

Silla de ruedas mecatrónica bipedestadora para personas parapléjicas

O. Tambaco, D. Ortiz, F. Valencia.

Carrera de ingeniería en Mecatrónica – FICA

Universidad Técnica del Norte

Ibarra – Ecuador

ogtambacos@utn.edu.ec

fvvalencia@utn.edu.ec

Abstract-- La investigación se orienta a eliminar molestias musculares que se presentan en personas con esta discapacidad física de hasta 100 Kg de masa que usan una silla de ruedas manual para la movilidad cotidiana y/o de trabajo. La implementación de un mecanismo bipedestador acorde a una silla de ruedas normal permite una mejor salud, mejor metabolismo, mejor circulación sanguínea, mayor autoestima, la persona se vuelve más independiente para sus labores cotidianas.

Inicialmente se realiza un análisis modular, seguido de una ponderación de soluciones para determinar las mejores alternativas y así obtener los parámetros principales para el desarrollo de esta investigación.

Para el diseño de la estructura se considera en base al análisis antropométrico en la provincia de Imbabura. Con herramientas computacionales como el CAD CAE FEA se obtiene un mecanismo funcional y validando con el método de elementos finitos.

La silla de ruedas mecatrónica bipedestadora consta con medidas estándares de sillas de ruedas clásicas, tiene un funcionamiento adecuado en su estructura y su mecanismo para bipedestación es apropiado para un actuador lineal de 200 mm de recorrido.

Para la movilidad se adecua motores de kits de bicicletas eléctricas del tipo Brushless para una mejor eficiencia de las baterías. Para la bipedestación y frenado de la silla se implementa actuadores eléctricos lineales para un mejor control, precisión y menor peso.

I. INTRODUCCIÓN

El CONADIS presenta en sus registros un total de 196758 personas con discapacidad física en el Ecuador; de los cuales 4758 se encuentran en la provincia de Imbabura, lo que representa el 2,42% del total. La paraplejía es una enfermedad dentro de este grupo de personas que deja

como secuelas aislamiento por parte de la sociedad y una calidad de vida desfavorable [1].

Las personas con paraplejía tienen un reto físico en la realización de actividades cotidianas y sencillas, en comparación con una persona sin complicaciones físicas; tareas como ir al baño y levantarse de la cama, provocan mucho desgaste físico en una persona parapléjica, por lo que implica un gran aporte muscular de sus miembros superiores. Adicionalmente, la sociedad los considera incapaces de movilizarse y ejecutar tareas por sí solas, como consecuencia les provoca aislamiento social, generando en ellos baja autoestima, lo que limita aún más su superación [2].

La silla de ruedas mecatrónica bipedestadora ayuda a las personas adultas con paraplejía, a eliminar problemas existentes en ellos, como es la dificultad para movilizarse con su silla de ruedas, cambiar de posición de sedente a bipedestación para ampliar sus capacidades para realizar actividades cotidianas, mejorar la salud y la calidad de vida de estas personas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Medidas antropométricas.

La antropometría es el estudio de las dimensiones morfológicas del cuerpo humano para su clasificación y comparación. Se encarga de la medición de las variaciones de las dimensiones físicas y la composición del cuerpo humano en diferentes edades. Su objetivo principal es la determinación de la masa corporal expresada por el peso, las dimensiones lineales como estatura, composición corporal y reservas de tejido adiposo y muscular [22].

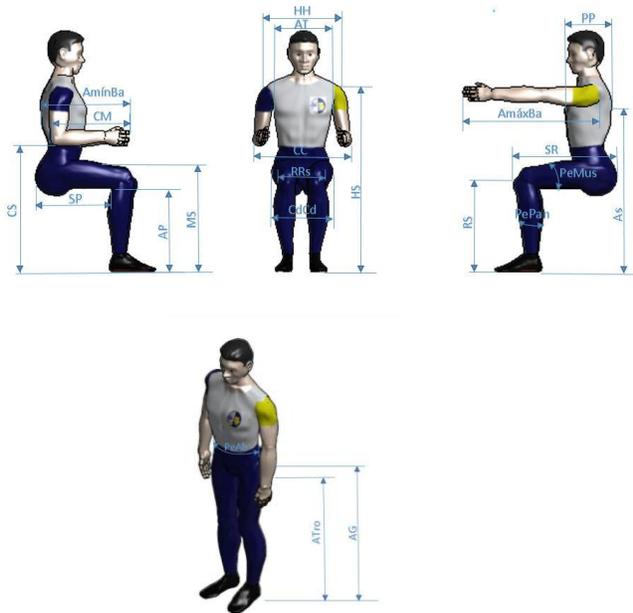


Fig. 1. Medidas antropométricas [23].

Existe en el mercado una variedad de silla de ruedas por su tipo y función. Además de variedad de gama en su tamaño. Los estándares de tamaños de sillas de ruedas vienen precedidos por un estudio de medidas antropométricas de los países de origen de donde fueron construidas. Pero, no existe un estudio de medidas antropométricas a fin a la población de personas con discapacidad física de nuestro país; por lo que se vio necesario una toma de muestra a la población local con discapacidad física.

Código	Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:	Percentil 5	Percentil 95
	Jaime Molina	Carlos Fernández	Joaquín Segundo	Alejandro Flores		
	Edad: 52	Edad:	Edad:	Edad:		
	Patología:	Patología:	Patología:	Patología:		
	Paraplejia	Paraplejia	Paraplejia	Paraplejia		
AP	46	43	40	48	40.5	47.7
SP	43	46	45	45	43.3	45.9
SR	51	52	51	53	51.0	52.9
MS	58	54	50	60	50.6	59.7
RS	49	47	43	51	43.6	50.7
CS	70	67	64	76	64.5	75.1
Amín Ba	49	56	54	54	49.8	55.7
CM	45	48	45	47	45.0	47.9
AmáxBa	70	70	71	77	70.0	76.1
HS	101	96	90	113	90.9	111.2
CdCd	35	44	37	42	35.3	43.7
RRs	35	39	36	34	34.2	38.6
AS	83	84	75	92	76.2	90.8
CC	63	61	54	57	54.5	62.7
PP	28	27	28	25	25.3	28.0
HH	49	44	43	44	43.2	48.3
AT	35	41	38	35	35.0	40.6
Pe Mus	47	45	33	35	33.3	46.7
Pe Pan	35	33	32	31	31.2	34.7
Atro	80	83	76	92	76.6	90.7
AG	94	96	86	99	87.2	98.6
PeAb	107	116	100	113	101.1	115.6
Altura	167	171	166	175	166.2	174.4

Una vez obtenidas las medidas antropométricas de la población de la ciudad de Ibarra se determina la estructura de la silla de ruedas.

1) Anchura del asiento

Esta medida corresponde a la anchura de cadera (CdCd), equivale al punto más ancho de las mismas en posición de sedestación. Para determinar el valor adecuado es recomendable tomar el percentil 95 y así garantizar que todo el grupo pueda entrar en el asiento; adicionalmente se debe dejar 2,5 cm de holgura por lado [13].

Anchura asiento = CdCd + holgura: 43,7 cm + 5 cm = 49 cm.

2) *Altura del asiento*

Corresponde a la altura poplítea (AP). Equivale a la altura desde el reposapiés hasta la parte anterior de la rodilla concretamente el punto poplíteo en posición sentado.

Para la altura del asiento se trabaja con el percentil P5, es decir, considerar que las personas de menor tamaño puedan alcanzar a hacer contacto con el reposapiés y se debe considerar el alto del asiento de material especial 10 cm más [23].

Entonces, se determina:

Altura del asiento = AP + alto asiento especial = 40,5 cm + 10 cm = 50,5 cm.

3) *Profundidad del asiento.*

Distancia sacro poplítea (SP), la cual equivale a la distancia desde el respaldo hasta el punto poplíteo de la rodilla en posición sentado.

Para esta longitud se trabaja con el percentil P95, es decir, el grupo más grande debe alcanzar a reposar la longitud adecuada en el asiento. Se debe considerar que del borde del asiento al punto poplíteo debe haber una holgura de 3cm.

Entonces, se determina:

Profundidad del asiento = SP - holgura = 45,9 - 3 cm = 43 cm.

4) *Altura del reposabrazos.*

Altura codo-suelo medida que hace referencia a la distancia desde el piso hasta el codo formando un ángulo de 90° con el hombro y con el puño cerrado en posición sentado. Para esta longitud se trabaja con el percentil P5 para asegurar que todos los usuarios de menor longitud es esta parte pueda reposar sus extremidades superiores [23].

Altura reposabrazos = CS + holgura = 64,5 cm + 2 cm = 66,5 cm.

5) *Altura del respaldo de la silla.*

Corresponde a la altura subescapular (a la distancia desde el suelo a la parte más baja del omóplato en posición sentado.

Para esta longitud se trabaja con el percentil P95 es decir al grupo más grande y se debe restar unos dos centímetros menos [23].

Altura del respaldo = AS - holgura = 90,8 cm - 2 cm = 88,8 cm.

6) *Longitud reposabrazos.*

Definido por la distancia codo mano (CM). Se considera al percentil 95 para que todos los usuarios puedan reposar todo su brazo.

Distancia horizontal reposabrazos=CM= 47,9 cm=48 cm.

7) *Distancia extremo a extremo reposabrazos.*

Corresponde a la medida de la distancia horizontal entre la parte externa de los codos (CC). Se toma el percentil 95. Para la distancia de las caras interiores del reposabrazos se toma el percentil 5 menos 2 cm de holgura por lado.

Distancia reposabrazos caras externas = CC P95 + holgura = 63 cm + 2 cm = 65 cm.

Distancia reposabrazos caras internas = CC P5 - holgura = 54,5 cm - 2 cm = 52,5 cm.

8) *Anchura del espaldar.*

Hace referencia a la distancia horizontal de hombro a hombro (HH). Se considera el percentil 95 para que todo el grupo pueda incorporarse en la silla.

Anchura del espaldar = Anchura de los hombros + holgura = 48,3 cm.

9) *Ruedas traseras Diámetro:*

HS (Altura de los pies a los hombros) + 12cm (Altura del suelo al reposapiés) - AmáxBa (Alcance máximo de Brazo)= 90,9 cm + 12 cm - 70 cm = 32,9 cm*2 = 65,8 cm = 66 cm (26").

10) *Medidas Adoptadas.*

Altura del reposapiés (12cm)

Inclinación del respaldo (90° - 100°)

Inclinación asiento (4°).

Dimensiones ruedas delanteras (50 mm x 200 mm).

Longitud del reposapiés = Medida de la altura rodilla suelo (RS) (P5) = 43,6 cm.

B. Alternativas de Diseño.

1) Necesidades del usuario.

Las personas usuarias de silla de ruedas de la ciudad de Ibarra al momento de realizar el acercamiento para la toma de medidas antropométricas empiezan a aportar con datos interesantes importantes para el diseño preliminar del producto, y que para ellos son parámetros que deben tener una silla de ruedas dentro de la población local y ajustada a la calidad de vida de dichas personas.

Para tomar en cuenta estos argumentos se realiza un análisis de ponderación de soluciones que nos dirige al tipo de elementos de silla de ruedas adecuado para el diseño.

2) Ponderación y selección de elementos de la silla de ruedas para la ciudad de Ibarra.

Se realiza tablas de ponderación para los elementos esenciales y algunos accesorios que tienen alternativas de selección. Se debe destacar que fue un trabajo conjunto entre el cliente y el diseñador; la finalidad es que la voz del cliente sea la guía del ingeniero.

Para el presente estudio se toma en cuenta las características biomecánicas de una silla de ruedas, además de parámetros fundamentales para todo producto.

3) Sistema de puntuación

Compara las alternativas citadas en donde se califica la fiabilidad de la siguiente manera a continuación:

Tabla 1.
Valoración de fiabilidad

Fiabilidad	Valoración
Mayor	1
Igual	0.5
Menor	0

Tabla 2.
Ponderación parámetros de diseño.

Seguridad > Ergonomía = Funcionalidad > Estética > Costo > Mantenimiento								
	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costos	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación en %
Seguridad		1	1	1	1	1	6	29
Ergonomía	0		1	0.5	1	1	4.5	21
Estética	0	0		0	1	1	3	14
Funcionalidad	0	0.5	1		1	1	4.5	21
Costos	0	0	0	0		1	2	10
Mantenimiento	0	0	0	0	0		1	5
						Suma	21	100

4) Tablas de resultados de ponderaciones para los elementos de la silla de ruedas.

- Estructura o chasis

Tabla 3.
Selección estructura.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final	Prioridad
Fijo	19	7	9	14	7	3	60	1
Plegable	10	14	5	7	3	2	40	2
						SUMA:	100	

- Material

Tabla 4.
Selección material.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final	Prioridad
Acero pesado	12	4	2	9	2	1	29	3
Acero inoxidable	12	7	6	9	4	2	40	1
Aluminio	5	11	6	4	4	2	31	3
						Suma:	100	

- Asiento

Tabla 5.
Selección asiento.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final	Prioridad
Fijo	19	7	9	7	7	3	53	1
Ajustable	10	14	5	14	3	2	47	2
						SUMA:	100	

- Reposabrazos

Tabla 6.
Selección reposabrazos.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final	Prioridad
Fijo	15	4	2	4	4	3	31	2
Desmontable	5	7	5	7	4	1	29	3
Ajustable	10	11	7	11	2	1	41	1
Suma:							100	

- Actuador motriz

Tabla 7.
Selección actuador motriz.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final	Prioridad
DC convencional	15	14	5	7	7	2	49	2
DC Brushless	15	7	9	14	3	3	52	1
Suma:							100	

- Ruedas motrices

Tabla 8.
Selección ruedas motrices.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final	Prioridad
Tipo bicicleta	10	14	9	14	7	2	55	1
Todo terreno eléctrica	19	7	5	7	3	3	45	2
Suma:							100	

5) *Análisis modular de soluciones*
Tabla 9.
Módulo de selección de soluciones - Parte mecánica.

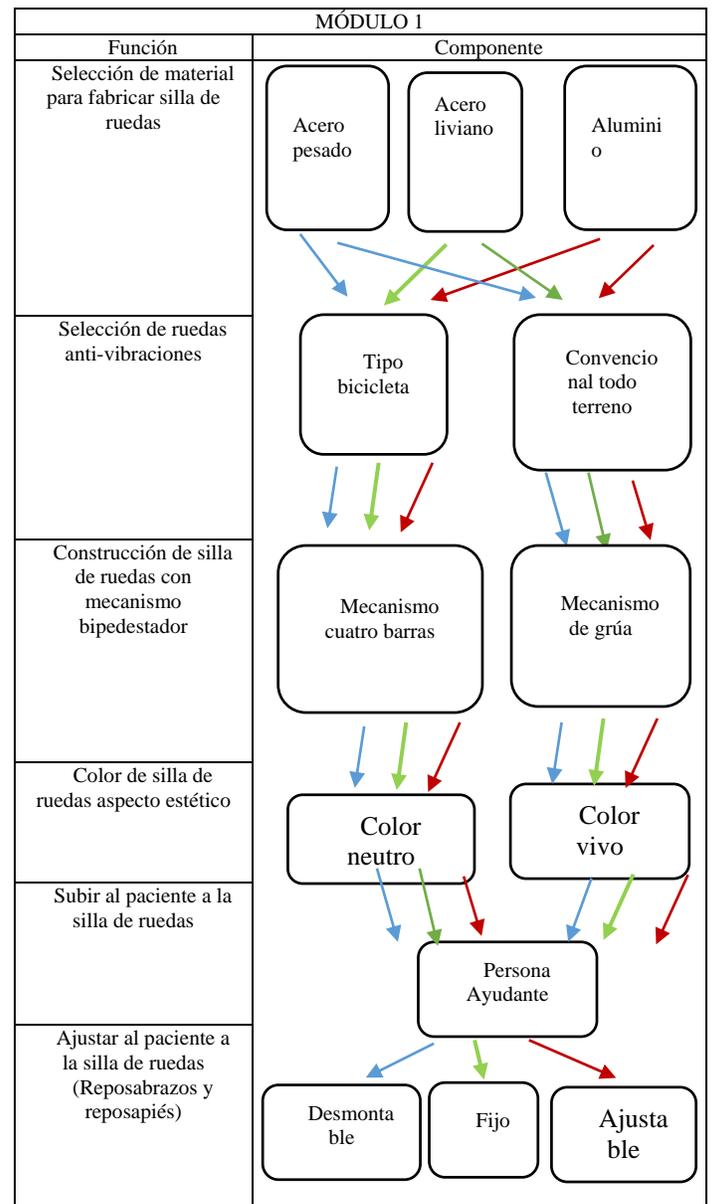


Tabla 10.
Módulo de selección de soluciones - Parte eléctrica..

MÓDULO 2	
Función	Componente
Seleccionar Mando de la Silla de Ruedas	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">Pulsador</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">Switch</div> </div>
Silla de ruedas modo manual	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">Modo manual</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">Modo automático</div> </div>
Silla de ruedas modo automática	
Seleccionar motor	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 150px; text-align: center; margin: 0 auto;">Motor de corriente continua</div>
Tipo de motor DC	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">DC convencional</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">DC sin escobillas</div> </div>
Tipo de frenos	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">Freno mecánico</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; width: 100px; text-align: center;">Freno regenerativ</div> </div>

6) Boceto del diseño preliminar.

El boceto preliminar muestra la primera referencia del análisis inicial para el diseño de la silla de ruedas eléctrica para bipedestación. Es el punto de partida para el cálculo analítico y diseño CAD y CAM.

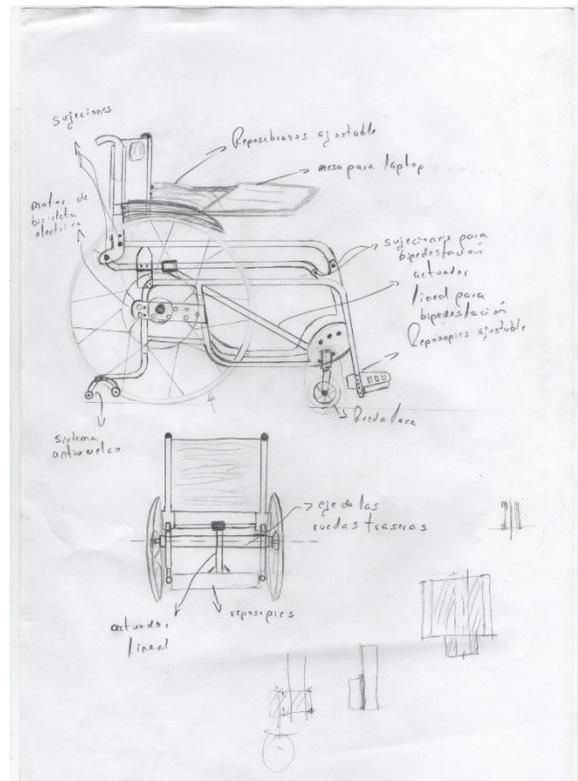


Figura 2. Boceto preliminar silla de ruedas..

III. Análisis estructural.

A. Análisis cinemático.

1) Cinemática estructura de la silla de ruedas bipedestadora.

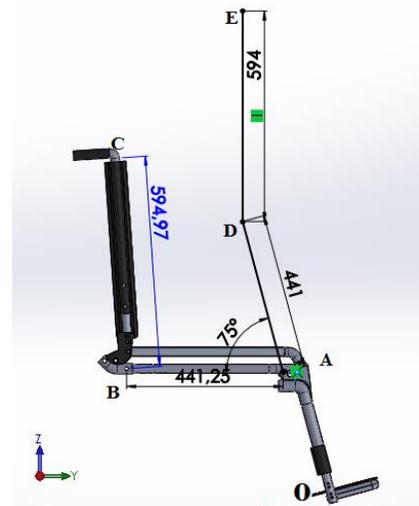


Figura 3. Cinemática mecanismo bipedestador - Silla de ruedas bipedestadora.

Vectores de posición relativa

$$\gamma_{AO} = [0,380 \text{ mm} \times \sin(-15^\circ), 380 \text{ mm} \times \cos(-15^\circ)] \text{ mm}$$

$$\gamma_{BA} = [0, -440, 0] \text{ mm}$$

$$\gamma_{CB} = [0, 0, 590] \text{ mm}$$

Matrices de rotación con respecto al eje "x" [24].

$$\gamma_{DA} = [0, 113, 9, 425]$$

$$\gamma_{DO} = [0, -212, 3, 792]$$

$$\gamma_{BA} = [0, 212, 3, 1382]$$

2) Cinemática del actuador lineal

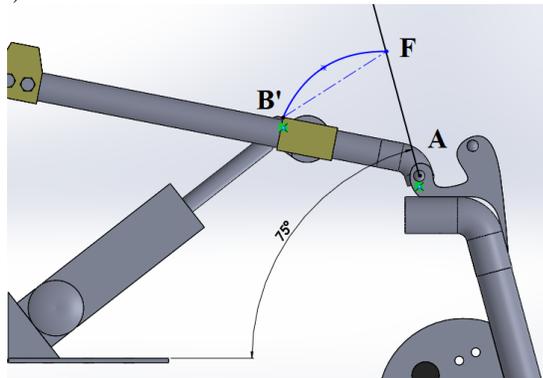


Figura 4. Trayectoria actuador lineal.

Posición del punto B' con respecto al punto A. Posición de la punta del vástago del actuador con respecto al eje de giro del mecanismo bipedestador.

$$\gamma_{B'A} = [0, -160, 0] \text{ mm}$$

Posición del punto F con respecto al punto A. Posición final del extremo del vástago con una rotación de 75° necesaria para la bipedestación de la silla de ruedas.

$$\gamma_{FA} = [0, -41, 41, 154, 55] \text{ mm}$$

Posición del punto final del extremo del vástago con respecto al punto inicial.

$$\gamma_{FB'} = [0, 118, 59, 154, 55] \text{ mm}$$

Distancia de recorrido para el actuador lineal.

$$D = \sqrt[2]{[0^2, 118, 59^2, 154, 55^2]}$$

$$D = 194,8 \text{ mm.}$$

B. Diagrama de cuerpo libre

Al ser una máquina compleja con alta cantidad de piezas, el análisis estático analítico se considera de una manera

simplificada tomando un estudio por piezas. Seguido de un análisis estático por software de todas las piezas ensambladas para la validación del diseño.

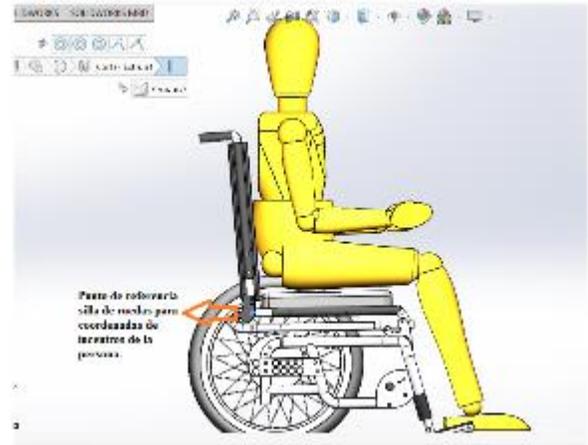


Figura 5. Representación preliminar para el análisis estático.

A continuación se presenta el análisis estático de las principales partes expuestas a esfuerzos:

1) Barra del asiento-cojín.

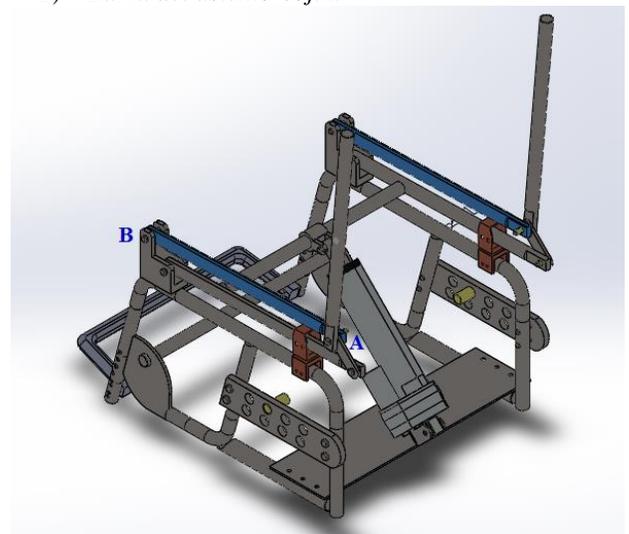


Figura 6. Descripción del componente: Barra del asiento-cojín.

$$f_{S_{AB}} = 3.26$$

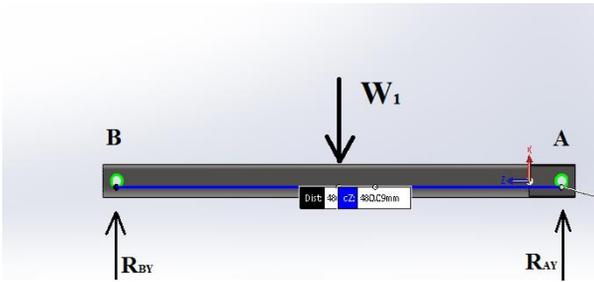


Figura 7. Diagrama de cuerpo libre: Barra asiento-cojín.

Análisis de cargas.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-w_1 + R_{AY} + R_{BY} = 0$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$x_A \times w_1 + x \times R_{BY} = 0$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$x_B \times w_1 + x \times R_{AY} = 0$$

$$R_{AY} = 490$$

$$R_{BY} = 490$$

Análisis momento flector.

$$M_{AB} = \frac{R_{AY} \times x_A}{2}$$

$$M_{AB} = 58.8 \text{ Nm.}$$

Análisis de esfuerzos

$$S_y = 207 \text{ MPa.}$$

$$D = 25.4 \text{ mm.}$$

$$d = 22.4 \text{ mm.}$$

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{maxAB} = \frac{32 \times M_{AB} \times D}{\pi \times (D^4 - d^4)}$$

$$\sigma_{maxAB} = 63.41 \text{ MPa}$$

$$f_{S_{AB}} = \frac{S_y}{\sigma_{maxAB}}$$

2) Pasador en el punto B

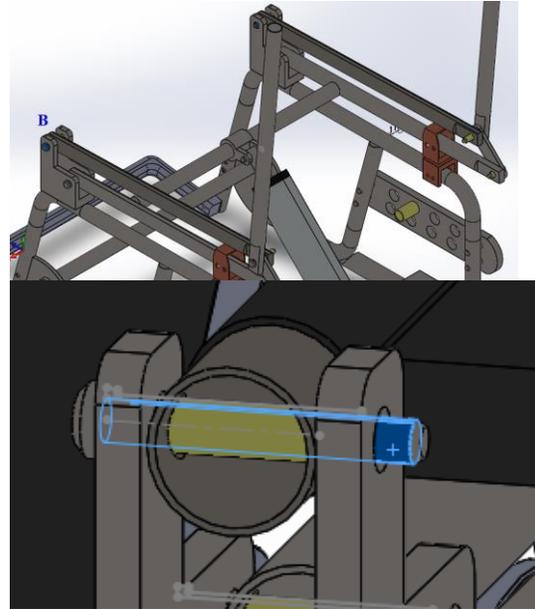


Figura 8. Descripción del componente: Pasador B.

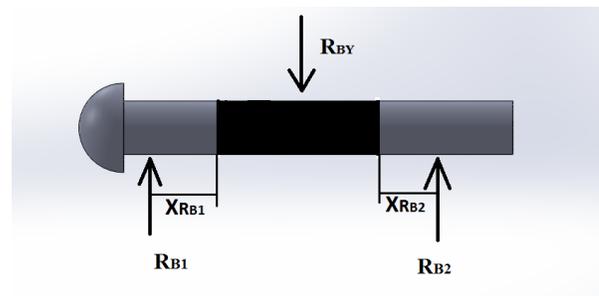


Figura 9. Diagrama de cuerpo libre: Pasador B.

Datos:

$$L_P = 0.038 \text{ m}$$

$$x_{RB1} = 0.004 \text{ m}$$

$$x_{RB2} = 0.004 \text{ m}$$

$$x_{RB} = x_{RB1} + x_{RB2}$$

Análisis de cargas

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-R_{BY} + R_{B1} + R_{B2} = 0$$

$$R_{B1} = R_{BY} - R_{B2}$$

$$R_{B1} = 245 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{B1} = 0$$

$$R_{B2} = \frac{R_{BY} \times x_{RB2}}{x_{RB}}$$

$$R_{B2} = 245 \text{ N}$$

Análisis momento flector.

$$M_{AB} = R_{B2} \times x_{RB1}$$

$$M_{PB} = 0.98 \text{ Nm.}$$

Análisis de esfuerzos

$$S_Y = 207 \text{ MPa.}$$

$$D_{PB} = 0.006 \text{ m.}$$

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{maxB} = \frac{32 \times M_{AB}}{\pi \times D_{PB}^3}$$

$$\sigma_{maxB} = 46.21 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau_{permB} = \frac{2 \times R_{BY}}{\pi \times D_{PB}^2}$$

$$\tau_{permB} = 8.67 \text{ MPa}$$

Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{maxB}^2 + 3\tau_{permB}^2}$$

$$\sigma' = 48.59 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

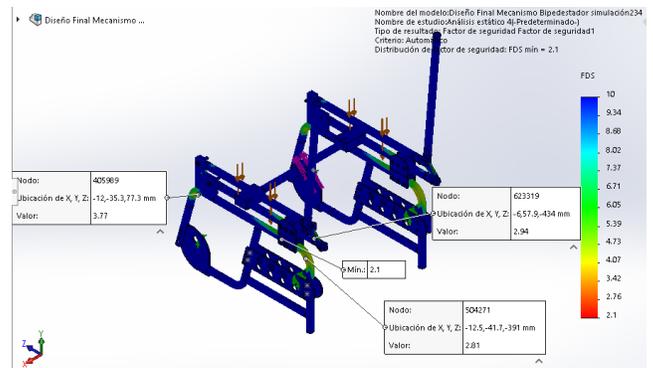
$$f_{SAB} = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$f_{SAB} = 4.26$$

IV. RESULTADOS

A. Análisis de elementos finitos

Con el programa Solidworks y mediante la herramienta de elementos finitos validamos los resultados obtenidos con el análisis estático de las piezas del mecanismo bipedestador que son las que están expuestas a cargas de manera directa.

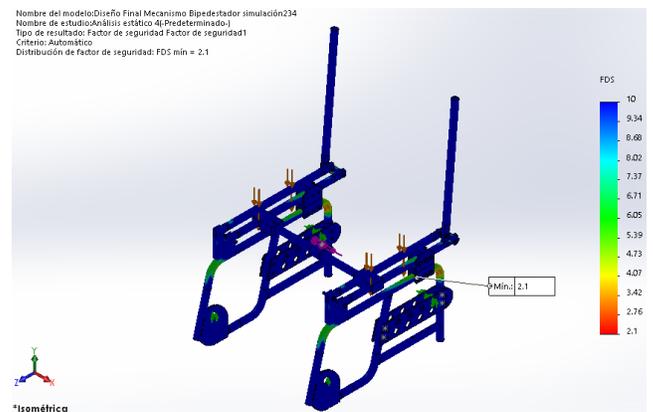


B. Factor de seguridad

En esta parte se analiza el factor de seguridad mínimo en toda la máquina, tomando en cuenta todas las fuerzas que se aplican que son:

Peso máximo = 100 kg = 980N

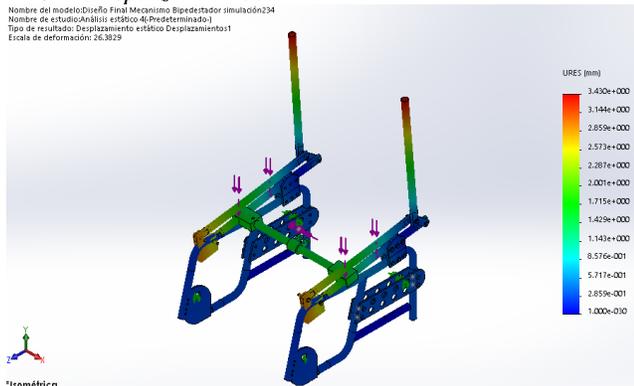
Fuerza actuador lineal = 3000N



Se determina que el pasador en el soporte del bipedestador es el elemento con un factor de seguridad mínimo igual a 2.1. Siendo este un elemento de sujeción

para un soporte emergente en el caso de desmontar el actuador lineal que es el componente principal para el posicionamiento del mecanismo bipedestador.

C. Desplazamientos



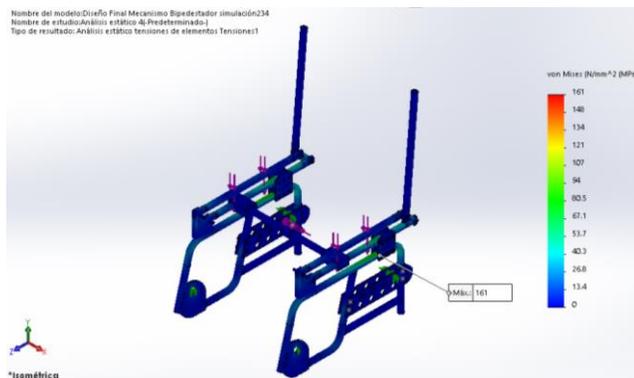
D. Von Mises

El valor de los esfuerzos máximos alcanzados en toda la máquina son menores a los valores de límites elásticos de los materiales que componen a los elementos de máquina.

Acero inoxidable AISI 304 = 207 MPa [23].

Aluminio 6063-T4 = 170 MPa [27].

Duraluminio Prodadax = 630 MPa [23].



V. CONCLUSIONES

Las medidas antropométricas de la muestra de población de la ciudad de Ibarra fueron fundamentales para referenciar las medidas de una silla de ruedas estándar debido a que las sillas de ruedas comerciales hacen referencia en su mayoría a poblaciones europeas, estadounidenses y asiáticas.

Una baja gama comercial de metales estructurales y de bajo peso como es el aluminio dificultó llegar a una estructura óptima; por lo que se vio la necesidad de cambiar la selección de material en el análisis modular de soluciones.

El acero inoxidable AISI 304L es un material estructural de mayor propiedades mecánicas en nuestro medio; especialmente debido a su bajo mantenimiento, a su alto rango de zona elástica como virtud de propiedad mecánica, su durabilidad, su buena apariencia, etc. Siendo el mejor material para el diseño y construcción de silla de ruedas en nuestro país.

La ergonomía, seguridad, funcionalidad y la estética son parámetros fundamentales al momento de diseñar los elementos de constituyentes de una silla de ruedas.

El mecanismo bipedestador cumple con los parámetros adecuados para una bipedestación con un tiempo aproximado de 40 segundos, previniendo mareos o algún tipo de estrago por un movimiento brusco de posición.

La estructura es ajustable en sus principales componentes como: altura reposapiés, ángulo asiento – espaldar, altura ruedas centrales y más para aumentar su versatilidad con los diferentes usuarios.

REFERENCIAS

- [1] CONADIS, «Información estadística de personas con discapacidad,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>. [Último acceso: 19 Marzo 2017].
- [2] M. E. Moreno y P. Amaya, «Paraplejia: pasado y futuro del ser,» *Index de Enfermería*, vol. 18, n° 3, 2009.
- [3] Universidad Nacional Autonoma de Mexico, «Manual de antropometia,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/salud/censena/nza/spi/unidad2/Antropom>. [Último acceso: 11 05 2016].
- [4] J. Barbero y L. Ortega, «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.,» 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11394>.
- [5] F. Pascual Gómez, J. Ponce Vázquez y L. Rodríguez Rodríguez, «Sillas de ruedas. Características técnicas y antropométricas,» *ELSEVIER*, vol. 33, n° 6, pp. 401-7, 1999.

- [6] A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer y R. Aracil, Fundamentos de Robótica, Madrid: McGraw - Hill, 1997.
- [7] IVAN BOHMAN C.A., «Catálogo de productos,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ivanbohman.com.ec/product-detail/catalogo-2016/>. [Último acceso: 9 Sept. 2016].
- [8] CEDAL Aluminio, «SCRIBD,» 2008. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/3789262/Cedal-Catalogo-de-Ensambls-de-Aluminio>. [Último acceso: 02 Mayo 2016].