



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i3.4455>

Ciencias de la Salud  
Artículo de Investigación

*Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora*

*Manufacturing and testing of a standing wheelchair*

*Fabrico e ensaio de uma cadeira de rodas vertical*

Milton Jhoel Villacrés-Vega <sup>I</sup>  
[milton.villacres@epoch.edu.ec](mailto:milton.villacres@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0000-7677-4764>

Omar Sebastián Muñoz-Merino <sup>II</sup>  
[omar.munoz@epoch.edu.ec](mailto:omar.munoz@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-0933-4966>

José Luis Cortés-Llanganate <sup>III</sup>  
[jcortes@epoch.edu.ec](mailto:jcortes@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-3228-2669>

Christopher Andrés Cunalata-Achachi <sup>IV</sup>  
[christopher.cunalata@epoch.edu.ec](mailto:christopher.cunalata@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-2855-3873>

**Correspondencia:** [milton.villacres@epoch.edu.ec](mailto:milton.villacres@epoch.edu.ec)

\***Recibido:** 02 de mayo de 2025 \***Aceptado:** 20 de junio de 2025 \* **Publicado:** 15 de julio de 2025

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

### Resumen

El objetivo de este trabajo fue construir y probar una silla de ruedas bipedestadora destinada a personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejia, o problemas de movilidad de uso en interiores. La manufactura se llevó a cabo teniendo en cuenta el estudio teórico previo realizado por Mario Herrera en el cual se destaca el diseño mecánico y su respectiva simulación para la validación de los resultados obtenidos. A posterior, se evaluó la factibilidad constructiva por medio del análisis del diseño para la manufactura, se reestructuró algunos elementos del bipedestador buscando optimizar el peso y reducir el sobredimensionamiento, se justificó la selección del material desde el punto de vista técnico-financiero y ergonómico. Además, aplicando el código AISC-360-16, se dimensionó las juntas soldadas. También se seleccionaron los elementos estándar como: actuadores, ruedas y elementos del sistema de control electrónico. A posterior, se planificó el proceso constructivo por medio de: tablas, flujogramas y se elaboraron hojas de proceso de manufactura. En esta última, se destacan importantes factores como: maquinaria, herramientas de control, características de soldadura y plegado de chapa metálica. Finalmente, se obtuvo el prototipo y se evaluó su funcionalidad por medio de la experimentación directa con usuarios. Se evaluaron aspectos funcionales como: respuesta eléctrica, tiempos de ascenso y traslación, además de aspectos ergonómicos como: adaptabilidad, confort y calidad. Se concluyó finalmente que el prototipo funciona adecuadamente para la finalidad por el cual fue diseñado y provee las características suficientes para satisfacer las necesidades del usuario.

**Palabras claves:** Manufactura; pruebas; silla bipedestadora; discapacidad; paraplejia.

### Abstract

The objective of this work was to build and test a standing wheelchair for adults with physical disabilities such as paraplegia or mobility issues for indoor use. Manufacturing was carried out based on the prior theoretical study conducted by Mario Herrera, which highlights the mechanical design and its corresponding simulation for validation of the results obtained. Subsequently, the construction feasibility was evaluated through analysis of the manufacturing design. Some elements of the standing wheelchair were restructured to optimize weight and reduce oversizing. The material selection was justified from a technical-financial and ergonomic perspective. Furthermore, the welded joints were dimensioned using AISC-360-16 code. Standard elements such as actuators, wheels, and electronic control system components were also selected. The construction process was subsequently

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

planned using tables and flowcharts, and manufacturing process sheets were developed. In the latter, important factors stand out, such as machinery, control tools, welding characteristics, and sheet metal bending. Finally, the prototype was obtained and its functionality was evaluated through direct user testing. Functional aspects such as electrical response, ascent and travel times, as well as ergonomic aspects such as adaptability, comfort, and quality were evaluated. It was ultimately concluded that the prototype functions adequately for its intended purpose and provides sufficient features to meet the user's needs.

**Keywords:** Manufacturing; testing; standing chair; disability; paraplegia.

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi construir e testar uma cadeira de rodas vertical para adultos com deficiências físicas, como paraplegia ou problemas de mobilidade, para utilização em ambientes interiores. O fabrico foi realizado com base no estudo teórico prévio conduzido por Mario Herrera, que destaca o projeto mecânico e a sua correspondente simulação para validação dos resultados obtidos. Posteriormente, a viabilidade da construção foi avaliada através da análise do projeto de fabrico. Alguns elementos da cadeira de rodas vertical foram reestruturados para otimizar o peso e reduzir o sobredimensionamento. A seleção do material foi justificada numa perspetiva técnico-financeira e ergonómica. Além disso, as juntas soldadas foram dimensionadas utilizando o código AISC-360-16. Foram também selecionados elementos padrão, como atuadores, rodas e componentes do sistema de controlo eletrónico. O processo de construção foi posteriormente planeado utilizando tabelas e fluxogramas, e foram desenvolvidas folhas de processo de fabrico. Neste último, destacam-se fatores importantes, como a maquinaria, as ferramentas de controlo, as características de soldadura e a dobragem de chapas metálicas. Por fim, o protótipo foi obtido e a sua funcionalidade foi avaliada através de testes diretos com o utilizador. Foram avaliados aspetos funcionais como a resposta elétrica, tempos de subida e de deslocação, bem como aspetos ergonómicos como a adaptabilidade, conforto e qualidade. Concluiu-se, por fim, que o protótipo funciona adequadamente para o fim pretendido e oferece recursos suficientes para satisfazer as necessidades do utilizador.

**Palavras-chave:** Fabrico; testes; cadeira para estar de pé; deficiência; paraplegia.

## Introducción

La presente investigación se orienta a la manufactura y pruebas de una silla bipedestadora para personas con discapacidad a nivel de paraplejía o con problemas de movilidad de uso en interiores, la misma que se define como un trabajo de tipo proyecto técnico. Su finalidad consiste en el desarrollo de un análisis de tipo ingenieril de materiales, procesos de manufactura, ensamble y pruebas de una silla que constituya una herramienta para facilitar su movilidad. La característica principal del proyecto es contribuir mecánicamente a un individuo o paciente para que pueda movilizarse con mayor facilidad y realizar actividades del diario vivir como: aseo, movilización, cocina etc (Polo, 2018).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Si bien en muchas ocasiones la limitada movilidad inferior es causada por discapacidades natas de un paciente, en otros casos es producto de un accidente o suceso que involucro el daño total o parcial del movimiento (Aterhortúa et al., 2021). Cualquiera que sea el caso, el requerimiento de un instrumento que pueda facilitar el desplazamiento del paciente es preciso. Cabe destacar que como tal el equipo no se usará como rehabilitador sino en su lugar como medio facilitador de movimiento (Aranda, 2016).

A lo largo de la historia han ido apareciendo diferentes modelos de sillas como es el caso de patentes alemanas, cuya estructura y funcionalidad se define por eslabones y un mecanismo que sirve para la actividad principal: la bipedestación (Rodríguez et al., 2025). A nivel local existen diferentes variantes logradas a través de estudio en trabajos de titulación, todas ellas con diferente estructura y análisis ingenieril dependiendo la ubicación.

En el ámbito académico, profesional y social, el interés de esta investigación es reforzar los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación ingenieril, proporcionando un sistema que en este caso cumpla con un objetivo comunitario el cual es: mejorar el estilo de vida de personas con discapacidad a nivel de paraplejía. La metodología para lograr el objetivo principal concurre en estos aspectos: optimización, fabricación y pruebas (Santos et al., 2023).

“Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en Ecuador existen 196.758 personas con discapacidad física, de los cuales un 25% posee inmovilidad motriz a nivel de extremidades inferiores.” (Villacrés y Zambrano, 2022) Como se aprecia, un porcentaje considerable de personas que padecen discapacidad física en general, pertenecen al grupo que posee paraplejía, es decir, pérdida total o parcial del movimiento de las extremidades inferiores. Este es un antecedente

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

---

importante debido a que marca la importancia de esta investigación y del mismo modo los beneficios de encontrar una solución práctica y económica a este problema.

Las patentes y diseños provistos hasta la actualidad parten de alrededor de 20 años de evolución y desarrollo, uno de estos fue publicado en el año de 1999 bajo el nombre de “Dispositivo de asistencia, provisto para ayudar a una persona con discapacidad a levantarse.” (Saavedra et al., 2013) Análogamente han surgido más diseños como por ejemplo en el año 2009, Hunzikier Kurt desarrolló un prototipo capaz de levantar a una persona sentada y ponerla de pie con fines de facilitación de movilidad (Saavedra et al., 2013).

Actualmente las universidades y cedes técnicas se han visto en la obligación de crear diseños mejorados y exponencialmente innovadores que cumplan con la finalidad antes mencionada. Siguiendo este criterio se puede mencionar algunos trabajos planteados por tesis como el propuesto por Barbero y Ortega en su trabajo que lleva por título “Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg” (Barbero y Ortega, 2015) entre otros.

### **Materiales y Métodos**

En el siguiente apartado, se pretende ejemplificar de una manera clara y concisa el procedimiento usado para planificar y ejecutar adecuadamente el proceso constructivo de la silla de ruedas bipedestadora. Consiste en un desarrollo sistemático que parte del análisis previo propuesto por Herrera hasta llegar al modelo final construido.

#### *Análisis de la matriz de calidad propuesta*

El análisis QFD (Quality Function Deployment), también conocido como casa de la calidad, es considerado una herramienta que permite indagar sobre los diversos parámetros de calidad pertinentes para que el producto satisfaga las necesidades del usuario. Esta estructura sirve de guía para identificar puntos de distinto nivel de relevancia, necesarios para obtener una calidad aceptable en términos ergonómicos. Además, sirve también para tener una idea del tipo de características que se necesitan para el proceso constructivo.

Aguirre y Hidalgo (2022) en el trabajo previo realizó un análisis respectivo de la matriz QFD, en la cual se enfoca diversos puntos que relacionan necesidades del usuario y las traduce en términos técnicos asimilables en diseño mecánico y procesos de manufactura para la materialización.

Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

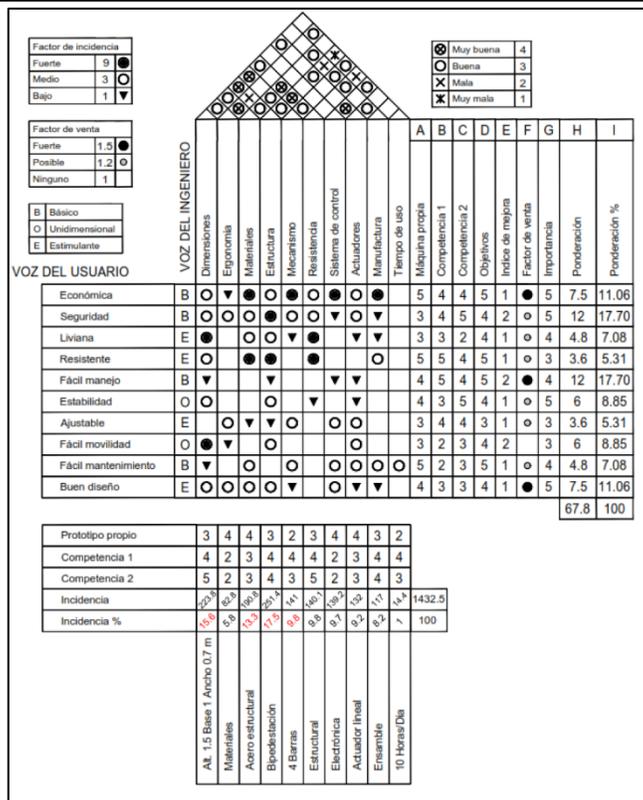


Figura 1.-Análisis QFD realizado por Herrera (2021)

A partir del diseño propuesto se evaluó inicialmente la funcionalidad de este, es decir, se debía garantizar que el equipo prestaría las condiciones necesarias para cumplir con el objetivo propuesto. Entonces, fue necesario evaluar aspectos técnicos/económicos y plantear un diseño enfocado a la factibilidad constructiva.

*Valoración de factibilidad constructiva*

Teniendo en cuenta que el proceso de diseño mecánico es un ente primordial para la materialización de un determinado producto, hay que mencionar que el personal encargado de la manufactura tiene la obligación de revisar los cálculos realizados, verificar la facilidad de construcción y asegurar que el producto final ensamblado cumplirá con el objetivo por el cual fue diseñado. Por lo cual, es necesario fundamentar adecuadamente parámetros como: selección del material, diseño estructural y diseño de juntas soldadas. A continuación, se analizan los puntos antes descritos.

*Selección del material*

La estructura del prototipo de la silla bipedestadora, denominado como bastidor, es el principal componente de este, puesto que será el encargado de soportar el peso del usuario junto a las distintas

### Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

fuerzas que se pueden generar de forma externa, por ende, se debe considerar el diseño mecánico teniendo en cuenta la resistencia del material necesaria para soportar las cargas generadas. Si bien, el material asignado por Herrera para el bastidor, existen otros criterios a considerar como la disponibilidad, el costo de adquisición, la viabilidad y tiempo de construcción, el mantenimiento y la seguridad de uso. En la figura 2 se muestra el bastidor:

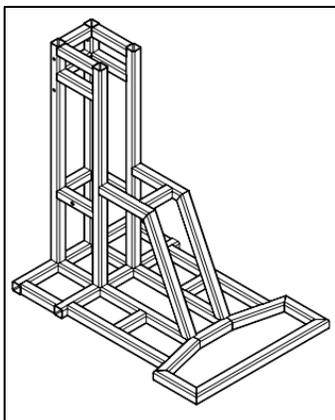


Figura 2. Bastidor del bipedestador

Actualmente el desarrollo científico y tecnológico ha permitido que existan más materiales que en el pasado y aunque esto ha contribuido positivamente a las características y propiedades de los materiales, también dificulta el proceso de selección, al tener más alternativas. Debido a esto surge la necesidad de utilizar una metodología para seleccionar el material óptimo para esta aplicación (Castillo y Nacimba, 2023).

La metodología de Michael Ashby busca optimizar el proceso de selección de materiales considerando un parámetro de rendimiento ( $P$ ), este a su vez depende de otros parámetros como son las funciones requeridas ( $F$ ), los parámetros geométricos ( $G$ ) y las propiedades del material ( $M$ ).

Para comprender de mejor manera esta metodología se tiene la siguiente formula:

$$P = f(F, G, M)$$

Finalmente se obtiene una expresión análoga a la ecuación de desempeño de Ashby, en donde el término  $\sigma/\rho$  corresponde al índice del material. Además, se establecen los siguientes índices:

- $F$  (Requerimiento funcional) = Variable  $F$  (fuerza)
- $G$  (Parámetro geométrico) = Variable  $L$  (longitud)
- $M$  (Propiedad del material) = Variable  $\rho$  (densidad)

### Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

Teniendo en cuenta la proporcionalidad de la ecuación se concluye que para minimizar el peso del elemento se debe incrementar el índice del material.

$$\downarrow m = \left(\frac{\sigma}{\rho}\right) \uparrow$$

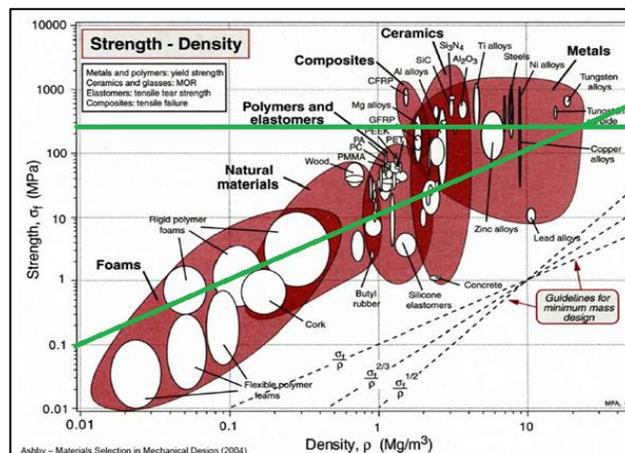


Figura 3. Selección de material usando metodología de Ashby

Ashby establece un grupo de materiales seleccionables, en donde destacan algunos materiales metálicos, cerámicos y compuestos. Estos materiales son recomendados, pero se debe optar por la alternativa que más se ajuste a la propuesta del proyecto, considerando la factibilidad constructiva y la reducción de costos. Ahora, teniendo en cuenta el criterio de seguridad para el paciente también es importante analizar el marco reglamentario legal para la fabricación de este tipo de elementos (A. Herrera, 2023).

La directiva 93/42/ CEE del Parlamento Europeo del 27 de octubre de 1998, menciona que un producto sanitario es cualquier dispositivo o equipo destinado por el fabricante a ser utilizado en seres humanos con fines de compensación de una lesión o deficiencia. Por tanto, se define a la silla de ruedas bipedestadora como un producto sanitario.

El anexo I del documento en mención referente a los requisitos esenciales que deben cumplir los productos, en el apartado 7 “Propiedades químicas, físicas y biológicas” indica que la selección de materiales utilizados debe considerar aspectos como la toxicidad, inflamabilidad, la compatibilidad con tejidos biológicos y líquidos corporales y minimizar el riesgo de residuos contaminantes. En el apartado 8 “Infección y contaminación microbiana” indica que los productos y sus procesos de

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

fabricación deben diseñarse en forma que se elimine o reduzca en medida de lo posible el riesgo de infección para el paciente, usuario o para terceros (93/42/ CEE).

El anexo X del mismo documento referente a los criterios de clasificación indica que los productos se clasifican en clase I, IIa, IIb y III en función de los riesgos y precauciones que se debe tener respecto a estos. Considerando la clase I como la de menor riesgo cuyos criterios de diseño y construcción queda en manos del fabricante siempre y cuando se garantice la seguridad del usuario (93/42/ CEE). Considerando la regla 1 de productos no invasivos presentada en este anexo, se define a la silla de ruedas bipedestadora como un producto de la clase I.

Teniendo en cuenta el grupo de materiales recomendados anteriormente y considerando los criterios de disponibilidad, facilidad de manufactura y reducción de costos, se selecciona el acero estructural ASTM A36 como material para la manufactura de la estructura de la silla de ruedas bipedestadora. Desde el punto de vista sanitario se va a realizar un recubrimiento con pintura electroestática para reducir los riesgos de contaminación microbiana, incrementar la resistencia a la corrosión y reducir la inflamabilidad.

### *Redimensionamiento del prototipo*

Citando el trabajo realizado por Herrera (2021), se llega a determinar que la fuerza de levantamiento correspondiente a un ángulo con el plano horizontal de 52,708° es:

$$F_L = 889,309 N$$

Considerando el sistema de referencia propuesto en la ilustración se puede descomponer esta fuerza en sus componentes cartesianas y, mediante las ecuaciones de diseño mecánico, recalculer el mecanismo para un factor de seguridad que no conlleve a un sobredimensionamiento y por lo tanto peso innecesario de la silla bipedestadora.

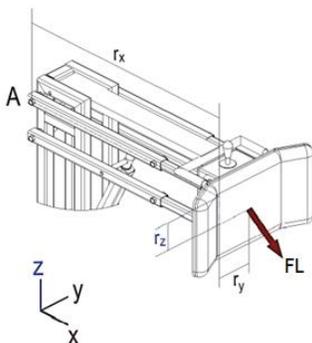


Figura 4. Traslado de fuerza de levantamiento a punto A

### Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

Se obtienen las siguientes fuerzas en el punto de interés:

$$\vec{F} = (135,408\vec{i} - 179,693\vec{k})N$$

$$\vec{M} = (-13387,128\vec{i} - 98754,987\vec{j} - 10087,924\vec{k})N * mm$$

Se selecciona una sección de menor longitud y espesor, en este caso se usa el catálogo de DIPAC teniendo en cuenta su disponibilidad permanente en el mercado:

TABLA I PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL PERFIL SELECCIONADO

Tubo estructural cuadrado 25x1.2 mm	
Área (cm <sup>2</sup> ):	1,14
Inercia (cm <sup>4</sup> ):	1,08

Se calculan los esfuerzos normales y cortantes producidos en la sección y siguiendo el criterio de Von Mises se calcula el esfuerzo equivalente y el factor de seguridad:

$$\sigma_{Eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * (\tau)^2} = \sqrt{(114,3 + 11,676)^2 + 3 * (0)^2}$$

$$\sigma_{Eq} = 125,976 Mpa$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{Eq}} = \frac{250 Mpa}{125,976 Mpa} = 1,984$$

Se destaca una reducción del factor de seguridad equivalente al 43%, es decir se ha pasado de 3,5 a 1,984, interpretándose como una reducción de sección, peso y costo constructivo. El proceso es repetitivo para los brazos telescópicos y la denominada platina de acople llegando a las siguientes observaciones:

- ✓ En el brazo telescópico se destaca una reducción del factor de seguridad equivalente al 42%, es decir se ha pasado de 4,5 a 2,612.
- ✓ En el acople se ha reducido de 2,3 a 1,726 el factor de seguridad, asegurando que el mecanismo no fallará.

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

### *Diseño de junta soldada*

Particularmente el proceso de soldadura es la manera por la cual los diversos elementos estructurales empieza a tomar forma para el prototipo. En el estudio previo no existe una justificación normada del diseño de la junta por lo que este procedimiento será debidamente desarrollado en este apartado.

Dado el diseño preliminar realizado por Aguirre y Hidalgo (2022) se propone la utilización del electrodo E6011 mediante soldadura de filete por todo el alrededor y una pierna de equivalente a 3 mm. El diseño de la junta soldada se realiza según la norma AISC-360 sección J en la unión con valor de carga más crítica. Para obtener las fuerzas internas generadas en la estructura base se utiliza SAP 2000. El tamaño mínimo de la pierna de soldadura se obtiene en función del espesor del material. Según la tabla J2.4 del AISC-360 para valores de espesor menores a 6 mm el tamaño de la pierna corresponde a 3 mm (1/8 in)(Peñañiel y Mogrovejo, 2024).

TABLE J2.4 Minimum Size of Fillet Welds	
Material Thickness of Thinner Part Joined, in. (mm)	Minimum Size of Fillet Weld, [a] in. (mm)
To 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Over 1/4 (6) to 1/2 (13)	3/16 (5)
Over 1/2 (13) to 3/4 (19)	1/4 (6)
Over 3/4 (19)	5/16 (8)

[a] Leg dimension of fillet welds. Single pass welds must be used.  
Note: See Section J2.2b for maximum size of fillet welds.

Figura 5. Tamaño mínimo de pierna de soldadura

La garganta de la soldadura equivaldrá a un valor de 2,121 mm. Para la identificación del punto crítico se usa SAP2000 usando un procedimiento enfocado en la asignación de propiedades geométricas y físicas para simular el comportamiento del mecanismo. En la siguiente figura se muestra el proceso a seguir para obtener resultados en el software mencionado.

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

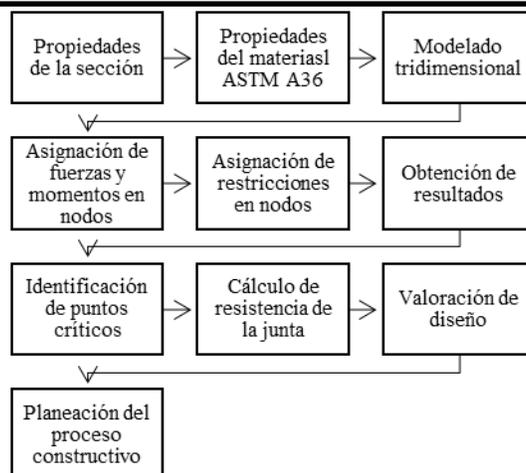


Figura 6. Proceso de análisis de resultados en SAP2000

El modelo tridimensional que se utilizó se muestra en la figura 7:

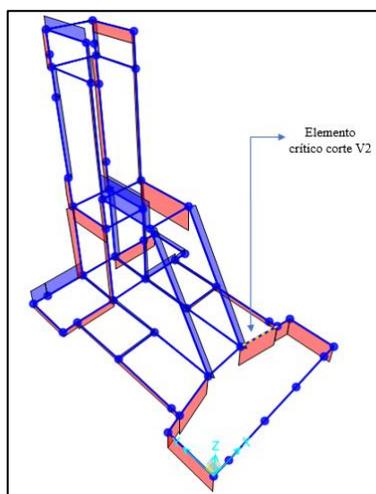


Figura 7. Resultados de fuerza cortante en el modelo 3D.

Obtenida la fuerza cortante máxima, se calcula la resistencia de la soldadura. Usando el electro E6011 se tiene una resistencia de 60 KSI a la tracción, el código indica que se debe tomar el 60% de este valor y multiplicarlo por el área efectiva. Se obtiene como resultado:

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$
$$R_n = 248,211 \text{ MPa} \times 63,63 \text{ mm}^2$$
$$R_n = 15,793 \text{ KN}$$

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

$$\emptyset R_n = 11,845 \text{ KN}$$

En conclusión, la junta soporta las cargas producidas en el bastidor.

### *Selección de elementos estandarizados*

Será necesario seleccionar: motores rotativos, actuador lineal, batería seca 12V, Arduino Nano, driver de control, relés, transistores, resistencias, sensores de corriente, conversores de voltaje, pulsadores y Joystick (Cervantes y Sánchez, 2021). Del estudio previo se obtienen los requerimientos para garantizar el desplazamiento del equipo en un ángulo vertical de 30° y para una masa de diseño de 120 kg.

### *Motores rotativos*

Potencia nominal	250W
Voltaje nominal	24V DC
Velocidad nominal	3000RPM
Velocidad sin carga	3850RPM
Corriente en carga completa	$\leq 13.4\text{A}$
Corriente sin carga	$\leq 2.2\text{A}$
Par nominal	0.80N.m



Figura 8. Motores rotativos MY1016Z2 (L-FASTER).

### *Actuador lineal*

Voltaje	12V CC
Longitud de carrera	25.03cm
Min. Longitud de retracción	45.03cm
Max. Longitud extendida	67.50cm

### Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

Max. Fuerza de empuje	6000N
Max. Fuerza de tracción	4000N
Velocidad de traslación	0.5cm/s



Figura 9. Actuador lineal Happybuy

#### *Planificación del proceso constructivo*

Para poder realizar una manufactura adecuada de un determinado producto, se debe considerar que esta depende de una diversidad de variables, las cuales estén enfocadas a que este sea elaborado de manera correcta y eficiente, permitiendo mantener la calidad y a su vez no realizar sobrecostos en la producción, evitando malgaste del presupuesto. Se debe considerar el grado de precisión de cada elemento, la composición, el espacio de trabajo, etc. Relacionado a lo anterior el diseñador o fabricante detrás de la producción debe ser consciente de los pasos y metodología a usar, otorgando un orden adecuado al proceso. Para esto se usan las denominadas hojas de procesos de manufactura, flujogramas, tablas de procedimientos, y planos constructivos.

Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

*Elementos soldados y empernados*

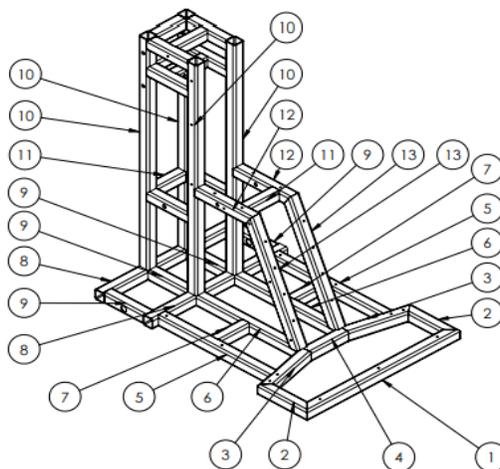


Figura 10. Bastidor

En los planos de diseño se especifican: dimensiones, ángulos y longitudes de todos los elementos a manufacturar mediante soldadura. En las hojas de procesos de manufactura se detalla características de soldadura, ángulos de corte, herramientas de mecanizado y control, etc.

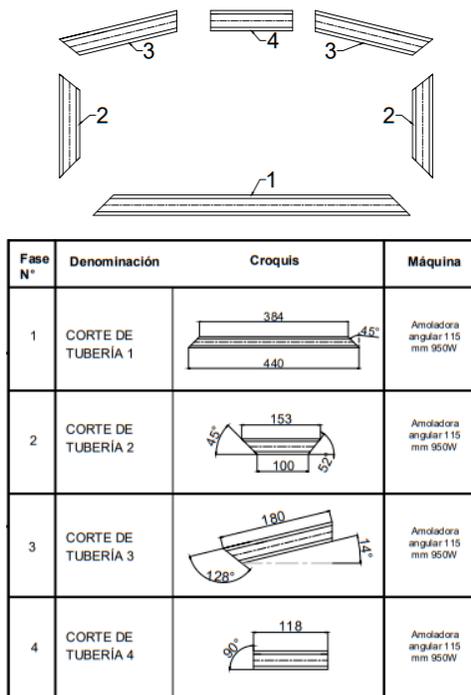


Figura 11. Hojas de proceso de manufactura

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

Para los brazos que constituyen elementos acoplados mediante pernos, se muestran dimensiones de agujeros con las tolerancias de catálogos, herramientas y procesos de control.

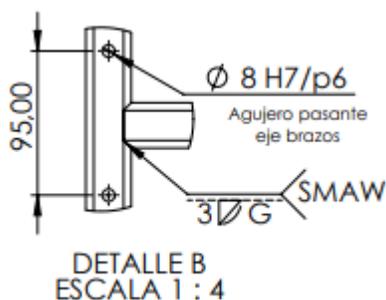
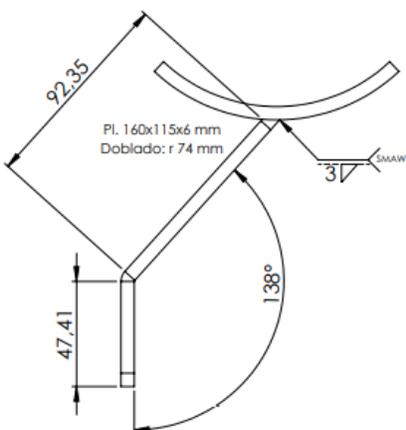


Figura 12. Tolerancias, ajustes y soldadura

Para platinas soldadas se utilizó el módulo de chapa metálica en su configuración desplegada de modo que se pueda facilitar el proceso de corte plasma y unión mediante soldadura. Las características se detallan en los documentos mencionados.

### *Doblado de platinas*

Para las configuraciones semicirculares de las rodilleras y la pechera del bipedestador se ofrece información importante como: dimensiones en chapa desplegada y herramientas a utilizar en el doblado (prensa hidráulica) además de las dimensiones finales después del conformado en frío.



## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

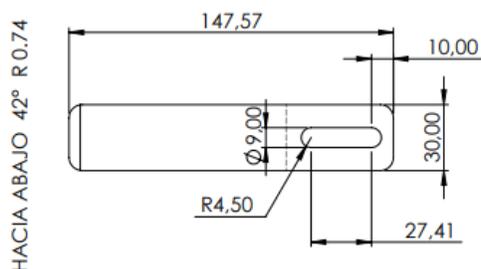


Figura 13. Conformado en frío de platinas

### Plegado de acero inoxidable

El exterior de la estructura se ensambla mediante planchas de acero inoxidable. El proceso de manufactura seleccionado para este material es el corte CNC mediante láser y el plegado manual mediante dobladora (Labrador, 2024). Los documentos para la construcción son: planos de detalle y hojas de proceso de manufactura. A continuación, se muestran las dimensiones de chapa desplegada y el plegado final para el montaje:

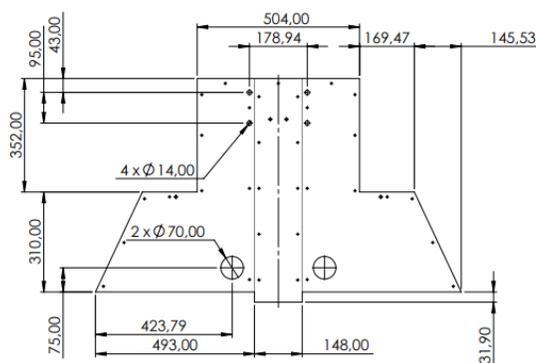


Figura 14. Chapa desplegada

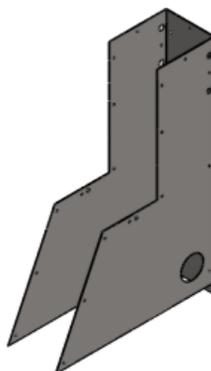


Figura 15. Plegado de acero inoxidable

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

### *Sistema de control eléctrico*

El control eléctrico está enfocado directamente en trabajar sobre las variables fundamentales de operación. En el caso de los actuadores, el siguiente esquema indica las condiciones a controlar de manera electrónica:



Figura 16. Sistema de control

### *Motores rotativos*

Para el control de los motores rotativos se usa un sistema basado en el funcionamiento de un puente H. Para esto se seleccionó el controlador BTS7690. Este estará directamente conectado al módulo Arduino Nano por medio de entradas analógicas. Así, el sentido de giro se controlará desde la programación y la velocidad siguiendo el concepto de la modulación por ancho de pulso PWM, teniendo en cuenta los motores con carga y una velocidad relativamente baja para evitar accidentes con los pacientes en cuestión.

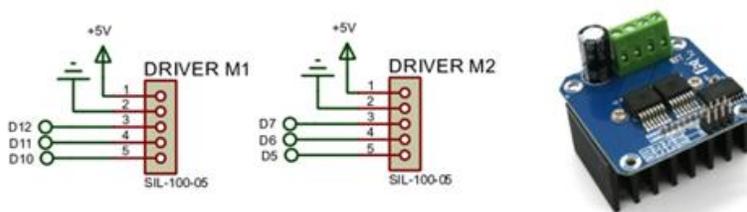


Figura 17. BTS 7690 conexiones

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

### *Actuador lineal*

En el caso del actuador lineal, el sistema de control esta enfocado en un arreglo de relés y sensores de final de carrera. Se extiende un arreglo para el ascenso y uno para el descenso respectivamente. Se dimensionan elementos de seguridad para evitar cortocircuitos y daños en el módulo Arduino.

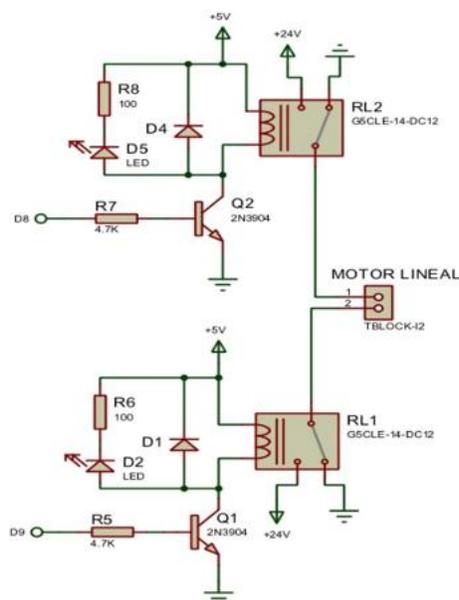


Figura 18. Sistema de control actuador lineal

En todo elemento inductivo (motores), se suelen generar retornos de corriente cuando el sistema es operado, por este motivo se dimensionan los diodos D1 y D4 de la figura 18, los mismos que tienen analogía con una válvula check que permite el paso de corriente en una sola dirección. Para el transistor, que opera como una válvula controlada, se dimensionan las resistencias R5 y R7. Es necesario el uso de un transistor debido a que Arduino maneja valores de corriente en escala de miliamperios, y no podría manipular directamente a los relés encargados de direccionar el mecanismo.

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

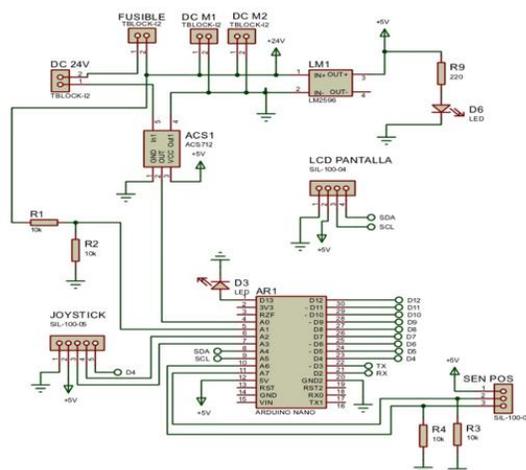


Figura 19. Conexiones con Arduino

Además, también están dispuestos mas sistemas de seguridad para el sistema como es el caso de fusibles eléctricos. La comunicación del estado de batería y el consumo eléctrico se da mediante una pantalla OLED, la información es enviada desde el cerebro del sistema (Arduino).

## Resultado y Discusión

### Modelo preliminar



Figura 20. Modelo preliminar construido

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

### *Descripción*

Aplicando la metodología descrita se obtiene el prototipo de la silla de ruedas bipedestadora. La figura 20 ejemplifica el modelo real construido. Este consta de 4 neumáticos, 2 de ellos poseen tracción proveniente de los motores rotativos conectados mediante transmisión por cadena. Se permite rotación del prototipo haciendo girar las ruedas traccionadas en diferentes direcciones. En su defecto, los neumáticos traseros son arrastrados para direccionar adecuadamente el prototipo según el usuario requiera. Además, consta de un cojín conectado a los brazos del bastidor usando cinturones con su respectivo “macho” y “hembra”. En la pechera, el usuario ajusta su dorso mediante velcro en una tira hecha de material elástico.

### *Pruebas de funcionamiento con el prototipo inicial*

Se realizan las pruebas de funcionamiento con un paciente que consta de las características descritas en la TABLA II.

*TABLA II CARACTERÍSTICAS DE PACIENTE*

Condición del paciente	Parapléjico
Edad	18 años
Sexo	Masculino
Peso	85 kg
Estatura	1.58 m
Perímetro del dorso	96 cm
Perímetro de piernas	55 cm



*Figura 21. Pruebas de funcionamiento preliminares*

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

Se destacan las siguientes observaciones:

- ✓ La velocidad de ascenso con carga se reduce del valor nominal a 55.5 cm/s. Se aprecia condiciones adecuadas para evitar una elevación brusca del paciente que pueda desembocar en golpes o lesiones.
- ✓ El sistema propuesto de cinturón y cojín no es el adecuado para optar una postura bípeda. Al no haber un punto de apoyo inferior el paciente no queda completamente de pie.
- ✓ No existe un punto de apoyo para los pies, al momento de la elevación, los pies tienden a descentrarse del piso.
- ✓ La respuesta del Joystick es demasiado brusca, genera variaciones de aceleración cayendo en el fenómeno conocido como latigazo.
- ✓ No existe punto de apoyo durante el ascenso o descenso, el paciente posa sus manos sobre la estructura.
- ✓ La inexistencia de un mecanismo que permita la rotación sobre el eje vertical de las ruedas sin tracción ocasiona desgaste prematuro de estas.

### *Modelo final*

En base a las observaciones previas realizadas se efectúan los cambios necesarios para garantizar las condiciones de funcionamiento del prototipo. Inicialmente, se modifica las ruedas delanteras remplazándolas por garruchas ensambladas mediante remaches. En la ilustración 21, se puede apreciar el cambio realizado.



Figura 22. Modificaciones a los neumáticos delanteros

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

Posteriormente se enlistan los siguientes cambios:

### *Sistema de anclaje mediante arnés*

Se apreció que el ascenso en el modelo preliminar se daba desde el tórax por lo que se optó por utilizar un arnés que sujete al paciente desde la parte inferior y a su vez colabore con el mecanismo para mantener los pies en una alineación completamente vertical.

### *Anclaje para los pies*

Usando tiras de velcro “hembra” en la superficie de la estructura, se diseñó un anclaje para mantener la alineación de los pies ajustándolos a su ubicación mediante una fibra de velcro “macho”. Este es desplazable sobre la zona de ubicación inferior manteniendo a los pies fijos sobre el suelo del mecanismo.



Figura 23. Anclaje de pies

### *Apoyo superior para manos en ascenso y descenso*

Mediante impresión 3D y pernos de fijación, se construyó y ensambló el anclaje superior que sirve de apoyo para las manos del paciente tanto en ascenso como en descenso. La ubicación se verifica asegurando que no exista interferencias con los brazos del bipedestador.

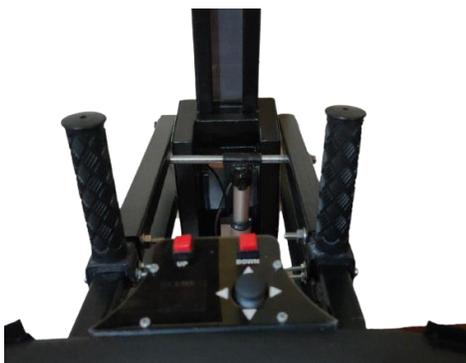


Figura 24. Anclaje para manos

## Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

### *Modificación de sensibilidad de Joystick*

Modificando la programación de Arduino, se estableció criterios condicionales para la respuesta de los motores traslacionales. Se configuró que la posición del potenciómetro use valores de modulación de ancho de pulso crecientes y dependientes del tiempo de permanencia en una posición establecida.

### *Pruebas de funcionamiento con el modelo final*



*Figura 25. Pruebas de funcionamiento finales*

Finalmente se logra conseguir la postura bípeda en el paciente. Además, se evalúan las características ergonómicas y funcionales por medio de una encuesta dirigida al usuario. Se reflejan resultados positivos en cuanto a comodidad, facilidad de uso, desplazamiento, entre otras características.

## **Conclusiones**

Después de terminar el trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ Se logró ensamblar de una manera efectiva la silla bipedestadora priorizando que cumpla con la necesidad por la cual fue diseñada y a la vez brinde al usuario características específicas como: seguridad de uso, fácil manipulación y comodidad. Para ello se empleó una metodología sistemática que permitió determinar la factibilidad constructiva, la propuesta de redimensionamiento, el diseño normado de las juntas soldadas, el fundamento técnico científico

### Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

---

de la selección del material y recubrimiento, para finalmente planificar el proceso constructivo y llevarlo a efecto.

- ✓ Se estudió a profundidad el fundamento teórico logrando que este constituya un respaldo científico a la información propuesta en esta investigación. Se determinó los métodos de manufactura que se utilizaron para la construcción, siendo los más importantes: corte, soldadura y doblado de chapa metálica. Además, por medio de la normativa 93/42/ CEE, se identificó a la silla bipedestadora como un equipo de clase I, bajo riesgo, y se justificó la selección del acero ASTM A36 para el uso propuesto bajo criterios técnico-económicos. En concordancia con la guía básica de recubrimientos para interiores hospitalarios, se propuso el uso de pintura electroestática para reducir el riesgo de contaminación cruzada causada por corrosión del acero.
- ✓ En busca de optimizar el peso, y considerando que el factor de seguridad general alcanzado en el trabajo expuesto por Herrera es de 3.5, se propuso un redimensionamiento de los brazos telescópicos del mecanismo logrando reducirlo aproximadamente en un 50%. Se empleó para ello el criterio de diseño a carga estática mediante el análisis de esfuerzos combinados. Las secciones optimizadas se redujeron al mínimo espesor comercial disponible y el factor de seguridad obtenido fue de 1.726.
- ✓ Se planificó el proceso constructivo por medio la generación de documentos de apoyo que se traducen como un respaldo técnico para la replicación a futuro de la construcción del bipedestador. Se obtuvieron: tablas de procedimientos, flujogramas mecánicos-electrónicos, y hojas de procesos de manufactura. Se destaca la información en forma de: guía técnica y gráfica del proceso constructivo (maquinaria, herramientas, ángulos y longitudes de corte, parámetros de soldadura y tiempo de uso).
- ✓ Se diseñó el sistema electrónico de control priorizando su facilidad de uso. Se emplearon dos baterías de 12 V en conexiones tipo paralelo y serie para la obtención de los voltajes operativos de los actuadores. El diseño de las placas PCB realizado permitió personalizar el comportamiento que se requería para los actuadores y por medio de drivers BTS7963 lograr obtener movimientos de desplazamiento y giro del bipedestador. Se implementó una pantalla OLED para comunicar el estado de carga al usuario y botones de control para el uso del bipedestador.
- ✓ Se probó la silla bipedestadora con un paciente parapléjico permitiendo analizar la funcionalidad desde la perspectiva del usuario. Esto a su vez, permitió proponer mejoras en el prototipo y lograr cumplir con los requerimientos funcionales y ergonómicos del prototipo.

## Referencias

1. Aguirre, J., & Hidalgo, J. (2022). Diseño y construcción de un equipo motorreductor aplicando metodología QFD para la industria nacional. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17795>
2. Aranda, J. (2016). Sistema de transferencia y movilización autónomo para adolescentes en situación de paraplejia. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144206>
3. Aterhortúa, N., Buitrago, M. C., Calderón-Ospina, C.-A., Castro Fuentes, M. C., Cediell Becerra, J. F., Charry Sánchez, J. D., García López, C. M., García-Otálora, M.-A., González López, F., & Jiménez Rojas, P. A. (2021). Envejecer en el siglo XXI: Visiones multidisciplinares de la vejez y el envejecimiento. Editorial Universidad del Rosario. [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xiw9EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT14&dq=Para+analizar+esta+problem%C3%A1tica+es+necesario+mencionar+sus+causas.+Si+bien+en+muchas+ocasiones+la+limitada+movilidad+inferior+es+causada+por+discapacidades+natas+de+un+paciente,+en+otros+casos+es+producto+de+un+accidente+o+suceso+que+involucro+el+da%C3%B1o+total+o+parcial+del+movimiento&ots=0vzo\\_thbhM&sig=rZumpE PKv-hQnTsjg-1d8qZOqxY](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xiw9EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT14&dq=Para+analizar+esta+problem%C3%A1tica+es+necesario+mencionar+sus+causas.+Si+bien+en+muchas+ocasiones+la+limitada+movilidad+inferior+es+causada+por+discapacidades+natas+de+un+paciente,+en+otros+casos+es+producto+de+un+accidente+o+suceso+que+involucro+el+da%C3%B1o+total+o+parcial+del+movimiento&ots=0vzo_thbhM&sig=rZumpE PKv-hQnTsjg-1d8qZOqxY)
4. Barbero, J., & Ortega, L. (2015). Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 kg [B.S. thesis]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11394>
5. Castillo, B., & Nacimba, O. (2023). Manufactura y pruebas de una silla de ruedas postural-bipedestadora con sistema de rehabilitación muscular (pantorrilla) para niños con parálisis cerebral. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/19207/1/15T00869.pdf>
6. Cervantes, F., & Sánchez, D. (2021). Diseño y elaboración de un módulo que simule la BCM de un vehículo de gama media [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20631>
7. Herrera, A. (2023). Selección de materiales en el diseño mecánico: Estudio de una metodología para la selección de materiales en el diseño mecánico. [bachelorThesis, Quito : EPN, 2023.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24329>

Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora

---

8. Herrera, M. (2021). Diseño y simulación de silla de ruedas bipedestadora para personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejia o con problemas de movilidad de uso en interiores. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15141>
9. Labrador, M. (2024). Diseño de herrajes para estructuras portables. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/70791>
10. Peñafiel, D., & Mogrovejo, B. (2024). Análisis del comportamiento de conexiones metálicas a momento y a cortante en vigas-columnas y a cortante entre vigas para aplicaciones industriales [masterThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29493>
11. Polo, J. (2018). Diseño de espacios habitacionales para personas con discapacidad motriz [B.S. thesis, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8039>
12. Rodríguez, L., Martínez, G., & Gil, J. (2025). Artroplastia protésica total vs artrodesis total de la articulación radiocarpiana. Una disyuntiva de difícil solución en la patología del carpo. <https://zaguan.unizar.es/record/107366>
13. Saavedra, R., García, E., & San Antonio, T. (2013). Diseño de un equipo de bipedestación. *Revista Ingeniería UC*, 20(1), 25-33. <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732640004.pdf>
14. Santos, V., Naranjo, T., Cedillo, E., & Mayanza, O. (2023). Acción del Trabajador Social en el ámbito educativo. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 7(27), 315-329. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2616-79642023000100315&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2616-79642023000100315&script=sci_arttext)
15. Villacrés, M., & Zambrano, J. (2022). Manufactura y pruebas de una silla de ruedas bipedestadora destinada a personas adultas con discapacidad física a nivel de paraplejia o con problemas de movilidad de uso en interiores para el grupo de investigación y estudios de bioingeniería de la Facultad de Mecánica ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18369>