frac{3}{4}$ cedula 30, 12 metros.
- 1 kg de soldadura 60 13 de 1/8.
- Solera 1 pulgada x 1/8, 3 metros.
- Solera de 1 $\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{4}$, 6 metros.
- Tubo de media cedula 40, 3 metros.

Los materiales electrónicos y mecánicos utilizados en este trabajo de tesis se pueden encontrar facilmente en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, lugar donde se realizó el proyecto, los demás materiales no encontrados en la ciudad fueron

obtenidos a través de Mercado Libre, en la *Tabla 1* se muestran los precios de cada material.

3.5 Requerimientos de la implementación.

En la *Tabla 1* se muestran los componentes eléctricos, mecánicos y de diseño utilizados para la implementación del proyecto de tesis, tambien se muestra el precio.

Tabla 1

Requerimientos De La Implementación

Cantidad	Unidad de medida	Concepto	Costo unitario	Costo total
1	Pieza	Arduino Mega	\$200.00	\$200.00
2	Pieza	Modulo Monstershield	\$220.00	\$440.00
2	Pieza	Modulo Joystick Arduino	\$25.00	\$50.00
1	Pieza	Bateria recargable 12v 7Ah.	\$300.00	\$300.00
12	m	Tubo negro ¾ cedula 30	\$250.00	\$3,000.00
1	pieza	Respaldo	\$250.00	\$250.00
1	pieza	Asiento	\$300.00	\$300.00
2	pieza	Optointerruptor ITR8102	\$50.00	\$100.00
2	pieza	Motor tipo Go Kart 12V	\$3,000.00	\$6,000.00
1	pieza	Motor Actuador Lineal	\$1,500.00	\$1,500.00
1	kg	Soldadura 60-13 de 1/8	\$100.00	\$100.00
3	m	Solera 1 pulgada por 1/8	\$120.00	\$360.00

6	m	Solera de 1 ½ por 1/4	\$120.00	\$720.00
3	m	Tubo de media cedula 40	\$265.00	\$795.00

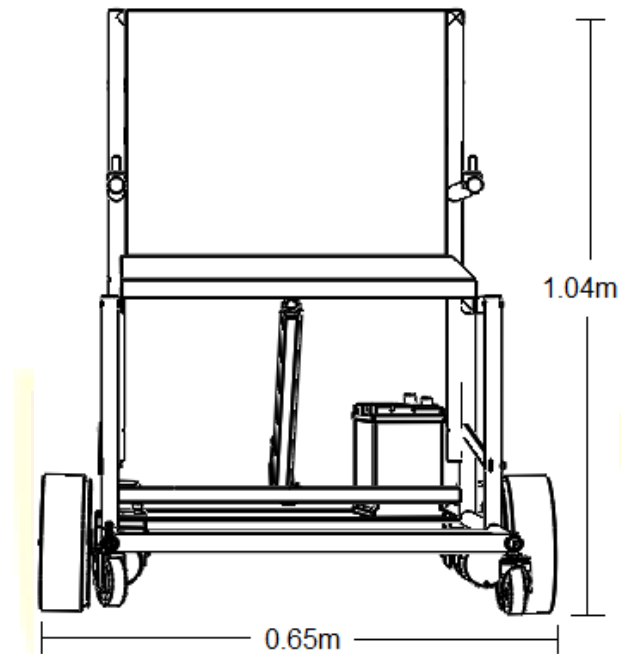
Nota. Los precios de la *tabla 1* pueden variar al concluir el trabajo de esta tesis. Elaboración propia.

3.6 Esquemas y diagramas.

Las siguientes figuras muestran los planos con las respectivas medidas para el desarrollo de la silla y del sistema mecánico, se toma en cuenta la colocación de los motores y llantas. Las medidas implementadas fueron tomadas a consideración con la antropometría mexicana. Los planos fueron realizados con el software SolidWorks 2017.

Figura 23

Posición Sedestación (Alzado Frontal)

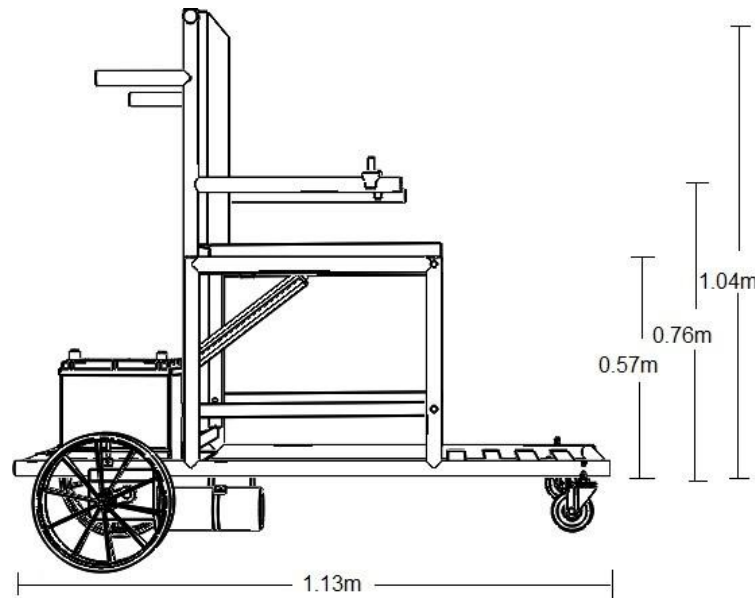


Nota. Medidas antropométricas en posición alzado frontal. Elaboración propia.

UNIVERSIDAD DE XALAPA
Saber / Trascender

Figura 24

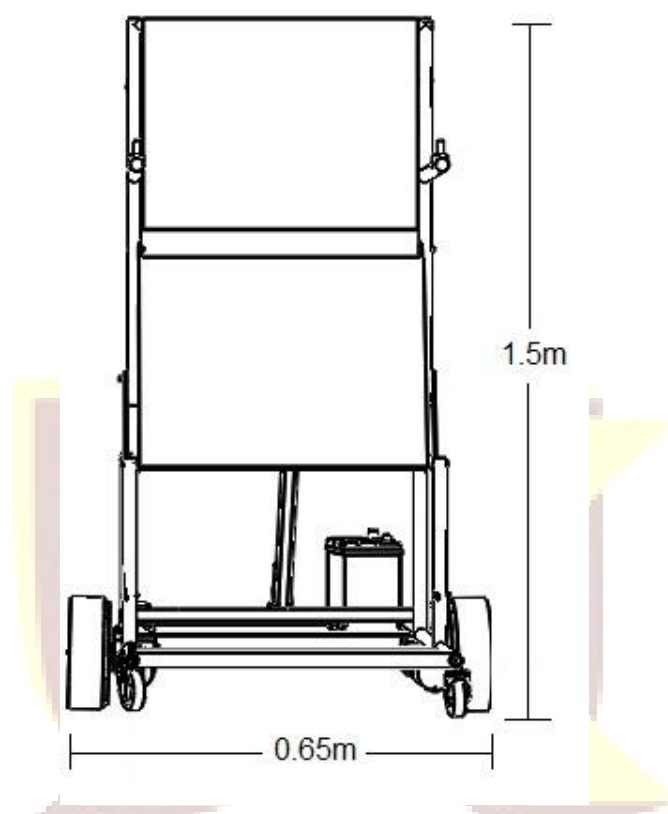
Posición Sedestación



Nota. Medidas antropométricas en alzado lateral. Elaboración propia.

Figura 25

Posición Bipedestación (Alzado Frontal)



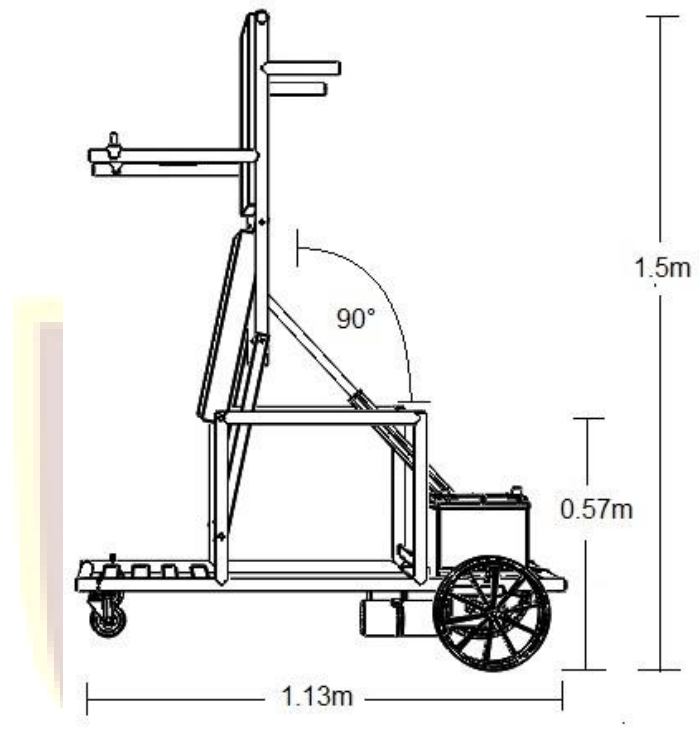
Nota. Medidas antropométricas en alzado frontal. Elaboración propia.

UNIVERSIDAD DE XALAPA

Saber / Trascender

Figura 26

Posición Bipedestación (Alzado Lateral)

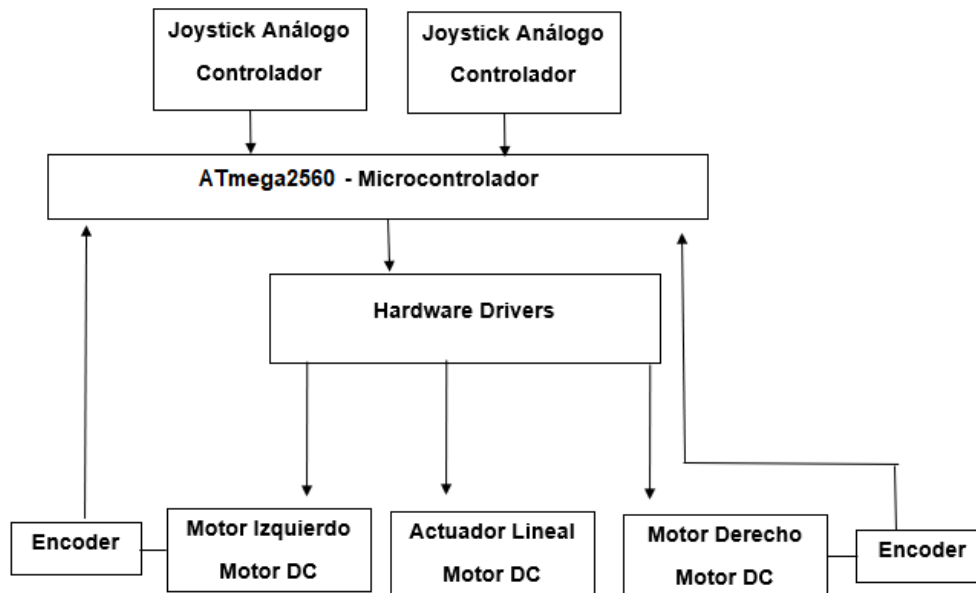


Nota. Medidas antropométricas en alzado lateral. Elaboración propia.

En la *Figura 27* se muestra el diagrama a bloques tomando en cuenta las entradas y salidas de los componentes utilizados en la conexión para el funcionamiento electrónico.

Figura 27

Diagrama De Bloques

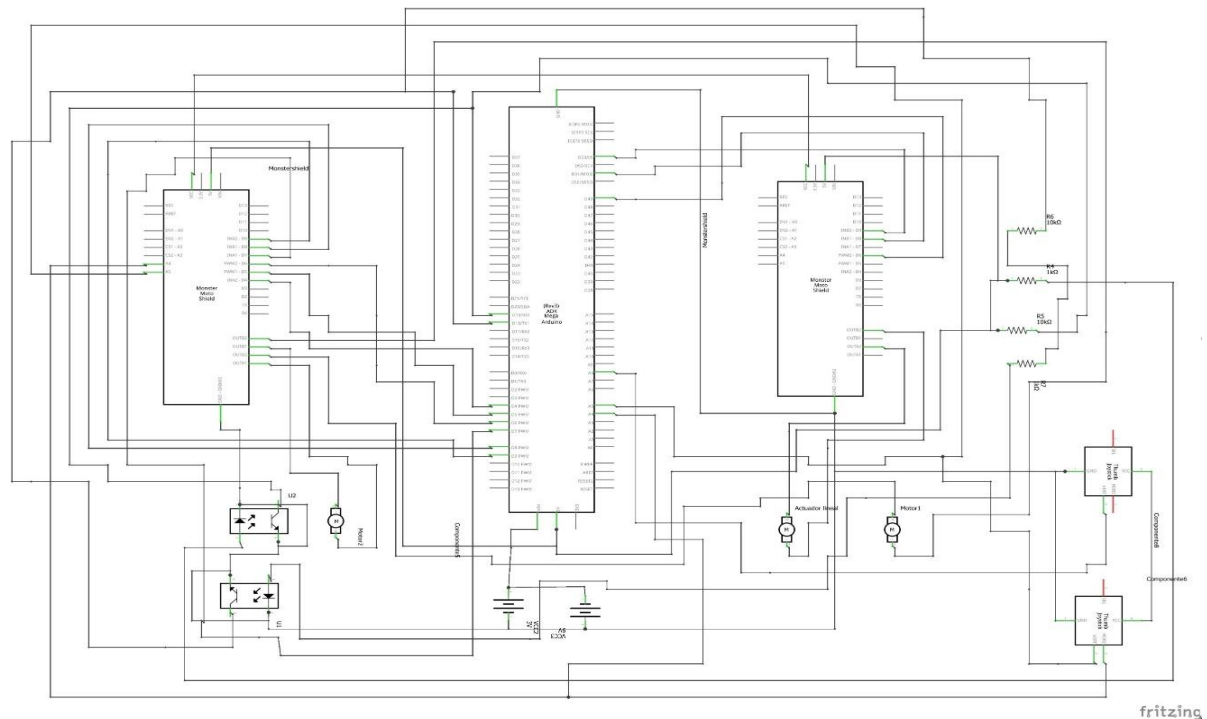


Nota. En la figura se muestra la entrada y salida de los componentes. Elaboración propia.

En la *Figura 28* se muestra el esquemático de conexión, desde los puentes h, joysticks, optointerruptores, conectado a la placa Arduino Mega. Desarrollado con el software Fritzing.

Figura 28

Esquemático De Conexión.



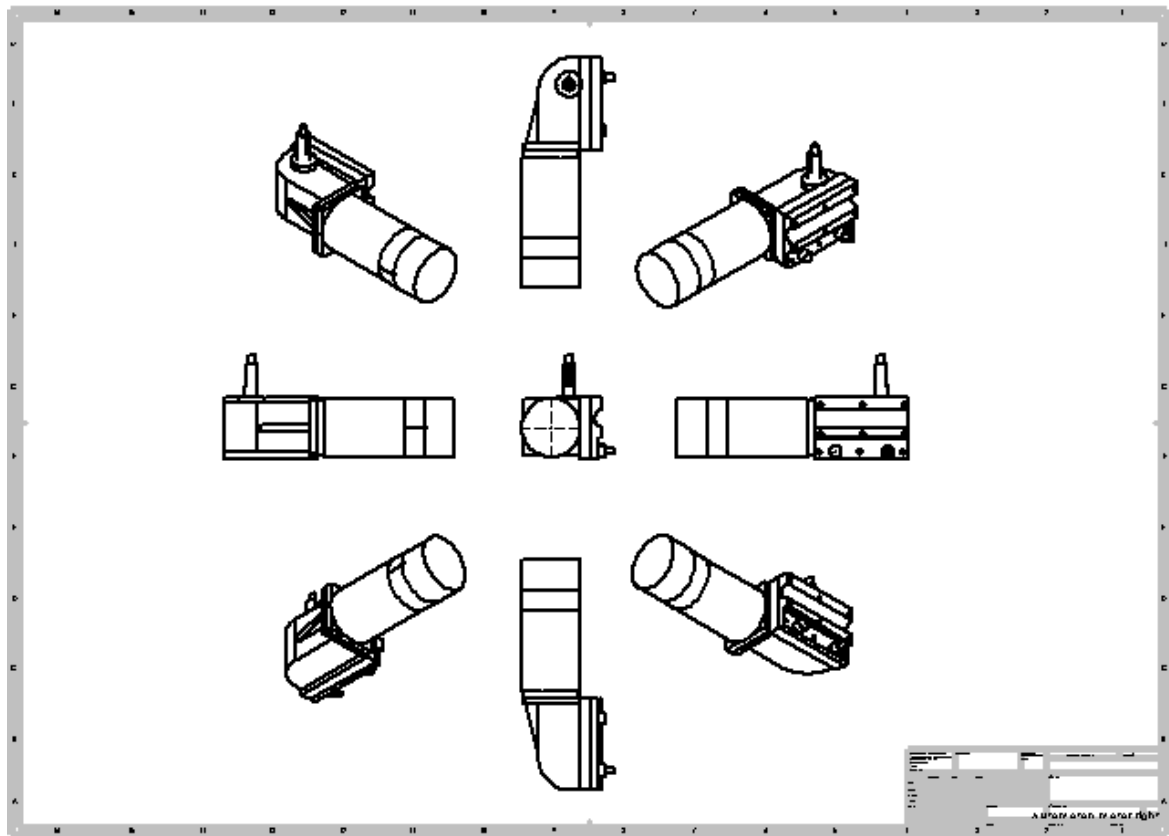
Nota. En la figura se muestra la conexión de todo el sistema electrónico de la silla bipedestadora.
Elaboración propia.

3.7 Implementación.

El resultado de la implementación en físico con ayuda del diseño mecánico con las medidas antropométricas mexicanas, implementando el mecanismo paralelogramo articulado, y las partes fundamentales de una silla de ruedas tradicional, respaldo, asiento, reposabrazos, reposapiés; se muestra a continuación.

Figura 29

Dibujo De Motor En SolidWorks

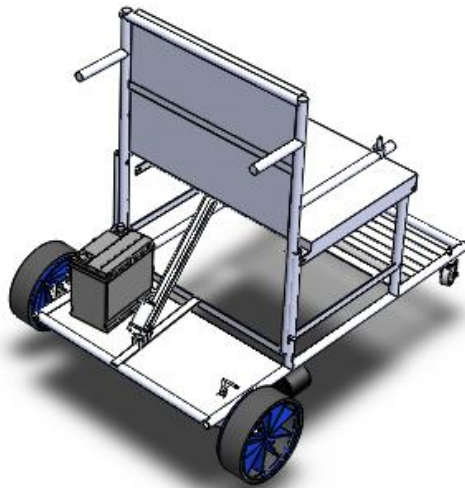


Nota. En la figura se muestra las diferentes vistas del motor en SolidWorks. Elaboración propia.

En la *Figura 30* se muestra la silla de ruedas en 3D desarrollado con el software SolidWorks 2017, se tomaron en cuenta las medidas de los planos mostrados en el apartado de Esquemas y Diagramas.

Figura 30

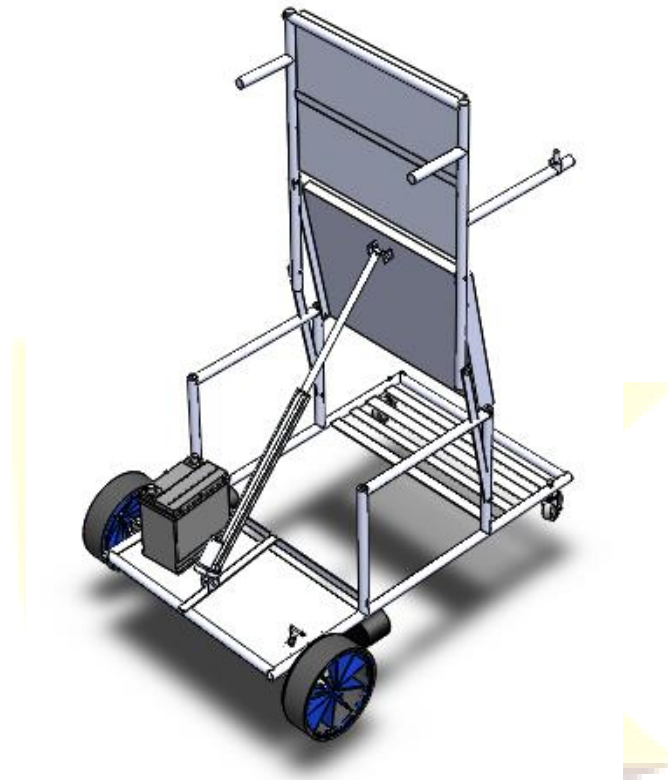
Silla De Ruedas 3D Posición Sedestación



Nota. La silla en posición sedestación es diseñada en SolidWorks. Elaboración propia.

Figura 31

Silla De Ruedas En 3D Posición Bipedestación



Nota. La silla en posición bipedestación es diseñada en SolidWorks. Elaboración propia.

Teniendo los planos del diseño mecánico junto con el diseño para la implementación del sistema bipedestador, y también el diseño de las conexiones eléctricas y electrónicas, se procedió a implementar la silla de ruedas eléctrica bipedestadora de forma física para proceder con la experimentación.

Figura 32

Silla De Ruedas Posición Bipedestación



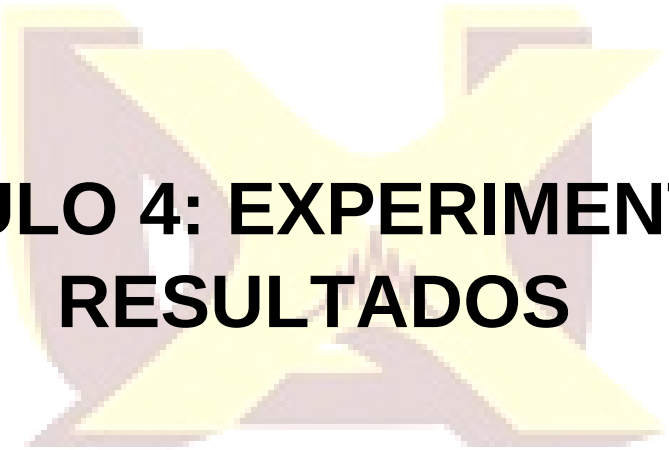
Nota. En la figura se muestra el prototipo de forma física en posición bipedestación. Elaboración propia.

Figura 33

Silla De Ruedas Posición Sedestación



Nota. En la figura se muestra el prototipo de forma física en posición sedestación. Elaboración propia.



CAPÍTULO 4: EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

UNIVERSIDAD DE XALAPA



Saber / Trascender

4.1 Lectura de RPM sin peso del usuario.

Las RPM (revoluciones por minuto) indica el número de vueltas que da el cuerpo giratorio alrededor del eje por cada minuto. Se implementó un tacómetro mencionado en el capítulo anterior para captar las interrupciones que se leía en el encoder y obtener las RPM. Se obtuvo la lectura a través del monitor serial de Arduino, es necesario conocer las rpm para poder calcular la velocidad en la que se desplaza la silla de ruedas eléctrica bipedestadora.

Se configuró el software Realterm para capturar las RPM durante un lapso de un minuto y enviar del monitor serial de Arduino a Excel formando una lista de las diferentes lecturas.

En la *Tabla 2* se muestra la lectura de las RPM sin peso del usuario en la que es desplazada la silla de ruedas.

Tabla 2

Lectura RPM Sin Peso del Usuario

Motor Izquierdo	Motor Derecho
12	12
327	327
336	336
342	339
345	345
348	348
345	345
345	345
348	345
354	351
351	351
357	354
357	357
357	357
357	357
354	351

360	360
357	357
360	360
363	360
363	360
363	363
363	363
363	363
363	363
366	366
363	363
366	366
366	366
366	363
366	366
366	366
366	366
366	363
369	369
366	366
366	366
369	369
366	366
369	366
369	366
369	369
369	369
366	366
372	369
372	372
369	369
372	372
369	369
372	372
369	369
375	372
372	372
363	363
366	366
369	369
372	372
369	369
375	372
372	372
375	375
72	72

Nota. La lectura se realizó en un tiempo de 60 segundos. Elaboración propia.

Durante un minuto se obtuvieron 61 datos del tacómetro izquierdo del motor y 61 datos del tacómetro derecho del motor.

Se procedió a realizar un promedio de los 122 datos recopilados, utilizando la fórmula de la media aritmética $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$ con base en los resultados obtenidos se tiene que la silla de ruedas se desplaza sin el peso del usuario en un promedio de 343.128 RPM.

4.2 Cálculo de velocidad angular y velocidad lineal sin peso del usuario.

Para obtener la velocidad lineal (velocidad en la que se desplaza la silla), es primordial obtener primero la velocidad angular. La velocidad angular determina la velocidad de rotación.

Es necesario conocer las RPM para calcular la velocidad angular, saber que una vuelta es igual a $2\pi\text{rad}$, calculado en un lapso de tiempo de 60 segundos. La fórmula de la velocidad angular es $\omega = \frac{\theta}{t}$ con base en los resultados obtenidos se tiene que la velocidad angular es de $\omega = \frac{686.256\pi\text{rad}}{60s}$

Teniendo las RPM y la velocidad angular ya es posible calcular la velocidad lineal, se procedió a realizar los cálculos para conocer la velocidad de desplazamiento de la silla en m/s. Para realizar los cálculos de la velocidad lineal es necesario conocer la velocidad angular y el radio de la rueda de los motores. Se tiene que la velocidad angular es de $\omega = \frac{686.256\pi\text{rad}}{60s}$ el radio de la rueda es de $r = 0.127m$.

La fórmula para calcular la velocidad lineal es $v = \omega * r$. Con base en los resultados obtenidos, se tiene que, la velocidad lineal en la que se desplaza la silla de ruedas sin peso del usuario es de $v = 4.5610m/s$.

4.3 Lectura de RPM con peso del usuario.

Se procedió a realizar una lectura de las RPM con un peso del usuario de 70 Kg en un lapso de tiempo de 60 segundos, el propósito de esta prueba es verificar cuánto se modifica o si las RPM siguen estables al tener un peso la silla de ruedas.

Se configuró el software Realterm para capturar las RPM durante un lapso de un minuto y enviar del monitor serial de Arduino a Excel formando una lista de las diferentes lecturas.

A continuación se muestra en la *Tabla 3* la lectura de las RPM con un peso de 70 Kg del usuario, en la que es desplazada la silla de ruedas.

Tabla 3

Lectura de RPM Con Peso Del Usuario

Motor Izquierdo	Motor Derecho
396	396
147	144
114	114
549	549
717	717
222	222
708	705
447	447
135	135
711	711
135	135
600	600
153	153
588	588

717	714
57	57
756	756
765	765
354	351
384	381
744	744
135	135
39	39
27	27
495	495
111	111
621	621
66	66
576	576
30	30
534	534
45	45
567	567
480	477
216	213
102	102
108	105
255	255
723	720
309	306
621	618
198	198
231	231
705	705
15	15
483	483
135	135
231	231
231	231
135	135
231	231
309	306
309	306
135	135
231	231
309	306
231	231
135	135
309	306
231	231
231	231

PA
+

Nota. La lectura se realizó en un tiempo de 60 segundos con un peso de 70 Kg. Elaboración propia.

Durante un minuto se obtuvieron 61 datos del tacómetro izquierdo del motor y 61 datos del tacómetro derecho del motor.

Se procedió a realizar un promedio de los 122 datos recopilados, utilizando la fórmula de la media aritmética $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$. Con base en los resultados obtenidos se tiene que la silla de ruedas incluyendo el peso del usuario que es de 70 Kg, se obtuvo que, la silla de ruedas eléctrica bipedestadora reporta un promedio de 343.128 RPM.

4.4 Cálculo de velocidad angular y velocidad lineal con peso del usuario.

Es necesario conocer las RPM para calcular la velocidad angular, saber que una vuelta es igual a $2\pi rad$, calculado en un lapso de tiempo de 60 segundos, una persona de 70 Kg hará uso de la silla de ruedas para verificar cuanto cambia la velocidad con y sin peso de una persona. Se procede a calcular la velocidad angular y la velocidad lineal con el peso de la persona. La fórmula de la velocidad angular es $\omega = \frac{\theta}{t}$. Con base en los resultados obtenidos se tiene que la velocidad angular es de $\omega = \frac{670.868\pi rad}{60s}$.

Teniendo las RPM y la velocidad angular ya es posible calcular la velocidad lineal, se procedió a realizar los cálculos para conocer la velocidad de desplazamiento de la silla en m/s. Para realizar los cálculos de la velocidad lineal es necesario conocer la velocidad angular y el radio de la rueda de los motores. Se tiene que la velocidad angular es de $\omega = \frac{670.868\pi rad}{60s}$ el radio de la rueda es de $r = 0.127m$.

La formula para calcular la velocidad lineal es $v = \omega * r$. Con base en los resultados obtenidos, se tiene que, la velocidad lineal en la que se desplaza la silla de ruedas con un peso de 70 Kg del usuario es de $v = 4.4588m/s$.

4.5 Prueba de posición sedestación-bipedestación.

Se realizó la prueba de posición sedestación a bipedestación y de bipedestación a sedestación, la velocidad en la que se desplaza el actuador lineal es de $0.1m/s$. La velocidad obtenida del actuador lineal es obtenida por el fabricante del motor, la velocidad no fue modificada ya que es considerada segura para el usuario.

Para pasar de la posición sedestación a bipedestación es necesario accionar el joystick derecho de la silla, marcar el joystick hacia adelante hace que la silla pase a bipedestación, marcar el joystick hacia atrás hace que la silla pase a sedestación.

Figura 34

Posición Sedestación



Nota. Se realizó la prueba con una persona de 70 Kg. Elaboración propia.

Figura 35

Posición Bipedestación



Nota. El bipedestador se accionó en un ángulo de 90° con un peso de 70 Kg. Elaboración propia.

El sistema bipedestador funciona correctamente, pasando de sedestación a bipedestación en un ángulo de 90° poniendo de forma vertical a la persona parapléjica.

Saber / Trascender

4.6 Comparación de la propuesta con proyectos similares.

El trabajo realizado en esta tesis que tiene por nombre Diseño e Implementación de una Silla de Ruedas Eléctrica Bipedestadora Mediante el Mecanismo Paralelogramo Articulado, en comparación con proyectos relacionados, mencionados anteriormente, se tiene que, en este trabajo de tesis se implementó un mecanismo llamado paralelogramo articulado, lo cual el mecanismo puede ser accionado con un actuador lineal. Los mecanismos de los diferentes proyectos es

utilizado un motor DC lo que se necesita implementar un motorreductor aparte para accionar el sistema bipedestador.

En la mayoría de los proyectos similares se limitaron a simular la silla de ruedas, sin pasar a la parte física para realizar pruebas. La silla de ruedas de este trabajo de tesis fue implementada de forma física.

El joystick implementado en esta silla de ruedas en comparación del joystick de la silla de ruedas comercial se reduce el precio considerablemente, teniendo las mismas funciones de desplazamiento.

CONCLUSIONES.

Al iniciar el trabajo de tesis se presentaron algunos desafíos, lo primero era seleccionar un mecanismo en el que la silla de ruedas pudiera realizar el cambio en forma vertical para que el usuario esté de pie, el mecanismo tenía que entrar en función con el respaldo, el asiento, y con el motor actuador lineal; entre los diferentes mecanismos se seleccionó el mecanismo paralelogramo articulado. Al tener seleccionado el mecanismo era necesario encontrar un material fácil de soldar y un precio accesible, los materiales a considerar eran el aluminio, el hierro y el acero; el acero tubo negro fue seleccionado por ser fácil de obtener en la ciudad donde se realizó el trabajo y por encontrar material para soldar sin elevar los precios. La silla de ruedas bipedestadora al ser de tubo negro material acero comenzaba a sufrir oxidación el material, se evitó el problema pintando la silla con pintura automotriz, no solo se evitó la corrosión y oxidación del material sino también ayudó en la parte estética. En un principio las ruedas delanteras se soldaron aparte del reposapiés, el reposapiés al estar la persona en posición vertical sufrió holguras y la silla de ruedas tenía un desbalance lo cual no es seguro para la persona parapléjica, teniendo en cuenta este problema se solucionó soldando las ruedas delanteras al reposapiés, al realizar la prueba con una persona

de 70 *Kg* no sufrió daños en la estructura. Los motores traseros se le acoplaron unas ruedas de 10x3in. (Pulgadas).

Teniendo lista la parte mecánica se procedió a trabajar en la parte eléctrica y electrónica. Se realizó un análisis de los diferentes componentes que se seleccionarían, era necesario invertir el giro de los motores y entre los diferentes puentes se encontraba el módulo puente h L298d, al realizar las pruebas los motores perdían potencia, el módulo puente h L298d fue descartado ya que solo da una corriente máxima de hasta 3A, los motores utilizados para desplazamiento y el actuador lineal necesitan una corriente mínima para operar de 7A, por lo que la Monster Shield fue seleccionada como puente h para invertir el giro de los motores ya que da una corriente máxima de hasta 30A y funciona como Shield al Arduino Mega.

Para programar la Monster Shield es necesario incluir las librerías que el propio fabricante agrega para la Shield, se modificó cierto código para que entre en función con los dos joysticks y al mismo tiempo en el monitor serial del Arduino vaya indicando las RPM de los motores, en un principio el código indicaba errores ya que la sintaxis estaba mal estructurada, al ser corregido el código se logró que el joystick izquierdo desplazara la silla en la dirección 360° a la izquierda, 360° a la derecha, adelante y atrás, el joystick derecho pone en función de sedestación a bipedestación y viceversa.

Los motores de desplazamiento tienen una capacidad de carga de 150 *Kg* y el actuador lineal tiene una capacidad de carga de hasta 1500 *N* que son aproximadamente 150 *Kg* por lo que el usuario de la silla de ruedas no tiene que exceder este peso. Se realizó una prueba de desplazamiento en pavimento para probar la dirección de la silla y se puso a prueba el sistema bipedestador lo cual el mecanismo puso a la persona en posición vertical marcando 90° de sedestación a bipedestación. La batería utilizada es de 7Ah, por lo que teóricamente la silla funciona en una corriente de 1A por cada hora hasta completar las siete horas, o bien, funciona en una corriente de 7A por una hora.

Las pruebas realizadas anteriormente se realizaron con una persona de 70 *Kg*, la silla de ruedas sometida a este peso no sufrió daños en la estructura y los motores no perdieron capacidad. Lo ideal es realizar pruebas con diferentes personas para obtener más información y monitorear la silla de ruedas bipedestadora para posibles holguras que pudieran surgir en la estructura, no se realizó pruebas con diferentes personas debido a la pandemia que se está presentando actualmente a nivel mundial, el Covid-19.



UNIVERSIDAD DE XALAPA



Saber / Trascender

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Centro Mario Molina. (2012). *Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente*. Obtenido de Centro Mario Molina: <https://centromariomolina.org/el-impacto-del-cambio-climatico-en-la-agricultura/>
- De la vega Bustillos, E. J., López-Millan, F., & Soto, S. (2004). *Antropometría para Discapacitados*. Sociedad de Ergonomistas de México, 1, 236-248.
- Delgado, M. (2020). *Arduino en Español*. Obtenido de Arduino en Español: <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>
- Giraldo Gómez, M. (s.f.). Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior. *Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior*. Doctoral Dissertation, Universidad EIA.
- INEGI. (2010). *INEGI*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/temas/discapacidad/>
- Jmora7. (2020). *Matemáquinas*. Obtenido de Matemáquinas: http://jmora7.com/GG5/Maquinas/indice_mecan7.html
- KirónStore Tecnologías que emocionan. (2020). *KirónStore Tecnologías que emocionan*. Obtenido de KirónStore Tecnologías que emocionan: <https://www.kironstore.com/mx/producto/getup/>
- Lozano, J., & Francisco, J. (2020). *Biela-Manivela*. Obtenido de Biela-Manivela: https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/53_bielamanivela.html
- Luther, M., Krewer, C., Müller, F., & Koenig, E. (2008). *Neuro RHB*. Obtenido de Clinical rehabilitation: <https://neurorhb.com/blog-dano-cerebral/sistemas-y-beneficios-de-la-bipedestacion-temprana-en-neurorehabilitacion/>
- Obando-Herrera, Flores-Mugmal, Barbero-Palacios, & Ortega-Bustamante. (s.f.). *Silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado iv en las*

extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg .

Respuesta, 22(2), 76-86.

Omeo Technology. (2017). *Omeo Technology*. Obtenido de Omeo Technology:
<https://omeotechnology.com/>

Quintero, D. (s.f.). Sistema de bipedestación para niños con parálisis cerebral espástica. 2013. C.A.

Silla de Ruedas y Artículos Vida Independiente S. de R.L de C.V. (2020). *Silla de Ruedas y Artículos Vida Independiente*. Obtenido de Silla de Ruedas y Artículos Vida Independiente:
<https://www.tiendavidaindependiente.com/products/silla-deportiva-de-baloncesto>

Telam. (26 de 06 de 2014). *Telam 75 años*. Obtenido de Telam 75 años.:
<https://www.telam.com.ar/notas/201406/68954-estudiantes-desarrollan-una-silla-de-ruedas-que-se-conduce-con-la-voz-o-inclinando-la-cabeza.html>

Trinoko. (31 de Marzo de 2019). *Trinoko*. Obtenido de Trinoko:
<http://trinoko.com/cuerpo/mecanismo-de-tijera-funcionamiento/>

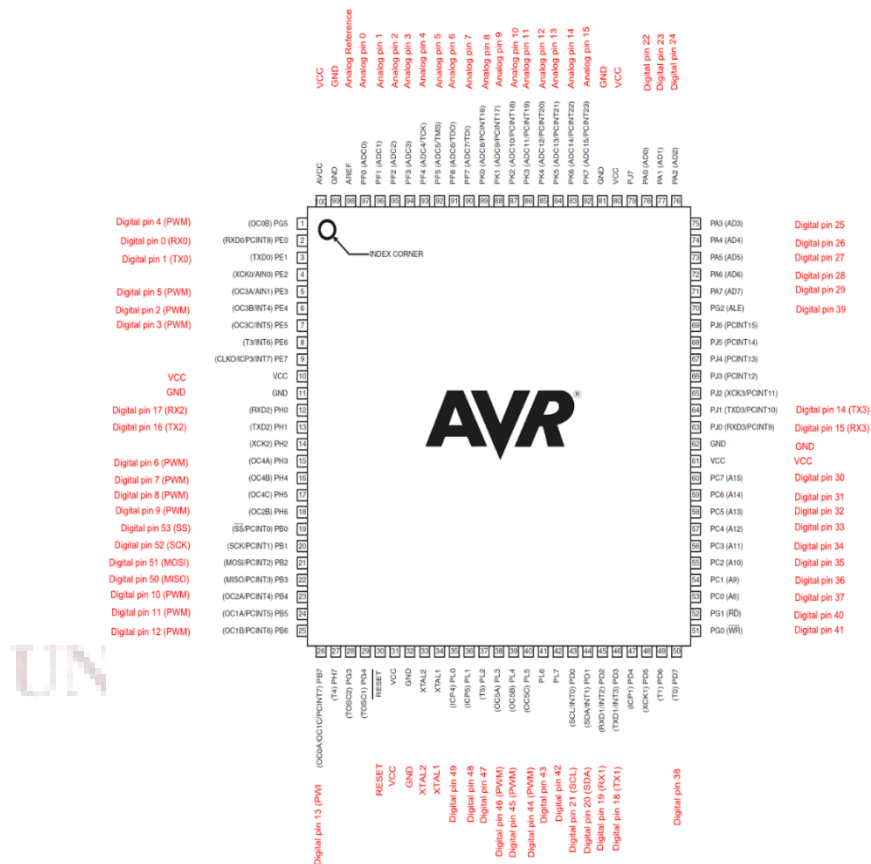
Vida Abuelo. (2020). *Vida Abuelo*. Obtenido de Vida Abuelo:
<https://vidaabuelo.com/producto/silla-de-ruedas-con-descansabrazos-y-descansapiés-abatibles/>

Web-Robótica. (6 de Abril de 2019). *Web-Robótica*. Obtenido de Web-Robótica:
<https://www.web-robotica.com/arduino/como-utilizar-el-modulo-joystick-con-arduino>

APENDICES Y ANEXOS.

Figura 36

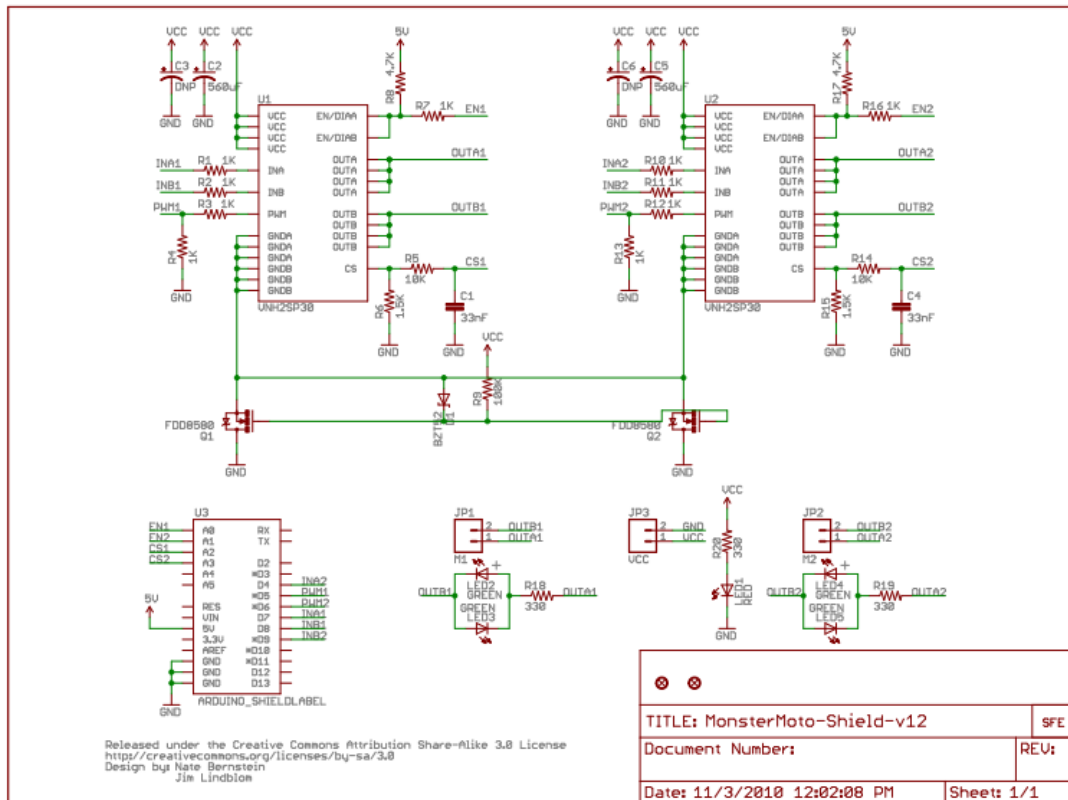
Arduino Mega 2560 Pin Diagrama



Nota. En la figura se muestra el mapeo de pines para el Atmega2560. Tomada de [Arduino.cc](https://www.arduino.cc) [Fotografía], Arduino.cc, 2020, <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>.

Figura 37

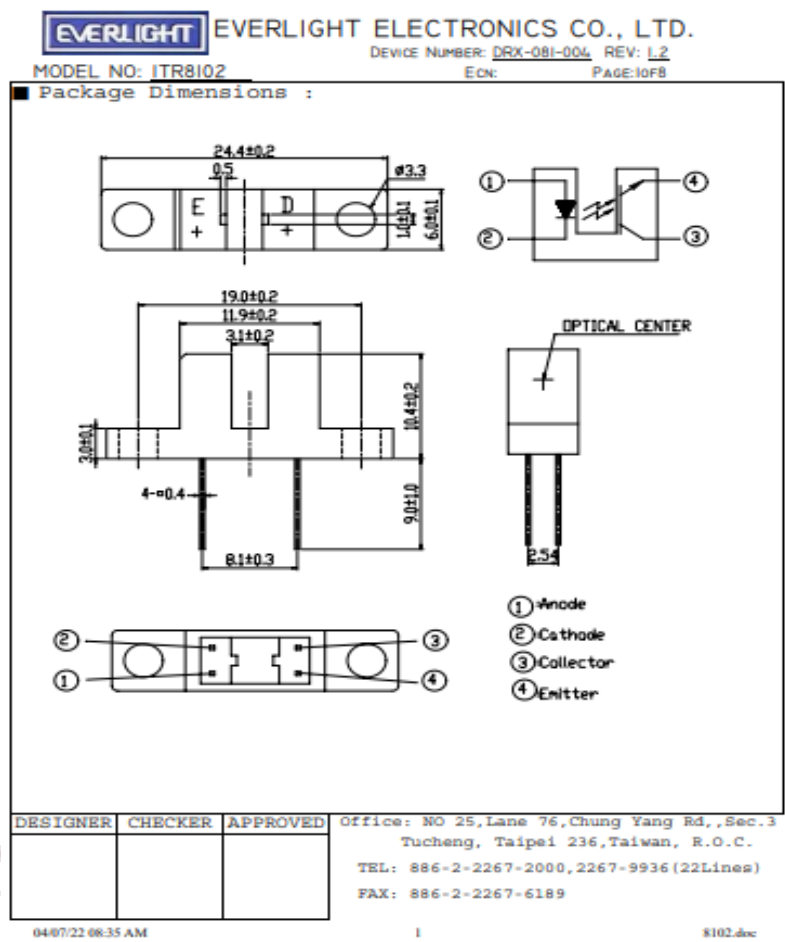
Esquemático De Conexión Monster Shield



Nota. En la figura se muestra la conexión de los componentes del puente h Monster Shield. Tomada de *geekfactory* [Fotografía], geekfactory, 2020, <https://www.geekfactory.mx/tienda/shields-arduino/monster-motor-shield/>.

Figura 38

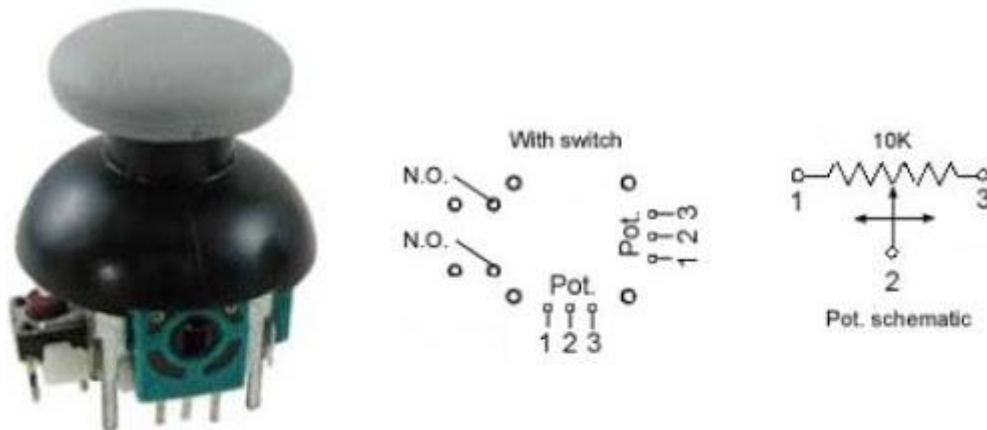
Datasheet Itr8102



Nota. En la figura se muestra las dimensiones del componente. Tomada de *Everlight* [Fotografía], Everlight, 2016, <https://www.everlight.com/file/ProductFile/ITR8102.pdf>.

Figura 39

Datasheet Joystick Arduino



Joystick Technical Data	
Handle Operating Angle	$\pm 30^\circ$ (60° overall); X & Y Axis
Center Return Accuracy	$\pm 5\%$
Max. Operating Force	<20 mN
Weight	6 grams
Potentiometer Specifications	
Resistance	10K ohms $\pm 30\%$
Maximum Voltage	30 VDC
Pushbutton Specifications	
Type	SPST - Momentary - Push to activate
Power	12V, 50mA

Nota. En la figura se muestra los datos técnicos del joystick Arduino. Tomada de *bdml.stanford*

[Fotografía], *bdml.stanford*, 2010,

<http://bdml.stanford.edu/twiki/bin/view/Haptics/PortableSystem.html>.