

## PROTOTIPO DE SILLA BIPEDESTADORA SEMI-AUTOMÁTICA CON TRES POSICIONES DE MOVIMIENTO

Vernaza, Mateo., Andagoya, Erick, Quimbiulco, David y Parra, Juan.

mateov98@gmail.com

Universidad Internacional del Ecuador

---

**Resumen:** En este trabajo se detalla la implementación de un prototipo a escala de una silla bipedestadora eléctrica semi-automática que permite tres posiciones de operación a personas con discapacidad motriz: Sedente (silla), Bipedestación (parado) y Decúbito (camilla). Se fusionan dos ideas investigadas con anterioridad, de las cuales se extraen características útiles para el prototipo a implementar, el estudio se complementa con el diseño de sus mecanismos principales: Un actuador lineal, un mecanismo de paralelogramo con eslabonamiento de tijera y 3 cajas reductoras, además de su sistema de control mediante una plataforma de software libre Arduino. En dicho sistema se desarrolla un programa para realizar lecturas analógicas del módulo Joystick KY-023 que permite movimientos adelante y atrás, además, se incorpora un pulsador digital para cada posición de la silla. Para su construcción se utilizó una técnica de prototipado rápido basado en la impresora Prusa i3MK2S. A seguir, se realizan pruebas de funcionamiento las cuales muestran que los motores trabajan a un 80 % de su capacidad permitiendo levantar 2.5 kg de peso en un tiempo máximo 115 segundos.

---

**Palabras Clave:** Bipedestación, Transmisión rígida, Impresión 3D, Autónomo.

---

**Abstract:** In this work we detail the implementation of a prototype semi-automatic electric standing chair that allows three positions of operation for people with motor disability: Sedente (chair), standing (standing) and decubitus (stretcher). Two previously researched ideas are merged, from which useful features for the prototype to be implemented are extracted. The study is complemented with the design of its main mechanisms: A linear actuator, a parallelogram mechanism with scissor linkage and 3 reduction boxes, in addition to its control system through an Arduino free software platform. In this system, a program is developed to perform analog readings of the Joystick KY-023 module that allows forward and backward movements, in addition, a digital push button is included for each position of the chair. For its construction, a rapid prototyping technique based on the Prusa i3MK2S printer was used. To follow, performance tests are performed which show that the engines work at 80% of its capacity allowing lifting 2.5 kg of weight in a maximum time 115 seconds.

---

**Key words:** Standing, Rigid transmission, 3D printing, Autonomous.

## I.INTRODUCCIÓN

### A.Estado del arte

Actualmente se pueden encontrar varios productos que ayudan a la movilización y bipedestación de pacientes con discapacidad motora inferior, los cuales se utilizan para trabajos de fisioterapia, movilización de pacientes, o para aprovechar los beneficios de la posición erguida del ser humano.

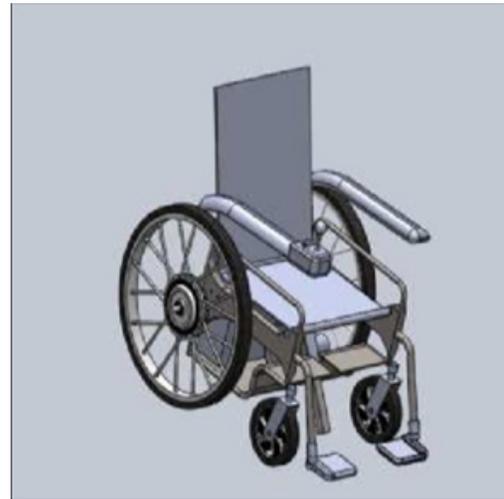


**Fig. 1. Camilla bipedestadora [1]**

Para la bipedestación se puede encontrar camillas bipedestadoras utilizadas en hospitales, las cuales son accionadas manualmente por el personal de salud o por actuadores, que permiten al usuario controlar la inclinación de la camilla sin esfuerzo, como se muestra en la Fig. 1 [1].

Para el desplazamiento se encuentran sillas de ruedas manuales de todo tipo las cuales desde los años 50 consolidaron su diseño clásico y han ido mejorando, reduciendo su peso, con variantes plegables para su traslado [2].

Además, en los últimos años se ha visto un avance en las sillas propulsadas eléctricamente ya que hay muchos pacientes que no poseen la capacidad de impulsar la silla con sus brazos. Por ejemplo, el proyecto “Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas Eléctrica de Dos Posiciones” del Instituto Politécnico Nacional en México D.F. el cual presenta el rediseño de una silla de ruedas eléctrica que ayuda al desplazamiento de personas de hasta 90 kg, como se muestra en Fig. 2 [3].



**Fig. 2. Rediseño de una silla de ruedas [3]**

Actualmente se puede encontrar bipedestadores comerciales para marcha asistida los cuales se utilizan en pacientes que tienen dificultad para caminar, como se muestra en Fig. 3 [4].



**Fig. 3. Bipedestador para marcha asistida [5]**

A partir de este concepto hay productos que combinan sillas de ruedas con bipedestadores, las cuales permiten a los usuarios tomar una posición de bipedestación mediante el uso de un actuador, pero deben desplazarse con el impulso propio o de un acompañante [6].

Se pueden encontrar proyectos que combinan las sillas de ruedas bipedestadoras propulsadas eléctricamente como el proyecto “Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomático reajutable para personas con paraplejía” de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE [7], en Latacunga, el cual presenta un proyecto que incluye los conceptos de una silla eléctrica propulsada eléctricamente y un bipedestador con actuador, como se muestra en la Fig. 4, para brindar al usuario una mayor

autonomía [8].



**Fig. 4. Silla de ruedas con bipedestador [7]**

Sin embargo, no se puede encontrar actualmente sillas de ruedas propulsados eléctricamente que unan estas ideas, es decir una silla de ruedas que sea capaz de adquirir la posición Sedente (silla), Bipedestación (erguida) y Decúbito (camilla), con la posibilidad de manipular la inclinación, facilitando la movilidad y manejo de personas con discapacidades motrices.

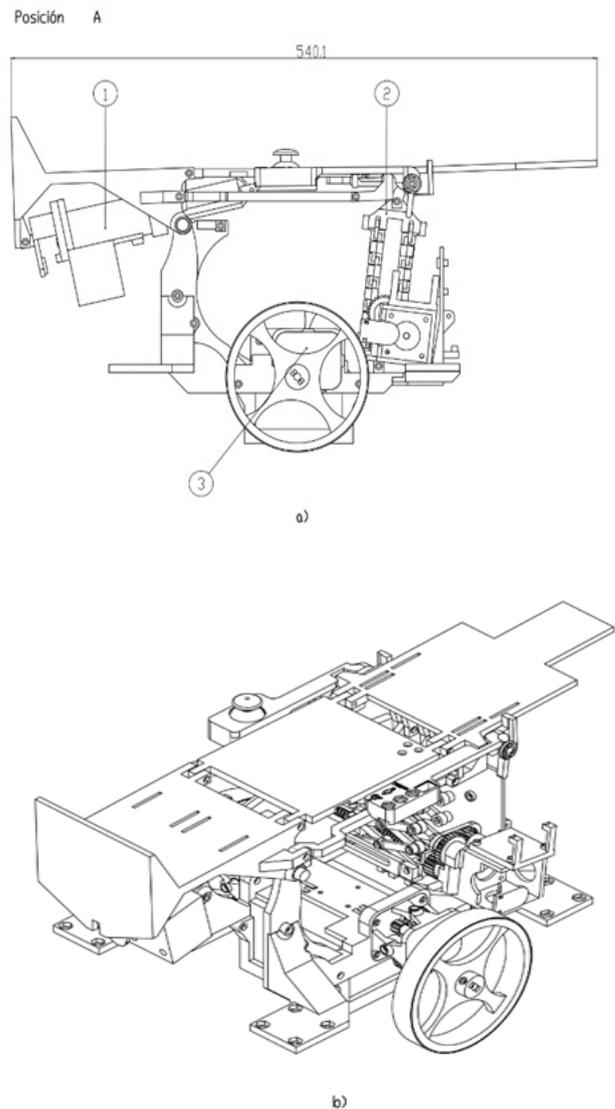
En la sección de metodología se expone el diseño mecánico, eléctrico e informático del prototipo. Se divide en subsecciones en las cuales se presenta una idea general del esquema del prototipo, cada uno de los mecanismos y sus cálculos respectivos. En el diseño eléctrico e informático se nombran los componentes utilizados y la lógica de programación para el control del prototipo. Finalmente, en las secciones de pruebas y resultados, y conclusiones, se definen los parámetros de funcionamiento en condiciones reales.

## II.METODOLOGÍA

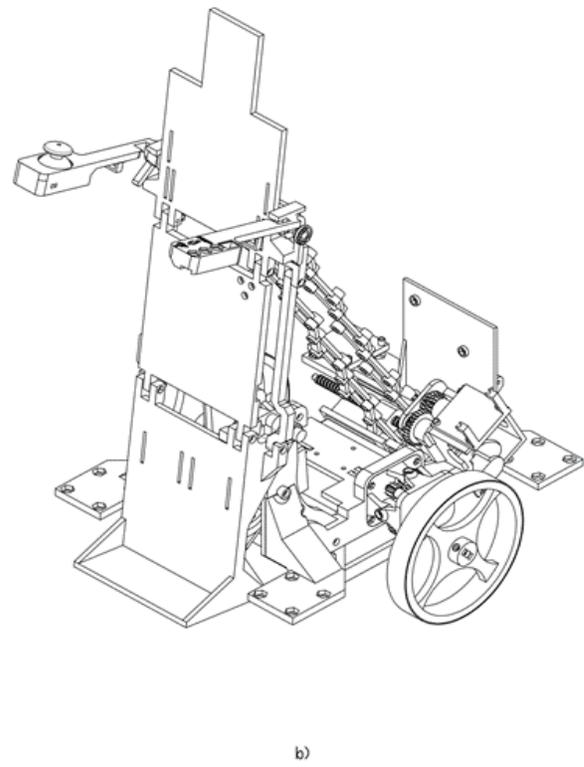
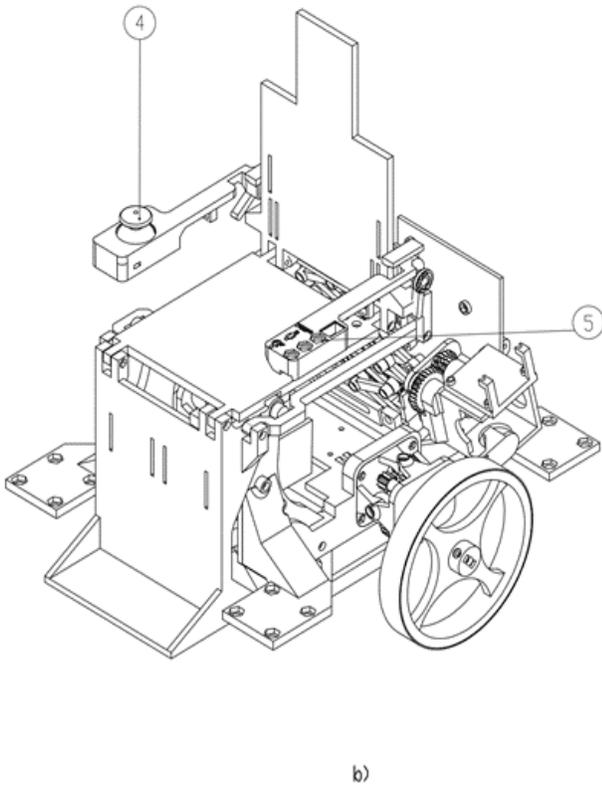
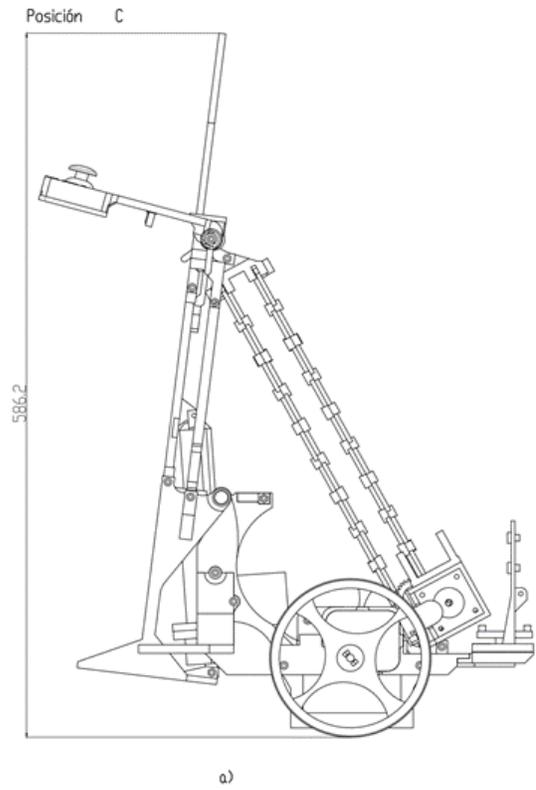
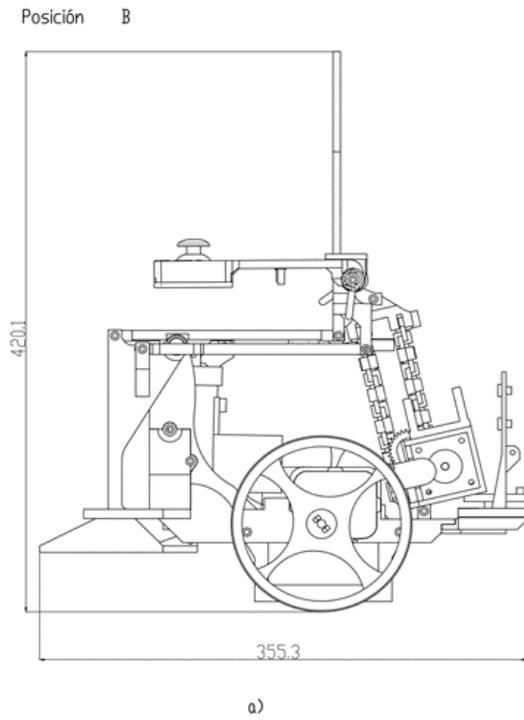
Para el desarrollo del prototipo se unen dos ideas investigadas anteriormente, silla bipedestadora y camilla bipedestadora, se analiza algunos aspectos importantes entre los cuales un esquema del prototipo, donde se toma en cuenta características principales que debe tener el prototipo a implementar. Además, se selecciona algunos mecanismos para cumplir con los movimientos del prototipo, en el cual se tiene un análisis matemático de cada uno de ellos. Para finalizar se realiza un programa en la plataforma arduino el cual controla cada uno de los movimientos del prototipo, el cual se los detalla a continuación.

### A. Esquema del prototipo

La silla bipedestadora permite al usuario elegir entre tres posiciones, las cuales son Decúbito supino Fig.5, Sedente Fig.6 y de Bipedestación Fig.7, además brinda la posibilidad de desplazamiento mediante motores eléctricos. El movimiento del prototipo se consigue implementando tres mecanismos, el primero es un actuador lineal que se muestra en (1) Fig.5, el cual realiza el movimiento entre las posiciones de bipedestación y sedente; el segundo es un mecanismo de paralelogramo con eslabonamiento de tijera que se muestra en (2) Fig.5, el cual realiza el movimiento entre las posiciones de decúbito supino y bipedestación. Y el tercero son cajas reductoras que aumentan el torque de salida de los diferentes motores que se muestran en (3) Fig.5.



**Fig. 5. Prototipo en posición decúbito supino (a) Vista Lateral (b) Vista Isométrica**



**Fig. 6. Prototipo en posición sedente (a) Vista Lateral (b) Vista Isométrica**

**Fig. 7. Prototipo en posición de bipedestación (a) Vista Lateral (b) Vista Isométrica**

El desplazamiento semiautomatizado de la silla utiliza dos motores DC, los cuales se controlan mediante la plataforma de desarrollo Arduino [9], de la misma forma el movimiento a las diferentes posiciones utiliza tres botones que accionan las secuencias de los mecanismos.

**B. Mecanismos a construir**

1. Actuador lineal: Es un dispositivo que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal.

2. Mecanismo de Paralelogramo con Eslabonamiento de Tijera: Se lo utiliza para proporcionar estabilidad y rigidez, soporta parte de los esfuerzos del brazo del individuo y del bastidor móvil, y hace que el movimiento de rotación sea dirigido de manera suave. Está conformado de una chapa interior, una chapa exterior y una unión entre chapas, las cuales como su nombre lo dice realizan un movimiento parecido al que hace una tijera Fig. 8 [10].



**Fig. 8.** Mecanismo de Tijera

3. Cajas Reductororas: Son mecanismos que consisten generalmente en un grupo de engranajes que convierten la energía motriz de un motor en mayor fuerza, reduciendo la velocidad transmitida en la misma proporción.

**C. Cálculos**

El diseño mecánico del prototipo se realiza en proporción a las medidas de una silla común en una escala de 1:4, considerando la masa máxima de prueba en 18 kg.

1. Mecanismo Actuador Lineal: Este mecanismo se considera que requiere superar una fuerza de 175 N, dado que se analiza como si todo el peso de prueba se concentrara en un solo punto.

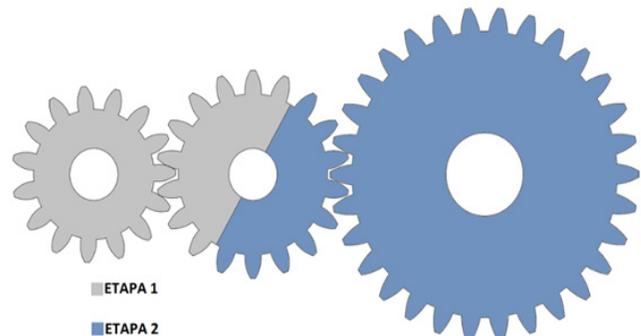
Se realiza el cálculo del torque del tornillo de potencia que contiene este actuador, donde se aplica (1), y se obtiene un torque de 0.46 Nm. Como se utiliza un motor a pasos Nema17 con un torque de

0.49 Nm se diseña una caja reductora con relación de 2:1 y módulo 1, obteniendo un torque teórico de 0.98 Nm. En la Tabla I y la Fig. 9 se muestran las relaciones de transmisión por etapa de la caja reductora del mecanismo del actuador lineal.

$$\tau = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left( \frac{1 + \pi \mu d_m}{\pi d_m - \mu l} \right) \tag{1}$$

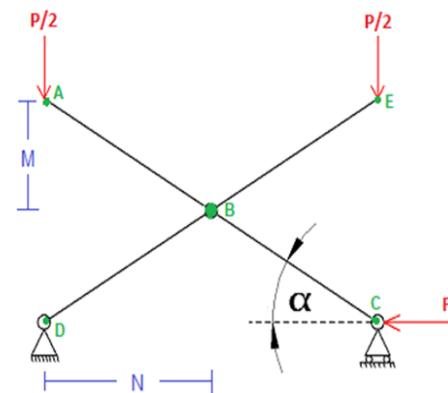
TABLA I  
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Etapa 1		
z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>	i <sub>1</sub>
15	18	1.2
Etapa 2		
z <sub>3</sub>	z <sub>4</sub>	i <sub>2</sub>
30	18	1.67
<i>i</i> <sub>TOTAL</sub> =		2



**Fig. 9.** Etapas de la caja reductora del actuador lineal

2. Mecanismo de Paralelogramo con Eslabonamiento de Tijera: Se realiza un diagrama de cuerpo libre para observar las fuerzas que se aplican como lo detalla la Fig. 10.



**Fig. 10.** Diagrama de cuerpo libre

M es la componente vertical de la distancia desde el punto A al punto B en metros. N es la componente horizontal de la distancia desde el punto D al punto B en metros.

Se tiene el peso P que se aplica a las barras, y mediante un análisis de fuerzas y momentos, se determina la carga necesaria que el motor debe proporcionar.

Se separan las barras para ser analizados los puntos con sus respectivas fuerzas. A continuación, se muestra el valor del peso P y el ángulo  $\alpha$  para el cálculo.

Para calcular las distancias M y N se aplica (2) y (3).

$$M = \sin \alpha \cdot AB \tag{2}$$

$$N = \cos \alpha \cdot BC \tag{3}$$

3. Análisis en Barra 1: Se considera las condiciones de equilibrio tanto en el eje x con (4) como en el eje y con (5), Fig. 11.

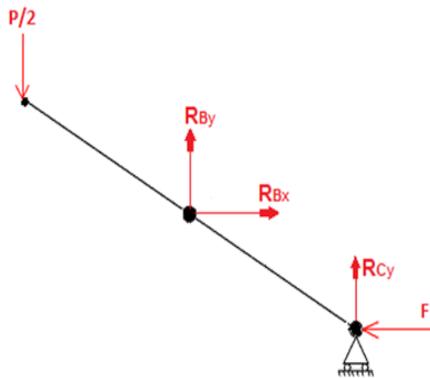


Fig. 11. Diagrama de cuerpo libre Barra 1

$$\sum F_x = 0 \tag{4}$$

$$\sum F_y = 0 \tag{5}$$

$$\sum M_B = 0 \tag{6}$$

La sumatoria de momentos con (6) se realiza en el punto B para facilitar los cálculos, obteniendo 3 ecuaciones.

4. Análisis en Barra 2: Un proceso similar al de la barra 1 se aplicó en la barra 2 con (4), (5) y (6), Fig. 12, por lo que se obtiene 3 ecuaciones más, y junto con las anteriores ecuaciones se forma un sistema de 6 ecuaciones con 6

incógnitas.

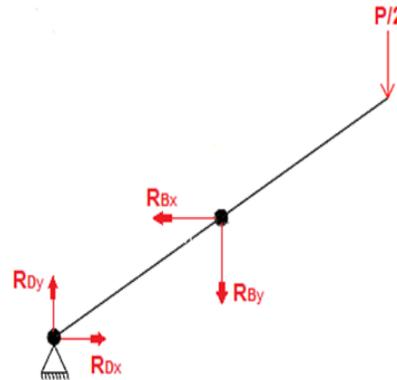


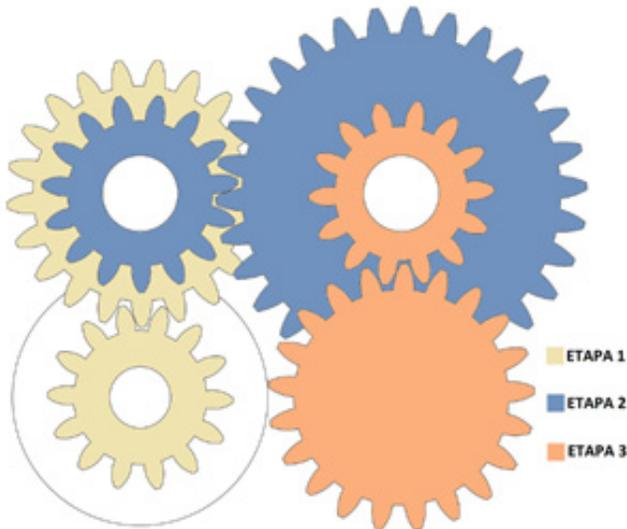
Fig. 12. Diagrama de cuerpo libre Barra 2

Como resultado se obtiene que la fuerza mínima F, mostrada en Fig. 10, necesaria para que el sistema se encuentre en reposo es de 545,97 N.

Una vez determinada la fuerza se realiza el cálculo del torque para el tornillo de potencia del mecanismo de tijera con (1). Como resultado se obtiene un torque de 1,46 Nm, dado que el motor a pasos escogido es un Nema-17, con torque de 0.49 Nm, se diseña una caja reductora con relación de 4.5:1 y módulo 1, aumentando el torque teórico a 2.205 Nm. En la Tabla II y la Fig. 13 se muestran las relaciones de transmisión por etapa de la caja reductora.

TABLA II  
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Etapa 1		
$z_1$	$z_2$	$i_1$
21	14	1.5
Etapa 2		
$z_3$	$z_4$	$i_2$
30	15	2
Etapa 3		
$z_5$	$z_6$	$i_3$
21	14	1.5
$i_{TOTAL} =$		4.5



**Fig. 13. Etapas de la caja reductora del mecanismo de tijera**

5. Cálculo par motor: Para el cálculo del torque necesario para el desplazamiento del prototipo se establecen los siguientes parámetros.

$$a = 0,013 \frac{m}{s^2}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0,04 \frac{m}{s}$$

$$m_{Total} = 25 \text{ kg}$$

$$\mu d = 0,8$$

$$r_{rueda} = 0,0065 \text{ m}$$

Con los parámetros mencionados en (7) se aplica (8) para calcular la fuerza neta, (9) para el cálculo de la fuerza de rozamiento y (10) para el cálculo de la fuerza necesaria para que el prototipo suba una pendiente del 5 %, equivalente a un ángulo de 3° desde la vertical.

$$F_{neta} = m \cdot a \tag{8}$$

$$F_{rozamiento} = F_{peso} \cdot \mu d \tag{9}$$

$$F_{subir} = F_{peso} \cdot \sin 3 \tag{10}$$

Con los resultados obtenidos se realiza la sumatoria de fuerzas el cual da como resultado 209,325 N.

Mediante la ecuación de torque mostrada en (11) se determina el torque necesario es igual a 13.6 Nm,

y mediante la ecuación de desplazamiento por cada vuelta de la llanta mostrada en (12) se determina que el prototipo se desplazará 0.408 metros por cada revolución de la llanta.

$$T = F_{total} \cdot r_{rueda} \tag{11}$$

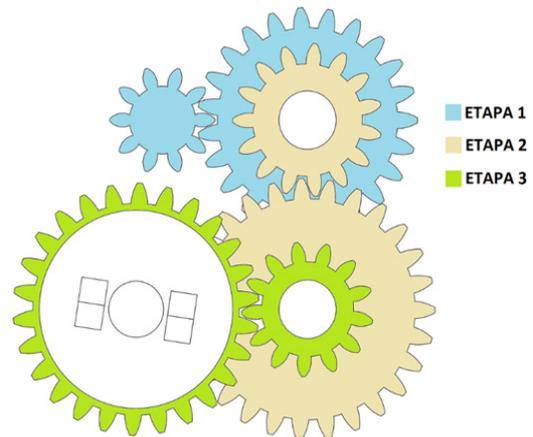
$$L = 2\pi \cdot r_{rueda} \tag{12}$$

Al conocer el desplazamiento y la velocidad a la que se estima que se desplace el prototipo se puede determinar los rpm (revoluciones por minuto) en 5.88, y el torque igual a 13.6 Nm dividido para el motor de cada llanta, se obtiene un torque de 6.8 Nm por motor.

Conociendo estas especificaciones se escoge el motor HP 6V marca Pololu con una reducción de 1000:1, el cual tiene un torque de 1.2 Nm y 31 rpm. Entonces se diseña una caja reductora para cada motor con relación de 8.28:1 y módulo 1, aumentando el torque teórico de cada motor a 9.936 Nm y reduciendo sus rpm a 3.74. En la Tabla III y la Fig. 14 se muestran las relaciones de transmisión por etapa de las cajas reductoras.

TABLA III  
RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Etapa 1		
z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>	i <sub>1</sub>
10	23	2.3
Etapa 2		
z <sub>1</sub>	z <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>
15	27	1.8
Etapa 3		
z <sub>3</sub>	z <sub>4</sub>	i <sub>3</sub>
13	26	2
<b>i<sub>TOTAL</sub> =</b>		<b>8.28</b>



**Fig. 13. Etapas de la caja reductora par motor**

## D. Diseño Eléctrico

La alimentación del circuito es por medio de una batería AGM VRLA de 12 V y 4.5 Ah, además es recargable debido a que es de plomo y

ácido internamente. En la Fig. 14 se resaltan las partes importantes del circuito que se explican a continuación.

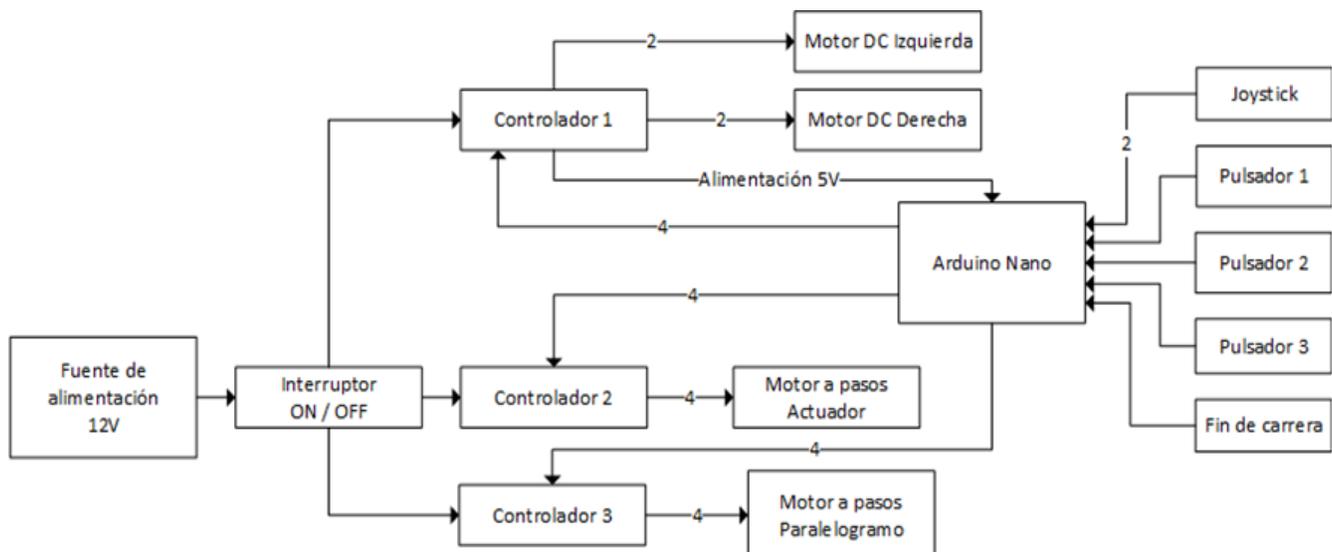


Fig. 14. Diagrama de bloques del circuito implementado

1. Control del Prototipo: El control del prototipo se realiza mediante una placa Arduino Nano, sus dimensiones son 4.5 x 1.8 cm y tiene un total de 22 pines manejables, entre los cuales 14 son salidas o entradas digitales usadas para el control del prototipo y 8 son salidas o entradas analógicas, 2 de ellas se utilizan para el joystick y el resto son usadas como digitales.

2. Control de los Motores: En el control de motores se utiliza el módulo L298N el cual tiene una capacidad de conducir 2 amperios constantes o 4 amperios en picos no repetitivos, soporta una corriente máxima de 5 A y un voltaje de 35 V. Además, tiene una salida de 5 V y pines para habilitar o deshabilitar los motores por medio de programación. Estos módulos presentan inmunidad al ruido y protección al sobrecalentamiento del circuito, garantizando el funcionamiento de los motores.

3. Desplazamiento del Prototipo: Para que el usuario cambie el sentido y velocidad de desplazamiento del prototipo se utiliza un módulo Joystick KY-023 (4) Fig. 6, el cual retorna una señal analógica de la posición en el eje x e y del joystick mediante el uso de potenciómetros.

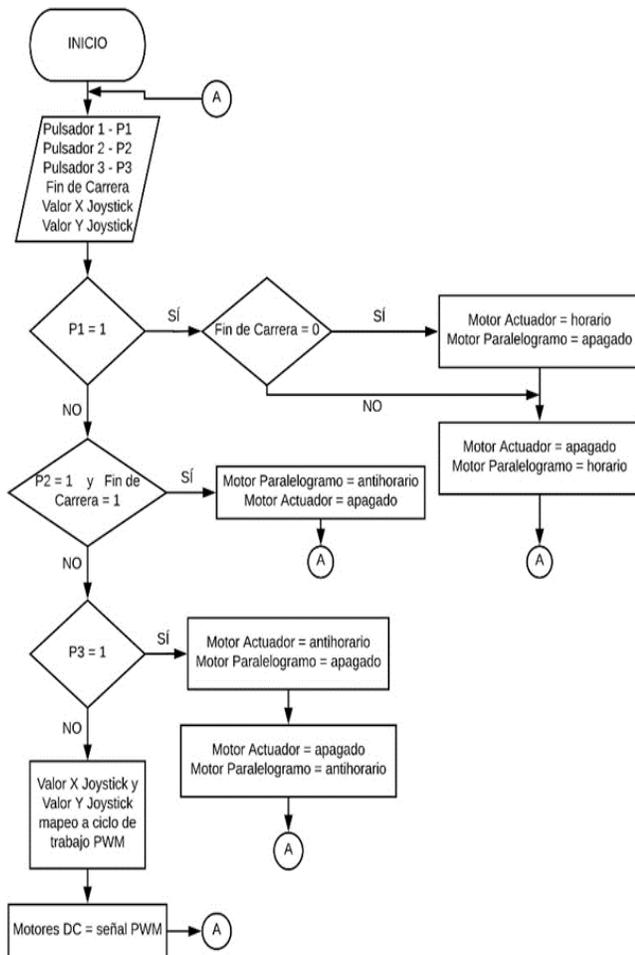
4. Selección de las posiciones: Para el cambio de posición se utilizan tres pulsadores (5) Fig. 6, P1 para la posición de Bipedestación, P2 para la posición Decúbiteo y P3 para la posición Sedente; y un fin de carrera para verificar las posiciones. Los pulsadores envían una señal 1 o 0 lógico según la

posición que seleccione el usuario, se implementan unas resistencias pull-down para garantizar el valor lógico deseado. Esta resistencia evita que lleguen datos erróneos a la placa de control y no se interpreten correctamente.

## Diseño Informático

Para el control de los diferentes movimientos del prototipo se utiliza la plataforma de desarrollo Arduino, en el cual se desarrolla un programa que realice una lectura analógica del módulo Joystick KY-023, que son los valores Valor X Joystick y Valor Y Joystick; lecturas digitales para tres pulsadores, donde P1 es el pulsador para la posición de Bipedestación, P2 es el pulsador para la posición Decúbiteo y P3 para la posición Sedente; y un fin de carrera para limitar los movimientos a las posiciones.

En el desplazamiento del prototipo se utiliza la lectura del módulo Joystick y se realiza una transformación del valor entrante, analizando la dirección de desplazamiento seleccionada por el usuario, a un valor digital proporcional que configure la relación de trabajo para la salida PWM. La señal de salida PWM trabaja en una frecuencia de 490 Hz y con un ciclo de trabajo variable con pasos de 0.2 %. A continuación, se muestra en la Fig. 15 el diagrama de flujo del programa.



**Fig. 15. Diagrama de flujo del programa implementado**

### F. Proceso Constructivo

Con la ayuda de los cálculos se realiza un bosquejo del prototipo que concluye con el diseño final en el software CAD SolidWork Student Edition 2016. Luego se procede con la impresión de las piezas y mecanismos pertenecientes al proyecto mediante una impresora Prusa i3MK2S, con las siguientes características de impresión:

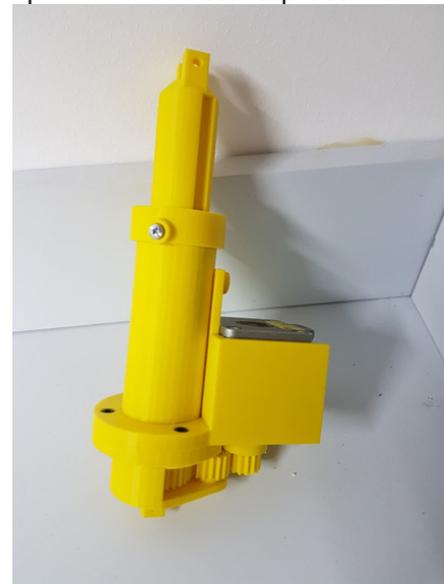
- Alto de capa = 0.2 mm
- Primera capa = 0.2 mm
- Densidad de relleno = 20%
- Patrón de relleno = Honeycomb
- Soportes = Sí

Una vez impresas las piezas se procede con la construcción del mecanismo de tijera, la Fig. 16 muestra el mecanismo con el tornillo de potencia usado para efectuar el movimiento.



**Fig. 16. Mecanismo de Tijera Implementado**

Luego se procede con la construcción del segundo mecanismo el cual es un actuador lineal para el cambio de posición a Bipedestación, y se puede ver que se implementa el motor a pasos a usar en la Fig. 17.



**Fig. 17. Actuador Lineal Implementado**

Finalizada la construcción de los mecanismos

se procede con la impresión de las partes restantes de la silla, donde se colocan los mecanismos antes implementados.

Se implementa la unión de la silla con los mecanismos, y se realiza las pruebas para cada posición verificando que no exista algún error que perjudique el movimiento de los mecanismos.

### III. PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación, se adjunta en la Tabla IV los torques obtenidos, donde se puede ver que el valor real de los torques a la salida de los mecanismos es aproximadamente un 21% del valor calculado (ideal).

M = Motor DC 1000:1 HP 6V

M1 = Motor a pasos Nema 17 - Mecanismo de Paralelogramo

M2 = Motor a pasos Nema 17 - Actuador Lineal

TABLA IV  
TORQUES

Motor	Tmotor Nm	Tcalculado Nm	Treal Nm
M	1.17	6.8	1.46
M1	0.49	2.2	0.47
M2	0.49	0.98	0.21

Se realizan las mediciones de corriente para diferentes pesos, determinado con un multímetro cuanta corriente consume cada motor y trazando una gráfica con su comportamiento, como se muestra en Fig. 18 y Fig. 19. Para determinar el porcentaje de trabajo de cada uno de ellos, obteniendo un porcentaje del 75% y 80% para el primer y segundo motor respectivamente

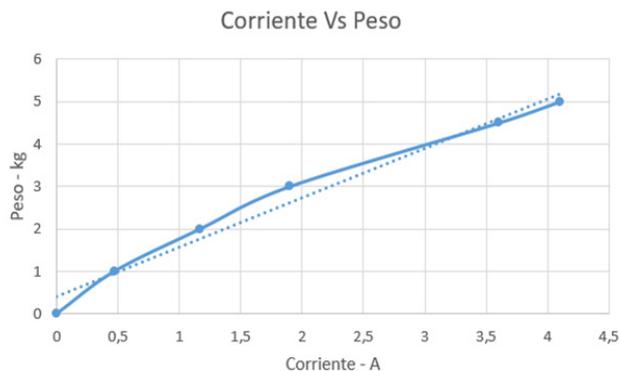


Fig. 18. Relación entre la Corriente del Primer Motor a Pasos y el Peso

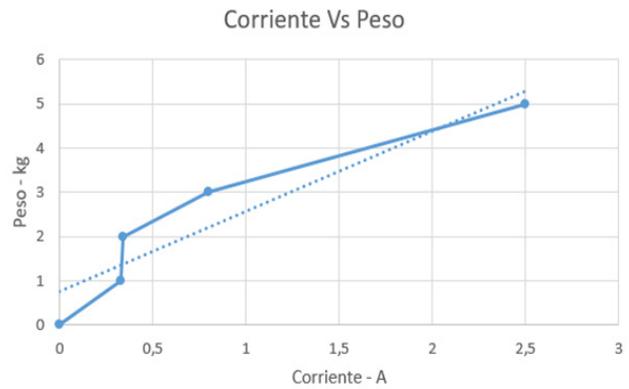


Fig. 19. Relación entre la Corriente del Segundo Motor a Pasos y el Peso

En la Fig. 20 se muestra la Relación de la Corriente consumida por el prototipo vs el Peso de prueba.

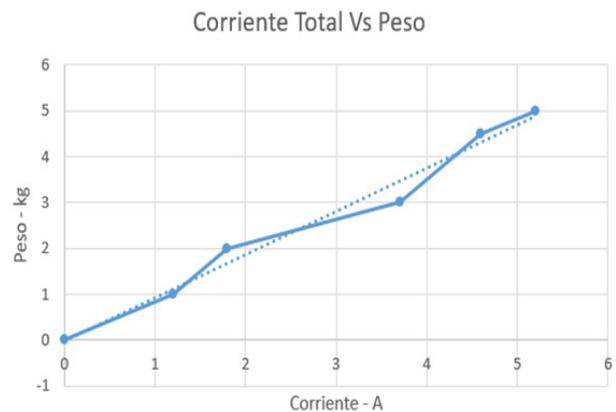


Fig. 20. Relación entre la Corriente Total y el Peso

En la Fig. 21 se muestra la Relación de giro del motor vs Desplazamiento del actuador lineal, para determinar la distancia que se desplaza linealmente con cada giro del



**Fig. 21. Relación entre los Giros del Primer Motor DC y el Desplazamiento.**

En la Fig. 22 se muestra la Relación de giro del motor vs Desplazamiento lineal del mecanismo de tijera, para determinar la distancia que se desplaza verticalmente con



**Fig. 22. Relación entre los Giros del Segundo Motor DC y el Desplazamiento**

En la Tabla V se muestran los tiempos requeridos para el cambio de posición.

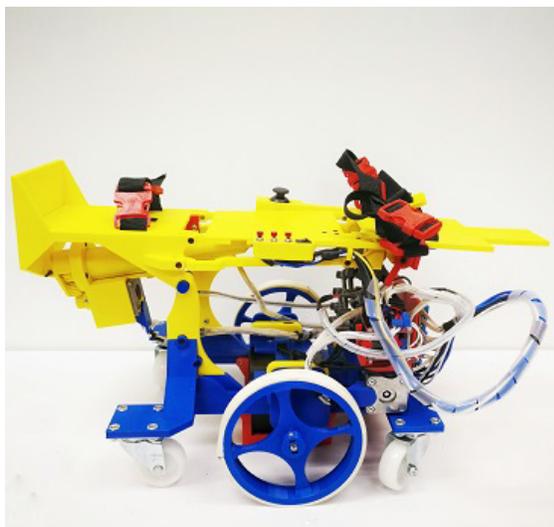
A = Sedente - Bipedestación

B = Bipedestación - Decúbito supino

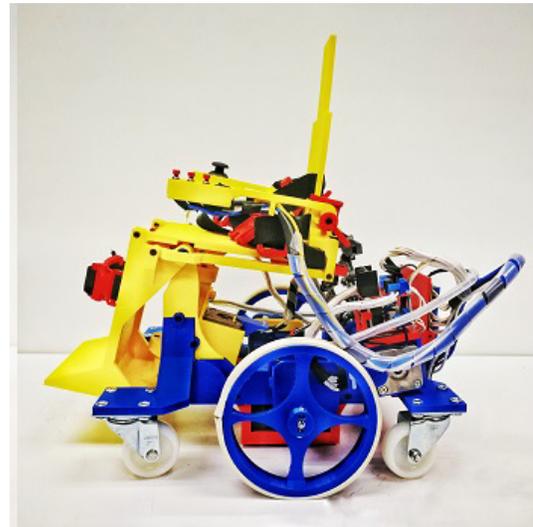
C = Decúbito supino - Bipedestación

D = Bipedestación - Decúbito supino

Finalmente se muestra el prototipo terminado en sus tres posiciones en la Fig. 23.



a)



b)



c)

**Fig. 23. Prototipo final a) Posición decúbito supino b) Posición sedente c) Posición de Bipedestación**

#### IV. CONCLUSIONES

El prototipo final tiene un peso total de 4.5 kg con todos sus mecanismos y componentes, y sus dimensiones máximas son de 60 cm de alto en la posición de erguido, 54 cm de largo en la posición acostado y 29.5 cm de ancho en todas sus posiciones.

Al momento de realizar las pruebas de peso que puede soportar el prototipo, se determinó un peso máximo de 2.5 kg con la batería cargada al 100%, por lo tanto, se concluye que el peso no es escalable en este prototipo, dado que no logra levantar el peso estimado, sin embargo, las tres posiciones que debe tener el prototipo, y el desplazamiento en varios sentidos se lograron con éxito.

Mediante las mediciones de corriente realizadas al prototipo se determinó que la corriente máxima es

de 2.2 A, con lo cual se puede calcular que el tiempo de funcionamiento de la batería de la silla en constante uso será de máximo 2 horas.

Se determinó que la eficiencia de los mecanismos es alrededor del 21%, esto se debe principalmente al material utilizado para las piezas de los mecanismos (PLA) y al diseño de los mecanismos, debido a la falta de rodamientos en los engranajes, pérdidas por rozamiento entre plástico-plástico, desgaste entre piezas, falta de lubricación, etc.

## V. REFERENCIAS

- [1] D. F. C. Flores, "Diseño de una Camilla para Movilización y Bipedestación de Pacientes," Ph.D. dissertation, Universidad Técnica Del Norte, 2016.
- [2] Fernando Díaz del Río, "Análisis y Evaluación del Control de un Robot Móvil: Aplicación a Sillas de Ruedas Eléctricas," Ph.D. dissertation, Universidad de Sevilla, 1997.
- [3] S. Hernández, L. Fernando, T. San, M. Christopher, U. S. Guillermo, R. Á. Beatriz, and D. F. México, "Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas Eléctrica de Dos Posiciones." 10o Congreso Nacional de Mecatrónica, 2011. [Online]. Available: <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art21.pdf>
- [4] J.-h. Bae and I. Moon, "Biomechanical Assessment of Electric Lifting Chair for Persons with Disability," IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2011.
- [5] Y. Bonilla, J. Valero, C. Duque, and C. Sandoval, "Sistema de control de una silla de ruedas para seguimiento automático," X Congreso Anual de Ingeniería ASME USB 2012, 2012. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/134840800/Silla-de-Ruedas>
- [6] L. Najafi and D. Long, Clinical Engineering A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers, T. Azzam, G. Paul, D. Long, and W. Paul, Eds. Oxford: Elsevier Ltd, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396961-3.00023-8>
- [7] M. d. I. Á. Campaña Olmos and J. M. Oñate, Barreno, "Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomático reajutable para personas con paraplejia," Ph.D. dissertation, ESPE, 2017.
- [8] E. K. P. Torres and J. E. T. Quimbata, "Diseño e implementación de un bipedestador automático para la movilidad de adultos mayores del hogar de vida "Luis Maldonado Tamayo" ubicado en el Cantón Pujili," Ph.D. dissertation, ESPE, 2018.
- [9] L. Corona Ramírez, G. Abarca Jiménez, and J. Mares Carreño, Sensores y actuadores, aplicaciones con arduino, primera ed ed., G. E. Patria, Ed., Azcapotzalco, 2016, no. October.
- [10] D. H. Myszka, Máquinas y mecanismos, cuarta ed ed., C. N. I. E. Mexicana, Ed., Dayton, 2012.