

Diseño y construcción de un prototipo funcional-demostrativo de triciclo eléctrico con rampa automática para usuarios de silla de ruedas
Design and Construction of a Functional-Demonstrative Electric Tricycle Prototype with an Automatic Ramp for Wheelchair Users

Marlon Cayo Chiguano, Cristian Alquina García, Anthony Molina Gavilanes, Ronny Mora Pozo, Kevin Muñoz Sánchez, Leonardo Vega Intriago y Adriana Yuqui Ibarra.

**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
SOCIEDAD**

Julio - diciembre, V°7-N°2; 2026

Recibido: 10-07-2026

Aceptado: 20-07-2026

Publicado: 31-12-2026

PAIS

- Santo Domingo, Ecuador
- Santo Domingo, Ecuador
- Santo Domingo, Ecuador
- Santo Domingo, Ecuador
- Santo Domingo, Ecuador
- Santo Domingo, Ecuador
- Santo Domingo, Ecuador

INSTITUCION

Universidad UTE, Sede Santo Domingo
Universidad UTE, Sede Santo Domingo
Universidad UTE, Sede Santo Domingo
Universidad UTE, Sede Santo Domingo
Universidad UTE, Sede Santo Domingo
Universidad UTE, Sede Santo Domingo

CORREO:

- ✉ marlon.cayo@ute.edu.ec
- ✉ cristian.alquina@ute.edu.ec
- ✉ johnny.molina@ute.edu.ec
- ✉ ronny.mora@ute.edu.ec
- ✉ kevin.munozs@ute.edu.ec
- ✉ leonardo.vega@ute.edu.ec
- ✉ adriana.yuqui@ute.edu.ec

ORCID:

FORMATO DE CITA APA

Mazón, A., Roca, A., Villegas, L., Guaranda, K. & Flores, E. (2026). *Diseño y construcción de un prototipo funcional-demostrativo de triciclo eléctrico con rampa automática para usuarios de silla de ruedas..* Revista G-ner@ndo, V°7 (N°2). P. 1567- 1585.

Resumen

Este artículo presenta el diseño, la construcción y la evaluación de un prototipo funcional-demostrativo de triciclo eléctrico con una rampa de acceso automatizada para una silla de ruedas convencional. Se empleó un enfoque aplicado de desarrollo tecnológico con componentes cuantitativos, descriptivos y experimentales. El chasis se modeló en SolidWorks y se fabricó con tubo comercial de acero al carbono de 31,75 mm de diámetro y 2 mm de espesor, además de un piso antideslizante de acero de 3 mm. La propulsión se implementó mediante un motor BLDC de 1000 W controlado a 60 V y alimentado por cinco baterías de plomo-ácido de 12 V y 23 Ah conectadas en serie. La rampa de 0,90 m por 0,80 m y 20 kg fue accionada por un motorreductor de limpiaparabrisas mediante una polea y un cable de acero. La inversión de giro se implementó con un interruptor DPDT de seis terminales, mientras que dos finales de carrera y diodos 1N5408 detuvieron el movimiento en las posiciones extremas y permitieron el recorrido inverso. Un análisis estático de vigas en SolidWorks Simulation produjo una tensión máxima combinada axial y de flexión de 22,79 MPa y un desplazamiento resultante máximo de 0,246 mm. MATLAB permitió estimar el comportamiento de carga y descarga de las baterías, y Proteus validó la lógica de control de la rampa. Las pruebas funcionales registraron 17,42 s para elevarla y 13,30 s para descenderla. El prototipo de 130 kg integró satisfactoriamente los subsistemas mecánico, eléctrico y de control; sin embargo, no constituye un vehículo vial homologado.

Palabras clave: accesibilidad, electromovilidad, prototipo, rampa automática, silla de ruedas.

Abstract

This paper presents the design, construction, and evaluation of a functional demonstrative electric tricycle prototype with an automated access ramp for a conventional wheelchair. An applied technological-development approach with quantitative, descriptive, and experimental components was used. The chassis was modeled in SolidWorks and manufactured with 31.75 mm diameter, 2 mm thick commercial carbon-steel tubing and a 3 mm anti-slip steel floor. Propulsion was provided by a 1000 W BLDC motor controlled at 60 V and powered by five 12 V, 23 Ah lead-acid batteries connected in series. The 0.90 m by 0.80 m, 20 kg ramp was actuated by a geared windshield-wiper motor through a pulley and steel cable. Direction reversal was implemented with a six-terminal DPDT switch, while two limit switches and 1N5408 diodes stopped motion at the end positions and enabled reverse travel. A static beam analysis in SolidWorks Simulation produced a maximum combined axial and bending stress of 22.79 MPa and a maximum resultant displacement of 0.246 mm. MATLAB estimated battery charging and discharging behavior, and Proteus validated the ramp-control logic. Functional tests yielded 17.42 s for raising and 13.30 s for lowering the ramp. The 130 kg prototype successfully integrated the mechanical, electrical, and control subsystems; however, it is not a homologated road vehicle.

Keywords: accessibility, electromobility, prototype, automatic ramp, wheelchair.

Introducción

La movilidad es una condición esencial para la autonomía, el acceso a la educación, el trabajo y la participación social. Sin embargo, las personas con discapacidad física y quienes utilizan sillas de ruedas convencionales continúan enfrentando barreras arquitectónicas, económicas y de transporte. En Ecuador, los registros nacionales de discapacidad y los resultados del Censo 2022 evidencian la magnitud de las dificultades permanentes de movilidad y la necesidad de soluciones inclusivas [1]–[3].

Los medios de transporte convencionales pueden exigir el traslado de la persona desde su silla hacia otro asiento, asistencia de terceros o adaptaciones de costo elevado. Diversos trabajos han propuesto triciclos motorizados, plataformas de acceso, handbikes y vehículos adaptados para reducir estas barreras [4]–[8], [23]–[31], [36], [37], [39]. Otros estudios de sillas de ruedas y dispositivos de ayuda técnica aportan criterios de ergonomía, transferencia y adaptación funcional [32]–[34]. Estos antecedentes coinciden en la importancia de considerar resistencia estructural, estabilidad, espacio para la silla, facilidad de acceso, accionamiento eléctrico y elementos de sujeción.

La accesibilidad universal plantea que los entornos, productos y servicios deben ser utilizables de forma segura, cómoda y autónoma por la mayor cantidad posible de personas [9]. La NTE INEN 2245 establece criterios para rampas fijas del entorno construido [10]; en este trabajo se empleó únicamente como referencia conceptual, ya que la plataforma desarrollada es una rampa móvil integrada a un prototipo y no se declara como una solución homologada bajo esa norma. El objetivo fue diseñar, construir y evaluar un prototipo funcional-demostrativo de triciclo eléctrico con rampa automática para una silla de ruedas convencional, mediante la integración de sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control. El alcance corresponde a pruebas académicas controladas; por tanto, el resultado no constituye un vehículo certificado para circulación vial ni un producto listo para comercialización.

La realización de este proyecto se justifica por la necesidad de desarrollar alternativas de movilidad inclusivas que contribuyan a mejorar la autonomía y la participación social de las personas con discapacidad física que utilizan sillas de ruedas convencionales. En Ecuador, este grupo poblacional continúa enfrentando barreras arquitectónicas, económicas y de transporte que dificultan su acceso a la educación, al trabajo, a los servicios y a diferentes espacios comunitarios. Además, los medios de transporte tradicionales suelen requerir que la persona sea trasladada desde su silla de ruedas hacia otro asiento, dependa de la asistencia de terceros o realice adaptaciones de alto costo. Por esta razón, el diseño de un triciclo eléctrico con rampa automática representa una propuesta tecnológica orientada a facilitar el acceso, disminuir el

esfuerzo físico durante el traslado y promover una movilidad más segura, cómoda e independiente.

Asimismo, el proyecto posee relevancia académica y tecnológica, debido a que integra conocimientos de diseño mecánico, electricidad, electrónica y sistemas de control para la construcción de un prototipo funcional-demostrativo. Su desarrollo permite aplicar criterios relacionados con la resistencia estructural, estabilidad, ergonomía, espacio disponible para la silla de ruedas, mecanismos de sujeción y funcionamiento automático de la rampa. Aunque el prototipo no constituye un vehículo homologado para circular en vías públicas ni un producto listo para su comercialización, las pruebas realizadas en condiciones controladas permiten evaluar su funcionamiento e identificar oportunidades de mejora. De esta manera, la propuesta puede servir como antecedente para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos destinados a favorecer la accesibilidad universal y la inclusión de las personas con movilidad reducida.

Métodos y Materiales

Se realizó una investigación aplicada y de desarrollo tecnológico, con enfoque predominantemente cuantitativo, alcance descriptivo y componente experimental. La información se obtuvo mediante revisión documental, observación directa, medición y registro de pruebas. Se utilizaron un vernier y un metro para verificar dimensiones, un multímetro para comprobaciones eléctricas y un cronómetro para medir los tiempos de accionamiento de la rampa.

El trabajo siguió una secuencia de identificación del problema, investigación de requerimientos, diseño CAD, selección de componentes, fabricación, integración eléctrica, automatización de la rampa y pruebas funcionales. Este procedimiento incorporó principios de aprendizaje basado en proyectos, aunque el análisis técnico se presenta en el artículo como una metodología de diseño, construcción y validación preliminar.

Diseño mecánico y fabricación

El chasis se modeló en SolidWorks [20] y se fabricó con tubo circular de acero al carbono comercial referenciado como ASTM A36, de 31,75 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor. El piso se construyó con plancha de acero antideslizante de 3 mm, 154 cm de longitud y 70 cm de ancho. La geometría mantuvo despejada la zona central para permitir el ingreso de la silla y distribuyó las cargas hacia los apoyos de tres ruedas. El modelado previo es una práctica frecuente en vehículos adaptados porque facilita definir dimensiones, ubicación de componentes y condiciones iniciales de estabilidad [6]–[8], [35]–[39].

La Fig. 1 presenta las cotas generales usadas como guía para el corte y ensamblaje, mientras que la Fig. 2 muestra la configuración isométrica del conjunto tubular y el recinto central previsto para la silla.

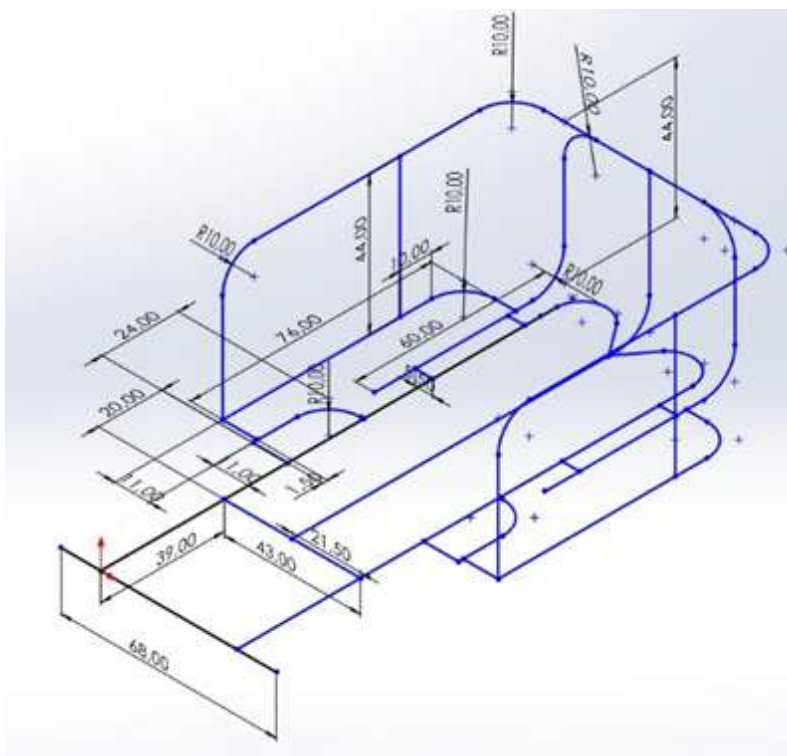


Figura 1. Plano dimensional del chasis elaborado en SolidWorks.



Figura 2. Vista isométrica del modelo CAD del chasis

Tabla 1

Parámetros físicos principales

Parámetro	Valor	Unidad
Masa del prototipo	130	kg
Carga silla + usuario	80	kg
Masa total de cálculo	210	kg
Piso antideslizante	$154 \times 70 \times 0,3$	cm
Rampa	90×80	cm
Masa de la rampa	20	kg
Ruedas	3.00×8	—
Radio efectivo	0,160	m

La fabricación incluyó medición, corte, preparación y soldadura con electrodo. Posteriormente se instaló la plancha antideslizante, los soportes, las ruedas y las cajas destinadas a los sistemas eléctricos. La Fig. 3 resume dos etapas del proceso: preparación de elementos metálicos y corte de la plancha.

Figura 3. Proceso de fabricación: (a) preparación y soldadura de elementos; (b) corte de la plancha de piso.



Sistema de propulsión y almacenamiento

La propulsión se implementó con un motor BLDC de 1000 W y un controlador de 60 V, 16,6 A nominales y 28 A máximos. El banco principal estuvo compuesto por cinco baterías de

plomo-ácido de 12 V y 23 Ah conectadas en serie, obteniéndose 60 V nominales y 23 Ah. La conexión en serie suma voltajes y conserva la capacidad en amperios-hora. El conjunto incluyó acelerador, selector de tres niveles de velocidad, avance y reversa, pantalla digital, luces, direccionales y claxon. Los motores BLDC y sus controladores son ampliamente utilizados en prototipos de movilidad asistida por su regulación electrónica de velocidad y menor desgaste mecánico respecto de motores con escobillas [13]–[17].

$$E = V \cdot C \quad (1)$$

$$I = P / V \quad (2)$$

$$P = V \cdot I \quad (3)$$

El cargador del banco principal especificó una salida entre 60 y 74 V y una corriente de $2,8 \text{ A} \pm 0,2 \text{ A}$. Cada batería alcanzó aproximadamente 14,80 V al finalizar la carga, equivalente a cerca de 74 V para las cinco unidades conectadas en serie. La Fig. 4 muestra el controlador y la etiqueta del cargador utilizados.

(a)



(b)



Figura 4. Componentes eléctricos principales: controlador electrónico y etiqueta del cargador de 60–74 V y 2,8 A.

Automatización de la rampa

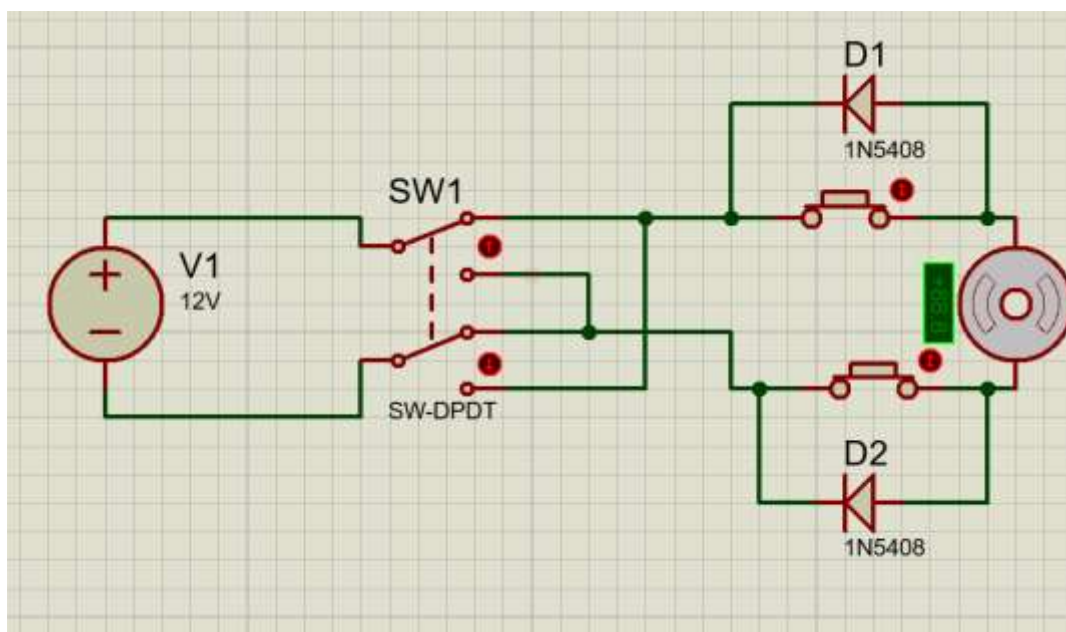
La rampa automática fue accionada por un motorreductor de limpiaparabrisas de 24 V nominales. En las pruebas se alimentó mediante una batería independiente de 12 V y 23 Ah, condición en la que elevó la rampa de 20 kg sin bloqueo y con una corriente máxima aproximada de 3 A. El movimiento rotacional se transmitió por medio de una polea y un cable de acero.

La inversión del sentido de giro se realizó con un interruptor DPDT de seis terminales y tres posiciones: subida, neutro y bajada. Dos interruptores de final de carrera abrieron el circuito al alcanzar los extremos. Cada final de carrera se conectó en paralelo con un diodo 1N5408, de

modo que el movimiento quedara interrumpido en el sentido que alcanzó el límite, pero pudiera restablecerse al invertir la polaridad. Las conexiones se recubrieron con gel aislante bicomponente como protección física frente al contacto accidental y la humedad.

La lógica del circuito se verificó en Proteus y el montaje mecánico se inspeccionó durante pruebas repetidas. La Fig. 5 presenta el esquema de inversión y limitación de recorrido; la Fig. 6 muestra la polea y el cable instalados.

Figura 5. Circuito simulado en Proteus para inversión de polaridad y detención mediante finales de carrera.



(a)



(b)



Figura 6. Sistema de transmisión de la rampa: (a) disposición del cable de acero; (b) detalle de la polea.

Análisis estático en SolidWorks Simulation

El chasis se evaluó mediante un análisis estático con malla de viga. Este enfoque representa cada tubo por su eje y las propiedades de la sección transversal, por lo que reduce

el costo computacional y permite identificar rápidamente zonas de mayor esfuerzo. El modelo reportó 656 nodos y 486 elementos de viga. La simulación no reproduce de forma detallada cordones de soldadura, perforaciones, holguras, defectos de fabricación, cargas de impacto, fatiga o vibraciones; por ello se interpreta como una validación estructural preliminar y no como una certificación [20].

Modelo de carga y descarga en MATLAB

MATLAB [21] se utilizó para estimar el consumo energético en una ruta plana. La fuerza resistente total se representó mediante la suma de la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica. Se consideraron una masa total de 210 kg, gravedad de 9,81 m/s², coeficiente de rodadura de 0,02, densidad del aire de 1,225 kg/m³, coeficiente aerodinámico de 0,6, área frontal de 1,2 m² y eficiencia global de 88 %.

$$F_t = C_r M g + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (4)$$

$$P_e = (F_t \cdot v) / \eta \quad (5)$$

$$I_d = P_e / V \quad (6)$$

$$t_d = (V \cdot C) / P_e \quad (7)$$

La carga se calculó a partir de $t = C/I$. El tiempo ideal de 23 Ah/2,8 A es 8,21 h y se agregó 15 % para representar pérdidas y la etapa final de tensión constante, obteniéndose 9,45 h. La descarga se evaluó a velocidades representativas de 19, 25 y 30 km/h, correspondientes a los tres niveles indicados por la pantalla. El código inicial también permitió una corrida a 35 km/h, pero este valor se consideró fuera del rango máximo observado y no se utilizó como resultado principal.

Procedimiento de pruebas

Se realizó una inspección visual de uniones, cableado y sujeción de componentes; se verificaron los voltajes de las baterías; se comprobaron luces, direccionales, claxon, acelerador, niveles de velocidad, avance y reversa; se accionó repetidamente la rampa y se cronometraron sus tiempos; se verificó la actuación de los finales de carrera; y se comprobó el acceso y la sujeción de una silla de ruedas convencional. Las velocidades se tomaron de la pantalla digital integrada, sin contraste con GPS o radar.

Análisis de Resultados

Comportamiento estructural del chasis

La masa final del prototipo, incluyendo estructura, baterías, rampa y componentes instalados, fue de 130 kg. Para los cálculos se añadió una carga prevista de 80 kg

correspondiente a la silla y el usuario, obteniéndose 210 kg. El análisis estático produjo una tensión axial y de flexión máxima de $2,279 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, equivalente a 22,79 MPa, localizada en el elemento 445. El desplazamiento resultante máximo fue $2,460 \times 10^{-1} \text{ mm}$, es decir, 0,246 mm, localizado en el nodo 157.

Tabla: 2

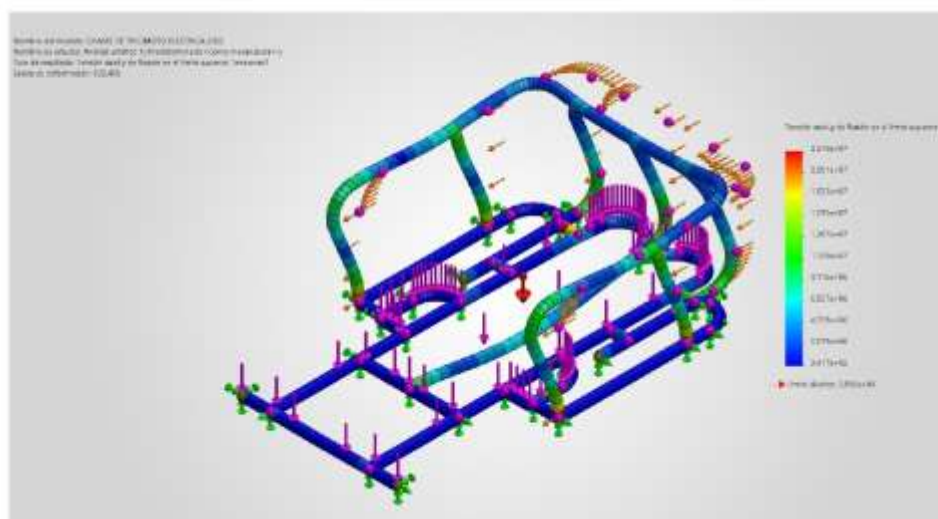
Resultados principales del análisis estático

Resultado	Máximo	Ubicación
Tensión axial y de flexión	22,79 MPa	Elemento 445
Desplazamiento URES	0,246 mm	Nodo 157

$$n \approx S_y / \sigma_{\text{max}} = 250 / 22,79 \approx 10,97 \quad (8)$$

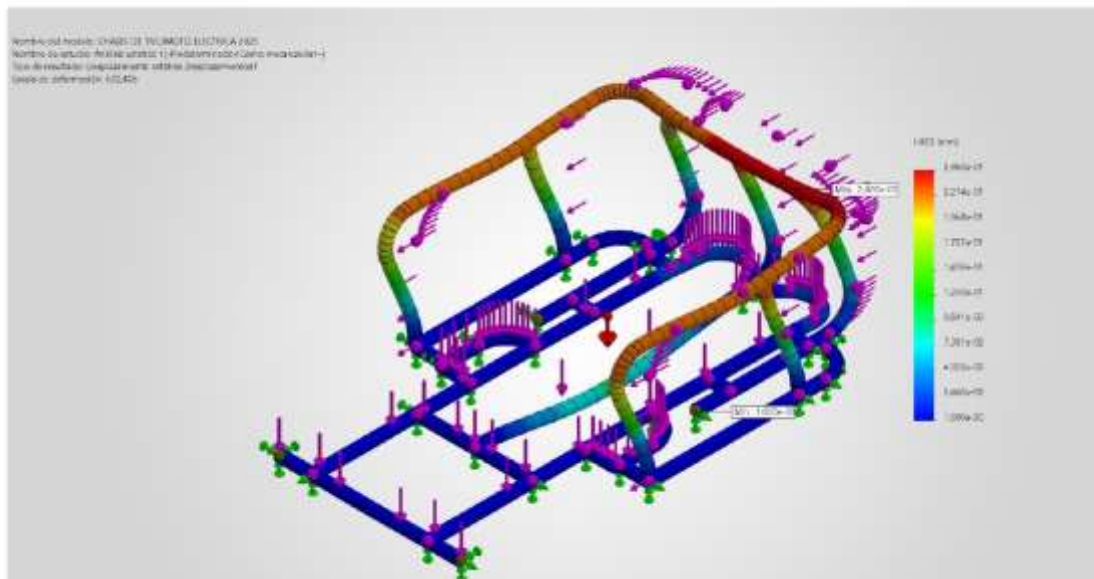
La relación de 10,97 se obtuvo comparando la tensión máxima con un límite elástico de referencia de 250 MPa. Este valor no debe considerarse un factor de seguridad definitivo porque depende de las cargas, restricciones, propiedades asignadas y simplificaciones del modelo. Aun así, la tensión calculada se mantiene significativamente por debajo del límite de referencia y el desplazamiento es pequeño frente a las dimensiones generales del vehículo. La Fig. 7 presenta la distribución de tensión axial y de flexión. Los colores de menor intensidad corresponden a zonas menos solicitadas, mientras que los tonos cálidos identifican los valores más elevados. La mayor demanda aparece en uniones, cambios de dirección y zonas donde convergen cargas. El color rojo representa el máximo relativo del estudio y no implica por sí solo una falla del material.

Figura 7. Distribución de tensión axial y de flexión en el chasis



La Fig. 8 muestra el desplazamiento resultante URES, definido como la combinación de las componentes de desplazamiento en los ejes X, Y y Z. La magnitud máxima de 0,246 mm indica una respuesta rígida en las condiciones estáticas modeladas. Sin embargo, la validación debe complementarse con pruebas físicas de carga, inspección de soldaduras y análisis dinámico.

Figura 8. Distribución de desplazamientos resultantes del chasis.



Geometría y funcionamiento de la rampa

La rampa tuvo 0,90 m de longitud, 0,80 m de ancho, 20 kg de masa y 8° de inclinación respecto del suelo. La geometría se representó como un triángulo rectángulo, donde la longitud corresponde a la hipotenusa. La altura y proyección horizontal se obtuvieron mediante las ecuaciones (9) y (10), mientras que la pendiente porcentual se calculó con la ecuación (11).

$$h = L \sin \theta = 0,90 \sin 8^\circ = 0,125 \text{ m} \quad (9)$$

$$x = L \cos \theta = 0,90 \cos 8^\circ = 0,891 \text{ m} \quad (10)$$

$$\text{Pendiente} = 100 \tan 8^\circ = 14,05 \% \quad (11)$$

Tabla 3

Parámetros geométricos de la rampa

Parámetro	Valor	Observación
Longitud	0,90 m	Superficie

Parámetro	Valor	Observación
Ancho	0,80 m	Acceso
Masa	20 kg	Estructura
Ángulo	8°	Respecto al suelo
Altura	0,125 m	$L \cdot \sin \theta$
Proyección	0,891 m	$L \cdot \cos \theta$
Pendiente	14,05 %	$100 \cdot \tan \theta$

El resultado confirma que 8° no equivale a 8 % de pendiente. La facilidad de acceso depende también de la superficie antideslizante, el ancho útil, la continuidad entre suelo y plataforma, los bordes laterales y las capacidades del usuario [10]–[12], [22]. Por ello, el prototipo no se presenta como una rampa fija certificada.

Desempeño eléctrico y relación velocidad–rotación

La energía nominal del banco fue 1380 Wh (1,38 kWh). La corriente nominal teórica para 1000 W a 60 V fue 16,67 A, prácticamente igual a los 16,6 A del controlador. La potencia nominal asociada al controlador fue 996 W y su capacidad eléctrica máxima temporal fue 1680 W. Esta última no representa potencia mecánica continua del motor, sino la capacidad de permitir corrientes elevadas durante arranques o esfuerzos transitorios.

Tabla 4:

Especificaciones del sistema eléctrico

Componente	Especificación	Función
Motor	BLDC, 1000 W	Propulsión
Controlador	60 V; 16,6/28 A	Control
Baterías	5 × 12 V, 23 Ah	60 V, 23 Ah
Cargador	60–74 V; 2,8 A	Carga
Mandos	1–2–3 y D/R	Operación

El radio efectivo de rodadura se estimó como el promedio de 155 y 165 mm, obteniéndose 0,160 m. La circunferencia resultó 1,005 m por vuelta. Con esta medida se calcularon las revoluciones equivalentes para las velocidades representativas de los tres niveles.

$$C = 2\pi R_e = 2\pi(0,160) = 1,005 \text{ m/vuelta} \quad (12)$$

Tabla 5

Velocidad indicada y rotación equivalente

Nivel	Rango	Representativa	Rotación
1	18–20 km/h	19 km/h	315 rpm
2	24–26 km/h	25 km/h	415 rpm
3	28–32 km/h	30 km/h	497 rpm

Las revoluciones calculadas son equivalencias matemáticas. La pantalla puede depender de parámetros programados, número de polos o pulsos del sensor; por ello se recomienda contrastar estas lecturas con GPS o tacómetro en una evaluación posterior.

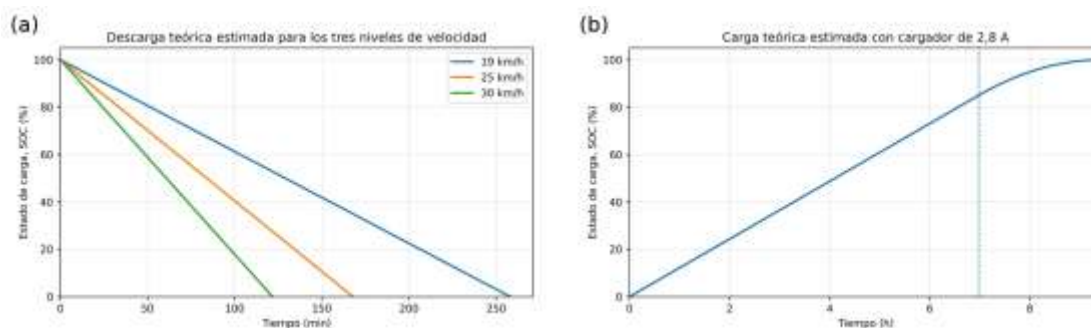
Simulación energética en MATLAB**Tabla 6**

Resultados teóricos de descarga

Velocidad	Potencia	Corriente	Tiempo
19 km/h	320,8 W	5,35 A	258,1 min
25 km/h	493,0 W	8,22 A	168,0 min
30 km/h	680,2 W	11,34 A	121,7 min

El incremento de velocidad elevó la resistencia aerodinámica y redujo el tiempo teórico de funcionamiento. A 19 km/h se estimaron 258,1 min, mientras que a 30 km/h el valor disminuyó a 121,7 min. Estas cifras asumen ruta plana, parámetros constantes, uso completo de la capacidad nominal y una eficiencia fija; no representan autonomía medida. Las baterías de plomo-ácido presentan pérdidas adicionales por temperatura, envejecimiento, profundidad de descarga y efecto de la corriente, por lo que una validación real requiere registrar voltaje, corriente, distancia y tiempo [17]. La Fig. 9 muestra las curvas utilizadas en el análisis: descarga teórica para los tres niveles y carga aproximada con el cargador de 2,8 A. El tiempo de carga estimado fue 9,45 h desde 0 % hasta 100 %.

Figura 9. Resultados en MATLAB: (a) descarga teórica a 19, 25 y 30 km/h; (b) carga estimada con 2,8 A.



Funcionamiento de la rampa y pruebas del prototipo

Durante la elevación, la corriente máxima del motor auxiliar fue aproximadamente 3 A con una alimentación de 12 V, equivalente a una potencia eléctrica máxima aproximada de 36 W. El reductor y la transmisión por polea permitieron elevar la rampa a pesar de operar el motor por debajo de su tensión nominal de 24 V. La velocidad disminuida resultó compatible con el movimiento controlado requerido.

Tabla 7

Resultados de las pruebas funcionales

Prueba	Resultado	Interpretación
Subida de rampa	17,42 s	Recorrido completo
Bajada de rampa	13,30 s	Recorrido completo
Finales de carrera	Operativos	Corte en ambos límites
Avance y reversa	Operativos	Mando D/R
Velocidades	18–32 km/h	Lectura en pantalla
Luces y claxon	Operativos	Controles auxiliares
Acceso de silla	Funcional	Ingreso y ubicación
Frenos de tambor	Operativos	Sin medir distancia

La subida requirió 4,12 s más que la bajada, diferencia coherente con el trabajo necesario para elevar la masa de la rampa. Los finales de carrera detuvieron el motor en ambos extremos

y los diodos permitieron iniciar el movimiento contrario. Como práctica de operación, el interruptor debe regresar a la posición neutra una vez alcanzado el límite. Para una versión posterior se recomienda incorporar fusible cercano al borne positivo, desconexión de emergencia y relés que eviten conducir directamente la corriente del motor a través de los finales de carrera.

La Fig. 10 presenta el prototipo ensamblado y una demostración de la rampa. El acceso de la silla y el funcionamiento de los subsistemas se verificaron en un espacio controlado. El sistema incorporó arneses básicos de sujeción, aspecto relevante porque la seguridad del ocupante depende tanto del anclaje de la silla como de la retención de la persona [18], [19].

Figura 10. Prototipo construido: demostración del acceso mediante la rampa y triciclo eléctrico ensamblado.

(a)



(b)



Limitaciones

El prototipo fue concebido con finalidad funcional-demostrativa. No se realizaron ensayos normalizados de frenado, estabilidad lateral, radio de giro, fatiga, resistencia de soldaduras, impermeabilidad, compatibilidad electromagnética o autonomía real hasta descarga profunda. Las velocidades proceden de la pantalla integrada y el análisis estático utiliza una malla de viga idealizada. En consecuencia, los resultados respaldan la integración académica del diseño, pero no constituyen homologación estructural, vehicular o de seguridad.

Conclusiones

Se diseñó y construyó un prototipo de triciclo eléctrico de 130 kg con espacio para una silla de ruedas convencional, motor BLDC de 1000 W, banco de 60 V y rampa automática. La configuración permitió integrar de forma funcional los subsistemas mecánico, eléctrico y de control. El análisis estático de SolidWorks Simulation produjo una tensión máxima de 22,79 MPa y un desplazamiento máximo de 0,246 mm. La comparación con un límite elástico de referencia de 250 MPa sugiere un margen amplio bajo las condiciones idealizadas, aunque no reemplaza ensayos físicos ni análisis dinámicos.

El banco principal presentó una energía nominal de 1,38 kWh y una corriente nominal teórica de 16,67 A, coherente con el controlador de 16,6 A. MATLAB estimó tiempos de descarga entre 121,7 y 258,1 min para velocidades representativas de 30 y 19 km/h, y un tiempo de carga aproximado de 9,45 h; estos valores deben considerarse teóricos. La rampa de 0,90 m por 0,80 m fue accionada por un motorreductor alimentado a 12 V, con una corriente máxima cercana a 3 A. Los tiempos medidos fueron 17,42 s en subida y 13,30 s en bajada. El circuito con DPDT, finales de carrera y diodos 1N5408 cumplió la función de inversión y detención automática.

Las pruebas controladas verificaron el acceso de la silla, el avance, la reversa, los mandos auxiliares y el accionamiento de la rampa. El resultado demuestra viabilidad funcional dentro de un entorno académico, pero requiere mejoras y validaciones antes de cualquier uso en vías públicas.

Referencias Bibliográficas

- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, “Estadísticas de discapacidad,” 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos, Presentación de resultados nacionales: Censo Ecuador 2022. Quito, Ecuador, 2023.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos, Resultados principales: Santo Domingo de los Tsáchilas. Censo Ecuador 2022. Quito, Ecuador, 2024.
- T. A. Garande, P. D. Sonawane, S. T. Chavan y G. S. Barpande, “Design of innovative motorized tricycle for the disabled person,” *International Engineering Research Journal*, Special Issue 2, pp. 700–705, 2015.
- A. A. Mohekar, S. V. Kendre, T. N. Shah, P. D. Sonawane y S. T. Chavan, “Design of an innovative retrofitted tricycle for a disabled person,” *International Journal of Advanced Research in Science and Engineering*, vol. 4, no. 7, pp. 275–288, 2015.
- R. S. Guanga Balseca y D. I. Zapata Ramos, Implementación de un prototipo de tricimoto para personas con paraplejía. Latacunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- F. S. Pesántez Palomeque y G. J. Pachar Jiménez, Diseño del prototipo de un vehículo monoplaza para personas con paraplejía. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay, 2016.
- J. S. Villarreal, W. Benavides, Á. Ibarra, T. Piamba y R. Morán, “Desarrollo de un triciclo para personas con capacidad diferencial en sus miembros inferiores,” *Ingeniare*, vol. 17, no. 30, pp. 29–45, 2021, doi: 10.18041/1909-2458/ingeniare.30.7924.
- Real Patronato sobre Discapacidad, “La accesibilidad universal.” [En línea]. Disponible: <https://www.rpdiscapacidad.gob.es/discapacidad-derechos-humanos/accesibilidad-universal.htm>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización, Accesibilidad de las personas al medio físico. Rampas, NTE INEN 2245:2016, Quito, Ecuador, 2016.
- Y. Park, S. Yoo, H. Kim, J. Choi, B. Son y J. Yook, “Study of anthropometry, range of motion, and muscle strength of individuals with spinal cord injury or amputation for the design of a driver’s seat in large agricultural equipment,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 23, art. 16025, 2022, doi: 10.3390/ijerph192316025.
- M. Sydor, M. Wiczorek, M. Hitka y M. Gejdoš, “Experimental study of persons with disability, wheelchairs, and car interaction,” *Military Logistics Systems*, vol. 59, pp. 263–286, 2023, doi: 10.37055/slw/186378.
-

- K. R. Kumar et al., "Design and fabrication of electric vehicle for physically challenged person," Int. J. Innovative Technology and Exploring Engineering, vol. 8, no. 10, pp. 4297–4300, 2019, doi: 10.35940/ijitee.J1064.0881019.
- P. Kumbhar, P. Khabale, P. Bubane, A. Koli y S. S. Parve, "Electric tricycle for physically challenged person," Int. J. Multidisciplinary Research in Science, Engineering and Technology, vol. 7, no. 3, 2024.
- W. Vargas, "Diseño y construcción del sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores," Infociencia, vol. 9, pp. 44–52, 2015.
- D. S. Torres Llerena y E. G. Huacho Iturralde, Diseño e implementación de un tren motriz eléctrico eficiente para un vehículo monoplaza urbano. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021.
- B. Romowicz, M. Machno y K. Weigel-Milleret, "A study on the electric energy consumption of a lightweight four-wheeled vehicle powered by the hub-mounted brushless direct-current hub motors designed for disabled people," Advances in Science and Technology Research Journal, vol. 19, no. 10, pp. 173–187, 2025, doi: 10.12913/22998624/208036.
- K. Frost, G. Bertocci y C. Smalley, "Wheelchair tiedown and occupant restraint practices in paratransit vehicles," PLOS ONE, vol. 13, no. 1, art. e0186829, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0186829.
- K. D. Klinich, M. A. Manary, K. J. Boyle, N. R. Orton y J. Hu, Development of an automated wheelchair tiedown restraint system, DOT HS 813 275, National Highway Traffic Safety Administration, 2022, doi: 10.21949/1530262.
- Dassault Systèmes, "SOLIDWORKS 3D CAD." [En línea]. Disponible: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad>
- The MathWorks, Inc., "MATLAB." [En línea]. Disponible: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- F. D. Castro Jaramillo, Dispositivo para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automóviles: Estructura de elevación mejorada. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2020.
- B. A. Cango Cango y A. G. Espinoza Reyes, Diseño y construcción de un Trike Bike híbrido configurado para personas de la tercera edad como alternativa de movilidad. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
-

- C. A. Pinos Tenelanda, S. S. Soto Guzmán y E. J. Yunga Lucero, “Desarrollo de un prototipo de triciclo para uso de personas con reducción de movilidad física en extremidades inferiores,” *Revista Juventud y Ciencia Solidaria*, vol. 4, pp. 42–46, 2020.
- J. Sridevi, M. N. Narsaiah, L. Hussain, M. Vaqur y B. Singh, “Design and development of embedded based smart wheelchair convertible tricycle for physically challenged persons,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 3263, no. 1, art. 090014, 2025, doi: 10.1063/5.0261623.
- R. Sharma, S. Dwivedi, S. Agarwal, A. Kashyap, P. Singh y R. R. Yadav, “Affordable solar electric tricycle for assistive mobility: Design, implementation and performance analysis,” *Journal of Innovation and Technology*, no. 2, 2026.
- A. Kalshetti, B. Atole, Y. Mhamane, V. Naidu y N. Patil, “Design and development of E-tricycle for physically challenged people,” *Int. Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 3, no. 6, pp. 3207–3213, 2021.
- F. C. Gonzalez Cruz, *Propuesta de vehículo autónomo para discapacitados en la región Piura*. Piura, Perú: Universidad de Piura, 2019.
- J. F. Sánchez Quezada y J. I. Sánchez Quezada, *Diseño de un prototipo de handbike con asistencia eléctrica acoplable a una silla de ruedas*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- M. Jayakumar, K. Keerthi Prabaka, B. Viji y M. Sathik Raja, “Solar powered tricycle for specially abled person,” *Int. Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 550–553, 2024, doi: 10.26562/ijirae.2024.v1105.16.
- T. A. Garande, P. D. Sonawane, S. T. Chavan y G. S. Barpande, “Review of motorized tricycle for the disabled person,” *International Journal of Science and Research*, vol. 4, no. 2, pp. 316–320, 2015. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/296537613_Review_of_Motorized_Tricycle_for_the_Disabled_Person
- Y. B. Espejo Palacios, *Diseño de una silla de ruedas con mecanismo bípedo para personas con paraplejia en la región Junín*. Huancayo, Perú: Universidad Continental, 2025. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/18476>
- A. Kouzelis e I. Vlamis, “Wheelchair design for patients with spinal cord injuries,” *Acta Orthopaedica et Traumatologica Hellenica*, vol. 73, no. 3, pp. 276–283, 2022. [En línea]. Disponible: <https://eexot-journal.com/aoet/article/download/290/160>
-

- M. A. Lino Encalada y G. A. González Puertas, Diseño de un dispositivo de ayuda técnica para personas con discapacidad motora en extremidades inferiores. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/62875/1/T-114574%20INGE-2543%20%20Miguel%20Lino-Gustavo%20Gonz%c3%a1lez.pdf>
- P. J. Mendoza Criollo y D. F. Tapia Tabango, Evaluación de las características de diseño y manufactura de las carrocerías de autobuses interprovinciales en el Ecuador, con énfasis en la respuesta que estas brindan en caso de presentarse un vuelco lateral. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay, 2021. [En línea]. Disponible: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10737/1/16284.pdf>
- S. V. Bermeo Ojeda y L. R. Fogacho Chilluiza, Diseño y construcción de los sistemas de chasis, carrocería, dirección, frenos y suspensión para un vehículo monoplaza eléctrico. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2022. [En línea]. Disponible: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstreams/17801113-d438-489e-b786-ea3aa38c5ffd/download>
- J. J. Vega Moreira, Diseño y construcción de la carrocería de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores. Latacunga, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstreams/22f29c47-8988-49b1-ae7d-20be35439152/download>
- C. A. Soriano Vázquez, Diseño mecánico de dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas manual, tesis de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., México, 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1079/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- J. D. Briones Vera, Construcción de un vehículo tubular para las personas parapléjicas que pertenecen y estén relacionadas con el Consejo Nacional de Igualdad y Discapacidad (CONADIS) del cantón El Empalme, zona de influencia de la ciudad de Quevedo, año 2015. Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2015. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uteg.edu.ec/bitstreams/f311d59c-0bba-460c-9f8e-8047d10da3e9/download>
-