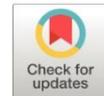


Implementación de un sistema de propulsión acoplable a una silla de ruedas de traslación autónoma para personas parapléjicas

Implementation of a propulsion system that can be attached to an autonomous translation wheelchair for paraplegic people

- ¹ Víctor David Bravo Morocho  <https://orcid.org/0000-0001-5629-259X>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz
victor.bravo@esPOCH.edu.ec
- ² Edison Patricio Abarca Pérez  <https://orcid.org/0000-0001-7041-4805>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz
edison.abarca@esPOCH.edu.ec
- ³ Edgar Fabian Sánchez Carrión  <https://orcid.org/0000-0002-8027-2799>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz
esanchez_c@esPOCH.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 11/05/2023

Revisado: 27/06/2023

Aceptado: 04/07/2023

Publicado: 03/08/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.381>

Cítese:

Bravo Morocho, V. D., Abarca Pérez, E. P., & Sánchez Carrión, E. F. (2023). Implementación de un sistema de propulsión acoplable a una silla de ruedas de traslación autónoma para personas parapléjicas. AlfaPublicaciones, 5(3), 116–139. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.381>



ALFA PUBLICACIONES, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves:

Traction system,
autonomy,
prototype
design,
simulation,
manufacturing,
prototype
implementation,
chair
wheels, safety
factor

Resumen

Introducción: Se desarrolló y materializó el diseño de un sistema de tracción anclable a una silla de ruedas para el transporte de personas parapléjicas en regiones urbanas. **Objetivo:** Implementación de un sistema de propulsión acoplable a una silla de ruedas de traslación autónoma para personas parapléjicas. **Metodología:** En función de los parámetros de diseño previamente establecidos estos parámetros, se optó por un sistema de tracción eléctrica compuesta por un motor brushless de 350 Watts, una batería de ion litio de 36 voltios 9 amperios y un controlador de 15 amperios. **Resultados:** Mediante software CAD se modeló el prototipo de tracción anclable, y con la ayuda de un software CAE se validó el diseño alcanzando resultados apropiados con respecto a factores de seguridad y deformaciones, cabe mencionar que para el diseño se seleccionó el acero A36, puesto que presenta una elevada relación resistencia/peso. Posteriormente se ejecutó la manufactura del prototipo de tracción, aplicando procesos como: soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) para el ensamble de los diferentes componentes del bastidor, también el corte, el doblado, entre otros. Posteriormente fueron acoplados los elementos eléctricos del sistema eléctrico. **Conclusiones:** Se realizó las pruebas de funcionamiento requeridas, las mismas determinaron que el prototipo cumple satisfactoriamente su función establecida, puesto que es apto de propulsar una silla de ruedas junto con su ocupante en una trayectoria cuya pendiente sea hasta el 12% con una velocidad de 5 km/h, mientras que en camino plano alcanza los 20 km/h; en cuanto a la autonomía el sistema puede recorrer hasta 16 km a plena carga. Se recomienda en posteriores trabajos de diseño, optar por materiales menos densos, de tal forma que favorezca reducir el consumo de energía. **Área de estudio general:** Ingeniería. **Área de estudio específica:** Diseño y construcción.

Keywords:

Technology,
engineer
science,
propulsion
system,
autonomy,

Abstract

Introduction: The design of a traction system anchorable to a wheelchair for the transport of paraplegic people in urban regions was presented and materialized. **Objective:** Implementation of a propulsion system that can be attached to an autonomous translation wheelchair for paraplegic people. **Methodology:** Based on the previously established design parameters, an electric traction

prototype design, simulation, prototype implementation, wheelchair, safety factor.

system was chosen consisting of a 350 Watt brushless motor, a 36 volt 9 amp lithium ion battery and a 15 amp controller. **Results:** Using CAD software, the anchorable traction prototype was modeled, and with the help of CAE software, the design was validated, reaching appropriate results with respect to safety factors and deformations. It is worth mentioning that A36 steel was selected for the design, since It has a high strength/weight ratio. Subsequently, the manufacturing of the traction prototype was conducted, applying processes such as: tungsten inert gas (TIG) welding for the assembly of the different components of the frame, also cutting, bending, among others. Subsequently, the electrical elements of the electrical system were coupled. **Conclusions:** The required functional tests were carried out, they determined that the prototype satisfactorily fulfills its established function, since it is capable of propelling a wheelchair together with its occupant in a trajectory whose slope is up to 12% with a speed of 5 km/h, while on a flat road it reaches 20 km/h; In terms of autonomy, the system can travel up to 16 km at full load. It is recommended in subsequent design work, opt for less dense materials, in such a way that it favors reducing energy consumption. **General study area:** Engineering. **Specific study area:** Design and construction.

Introducción

Actualmente los medios de transporte público en el Ecuador no están equipados con los mecanismos necesarios para permitir que los usuarios de sillas de ruedas ingresen de forma independiente, lo cual es un desafío significativo para las personas con movilidad reducida, que, por ahora, dependen de terceros para poder acceder a ellos (Gorgues, 2005). Por lo tanto, un sistema propulsor seguro y confiable para sillas de ruedas facilitaría su movilidad en la ciudad.

Esta falta de transporte inclusivo también afecta el acceso a la educación y el empleo para los usuarios de sillas de ruedas, disminuyendo sus posibilidades de adquirir un vehículo adaptado a sus necesidades y afectando su poder adquisitivo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019). Por esta razón, surge la necesidad de diseñar y construir un sistema de propulsión que se pueda acoplar a las sillas de ruedas, adaptándose a las necesidades de los ocupantes y proporcionando mayor autonomía.

Figura 1*Movilidad de personas con discapacidad en la ciudad*

Fuente La Hora (2016)

El desarrollo de un sistema propulsor acoplable a sillas de ruedas para el traslado autónomo de personas paraplégicas se presenta como una alternativa para abordar el problema de movilidad en sillas de ruedas, permitiendo la inclusión social y brindando oportunidades para el desarrollo personal de los usuarios (CONCEMFE, 2014). Además, este sistema también beneficiaría a los estudiantes de la ESPOCH que necesitan sillas de ruedas para desplazarse dentro del campus. Para la elaboración de este proyecto se emplean conocimientos científicos adquiridos a través de investigaciones bibliográficas y exploratorias para encontrar la solución más viable.

El acceso al transporte público es uno de los mayores problemas a los que se enfrentan en el día a día aquellas personas que presentan movilidad reducida o limitada. Generalmente, estas personas necesitan de terceros para desplazarse hasta un medio de transporte. Otro de los grandes problemas para las personas de movilidad reducida es la movilización en centros educativos, esto debido a la carencia de medios de transporte inclusivos que posibiliten la movilidad de los estudiantes que emplean una de silla de ruedas como medio de transporte. La inserción en el medio laboral es otro de los problemas que aqueja también a las personas de movilidad limitada al no contar con un medio de movilidad adecuado. Todos estos inconvenientes puestos de manifiesto crean la necesidad imperiosa de diseñar y construir un sistema de tracción que se adapte a una silla de ruedas estándar, y se acondicione a las necesidades del usuario, de tal forma que se simplifique su desplazamiento.

Metodología

Esta investigación es de tipo descriptiva y cualitativa, iniciando con una revisión bibliográfica sobre el cálculo de parámetros de selección de motores eléctricos, aplicables para tracción en sistemas de transporte de personas con movilidad limitada.

Se empleó el motor Brushless modelo DASH puesto que cumple con la potencia y el torque necesarios, y en función de optimizar el peso del prototipo, se aplica una batería de ion litio, que es elevadamente ligera y provee la energía imprescindible para el funcionamiento del sistema

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño considerados para satisfacer las necesidades de las personas que utilizan silla de ruedas son los siguientes (Andrino, 2016):

- Dimensiones del prototipo.
- Peso de la silla de ruedas.
- Peso del usuario.
- Peso del prototipo.
- Velocidad de desplazamiento.
- Autonomía del sistema propulsor.

Se toma como referencia los caminos con mayor pendiente encontrados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Si el sistema de propulsión es capaz de trasladar a una persona con un peso máximo admisible de 100 kg y su silla de ruedas de 20 kg a través de una pendiente del 12% a una velocidad promedio de 5 km/h, entonces el prototipo funcionará sin problemas en las vías con pendientes menores que se encuentren durante el recorrido (Bikelec, 2019).

Figura 2

Vista isométrica del sistema de propulsión acoplado a una silla de ruedas



Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuetete (2019)

Figura 3

Ruta de prueba del sistema de propulsión



Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

Figura 4

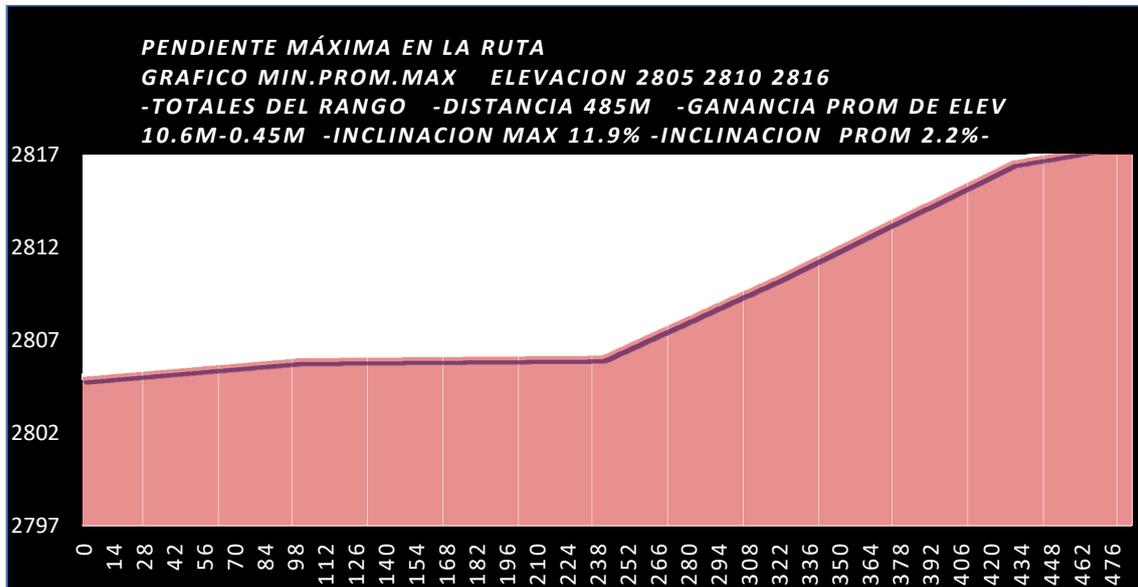
Ruta de mayor pendiente en la ESPOCH



Fuente: Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

Figura 5

Pendiente máxima en la ruta



Fuente: Asto-Guamán & Vaca-Guevara (2018)

Tabla 1

Análisis comparativo del proceso de obtención de los prototipos

Porcentaje de pendiente (%)	Grado de pendiente (°)	Porcentaje de pendiente (%)	Grado de pendiente (°)
	2.86	55	28.81
10	5.71	60	30.96
15	8.53	65	33.02
20	11.31	70	34.99
25	14.04	75	36.87
30	16.7	80	38.66
35	19.29	85	40.36
40	21.8	90	41.99
45	24.23	95	43.53
50	26.57	100	45.00

Fuente: Curisaca-Cruz & López Zambrano (2018)

Cálculo de la fuerza de rozamiento entre la calzada y los neumáticos (F_r)

A partir de la tabla 1, el ángulo para una pendiente del 12% viene dado por la interpolación:

$$\phi = \phi_1 + \left[\frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \right] [\phi_2 - \phi_1] \quad (1)$$

$$\phi = 5.71^\circ + \left[\frac{(12\% - 10\%)}{(15\% - 12\%)} \right] [8.53^\circ - 5.71^\circ]$$

$$\phi = 6.84^\circ$$

La fuerza de fricción generada entre los neumáticos y la calzada se determina mediante:

$$F_r = U_r * m * g * \cos(\phi) \quad (2)$$

$$F_r = 0.015 * 140kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * \cos(6.84)$$

$$F_r = 20.45N$$

Cálculo de la resistencia aerodinámica del prototipo (R_a)

Figura 6

Vista de la superficie del prototipo que entra en contacto con el viento



Fuente: Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

A partir de la figura 6, se calcula el área frontal del sistema:

$$A = Ancho * Alto \quad (3)$$

$$A = (46.8cm * 11.3) + (40cm * 4.9cm) + 2(22cm * 2.26cm) + (2.54cm * 22cm) + (3.4cm * 13.1cm) + 2(8.1cm * 6cm) + 2(12.2cm * 43cm)$$

$$A = 2086.06cm^2 \left(\frac{1m^2}{(100cm)^2} \right)$$

$$A = 0.209 m^2$$

La resistencia del viento viene dada por:

$$R_a = \frac{1}{2} * \rho * A * C_x v^2 \quad (4)$$

$$R_a = \frac{1}{2} * 0.834 \frac{kg}{m^3} * 0.209m^2 * 0.5 * \left(1.39 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$R_a = 0.084 N$$

Cálculo del peso total del sistema propulsor en la pendiente máxima (F_y)

Se empleó una balanza digital para medir el peso de cada componente del sistema de forma individual, y se registraron los siguientes datos:

Tabla 2

Análisis comparativo del proceso de obtención de los prototipos

Componente	Peso (Kg)
Prototipo	17
Silla de ruedas	20
Persona	100
Total	137

A continuación, se presenta la ecuación nos permitirá determinar el peso del sistema en pendiente:

$$F_y = m * g * \sin(\emptyset) \quad (5)$$

$$F_y = 137kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * \sin(6.84^\circ)$$

$$F_y = 160.06 N$$

Cálculo de la fuerza de tracción eléctrica total (Fte)

El sistema propulsor debe lograr una aceleración mínima de 0.04 m/s² en el motor eléctrico para alcanzar la máxima pendiente de la ruta a 5 km/h, basándose en el estudio realizado por Lowry (2003). Para este propósito, se emplea la ecuación que relaciona las fuerzas previamente calculadas.

$$Fte = m * a + Fr + Ra + Fy \quad (6)$$

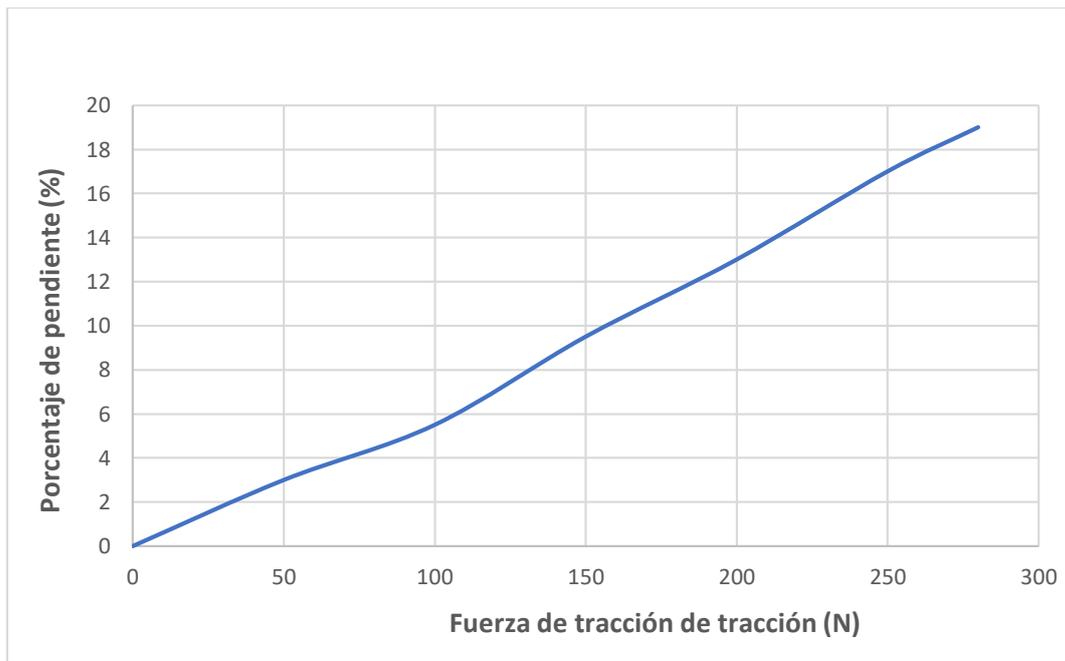
$$Fte = (137kg) * \left(0.04 \frac{m}{s^2}\right) + (20.45N) + (0.084N) + (160.06N)$$

$$Fte = 186.07 N$$

La figura 7, a continuación, muestra cómo varía la fuerza de tracción necesaria para el motor eléctrico en función del porcentaje de pendiente.

Figura 7

Vista de la superficie del prototipo que entra en contacto con el viento - Fuerza de tracción en función de la pendiente



Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuetete (2019)

Cálculo del torque requerido (Tr)

El torque necesario para propulsar la silla de ruedas está estrechamente vinculado a las dimensiones de la rueda utilizada y la fuerza de empuje que se calculó previamente.

$$T_r = R * F_{te} \quad (7)$$

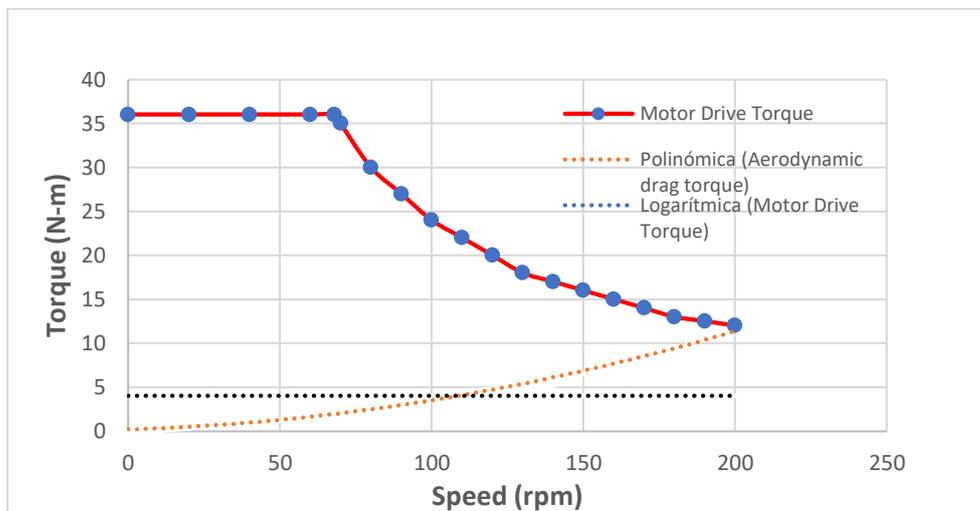
$$T_r = 0.2032m * 186.07 N$$

$$T_r = 37.81 Nm$$

A continuación, se presenta el diagrama de comportamiento del torque del motor en función de la velocidad de giro. La línea roja corresponde al torque del motor, la línea naranja entrecortada es la resistencia a la rodadura y la línea negra entrecortada representa la resistencia aerodinámica.

Figura 8

Gráfica de velocidad del par del motor vs características de un motor



Nota: www.researchgate.net/publication/323664289_Analisis_y_Eleccion_de_un_Motor_Brushless

Cálculo de la velocidad angular (ω)

La velocidad angular se define como la relación entre la velocidad máxima de giro y el radio de la rueda, y puede expresarse de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{V_{max}}{R} \quad (8)$$

$$\frac{5.56 \frac{m}{s}}{0.2032m} = 27.36 \frac{rad}{s} = 261.27 rpm$$

Cálculo de la potencia necesaria y selección de motor

$$P_{requerida} = F_{te} + V_{max} \quad (9)$$

$$P_{requerida} = 186.07N * 1.39 m/s = 258.43 W = 0.35 hp$$

Si asumimos que las pérdidas representan alrededor del 25%, entonces la eficiencia del motor eléctrico será del 75%. Por lo tanto, calcularemos la potencia necesaria para el prototipo de la siguiente manera.

$$P_{motor} = \frac{P_{requerida}}{0.75} \quad (10)$$

$$P_{motor} = \frac{258.43 W}{0.75} = 344.57 W = 0.46 hp$$

Selección del motor eléctrico

Se analizan diversas opciones disponibles en el mercado de motores utilizados en bicicletas eléctricas. Estos motores tienen potencias que van desde los 250 W hasta los 500 W (CLR, 2017). En base a la tabla 3, el motor Brushless modelo DASH ha sido seleccionado puesto que cumple con la potencia y el torque necesarios. Además, este motor ofrece una adecuada autonomía y resulta menos costoso que otros motores con características similares.

Tabla 3

Modelo y características de los sistemas de propulsión

Modelo	Voltaje	Potencia	Velocidad	Tolerancia de peso	Autonomía
Alfa	36v	250 W	30 km/h	90 kg	20-23 km
Beta	36v	350 W	30Km/h	100 kg	35-40 km
Magnos	36v	250 W	30 km/h	100 kg	20-25 km
Clik	36v	250 W	30 km/h	90 kg	18-20 km
Dash	36v	350 W	30Km/h	100 kg	30-35 km
Gama 350	36v	350 W	30 km/h	120 kg	35-40 km
Seal 500	36v	500 W	40 km/h	120 kg	35-40 km
Cross	36v	350 W	40 km/h	120 kg	30-35 km

Fuente Téllez (2016)

Especificaciones del motor

En la tabla 4, se muestran las especificaciones principales del motor eléctrico elegido:

Tabla 4

Modelo y características de los sistemas de propulsión

Parámetro	Especificación
Tipo de motor	Motor Brushless
Voltaje	36 V
Potencia	350 W
Corriente	10 A
Velocidad máxima	30 km/h
Torque	35 Nm
Peso	2.8 Kg

Fuente: Téllez (2016)

Selección de batería

Para lograr la meta de optimizar el peso del prototipo, se decide emplear una sola batería de ion litio, que es elevadamente ligera y será responsable de proveer la energía imprescindible para el funcionamiento del sistema (González, 2015).

Teniendo en cuenta que la batería no debe descargarse más allá del 80% para preservar sus ciclos de trabajo, la capacidad específica de la batería viene dado por:

$$I_{bat} = \frac{P_{motor} * n_{motor}}{V_{de\ func.} * \%descarga} \quad (11)$$

$$I_{bat} = \frac{350W * 0.85}{36V * 0.8} = 10.33 A$$

Puesto que el peso de la batería es de 3,17 kg, la energía específica másica [Wh/Kg] se calcula como:

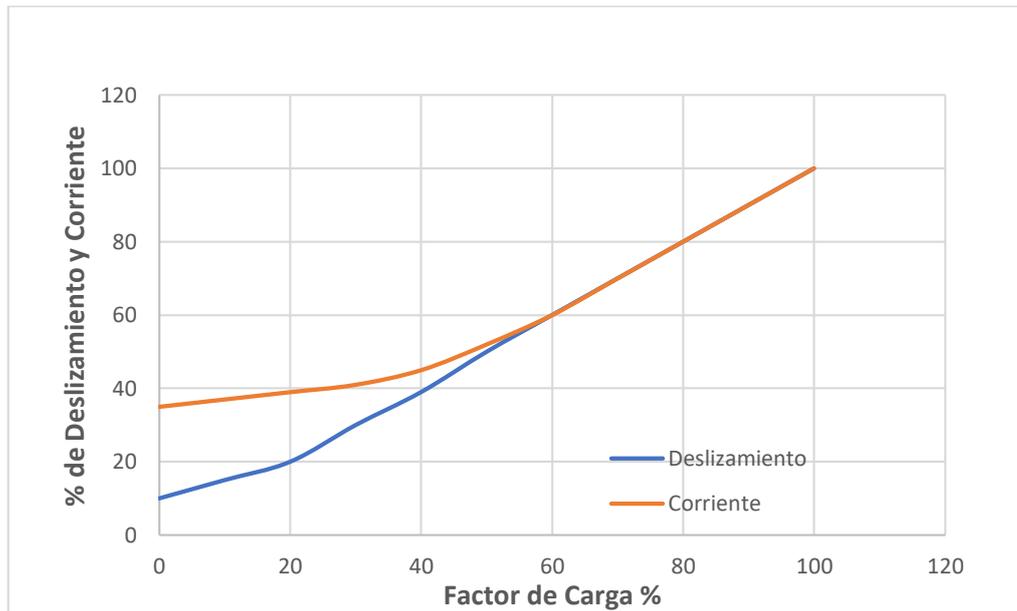
$$W_m = \frac{V * I_{bat}}{P_{bat}} \quad (12)$$

$$W_m = \frac{36V * 10.33A}{3.17 kg} = 117.31 \frac{Wh}{Kg}$$

En la siguiente imagen se observa el comportamiento de la corriente y el deslizamiento de esta en función del porcentaje de carga.

Figura 9

Comportamiento del deslizamiento y corriente en función de la carga



Con base en las especificaciones descritas, a continuación, se describen las características de la batería seleccionada para el sistema de tracción.

Tabla 5

Especificaciones de la batería

Detalle	Valor
Voltaje Nominal	36 v
Voltaje de carga	39.2 v
Corte de voltaje de carga	39.2 v
Tensión de corte de descarga	30 v
Descarga de corte de Tensión	15 A
Máx corriente de descarga	30 A
Peso	3.17 kg
Capacidad del cargador	2.0 Ah

Fuente: Bikelec (2019)

Cálculo del tiempo de carga de cada batería

La batería de 36 V presenta una capacidad de 9 Ah y el cargador de esta una capacidad de 2 A, mediante la siguiente ecuación el tiempo de carga viene dado por:

$$T_{carga} = \frac{\text{Capacidad de la batería (Ah)}}{\text{Capacidad del cargador (A)}} \quad (13)$$

$$T_{carga} = \frac{9 \text{ Ah}}{2 \text{ A}} = 4.5 \text{ h}$$

Cálculo de la autonomía de la batería

La autonomía se determina al relacionar la corriente suministrada por la batería, con el voltaje de esta y la velocidad de circulación por la potencia del motor, como se muestra:

En plano:

$$T_{au} = \frac{V * Vel * I}{P} \quad (14)$$

$$T_{au} = \frac{(36 \text{ V} * 20 \text{ km/h} * 10 \text{ A})}{350 \text{ W}} = 20.6 \text{ km}$$

En pendiente del 12%:

$$T_{au} = \frac{(36 \text{ V} * 6 \text{ km/h} * 10 \text{ A})}{350 \text{ W}} \quad (15)$$

$$T_{au} = 6.2 \text{ km}$$

Selección de materiales para la construcción de la estructura

Los materiales propuestos son los siguiente:

- Tubo redondo de acero galvanizado.
- Tubo redondo de acero ASTM A36 negro.
- Tubo redondo de aluminio.

Tabla 6

Alternativas para la selección de materiales, propiedades mecánicas

Propiedad	Acero galvanizado	Acero ASTM A36	Aluminio 6061-T6
Peso específico (Kg/m ³)	7850	7850	2580
Límite elástico (Mpa)	204	250	241
Límite de tracción (Mpa)	357	400	310

En base a la tabla 6, y a criterios como ensamblaje, precio y disponibilidad en el mercado, se concluye que el material más apropiado para la construcción de la estructura es el acero ASTM A36 (AHMSA, 2013, p.3).

Resultados

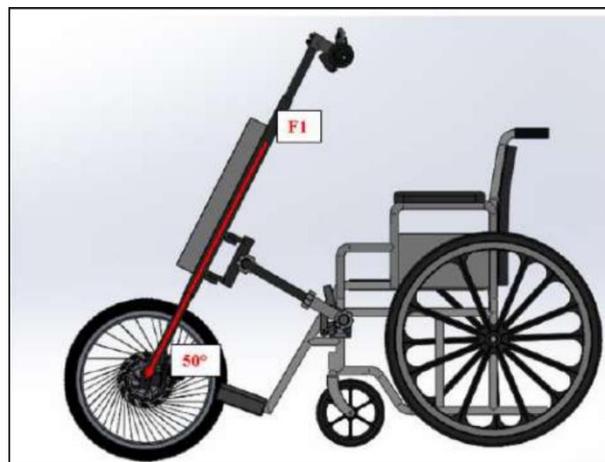
Análisis mecánico de componentes

Por medio de software CAE se procede a validar la geometría estructural de todos los componentes del prototipo (Rojas-Lazo & Rojas-Rojas, 2006).

Análisis de la carga aplicada en el eje del motor

Figura 10

Carga aplicada sobre el eje del motor

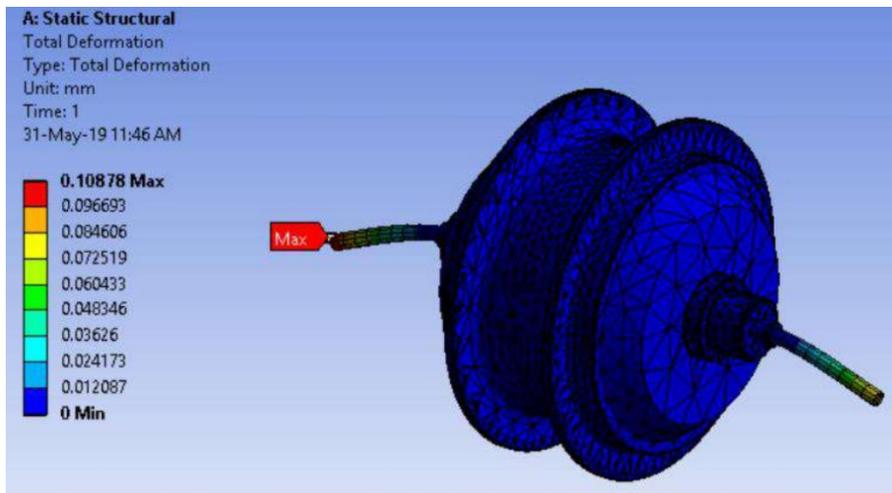


Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizueté (2019)

Deformación máxima: 0.10878 mm

Figura 11

Deformación total en el eje del motor

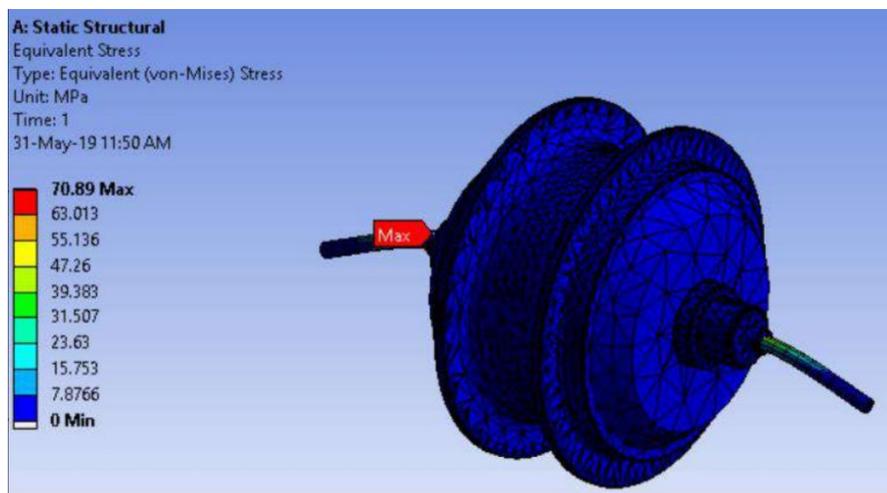


Fuente: Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizúete (2019)

Tensión máxima: 70,89 MPa

Figura 12

Tensión equivalente (Von Mises) en el eje del motor

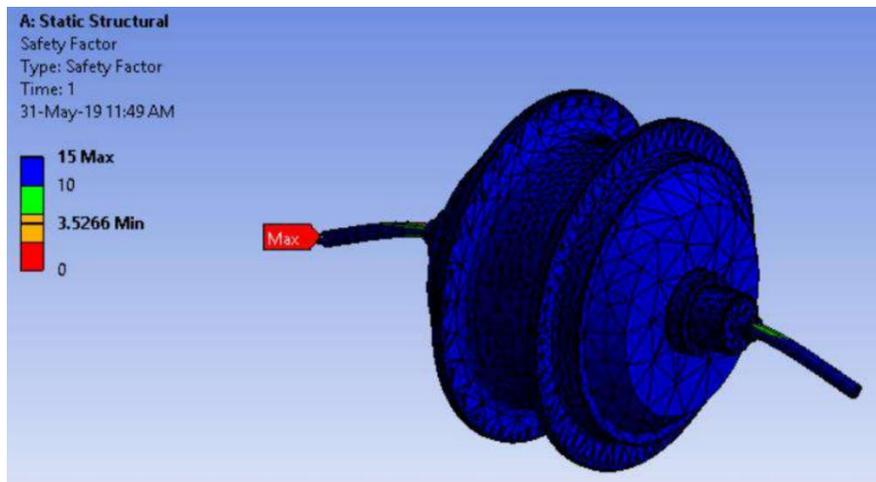


Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizúete (2019)

Factor de Seguridad: 3.5266

Figura 13

Factor de seguridad en el eje del motor



Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

Para determinar la fuerza que actúa sobre la estructura de apoyo de los brazos se traslada la fuerza de tracción por medio de sumatoria de momentos.

Figura 14

Diagrama de cuerpo libre en la estructura principal



Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

$$\sum M_C = 0$$

$$\sum M_C = M_D - F_C * 150mm$$

$$M_D - F_C * 150mm = 0$$

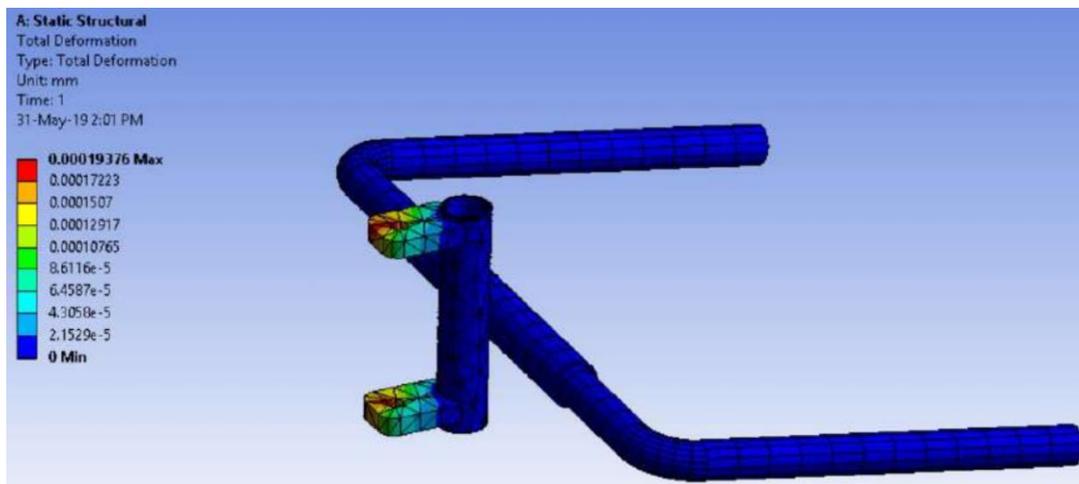
$$(186.07N * 402mm) - F_C * 150mm = 0$$

$$F_C = \frac{186.07N * 402mm}{150mm} = 498.67N$$

Deformación máxima: 0,00019376 mm

Figura 15

Deformación total en la estructura de acople a los brazos

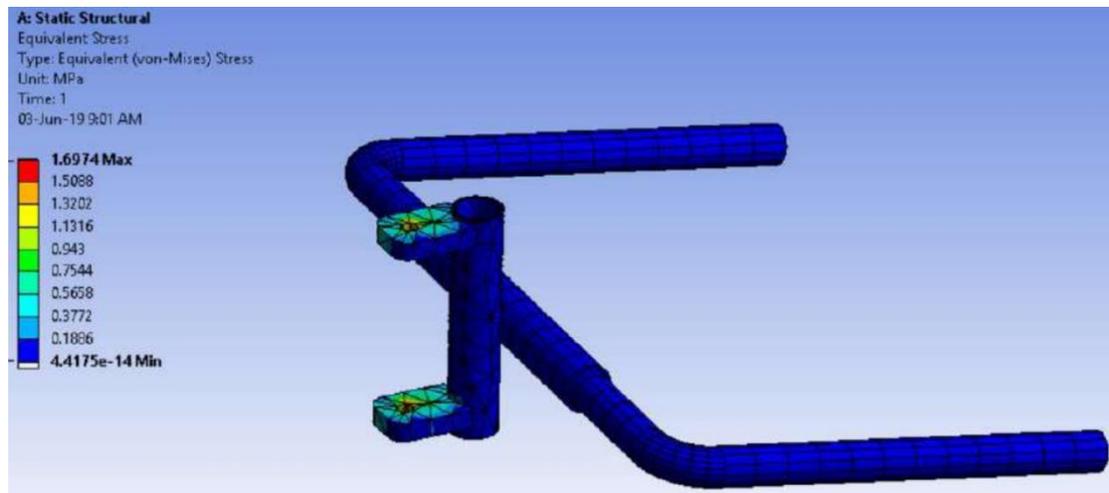


Fuente: Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

Tensión máxima: 1,6974 MPa

Figura 16

Tensión equivalente (Von Mises) en la estructura de acople a los brazos

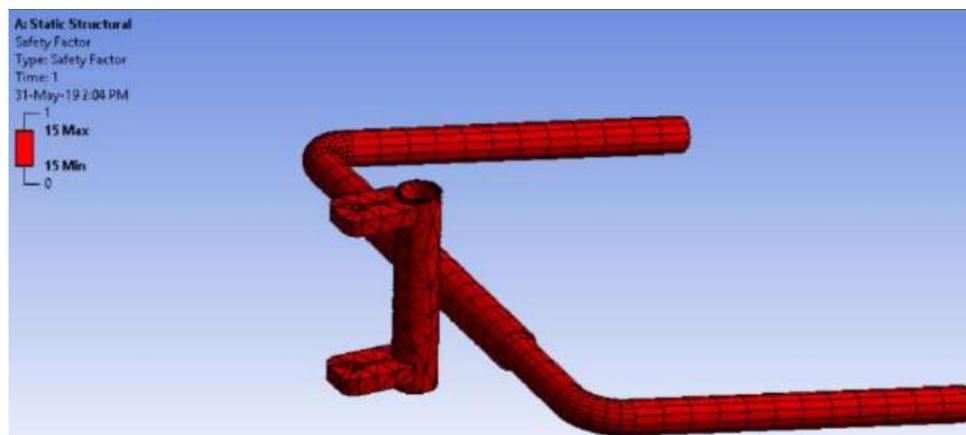


Fuente: Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

Factor de Seguridad: 15

Figura 17

Factor de seguridad en la estructura de acople a los brazos



Fuente: Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizuete (2019)

Pruebas de funcionamiento

Se puso en marcha el prototipo con la batería a carga completa, el peso total es de 120 kg, que incluye el peso de la silla de ruedas y de su ocupante. Las pruebas se llevaron a cabo en una superficie plana de asfalto con una pendiente de 4 grados.

Prueba de aceleración:

Tabla 7

Tiempos al recorrer 20 m de distancia

Número de prueba	Tiempo
1	3.58 s
2	3.31 s
3	3.87 s
4	3.43 s
5	3.75 s

Fuente Quinatoa-Aigaje & Veloz Vizueté (2019)

La velocidad final se calcula mediante:

$$V_f = \frac{l}{t} \quad (16)$$

$$\frac{20 \text{ m}}{3.59 \text{ s}} = 5.57 \text{ m/s}$$

La aceleración del prototipo se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$a = \frac{V_f - V_0}{t_f - t_0} \quad (17)$$

$$a = \frac{5.57 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0}{3.59 \text{ s} - 0} = 1.55 \text{ m/s}^2$$

Tiempo máximo de uso con la batería al 100%: 4 horas.

Distancia máxima de uso con la batería al 100%: 16,4 km.

Conclusiones

- Se realizó el estado del arte para especificar los principios de diseño, anclaje y tracción, para el desarrollo del prototipo.
- La estructura portadora de carga mecánica se modeló y validó mediante software CAD-CAE. Los resultados mostraron que el sistema tolera esfuerzos inferiores al

límite de fluencia del material, produciendo ínfima deformación y un factor de seguridad mínimo de 3.5266, lo que avala su fiabilidad.

- La estructura del prototipo se manufacturó empleando tubos redondos de acero estructural ASTM A36 de 2 mm de espesor debido a que provee apropiada resistencia mecánica y su costo es accesible. La utilización de este acero favoreció los procesos de manufactura como la soldadura, corte y doblado. Adicionalmente, se usó lámina de acero de 4 mm de espesor para el mecanismo de acople, consolidando la integridad del prototipo durante su desempeño.
- El sistema de tracción fue corroborado mediante ensayos en campo, rebasando con satisfactoriamente la pendiente más pronunciada de la trayectoria, que es del 12%, a una velocidad promedio de 5 km/h, lo que evidencia su acertado funcionamiento en vías con menor inclinación.
- Para ensayos efectuados en superficies planas, el prototipo logró una velocidad máxima de 20 km/h y recorrió 20 m a una velocidad de 5.57 m/s, con una aceleración de 1.5 m/s², manteniéndose dentro del rango adecuado para no afectar la seguridad del usuario.

Referencias Bibliográficas

- AHMSA. (2013). Manual de diseño para la construcción con acero.
<https://es.scribd.com/doc/156581672/Manual-de-diseno-para-la-construccion-conacero-Altos-hornos-de-mexico>
- Andrino, J. (2016). *Tipos de propulsión. Mecánica y entrenamiento simple de automóviles*. <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-paraprofesores-y-directores-de-autoescuelas/XVII-Curso-de-Profesores/Mecnica-yentrenamiento-simple-del-automvil-d.-2014.pdf>
- Asto-Guamán, C., & Vaca-Guevara, O. (2018). *Diseño e implementación del sistema de propulsión y control de un vehículo monoplaza para la movilidad de personas en silla de ruedas*. <http://dSPACE.espacech.edu.ec/handle/123456789/9997>
- Bikelec. (2019). *Acelerador o asistencia al pedaleo*.
<https://www.bikelec.es/blog/acelerador-oasistencia-al-pedaleo/>.
- CLR. (2017). *Motores de corriente continua y alterna, estudio y selección*.
<https://clr.es/blog/es/motorescorriente-continua-alterna-seleccion/>
- CONCEMFE. (2014). *La elección de la silla de ruedas*.
<http://www.cocemfecyl.es/index.php/discapacidad-ytu/65-las-sillas-de-ruedas>

Curisaca-Cruz, J., & López Zambrano, D. (2018). *Diseño y construcción del bastidor y sistemas mecánicos de un vehículo monoplaza para a movilidad de personas en silla de ruedas*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9996>

González, C. (2015). *Análisis técnico de los diferentes tipos de baterías comercialmente disponibles para su integración en el proyecto de una microrred aislada*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3663>

Gorgues, J. (2005). *Selección y adaptación de sillas de ruedas convencionales*. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13078588>

La Hora. (2016). *La accesibilidad, aún un problema para personas con discapacidad*. <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101994754/la-accesibilidad-an-un-problema-parapersonas-con-discapacidad>

Lowry, J. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. <http://www.iqytechnicalcollege.com/BAE%20685-Electric%20Vehicle%20Technology.pdf>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2019). *Discapacidades*. <https://www.who.int/es>

Quinatoa-Aigaje, E., & Veloz-Vizúete, B. (2019). *Diseño y construcción de un sistema de propulsión anclable a una silla de ruedas para traslado autónomo de personas parapléjicas en zonas urbanas*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11626>

Rojas-Lazo, O., & Rojas-Rojas, L. (2006). *Diseño asistido por computador*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol9_n1/a02.pdf

Téllez, R. (2016). *Manual del propietario - Bicicleta eléctrica*. http://electrobike.com.mx/manuales/Maual_del_propietario_general.pdf

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

