

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TEMA: “CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PARA
BIPEDESTACIÓN”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: OSCAR GABRIEL TAMBACO SUAREZ

DIRECTOR: ING. DIEGO ORTIZ. MSC.

IBARRA – ECUADOR 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003412184		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tambaco Suárez Oscar Gabriel		
DIRECCIÓN:	Atuntaqui, Bolívar y Santa Bertha		
EMAIL:	ogtambacos@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-909142	TELÉFONO MÓVIL:	0981988555

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PARA BIPEDESTACIÓN.
AUTOR:	Tambaco Suárez Oscar Gabriel
FECHA:	10/07/2017
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Diego Ortiz

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Oscar Gabriel Tambaco Suárez con cédula de identidad Nro. 1003412184, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de julio del 2017



Firma

Nombre: Oscar Gabriel Tambaco Suárez

Cédula: 1003412184



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Oscar Gabriel Tambaco Suárez, con cédula de identidad Nro. 100341218-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PARA BIPEDESTACIÓN., que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 10 días del mes de julio de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Oscar Gabriel Tambaco Suárez', written over a horizontal line.

Firma

Nombre: Oscar Gabriel Tambaco

Cédula: 100341218-4

DECLARACIÓN

Yo, Oscar Gabriel Tambaco Suárez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte - Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



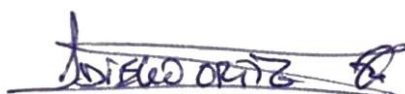
Firma

Nombre: Oscar Gabriel Tambaco Suárez

Cédula: 1003412184

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “**CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PARA BIPEDESTACIÓN**”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Oscar Gabriel Tambaco Suárez, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "DIEGO ORTIZ", is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a small mark at the end.

Ing. Diego Ortiz

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A mi madre, Magdalena Suárez, que es mi ejemplo de superación, trabajo duro y constancia para llegar a una meta; que con mucho amor fomentó en mí los mejores valores y actitudes.

A mi padre, Manuel Tambaco, que siempre estuvo conmigo apoyándome, sacando lo mejor de mí y siempre con un consejo ayudándome a levantarme las veces que necesite para formarme como profesional.

A mi hermano, Ing. Edison Tambaco, mi inspiración de ser mejor persona, mi guía durante toda mi vida para ser una buena persona y mi tutor durante la obtención de este título de ingeniería.

A mi novia, Gissela Pullas, que emprendió este camino conmigo y que de principio a fin estuvo conmigo en las buenas y malas; que con sus palabras de apoyo me ayudaron a dar lo mejor de mí.

A mis amigos, Johnny, Patricio, Bryam, Gissela, Mary, Stalin, Luis, Efraín y demás compañeros; son las personas con las que camine durante este proceso y supimos lo difícil que fue llegar hasta el final; mi más sinceros agradecimientos por ser mi familia durante este camino. ¡Siempre serán mis amigos!

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos más profundos a la Universidad Técnica del Norte, en especial a todos los que formamos de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, que durante todo este tiempo supieron impartirme sus conocimientos y formarme como profesional.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica que con su conocimiento y experiencia impartieron en mí las herramientas para llegar a obtener este título de la mejor manera.

A mis compañeros y amigos que durante esta etapa de mi vida fueron como mi familia fuera de casa, con quienes viví momentos especiales dentro y fuera del aula de clase; les quiero agradecer por formar parte de este logro.

RESUMEN

El presente trabajo de grado contiene el diseño y construcción de una silla de ruedas eléctrica para bipedestación para una persona parapléjica con un peso máximo de 100 Kg, el cual se orienta a eliminar molestias musculares que se presentan en personas con esta discapacidad física debido el uso excesivo de una silla de ruedas manual para la realización de actividades cotidianas y/o de trabajo. Además, el diseño de un mecanismo bipedestador acorde a una silla de ruedas normal permite un mejor estado de salud con el cambio de posición de sedente a bípeda y un mejor estilo de vida; fomentando en estas personas mayor seguridad y autoestima.

Inicialmente se realizó un análisis modular con la finalidad de determinar las necesidades del usuario y se transforme en la voz del ingeniero para lograr un diseño preliminar con apropiadas soluciones.

Para el diseño de la estructura se tomó como referencia la antropometría de usuarios de silla de ruedas de la provincia de Imbabura. Con el diseño CAD se obtuvo un diseño final de mecanismos y estructura que garantiza seguridad, ergonomía y una correcta funcionalidad para los usuarios. Mediante el método de análisis de elementos finitos se determinó los materiales y dimensiones de cada uno de los elementos de la silla de ruedas eléctrica para bipedestación. Los motores y actuadores son seleccionados de acuerdo a las necesidades de los usuarios y a la disponibilidad en el mercado nacional.

Finalmente, la estructura de la silla de ruedas para bipedestación consta con medidas estándares de sillas de ruedas comerciales, además, el mecanismo bipedestador es adecuado para la antropometría de la población de Imbabura para el cambio de posición.

ABSTRACT

The present work of the degree contains the design and construction of an electric wheelchair for standing for a paraplegic person with a maximum weight of 100 kg, which is aimed at eliminating muscle discomfort that occurs in people with this physical disability due to the use Excessive use of a manual wheelchair for carrying out daily activities and / or work. In addition, the design of a bipedestador mechanism according to a normal wheelchair allows a better state of health with the change of position from sedentary to bipedal and a better lifestyle; Promoting in these people greater security and self-esteem.

Initially a modular analysis was carried out with the purpose of determining the user's needs and becoming the engineer's voice to achieve a preliminary design with appropriate solutions.

For the design of the structure, the anthropometry of wheelchair users in the province of Imbabura was used as a reference. With the CAD design a final design of mechanisms and structure was obtained that guarantees safety, ergonomics and a correct functionality for the users. Using the finite element analysis method, the materials and dimensions of each of the elements of the electric wheelchair for standing up were determined. The motors and actuators are selected according to the needs of the users and to the availability in the national market.

Finally, the structure of the wheelchair for standing up consists of standard measures of commercial wheelchairs, in addition, the bipedestador mechanism is suitable for the anthropometry of the population of Imbabura for the change of position.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	i
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	i
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	ii
CONSTANCIAS.....	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	iii
DECLARACIÓN.....	iv
CERTIFICACIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE GENERAL	x
INDICE DE TABLAS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	5
ALCANCE.....	6
CAPÍTULO I	7
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Discapacidad humana.....	7
1.1.1. Paraplejía.....	8
1.2. Definición de la silla de ruedas	9
1.3. Conceptos generales de la silla de ruedas	9
1.3.1. Elementos Esenciales.	10
1.3.1.1. La Silla o Módulo de Asiento.	10
1.3.1.1.1. El asiento.	10
1.3.1.1.2. El respaldo.....	11
1.3.1.2. Las ruedas.....	11
1.3.1.2.1. Ruedas motrices.	12
1.3.1.2.2. Conjunto direccional.	12

1.3.1.3. Chasis o estructura	13
1.3.2. Elementos accesorios	14
1.3.2.1. Frenos	14
1.3.2.2. Reposabrazos.....	15
1.3.2.3. Reposapiés.....	15
1.3.3. Complementos.....	16
1.3.3.1. Elementos de sujeción.....	16
1.4. Propiedades y biomecánica de una silla de ruedas	17
1.4.1. Seguridad.....	17
1.4.2. Confort.....	17
1.4.3. Estética.....	18
1.4.4. Función.....	18
1.5. Consideraciones biomecánicas	18
1.5.1. Movilidad-rozamiento.....	19
1.5.1.1. La distribución del peso entre las ruedas delantera y traseras.....	19
1.5.1.2. El terreno sobre el que la silla va a ser utilizada.....	19
1.5.1.3. Centro de gravedad de la silla.....	20
1.5.2. Factores que afectan la propulsión.....	20
1.5.2.1. Altura y posición de las ruedas.....	20
1.5.2.2. Tamaño de las ruedas motrices.....	22
1.5.2.3. Ángulo de las ruedas motrices.....	22
1.5.3. Postura en la silla de ruedas.....	23
1.5.3.1. Tamaño del asiento.....	23
1.5.3.2. Forma y ángulo del asiento.....	25
1.5.3.3. Forma del respaldo y ángulo.....	25
1.5.3.4. Soporte de los Brazos.....	27
1.6. Bipedestación.....	27
1.6.1. Beneficios de la bipedestación.....	27
1.6.1.1. Impacto en la salud.....	28
1.6.1.2. Impacto social	28
1.6.2. Mecanismo bipedestador.....	28
1.6.2.1. Mecanismo de cuatro barras.....	28
1.7. Materiales estructurales	30
1.7.1. Acero inoxidable.....	30
1.7.1.1. Concepto.....	30
1.7.1.2. Características.....	30
1.7.1.3. Clasificación del acero inoxidable.....	31
1.7.1.4. Propiedades mecánicas.....	32
1.7.2. Aluminio.....	33
1.7.2.1 Aluminio 6063-T5.....	33
CAPÍTULO II.....	34
METODOLOGÍA.....	34
2.1. Medidas antropométricas	34
2.2. Alternativas de Diseño.....	36
2.2.1. Necesidades de las personas usuarias de una silla de ruedas.....	36
2.2.2. Ponderación y selección de elementos de la silla de ruedas para la ciudad de Ibarra.....	36

2.2.2.1. Sistema de puntuación.....	36
2.2.2.3. Tablas de resultados de ponderaciones para los elementos de la silla de ruedas.	37
2.2.3. Análisis modular de soluciones.....	39
2.3. Boceto del diseño preliminar.....	41
CAPÍTULO III.....	43
ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
3.1. Análisis medidas antropométricas	43
3.1.1. Anchura del asiento	43
3.1.2. Altura del asiento	43
3.1.3. Profundidad del asiento.....	44
3.1.4. Altura del reposabrazos.....	44
3.1.5. Altura del respaldo de la silla.....	44
3.1.6. Longitud reposabrazos.....	45
3.1.7. Distancia extremo a extremo reposabrazos.....	45
3.1.8. Anchura del espaldar.....	45
3.1.9. Ruedas traseras Diámetro:.....	45
3.1.10. Medidas Adoptadas.....	46
3.2. Análisis cinemático.....	46
3.2.1. Cinemática estructura de la silla de ruedas bipedestadora.....	46
3.2.2. Cinemática del actuador lineal.....	47
3.3. Diagrama de cuerpo libre.....	48
3.3.1. Barra del asiento-cojín.....	49
3.3.2. Pasador en el punto B.....	50
3.3.3. Pivote barra cojín – barra bipedestadora.....	53
3.3.4. Barra horizontal bipedestadora.....	55
3.4. Análisis de elementos finitos	57
3.4.1. Factor de seguridad	58
3.4.2. Desplazamientos	59
3.4.3. Von Mises	59
CAPÍTULO IV.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1. CONCLUSIONES	61
4.2. RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS	68
ANEXO 1: MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS	68
ANEXO 2: PLANOS ESTRUCTURA MECÁNICA SILLA DE RUEDAS.....	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Patente US 3907051 Stand-up wheelchair	4
Figura 2: Patente US 3379450 Adjustable wheelchair device	4
Figura 3: Fractura antigua de columna vertebral torácica	7
Figura 4. La paraplejia: Zona de afectación a nivel de la medula espinal	9
Figura 5. Asiento silla de ruedas	11
Figura 6. Respaldo	11
Figura 7. Ruedas Traseras	12
Figura 8: Rueda delantera 200 mm	12
Figura 9: . Silla de ruedas con armazón rígido	14
Figura 10: Silla de ruedas con armazón plegable	14
Figura 11:Freno de zapata	15
Figura 12. Reposabrazos móvil	15
Figura 13. Reposapiés móvil	16
Figura 14. Arnés abdominal	16
Figura 15. Altura y posición de la rueda	21
Figura 16. Alineacion Rueda motriz.....	21
Figura 17. Ángulo de las ruedas.	22
Figura 18.Postura en el asiento.	23
Figura 19. Profundidad corta del asiento.	24
Figura 20. Profundidad excedida del asiento.....	24
Figura 21. Profundidad óptima del asiento.....	24
Figura 22. Asiento asimétrico	25
Figura 23. Ángulo del asiento.....	43
Figura 24. Respaldo vertical.	25
Figura 25. Respaldo inclinado ligeramente hacia atrás.	25
Figura 26. Respaldo inclinado hacia atrás.	25
Figura 27. Recargo en la columna según la postura	26
Figura 28. Posición reposabrazos.	27
Figura 29. Mecanismo generador de trayectoria lineal	29
Figura 30. Eslabonamiento para trayectoria lineal	29
Figura 31. Mecanismo de cubierta del motor de un auto	30
Figura 32. Medidas antropométricas	34
Figura 33. Boceto preliminar silla de ruedas.	42
Figura 34. Cinemática mecanismo bipedestador - Silla de ruedas bipedestadora.	46
Figura 35. Trayectoria actuador lineal.....	47
Figura 36. Representación preliminar para el análisis estático.....	48
Figura 37. Descripción del componente: Barra del asiento-cojín.....	49
Figura 38. Diagrama de cuerpo libre: Barra asiento-cojín.....	49
Figura 39. Descripción del componente: Pasador B.....	50
Figura 40. Diagrama de cuerpo libre: Pasador B.....	51
Figura 41. Descripción del componente: Pivote bipedestador.....	53
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre: Pivote bipedestador.....	53
Figura 43. Descripción del componente: Barra horizontal bipedestadora.....	55
Figura 44. Diagrama de cuerpo libre: Barra horizontal bipedestadora.....	56
Figura 45. Análisis de elementos finitos Solidworks.....	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de una silla de ruedas.	10
Tabla 2. Propiedades mecánicas promedio para materiales de ingeniería típicos	13
Tabla 3. Valores del coeficiente de resistencia a la rodadura en diferentes tipos de suelo.	20
Tabla 4 Clasificación del acero inoxidable.	31
Tabla 5 Propiedades aceros inoxidables comerciales IVANBOHMAN	32
Tabla 6 Medidas en stock catalogo 2016 IVAN BOHMAN.	32
Tabla 7 Propiedades mecánicas aluminio 6063 – T5.....	33
Tabla 8 Medidas antropométricas usuarios de la ciudad de Ibarra.....	35
Tabla 9. Valoración de fiabilidad.....	36
Tabla 10. Ponderación parámetros de diseño.	37
Tabla 11. Selección estructura.	37
Tabla 12. Selección material.....	38
Tabla 13. Selección asiento.....	38
Tabla 14. Selección reposabrazos.	38
Tabla 15. Selección actuador motriz.....	38
Tabla 16. Selección ruedas motrices.....	39
Tabla 17. Módulo de selección de soluciones - Parte mecánica.....	40
Tabla 18. Módulo de selección de soluciones - Parte eléctrica..	41

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (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 paraplejia 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 paraplejia tienen un reto físico en la realización de actividades cotidianas, 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 moverse y ejecutar tareas por sí solos provocando en ellos aislamiento social y baja autoestima, lo que limita aún más su inclusión en la sociedad [2].

En conclusión, la silla eléctrica para bipedestación ayuda a las personas con paraplejia, a eliminar algunos problemas existentes en ellos, como es la dificultad para moverse con su silla de ruedas, cambiar su posición de sedente a bípeda y así ampliar sus capacidades para realizar actividades cotidianas, mejorar la calidad de vida y mejorar la salud de las personas con esta discapacidad física.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una silla de ruedas eléctrica para bipedestación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las medidas antropométricas del adulto con paraplejia.
- Diseñar una silla de ruedas eléctrica con estructura adecuada para bipedestación.
- Construir los componentes mecánicos de la silla de ruedas.
- Ensamblar los componentes mecánicos y actuadores eléctricos de la silla de ruedas.
- Realizar ajustes y pruebas de funcionamiento de la silla de ruedas eléctrica para bipedestación.

ANTECEDENTES

En 1881, el francés Gustave Trouvé realiza el diseño de un triciclo con motores eléctrico conectados a una batería. En 1882, en Inglaterra William Edward Ayrton y John Perry dan el surgimiento del primer triciclo eléctrico que consta de dos ruedas traseras y una delantera que luego vendría a ser el prototipo madre para la creación de sillas de ruedas [3].

George Westinghouse, inventor y fundador de la Westinghouse Electric and Manufacturing Company de América, a su muerte tenía un par de diseños para una silla de ruedas junto a él en 1914, que se produjo en una silla de ruedas manual. Debido a esto, muchos asumen que es uno de los primeros inventores de la silla de ruedas eléctrica. Dos años más tarde, un grupo de ingenieros británicos han revelado lo que llamaron una silla de ruedas motorizada, pero era

demasiado caro para los medios ciudadanos con discapacidad que se utilizan y el material del que estaba hecho era demasiado pesado y poco flexible para ser práctico [3].

En 1932, Harry Jennings diseñó una silla de ruedas chasis plegable con la ayuda de Herbert Everest, un parapléjico. En este modelo básico, los inventores han mejorado en el marco para crear una silla de ruedas eléctrica. Everest y Jennings patentaron su modelo de la silla eléctrica en 1937 y reinó como proveedor de silla de ruedas para América, acaparando el 90 por ciento del mercado de la silla de ruedas hasta el final de 1970 [3].

Los canadienses están orgullosos de su propio George Klein, un inventor reconocido que creó otra versión del éxito de la silla de ruedas eléctrica. Klein, junto con el Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRC), el Parapléjico Canadiense y el Departamento de Asuntos de Veteranos de Canadá, trabajó para lograr esta hazaña. El Consejo Nacional de Investigación de Canadá ha patentado y puesto en libertad la silla de ruedas eléctrica Klein en 1955 [3].

Muchas patentes datan de silla de ruedas bipedestadoras, iniciando por aparatos complementarios a la silla de ruedas que permiten la verticalización del paciente forzándolo a salir de su silla de ruedas. A continuación se presentan las patentes de silla de ruedas para bipedestación más importantes para este estudio.

Patentes de los Estados Unidos. Nos. US3907051 A, US3379450 y US3406772 redactan de sillas de ruedas para verticalización parcial o sustancial, es decir, brinda posicionamiento en diferentes ángulos exactos. La desventaja de estos dispositivos motor operados es que necesitan varios motores para el funcionamiento del mecanismo de bipedestación al igual que el mecanismo de descenso, convirtiéndose en un dispositivo extensamente complejo [4], [5], [6].

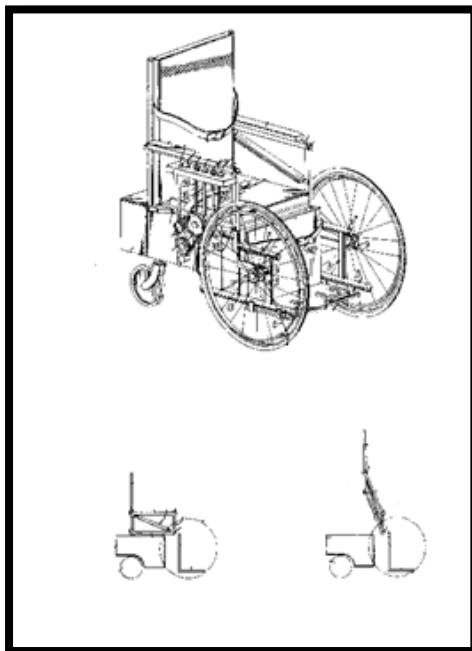


Figura 1: Patente US 3907051 Stand-up wheelchair [4].

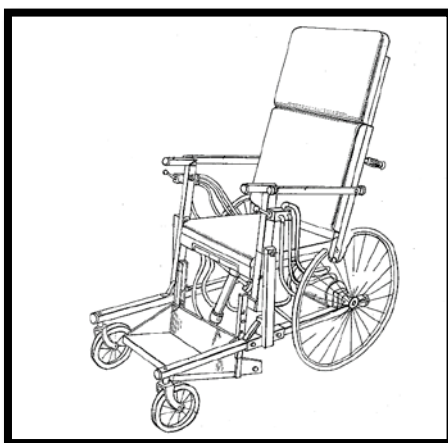


Figura 2: Patente US 3379450 Adjustable wheelchair device [5].

La patente WO 2008065230 Dispositivo para bipedestación y rehabilitación de marcha, para personas con minusválidas motoras publicada el 5 de junio del 2008, es una silla de ruedas eléctrica bipedestadora, donde su tracción motriz se encuentra en sus ruedas centrales las cuales

son movidas mediante motores reductores. Además, consta de un motor lineal con sensores para su cambio de posición de sedestación a bípeda. Todos estos motores son conectados a una batería para su funcionamiento autónomo [7].

Una de las patentes más actuales es la patente WO 2015189760 A1 publicada en el 2015 como una patente de silla de ruedas eléctrica bipedestadora, la cual proporciona una bipedestación adecuada para el paciente que le garantice los movimientos correctos para evitar lesiones musculares en sus extremidades inferiores, además de un traslado de una manera ergonómica. Está constituido con moto-reductores para su traslado y un pistón para la función de bipedestación [8].

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto de investigación es la creación de una silla eléctrica que brinde independencia en la movilidad de un lugar a otro de las personas paraplégicas dándoles más confianza en sí mismo, es por ello que esta propuesta plantea mejorar sus actividades de la vida diaria; haciendo individuos con una autoestima alta, activos y útiles a la sociedad.

La silla eléctrica asegura la movilidad de las personas en cualquier circunstancia sin necesidad de esfuerzos físicos que expone a lesiones fisiológicas perjudiciales en un grado más alto a las personas paraplégicas. Además, es un dispositivo asistencial que facilita la realización de actividades cotidianas que toda persona debe desempeñar, disminuir la dependencia de personas que asisten a las personas con discapacidad física y aumentar la intimidad para la ejecución de necesidades biológicas.

ALCANCE

El proyecto tiene la finalidad de construir una silla de ruedas eléctrica para bipedestación que permite la movilidad de una persona adulta con paraplejia en superficies planas y superficies inclinadas máximas de 6,84° (norma NTE INEN 2 245, año 2000 Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, rampas fijas.) sin la dependencia de terceras personas.

Para diseñar y construir la silla de ruedas se determina la longitud de cada miembro del cuerpo de la persona con paraplejia de acuerdo a normas estándares de diseño de estos dispositivos. El peso máximo de la persona con paraplejia que puede soportar la silla eléctrica para su movilidad adecuada y un correcto desempeño de los actuadores eléctricos es de 100 kg.

La silla de ruedas eléctrica está constituida con una estructura mecánica lista para incorporar un dispositivo de bipedestación. Además, se implementa actuadores eléctricos que son activados mediante un control supervisado por el usuario según sus necesidades.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Discapacidad humana

La discapacidad es la limitación de la capacidad para realizar una actividad de modo que se considera normal para un ser humano, como consecuencia de una deficiencia. Las discapacidades reflejan, por tanto, alteraciones a nivel de la persona. La Organización Mundial de la Salud (OMS), durante los años noventa estimó que aproximadamente el 10% de la población mundial tiene alguna discapacidad. Existen los siguientes tipos de discapacidad: físicomotora, psíquica, sensorial, intelectual, visceral y mental. Cada uno de los tipos puede manifestarse en distintos grados de discapacidad y una persona puede tener varios tipos de discapacidad al mismo tiempo. La discapacidad física se define como una desventaja, resultante de una imposibilidad que limita o impide el desempeño motor de la persona afectada, mientras que la discapacidad sensorial corresponde a las personas con deficiencias visuales, auditivas y a quienes presentan problemas en la comunicación y el lenguaje [9].

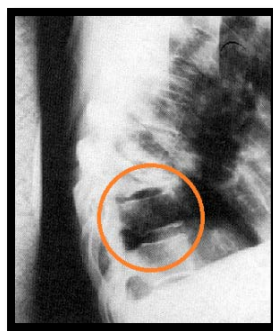


Figura 3: Fractura antigua de columna vertebral torácica [10].

1.1.1. Paraplejia.

La paraplejia es la parálisis de los miembros inferiores debida al compromiso de las vías motoras secundaria por una lesión medular en los segmentos toracolumbares. Cuando la lesión es completa, se afectan las vías motoras, sensitivas y autónomas, con pérdida de la sensibilidad somática y de la movilidad voluntaria por debajo del nivel de la lesión, incontinencia urinaria y fecal, espasticidad, hiperreflexia, atrofia muscular, infertilidad y disfunción sexual en los hombres [2].

Los cambios en el cuerpo de las personas con paraplejia generan dependencia, afectan la imagen corporal, reducen las oportunidades de empleo e interacción social y la estabilidad económica. Estas alteraciones representan una ruptura entre la vida que llevaban y la que tienen que asumir, por lo cual constituyen una amenaza para la percepción de la integridad del ser. A continuación se describen las repercusiones de estos aspectos en la corporalidad de las personas con paraplejia [2].

La dependencia es la pérdida de autonomía para realizar las actividades cotidianas ocasionadas por la parálisis, por la pérdida de la sensibilidad somática y el compromiso del sistema nervioso autónomo. En las personas con paraplejia es frecuente encontrar dolor, parestesias, espasticidad y trastornos en la regulación de la temperatura corporal, los cuales tienen un gran impacto en la ejecución de las actividades cotidianas, en la auto percepción y en el significado que le otorgan las personas a esta condición [2].

La percepción social sobre las personas parapléjicas hace que dichas personas pierdan la confianza en sí mismo y se marginen en el desarrollo de actividades cotidianas o en la ejecución de algún tipo de trabajo; atándolo a dependencias de terceras personas e invalidando la capacidad que estas personas pueden desarrollar [2].

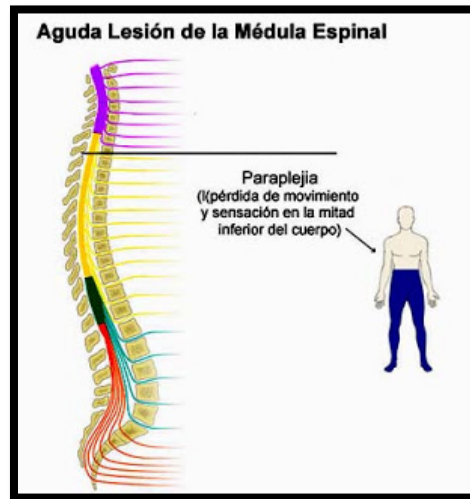


Figura 4. La paraplejia: Zona de afectación a nivel de la medula espinal [11].

1.2. Definición de la silla de ruedas

Una silla de ruedas es una ayuda técnica que consiste en una silla adaptada con al menos tres ruedas, aunque lo normal es que disponga de cuatro. Estas sillas están diseñadas para permitir el desplazamiento y movilidad de aquellas personas con problemas de locomoción, debido a una lesión, enfermedad física (paraplejía, tetraplejía, etc.) o que presentan problemas psicológicos [12, p. 17].

1.3. Conceptos generales de la silla de ruedas

Los elementos de una silla de ruedas pueden ser diversos según el tipo de silla de ruedas, pero existen elementos esenciales y otros denominados complementarios que tienen la misma importancia como se muestra en la tabla 1 [13].

Tabla 1.
Componentes de una silla de ruedas [13].

<i>Esenciales</i>
* Módulo asiento-respaldo.
* Ruedas.
* Estructura o chasis.
<i>Accesorios</i>
* Frenos.
* Reposabrazos.
* Reposapiés.
* Apoyapiernas.
* Reposacabeza.
* Pomo de ABD de caderas.
* Barras antivuelco.
* Etc.
<i>Complementos</i>
* Correas de sujeción.
* Bolso.

1.3.1. Elementos Esenciales.

1.3.1.1. La Silla o Módulo de Asiento.

Es un elemento que brinda soporte a la pelvis y al tronco. En caso de que una persona no presente deformidad en el tronco, el módulo deber ser simétrico, pero al contrario en el caso de existir, se debe diseñar un módulo de asiento especial hecho a la medida. Está formado por dos componentes: el asiento y el respaldo [13].

1.3.1.1.1. El asiento.

Esta parte de la silla de ruedas proporciona el apoyo del cuerpo en especial del soporte pélvico. Medidas del asiento: El asiento en su borde anterior debe llegar hasta unos 30 mm del hueco poplíteo, que es la parte posterior de la rodilla, especialmente cuando la pierna está en flexión o semiflexión, y a su vez la anchura debe sobrepasar unos 20 mm a cada lado de la pelvis [14].

Ajustes en la posición: En cuanto a la posición del asiento, este debe estar paralelo al suelo o elevado en su parte anterior de forma muy minúscula. La altura y la posición con relación a las ruedas se analizan posteriormente de acuerdo a la función biomecánica que se le quiera aportar.



Figura 5. Asiento silla de ruedas [15].

1.3.1.1.2. El respaldo.

Es un elemento que brinda descanso, soporte y estabilidad a la columna vertebral. Su altura debe quedar por debajo del homóplato, aproximadamente 25 mm [14].



Figura 6. Respaldo [15].

1.3.1.2. Las ruedas.

Proporciona la movilización de la silla de ruedas. La mayoría de las sillas tienen: dos ruedas grandes de tracción (motrices) y dos ruedas pequeñas de dirección (conjunto direccional) [13].

1.3.1.2.1. Ruedas motrices.

Por lo general son de mayor tamaño para permitir el sistema de auto propulsión. Los tamaños más frecuentes son 600 mm y 650 mm de diámetro. Las principales entre los tipos de ruedas motrices se presentan en el eje o sistema de rodamiento, la llanta con sus respectivos radios, el neumático y los aros de mano [13].



Figura 7. Ruedas Traseras [20].

1.3.1.2.2. Conjunto direccional.

Está formado por las ruedas pequeñas, la horquilla, el fleje o vástago y el casquillo [13].

Ruedas pequeñas: Su tamaño varía entre los 75 mm, 125 mm, 150 mm y 200 mm de diámetro. Las ruedas de menor diámetro (75 mm y 125 mm) son propicias para interiores en especial para suelo duro y liso. Y las ruedas de mayor diámetro (150 mm y 200 mm) son preferibles para terreno irregular. Horquilla y Vástago: Es el soporte del eje de la rueda. Casquillo: Es la parte de la estructura donde gira el vástago y permite que la rueda gire en cualquier dirección [13].



Figura 8: Rueda delantera 200 mm [12].

1.3.1.3. Chasis o estructura

Es todo el armazón que permite unir a la silla con las ruedas. El material más usado para la fabricación de la estructura viene a ser el acero aunque es más pesado su bajo precio lo hace más atractivo; el aluminio por el contrario es un material que ayuda a disminuir el peso de la estructura y finalmente se encuentran polímeros especiales como la fibra de carbono que son ultra ligeros y flexibles pero que su costo es proporcional a la disminución de peso [13].

En la siguiente tabla se resalta las propiedades de los materiales comerciales dentro del país y que pueden ser la opción más viable para el diseño.

Tabla 2.

Propiedades mecánicas promedio para materiales de ingeniería típicos [16].

Materiales	Densidad ρ (Mg/m ³)	Módulo de elasticidad E (GPa)	Módulo de rigidez G (GPa)	Resistencia a la cedencia (MPa) σ_y			Resistencia última (MPa) σ_u			% de elongación en probeta de 50 mm	
				Tens.	Comp. ^b	Cortante	Tens.	Comp. ^b	Cortante		
Metálicos											
Aleaciones de aluminio forjado	2014-T6	2.79	73.1	27	414	414	172	469	469	290	10
	6061-T6	2.71	68.9	26	255	255	131	290	290	186	12
Aleaciones de hierro fundido	Gris ASTM 20	7.19	67.0	27	–	–	–	179	669	–	0.6
	Maleable ASTM A-197	7.28	172	68	–	–	–	276	572	–	5
Aleaciones de cobre	Latón rojo C83400	8.74	101	37	70.0	70.0	–	241	241	–	35
	Bronce C86100	8.83	103	38	345	345	–	655	655	–	20
Aleaciones de magnesio	[Am 1004-T61]	1.83	44.7	18	152	152	–	276	276	152	1
Aleaciones de acero	Estructural A36	7.85	200	75	250	250	–	400	400	–	30
	Inoxidable 304	7.86	193	75	207	207	–	517	517	–	40
	De herramienta L2	8.16	200	75	703	703	–	800	800	–	22
Aleación de titanio	[Ti-6Al-4V]	4.43	120	44	924	924	–	1,000	1,000	–	16

La estructura o armazón de la silla puede ser: rígida o plegable.

Estructura rígida: Es una estructura constituida como una sola pieza, sus ventajas principales son: menor peso, más económica, bajo mantenimiento, durabilidad [13].



Figura 9: . Silla de ruedas con armazón rígido [12].

Estructura plegable: Es una estructura moldeable para su traslado, sus desventajas vienen a ser la desalineación por el peso del usuario y la resistencia al rodaje, además del efecto hamaca proporcionado por la constitución de la estructura.



Figura 10: Silla de ruedas con armazón plegable [12].

1.3.2. Elementos accesorios

En la elaboración de una silla de ruedas existen otros elementos que no son esenciales, pero que tienen igual de importancia. A continuación se nombran los más importantes:

1.3.2.1. Frenos

Proporcionan la detención de las ruedas. Las sillas de ruedas tienen uno o varios tipos de frenos, según el modelo y las necesidades que requieren ser cubiertas [13]. Hay frenos de varios tipos

para ganar en seguridad según su necesidad: frenos de estabilidad en la parada, frenos antivuelco, frenos de manillar para acompañante [17].

Los frenos más comunes son los frenos con zapata. Son de montaje alto (se anclan al tubo que queda por debajo del asiento), y pueden ser de dos tipos, según se activen empujando hacia delante o tirando hacia atrás [17].



Figura 11: Freno de zapata [18].

1.3.2.2. Reposabrazos.

Es un complemento importante debido a que permite descansar los brazos y ayuda al cambio de posición del cuerpo para así evitar posibles dolores musculares [19]. Existen varios tipos de reposabrazos: móviles, ajustables y fijos.



Figura 12. Reposabrazos móvil [20].

1.3.2.3. Reposapiés

Este elemento brinda el soporte de los miembros inferiores y además influye en la correcta sedestación. La altura del reposapiés debe estar en una posición donde permita la correcta circulación de los miembros inferiores. Por lo tanto, uno demasiado bajo provoca que los

muslos se apoyaran en exceso en el asiento logrando así una mala circulación. En cambio, uno demasiado alto provoca que el peso se coloque en las partes traseras. Entonces, el reposapiés debe mantener las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo en un ángulo de 90° [17].



Figura 13. Reposapiés móvil [20].

1.3.3. Complementos.

1.3.3.1. Elementos de sujeción.

Los arneses son los principales elementos de sujeción en una silla de ruedas, los cuales permite que el usuario de la silla de ruedas se mantenga seguro y evite cualquier tipo de caídas o accidentes. El más común es el arnés abdominal que se presenta en la figura 16.



Figura 14. Arnés abdominal [15].

1.4. Propiedades y biomecánica de una silla de ruedas

Algunas características o propiedades que debe reunir la silla de ruedas, deben ser: segura, comfortable, estética y funcional [13].

1.4.1. Seguridad.

La silla de ruedas es un vehículo, usado por lo general por personas con discapacidad física, que en muchas ocasiones tiene alteraciones del tono muscular [13]. La seguridad de la silla de ruedas está influenciada por:

- a. La posición del eje trasero. Con el eje trasero puesto hacia adelante (asiento hacia atrás) disminuye la estabilidad de la silla. En esta posición se facilita el empuje, pero puede inclinarse hacia atrás al acelerar bruscamente o subir una rampa. Con el eje trasero puesto hacia atrás (asiento hacia adelante) la estabilidad aumenta [13].
- b. Las ruedas pequeñas. Su posición afecta también a la seguridad. La colocación más adelantada aumenta la estabilidad, mientras que la retrasada la disminuye [13].

1.4.2. Confort.

El confort es una necesidad y hay que estar muy atentos a la posibilidad de que le produzca algún tipo de lesión. La piel sobre prominencias óseas de apoyo es especialmente sensible y susceptible a sufrir úlceras por presión. Pero también otras áreas del cuerpo humano en contacto con alguna parte dura de la silla pueden lesionarse [13].

Para reducir las fuerzas de presión en zonas concretas donde se producen lesiones o úlceras, es preciso aumentar el área de contacto y redistribuir mejor dichas presiones por medio de cojines. Además se debe tener en cuenta es la posibilidad de reacciones alérgicas al contacto

con algunos de los materiales. El calor, la sudoración, la falta de transpiración pueden ser algunos de los problemas que pueden encontrarse, fundamentalmente en climas cálidos [13].

1.4.3. Estética.

La estética es un factor muy importante, una silla de ruedas de buena apariencia aumenta el autoestima del usuario [13].

1.4.4. Función.

La autopropulsión. Debe ser eficaz y eficiente posible. En pacientes en los que la posibilidad de moverse por sus solas fuerzas es nula o muy reducida, entonces está indicado la necesidad del uso de una silla de ruedas eléctrica [13].

Si la propulsión por la propia fuerza del usuario es posible, este modo es preferible, incluso combinando el uso de manos y pies para ayudarse a la movilidad. La mayor parte de los trabajos sobre biomecánica de las sillas se refieren a la eficiencia de la propulsión, es decir, a la medida del esfuerzo necesario para conseguirla [13].

1.5. Consideraciones biomecánicas

Una silla de ruedas debe tener como objetivo permitir al usuario la máxima funcionalidad, comodidad y movilidad. Para cumplir con este objetivo, la silla debe estar pensada para ajustarse a la persona, no es la persona la que debe amoldarse a su silla. El resultado es que la energía del usuario se malgaste de manera innecesaria debido al esfuerzo realizado por mejorar su postura [17].

Por lo general la funcionalidad de una silla de ruedas viene precedido de acuerdo a su peso y al material con el que esté hecha su estructura. Sin embargo, hay factores más importantes como el asiento y la postura que de él se derive, la distancia entre ejes de las ruedas, entre otras que se presentan a continuación [17].

1.5.1. Movilidad-rozamiento.

Cuanto mayor es el rozamiento, la resistencia para rodar la silla es superior, y por lo tanto el usuario requiere mayor energía para su propulsión. En esta sección se analiza cómo afectan a la facilidad para rodar los siguientes factores:

1.5.1.1. La distribución del peso entre las ruedas delantera y traseras.

Mayor peso sobre las ruedas delanteras provocan mayor rozamiento, pero al mismo tiempo hace que la silla sea más estable. Una silla de ruedas estándar tiene una distribución del peso de 50% en las ruedas traseras y 50% en las delanteras (aproximadamente), mientras que una silla ligera ajustable (según el ajuste) tiene una distribución del peso de 80% en las ruedas traseras y 20% en las delanteras (aproximadamente). Esto hace que ruede mejor que una estándar pero que sea menos estable [13].

1.5.1.2. El terreno sobre el que la silla va a ser utilizada.

El coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento especifica una condición que consiste en adhesión, roce e interconexión. Para obtener el coeficiente de fricción demandado en la dirección radial se debe tener en cuenta que la máxima transmisión de la fuerza de roce depende de las características del neumático, pavimento y de la presencia de sustancias en el área de contacto [21]. En siguiente tabla se obtiene los datos del coeficiente de rodadura para las diferentes superficies de la ciudad de Ibarra.

Tabla 3.
Valores del coeficiente de resistencia a la rodadura en diferentes tipos de suelo [22].

Naturaleza y Estado del Suelo	Coeficiente de Resistencia a la Rodadura (k)	Índice de Cono (CI) [kPa]	Número característico (Bn)
Carretera en buen estado	0.02 a 0.04	--	
Camino de tierra afirmado	0.03 a 0.05	--	
Camino de tierra	0.04 a 0.06	--	
Suelo baldío	0.06 a 0.10	1800	80
Rastrojo seco	0.08 a 0.10	1200	55
Tierra labrada	0.10 a 0.20	900	40
Arena y suelo muy suelto	0.15 a 0.30	450 - 250	20

La resistencia a la rodadura se obtiene multiplicando el peso del vehículo por el valor del coeficiente del suelo por el que circula.

1.5.1.3. Centro de gravedad de la silla.

Al mover el centro de gravedad hacia atrás y hacia arriba se aumenta el peso sobre las ruedas traseras y hace que la silla sea más fácil de maniobrar pero más inestable. Si se desplaza el centro de gravedad hacia abajo y hacia delante, la silla gana en estabilidad pero es más difícil de manejar. (Normalmente se puede llegar a un compromiso según las necesidades del usuario. Puede ser necesario introducir dispositivos de seguridad como ruedas anti-vuelco) [17].

1.5.2. Factores que afectan la propulsión.

Una silla de ruedas debe procurar una propulsión eficaz junto con un gasto mínimo de energía. Cada usuario, debido a sus circunstancias personales, tiene una capacidad de propulsión distinta y a veces limitada [17]. Por eso es importante tener en cuenta los siguientes factores que permiten optimizar la propulsión dentro de sus posibilidades:

1.5.2.1. Altura y posición de las ruedas.

Para lograr una propulsión más eficaz, las ruedas traseras deben estar situadas a una altura tal que el usuario con el hombro relajado y dejando caer el brazo estirado, pueda tocar con la punta

de los dedos el eje de la rueda trasera. Si el eje de la rueda queda más alto de lo indicado, el aro de empuje le queda también alto, y el usuario debe flexionar demasiado los brazos para propulsarse. La propulsión es más incómoda e ineficiente. Si por el contrario el eje de la rueda está más abajo que la punta de los dedos, el usuario debe realizar la propulsión con los brazos demasiado estirados, y no puede aplicar la fuerza necesaria para la propulsión correcta [17].

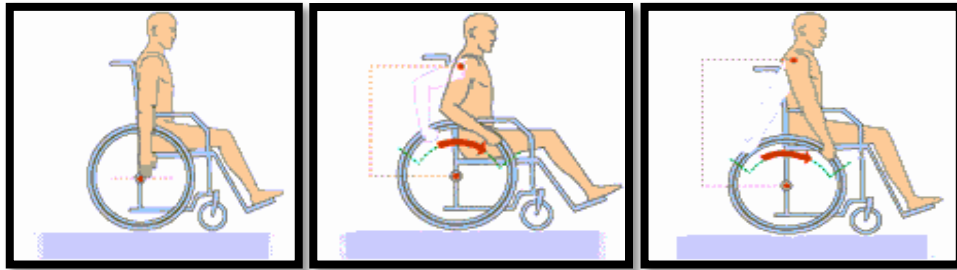


Figura 15. Altura y posición de la rueda [17].

Esta misma regla marca también la posición óptima de la rueda, ya no en altura sino en ubicación horizontal respecto al paciente. Si la rueda está adelantada y el eje queda por delante de los dedos, el usuario inicia la propulsión demasiado atrás y no puede completar todo el recorrido. Si el eje queda por detrás de los dedos, el usuario empieza la propulsión adelantado y por lo tanto obtiene un recorrido más corto y menos eficiente, como se muestra a continuación [17].

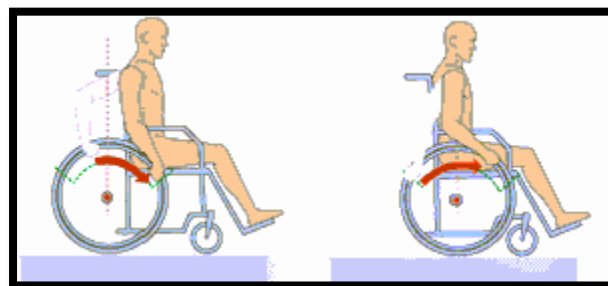


Figura 16. Alineación Rueda motriz.

La posición de la rueda trasera afecta también a la estabilidad de la silla. Si la rueda está más retrasada la silla es más estable (caso de sillas estándar) pero también requiere mayor energía

para la propulsión. Las sillas ligeras tienden a tener las ruedas traseras más adelantadas que la silla estándar. De esta forma necesita menor fuerza de palanca y menor energía para su propulsión [17].

1.5.2.2. Tamaño de las ruedas motrices.

La rueda trasera más pequeña permite aplicar menor esfuerzo para propulsarla, pero también realiza un recorrido más corto. Se suelen utilizar ruedas inferiores a 600 mm (24") en usuarios con dificultad de movimiento en los hombros o columna cifótica. También se utilizan ruedas más pequeñas en sillas de niños para que el aro de empuje quede a una altura más adecuada a la longitud de sus brazos [17].

1.5.2.3. Ángulo de las ruedas motrices.

Si las ruedas están más anchas en la base, la silla es más estable y los brazos quedan más cerca del cuerpo. Si se establece el ángulo adecuado, la distancia entre la posición del punto de aplicación de la fuerza en el aro de empuje a la articulación del hombro es menor, lo cual disminuye el momento respecto a esta articulación, por lo que la energía necesaria para la propulsión es menor. Si las ruedas están más juntas en la base, los brazos quedan muy lejos del cuerpo siendo difícil aplicar la fuerza necesaria para la propulsión. Además la silla es más inestable [17].

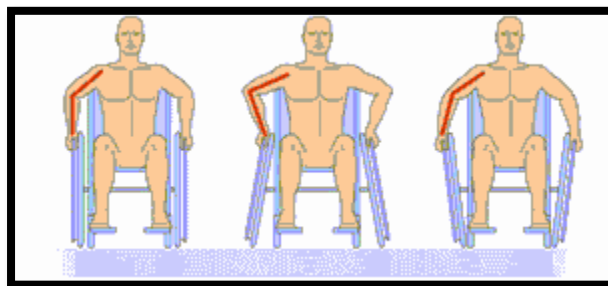


Figura 17. Ángulo de las ruedas.

1.5.3. Postura en la silla de ruedas.

Una silla de ruedas únicamente resulta útil para su usuario si le proporciona comodidad y una base de asiento estable que le permita:

- Sentarse erguido en una posición sentada simétrica.
- Conseguir la máxima capacidad funcional con el mínimo gasto de energía.
- Reducir la presión que soporta en los glúteos y muslos.

A continuación se analiza los distintos factores de los que depende que el usuario pueda adoptar en su silla la postura correcta para conseguir estos objetivos:

1.5.3.1. Tamaño del asiento.

Asegura la estabilidad optimizando la zona del cuerpo del usuario en contacto con la base del soporte. También procura alivio de la presión al distribuir de manera uniforme el peso del usuario en la mayor superficie posible. Si el asiento es demasiado ancho el usuario tiende a no sentarse simétricamente, si es demasiado estrecho existe el riesgo de que se produzcan escaras por presión [17].

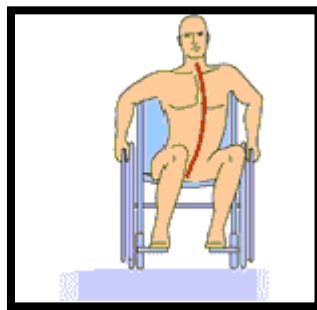


Figura 18. Postura en el asiento [17].

Si es demasiado corto, los muslos no se apoyan en el asiento en toda su longitud de forma que se acumula mayor presión en los glúteos [17].



Figura 19. Profundidad corta del asiento [17].

Si es demasiado largo, puede producir tensión en la zona posterior de la rodilla. También dificulta que el usuario obtenga el soporte adecuado del respaldo, ya que tiende a deslizarse en el asiento para evitar la tensión [17].



Figura 20. Profundidad excedida del asiento.

La longitud óptima del asiento debe ser aquella que estando el usuario bien sentado (erguido) deje una distancia aproximada 3 cm. de espacio entre el final del asiento y la zona interna de las rodillas del usuario [17].



Figura 21. Profundidad óptima del asiento.

1.5.3.2. Forma y ángulo del asiento.

El asiento debe ser firme y estar en un nivel uniforme. Una tapicería de asiento hundida provoca que el usuario se sienta de manera asimétrica haciendo que los muslos y las rodillas se empujen. Esto produce un exceso de presión y rozamiento. Cuando se mantiene una buena postura, el ángulo de la cadera (entre los muslos y el tronco) es fundamental ya que determina la estabilidad de la pelvis. [17].

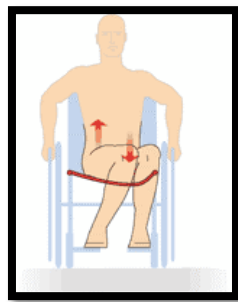


Figura 22. Asiento asimétrico.

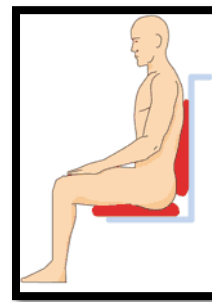


Figura 23. Ángulo del asiento.

1.5.3.3. Forma del respaldo y ángulo.

El respaldo debe de estar ligeramente reclinado para que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho del usuario ayudándole a mantenerse estable en la silla, esto hace que el apoyo de la parte superior del cuerpo se equilibre y la región lumbar descansa [17].

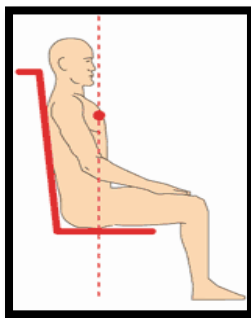


Figura 25. Respaldo inclinado ligeramente hacia atrás.

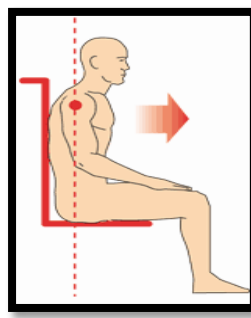


Figura 24. Respaldo vertical.

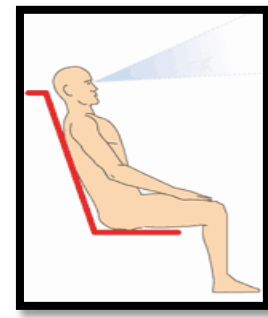


Figura 26. Respaldo inclinado hacia atrás.

Un respaldo completamente recto hace que la fuerza de gravedad recaiga en los hombros del usuario por lo que éste tiende a inclinarse hacia adelante para compensarla.

Un respaldo demasiado reclinado resulta incómodo porque el usuario ve reducido su campo visual [17].

Además el ángulo del respaldo con respecto al cojín del asiento varía según la tarea que se va a realizar, algunos expertos consideran que la posición estándar es de 93° a 97° debido a que es la mejor posición para disminuir la carga en la columna vertebral [23]. En la figura 29 podemos apreciar el porcentaje de esfuerzo en la columna según la posición de alineamiento del cuerpo [23].

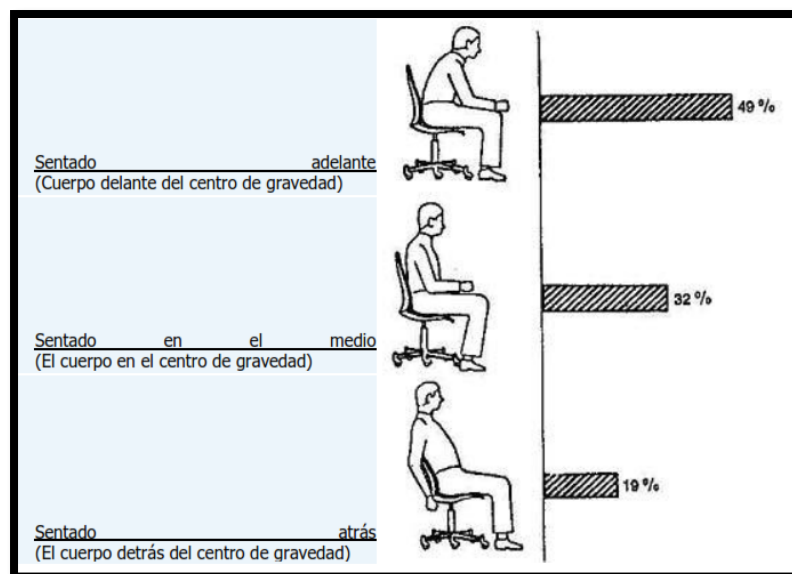


Figura 27. Recargo en la columna según la postura [23].

1.5.3.4. Soporte de los Brazos.

Los posabrazos procuran descanso a los brazos y apoyo para la acción de los músculos del cuello. Cuando se ajustan de manera adecuada, los antebrazos del usuario apoyados deben quedar a 90° del codo [17].

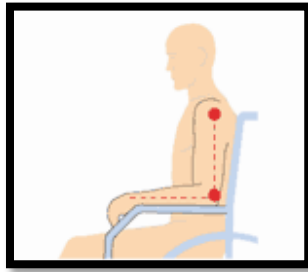


Figura 28. Posición reposabrazos.

Si los apoyabrazos son demasiado altos, los hombros quedan forzados hacia arriba, dando lugar a dolores musculares en la zona cervical. Si los apoyabrazos están demasiado bajos, el usuario tiende a dejarse caer hacia un lado cuando los utilice. En el caso de usuarios activos, una base de asiento estable puede eliminar la necesidad de apoyabrazos [17].

1.6. Bipedestación

1.6.1. Beneficios de la bipedestación.

Diferentes estudios demuestran que la bipedestación tiene beneficios terapéuticos y también psicológicos. Entre los principales beneficios están la prevención de escaras y osteoporosis, mejora los sistemas digestivo, circulatorio y muscular; por lo que muchos centros de rehabilitación realizan terapias asistidas con este tipo de ejercicio [24]. A continuación se presenta los diferentes impactos que ofrece un dispositivo bipedestador en las personas parapléjicas.

1.6.1.1. Impacto en la salud

No existen estudios que demuestren una mejor rehabilitación del dispositivo frente a una rehabilitación convencional. El movimiento de bipedestación incrementa la actividad física que conlleva a un incremento de la densidad mineral ósea (previene fracturas), activación de la circulación cardíaca y periférica, mejora de la función renal, favorece el tránsito intestinal y la descarga de la región isquiática (prevención de escaras) [25].

1.6.1.2. Impacto social

Un dispositivo bipedestador brinda independencia a una persona parapléjica para la realización de actividades cotidianas o en algunos casos de trabajo, esto significa la inclusión en la sociedad y el aumento del autoestima en las personas que esta lesión medular [25].

1.6.2. Mecanismo bipedestador.

En la sección de antecedentes del presente documento se muestran patentes de diferentes mecanismos bipedestadores diseñados para sillas de ruedas. Es por eso que el estudio lleva a diseñar un mecanismo bipedestador propio, el cual, debe ser eficiente y estar adaptado al conocimiento de nuestra carrera como es la mecatrónica.

1.6.2.1. Mecanismo de cuatro barras.

Este mecanismo es el más básico en el eslabonamiento por pasadores, pero es el más utilizado en el diseño de máquinas y dispositivos. Consta de cuatro eslabones los cuales son tres móviles y un fijo, además de tres articulaciones que por lo general son pasadores. No obstante que se trata de un mecanismo simple, las cuatro barras forman un mecanismo muy versátil usado en miles de aplicaciones. Los ejemplos mostrados en las figuras ilustran un amplio rango de usos de las cuatro barras [26]. Aunque esas aplicaciones son bastante diferentes, los

eslabonamientos mostrados en los ejemplos pueden clasificarse en tres categorías dependiendo de las tareas que realizan:

- a) **Generador de función:** Es un eslabonamiento en el que el movimiento relativo (o fuerzas) entre eslabones conectados a tierra es de interés. En la generación de función, la tarea no requiere un punto trazador de trayectoria sobre el eslabón acoplador [26].

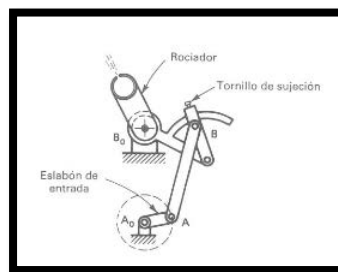


Figura 29. Mecanismo generador de trayectoria lineal [26].

- b) **Generación de trayectoria:** interesa sólo la trayectoria de un punto trazador y no la rotación del eslabón acoplador [26].

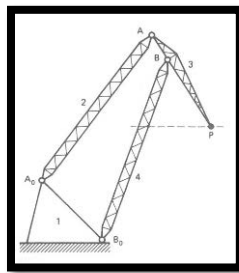


Figura 30. Eslabonamiento para trayectoria lineal [26].

- c) **Generación de movimiento** es de interés el movimiento total del eslabón acoplador, las coordenadas x , y del punto trazador de trayectoria y la orientación angular del eslabón acoplador [26].

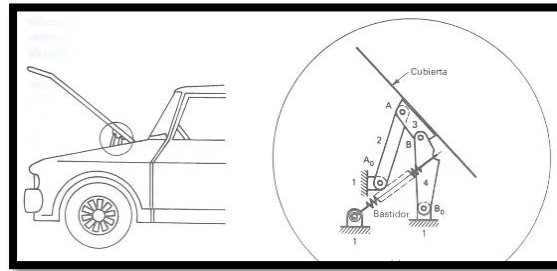


Figura 31. Mecanismo de cubierta del motor de un auto [26].

1.7. Materiales estructurales

La gama de tubería estructural comercial en el Ecuador para el diseño de la estructura de la silla de ruedas para bipedestación es muy escasa, teniendo en disponibilidad dos materiales posibles para su diseño; los que se describen en los siguientes apartados.

1.7.1. Acero inoxidable.

1.7.1.1. Concepto.

Son aleaciones de hierro (Fe) y cromo (Cr) con un mínimo del 10.5%. El cromo es el elemento que le da al acero una alta resistencia a la corrosión. Corrosión es la disolución vía química o electroquímica de un metal o aleación, con pérdida de materia, que depende del material o de la naturaleza del medio [27].

1.7.1.2. Características.

- Resistencia a la corrosión y durabilidad general.
- Alta y buena resistencia mecánica a alta temperatura y ductilidad a baja temperatura.
- Atractiva apariencia: El acero inoxidable es un material moderno, que mantiene su apariencia a lo largo del tiempo, lo cual es una de sus principales características.

- Fácil de trabajar: el acero inoxidable puede ser fácilmente conformable, mediante diferentes técnicas como embutición, doblado, rolado, soldadura, etc.
- El acero inoxidable no altera el sabor de los productos alimenticios: Esta es una importante propiedad para alimentos e industria de bebidas.
- El acero inoxidable es fácil de limpiar, desinfectar o esterilizar y tiene perfecta resistencia a los agentes usados para esos propósitos.
- Bajos costos: Cuando se calcula el precio de inversión inicial más los bajos costos de mantenimiento, el acero inoxidable resulta un material barato.
- Reciclable: El acero inoxidable es 100% reciclable.

1.7.1.3. Clasificación del acero inoxidable.

Dentro de los tipos de aceros inoxidables comerciales se encuentran los siguientes grupos:

Tabla 4
Clasificación del acero inoxidable [27].

<p>MARTENSÍSTICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.1 % de carbono • 12 - 18 % de cromo 	<p>Son aceros inoxidables, capaces de lograr una transformación de austenita a martensita mediante un tratamiento térmico de temple. Dependiendo de la composición y tipo de tratamiento térmico, se puede obtener durezas en el rango de 40 a 60 HRC.</p>
<p>FERRÍTICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.02 A 0.06 % de carbono • 0 a 4 % de molibdeno • 11 a 29 % de cromo 	<p>La resistencia a la cedencia de estos materiales está típicamente en el rango de 250 a 380 N/mm, con elongación de 20 - 32 % . Generalmente no se pueden endurecer por tratamiento térmico. En nuestro país el acero AISI 430 es el más conocido, en aplicaciones ornamentales de baja exigencia de resistencia a la corrosión como vitrinas, frigoríficos, cocinas, etc.</p>
<p>AUSTENÍTICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0.0015 A 0.10% de carbono • 0 a 4% de molibdeno • 11 a 29% de cromo 	<p>La resistencia a la cedencia de estos materiales está típicamente en el rango de 215 a 360 N/mm², con elongación de 40 - 55%. Su alta ductilidad, le da estupendas características de conformado, embutición, doblez, rolado. Materiales muy soldables. Ideales para construcción de contenedores de producto alimenticio, equipo hospitalario y catering.</p>

1.7.1.4. Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los tipos de aceros inoxidable tomadas del catalogo de IVANBOHMAN, el cual, es un referente nacional de producción de materiales estructural de aceros en el país se detalla a continuación:

Tabla 5
Propiedades aceros inoxidables comerciales IVANBOHMAN [27].

AISI	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Resistencia a la cedencia min.(kg/mm ²)	Elongación %	Dureza HB (máx)	W.Nr	European Designation
304	54	21	58 min	190	1.43012	X5CrNi18-10
316-L	53	24	50	200	1.4404	X2CrNiMo 17-3-2
430	53	26	40	180	1.4016	X6Cr 17
420 mod	--	--	--	241	1.2083	X41Cr13

Las dimensiones de tubo estructural de acero inoxidable AISI 304 del catalogo de producción de IVAN BOHMAN se describe en la tabla 5.

Tabla 6
Medidas en stock catalogo 2016 IVAN BOHMAN.

Medidas en stock							
Norma ASTM A-312-1995, Annealed & Pickled							
Cuadro de dimensiones y test hidrostático para tubos de acero inoxidable, según normas ASTM A-312.							
Diaméto NB	(mm)	SCH10S			SCH40S		
Pulgadas		Espesor de pared (mm)	Test hidrotático (Mpa)	Peso Aprox. (kg/m)	Espesor de pared (mm)	Test hidrotático (Mpa)	Peso Aprox. (kg/m)
1/4	13,72	1,65	18	0,50	2,24	18	0,64
3/8	17,15	1,65	18	0,64	2,31	18	0,86
1/2	21,34	2,11	18	1,01	2,77	18	1,28
3/4	26,67	2,11	18	1,29	2,87	18	1,70
1"	33,40	2,77	18	2,11	3,38	18	2,53
1 1/4	42,16	2,77	17	2,72	3,556	18	3,43
1 1/2	48,26	2,77	15	3,14	3,68	18	4,10
2"	60,33	2,77	12	3,97	3,91	16	5,49
2 1/2	73,03	3,05	11	5,32	5,16	18	8,72
3"	88,90	3,05	9	6,52	5,49	16	11,40
3 1/2	101,60	3,05	8	7,49	5,74	14	13,70
4"	114,30	3,05	7	8,45	6,02	13	16,20
5"	141,30	3,4	6	11,70	6,55	12	22,00
6"	168,28	3,4	5	14,00	7,11	11	28,5

1.7.2. Aluminio.

Existen diferentes conformaciones de tubería estructural de aluminio, la más utilizada es la aleación 6061-T6 debido a su conformado en frío tiene altas propiedades mecánicas para el diseño de estructuras, es por ello que las fabricas de bicicletas prefieren esta conformación. En el medio local se comercializa la aleación 6063-T5 debido a que el aluminio en nuestras empresas solo son utilizadas como perfilera, mas no como un metal estructural para el diseño de estructuras.

1.7.2.1 Aluminio 6063-T5.

En la siguiente tabla se puede apreciar las propiedades mecánicas del aluminio 6063-T5, donde se puede apreciar que no es un material estructural y posee baja resistencia mecánica.

Tabla 7.

Propiedades mecánicas aluminio 6063 - T5 catálogo Cedal [28].

Aleación A.A.	Espesor pulgadas	Dureza (HWB) mín.	Webster B normal	Resist. a Fluencia (Kg /mm ²)		Rest. a tensión (Kg /mm ²)		Elongación (% en 5 cm)
				mínimo	normal	mínimo	normal	
6063-T1	Todos	4	6	5.6	8.5	11.2	16	14
	T4							
	<0.5"	5	7	6.2	8.8	12.9	16.7	14
	T5%(1)							
	<0.5"o más	4	6	6	8.5	12.5	16.1	14
	T6							
	Todos	7	8	9.5	12.3	13.9	17.6	12
	<0.5"	8	10	11.2	16.2	15.5	19.7	8
	<0.5"o más	7	9	10.7	14.4	14.8	18.6	8

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. 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 [29].

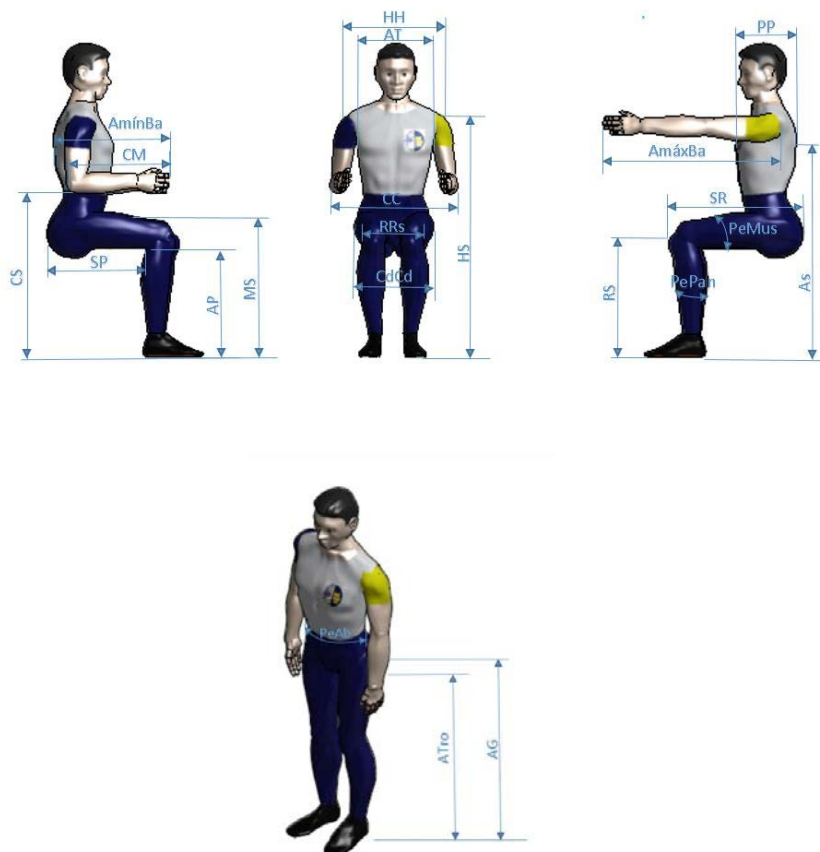


Figura 32. Medidas antropométricas [30].

En el mercado existe 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 que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8.

Medidas antropométricas usuarios de la ciudad de Ibarra.

Código	Nombre: Jaime Molina Edad: 52 Patología: Paraplejia	Nombre: Carlos Fernández Edad: Patología: Paraplejia	Nombre: Joaquín Segundo Edad: Patología: Paraplejia	Nombre: Alejandro Flores Edad: Patología: Paraplejia	Media aritmética	Varianza	Desviación estándar	Percentil 5	Percentil 95
AP	46	43	40	48	44.3	12.3	3.5	40.5	47.7
SP	43	46	45	45	44.8	1.6	1.3	43.3	45.9
SR	51	52	51	53	51.8	0.9	1.0	51.0	52.9
MS	58	54	50	60	55.5	19.7	4.4	50.6	59.7
RS	49	47	43	51	47.5	11.7	3.4	43.6	50.7
CS	70	67	64	76	69.3	26.3	5.1	64.5	75.1
AmínBa	49	56	54	54	53.3	8.9	3.0	49.8	55.7
CM	45	48	45	47	46.3	2.3	1.5	45.0	47.9
AmáxBa	70	70	71	77	72.0	11.3	3.4	70.0	76.1
HS	101	96	90	113	100.0	95.3	9.8	90.9	111.2
CdCd	35	44	37	42	39.5	17.7	4.2	35.3	43.7
RRs	35	39	36	34	36.0	4.7	2.2	34.2	38.6
AS	83	84	75	92	83.5	48.3	7.0	76.2	90.8
CC	63	61	54	57	58.8	16.3	4.0	54.5	62.7
PP	28	27	28	25	27.0	2.0	1.4	25.3	28.0
HH	49	44	43	44	45.0	7.3	2.7	43.2	48.3
AT	35	41	38	35	37.3	8.3	2.9	35.0	40.6
PeMus	47	45	33	35	40.0	49.3	7.0	33.3	46.7
PePan	35	33	32	31	32.8	2.9	1.7	31.2	34.7
Atro	80	83	76	92	82.8	46.3	6.8	76.6	90.7
AG	94	96	86	99	93.8	30.9	5.6	87.2	98.6
PeAb	107	116	100	113	109.0	50.0	7.1	101.1	115.6
Altura	167	171	166	175	169.8	16.9	4.1	166.2	174.4

2.2. Alternativas de Diseño.

2.2.1. Necesidades de las personas usuarias de una silla de ruedas.

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 dirige a el tipo de elementos de silla de ruedas adecuado para el diseño.

2.2.2. 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 varias 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.

2.2.2.1. Sistema de puntuación

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

*Tabla 9.
Valoración de fiabilidad*

Fiabilidad	Valoración
Mayor	1
Igual	0.5
Menor	0

La siguiente tabla muestra los ponderación de las sugerencias propuestas por el usuario y que se convirtieron en la voz del ingeniero para luego dar parametros medibles en función de la ingeniería.

Tabla 10.
Ponderación parámetros de diseño.

Seguridad >Ergonomía=Funcionalidad>Estética>Costo>Mantenimiento								
	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costos	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación en porcentaje
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

La ponderación en porcentaje muestra la valoración obtenida de cada uno de los parámetros considerados para el diseño.

2.2.2.3. Tablas de resultados de ponderaciones para los elementos de la silla de ruedas.

Las siguientes tablas muestran la ponderación de las posibles soluciones de los principales elementos y accesorios de la silla de ruedas.

- Estructura o chasis

Tabla 11.
Selección estructura.

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

- Material

Tabla 12.
Selección material.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final Porcentaje	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	2

- Asiento

Tabla 13.
Selección asiento.

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

- Reposabrazos

Tabla 14.
Selección reposabrazos.

Tipos	Seguridad	Ergonomía	Estética	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Ponderación Final Porcentaje	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

- Actuador motriz

Tabla 15.
Selección actuador motriz.

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

- Ruedas motrices

Tabla 16.
Selección ruedas motrices.

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

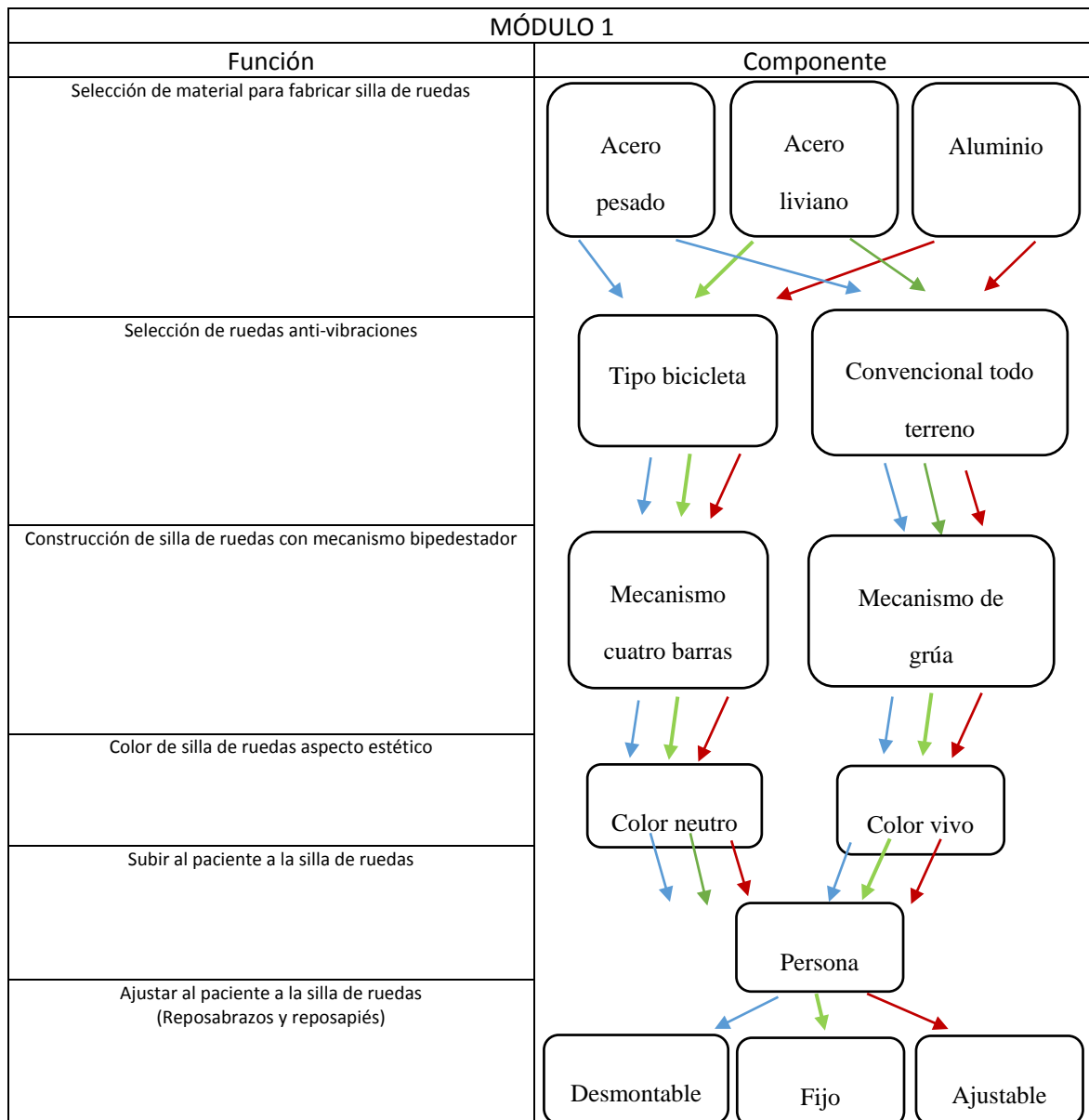
2.2.3. Análisis modular de soluciones

En el método de análisis modular se determina las posibles soluciones de cada sistema constituyente de la máquina y al final se obtiene un modelo de solución escogido entre uno o más componentes que cumple determinada función y así poder cumplir todas las necesidades del cliente.

Para determinar las funciones generales de la silla de ruedas eléctrica para bipedestación se divide en dos módulos de funcionalidad, donde el primero constituye la parte mecánica de la máquina y en segundo módulo la parte eléctrica donde se determina los diferentes tipos y modelos de actuadores eléctricos que va a instalar en el dispositivo.

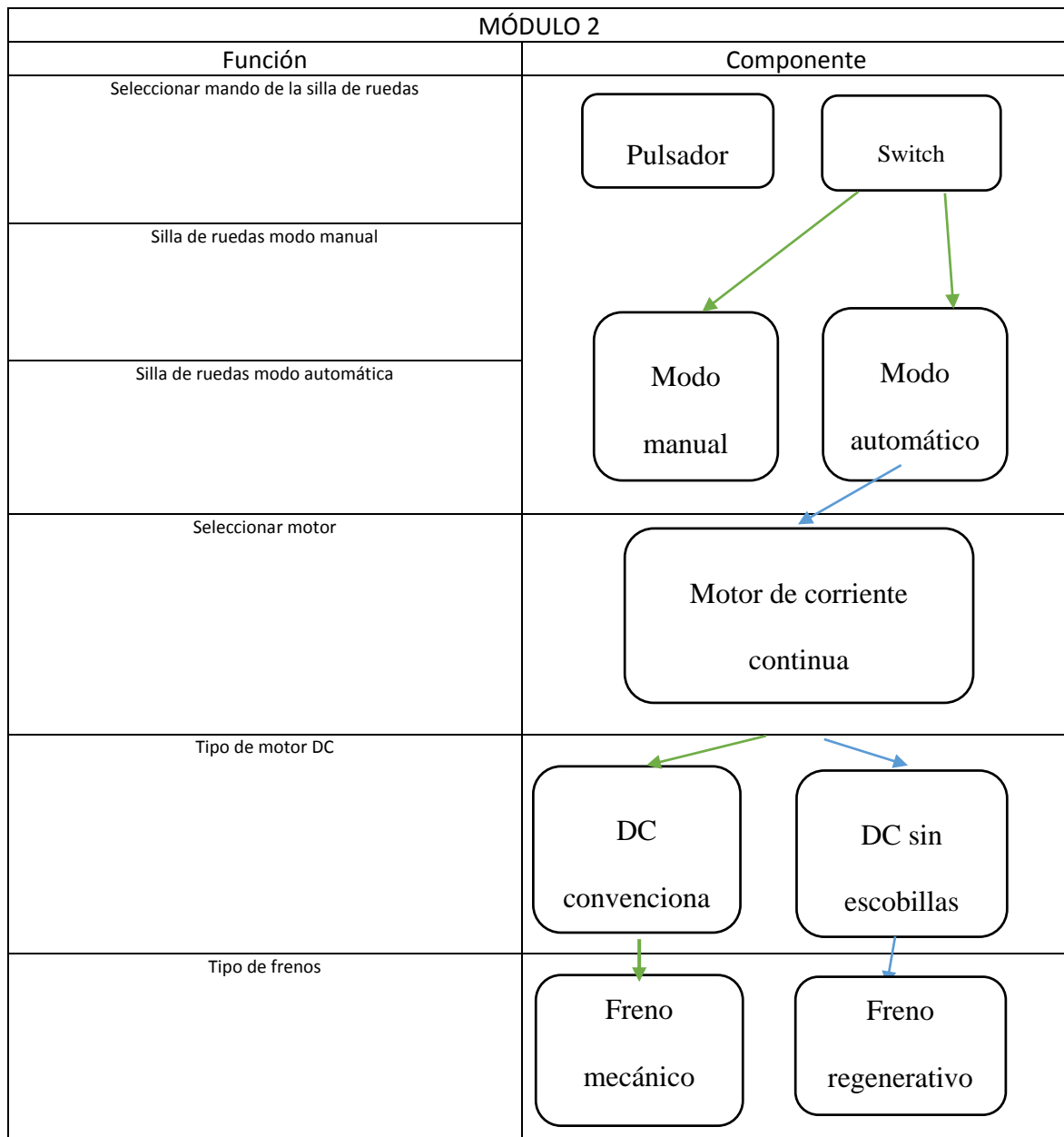
La siguiente tabla muestra el análisis modular de los componentes mecánicos de la silla de ruedas que se toma en cuenta en el estudio previo al diseño final.

Tabla 17.
Módulo de selección de soluciones - Parte mecánica.



La tabla que se presenta a continuación muestra el análisis modular de soluciones de los componentes eléctricos teniendo en cuenta la función a cumplir y la disponibilidad en el mercado .

Tabla 18.
Módulo de selección de soluciones - Parte eléctrica..



2.3. 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.

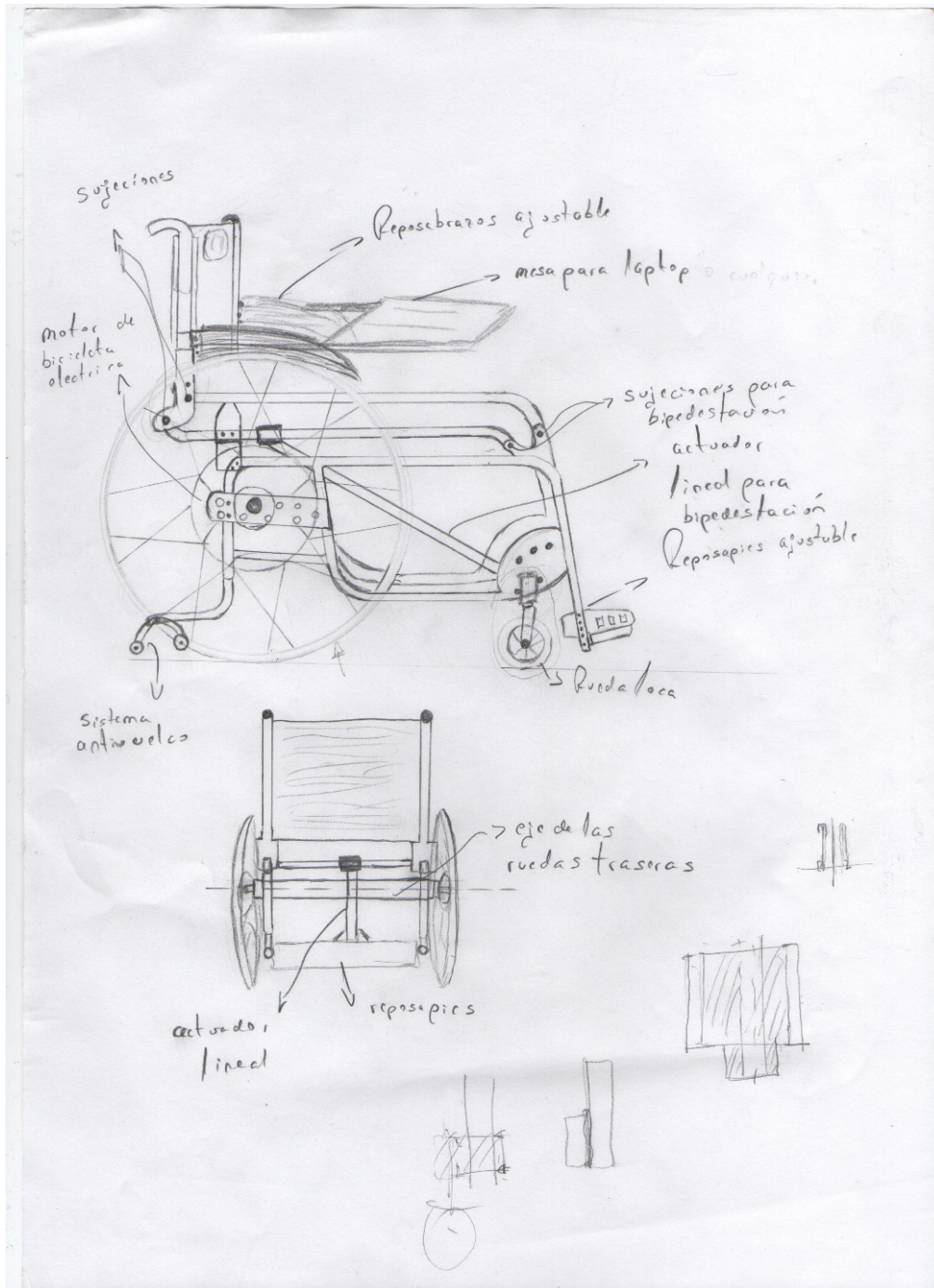


Figura 33. Boceto preliminar silla de ruedas.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Análisis medidas antropométricas

La toma de muestra de personas parapléjicas de la ciudad de Ibarra determina las dimensiones de la estructura de la silla de ruedas.

3.1.1. 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.

3.1.2. Altura del asiento

Corresponde a la altura poplíteica (AP). Equivale a la altura desde el reposapiés hasta la parte anterior de la rodilla concretamente el punto poplíteico 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 [30].

Entonces, se determina:

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

3.1.3. 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:

$$\text{Profundidad del asiento} = SP - \text{holgura} = 45,9 - 3 \text{ cm} = 43 \text{ cm.}$$

3.1.4. 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 [30].

$$\text{Altura reposabrazos} = CS + \text{holgura} = 64,5 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 66,5 \text{ cm.}$$

3.1.5. 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 [30].

$$\text{Altura del respaldo} = AS - \text{holgura} = 90,8 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 88,8 \text{ cm.}$$

3.1.6. 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.

3.1.7. 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.

3.1.8. 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.

3.1.9. 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”).

3.1.10. 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.

3.2. Análisis cinemático

3.2.1. Cinemática estructura de la silla de ruedas bipedestadora.

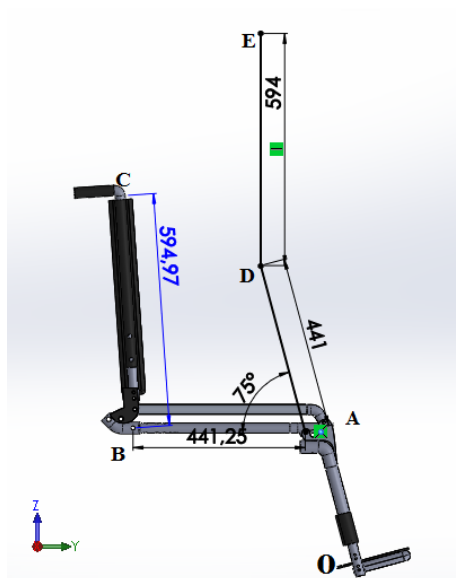


Figura 34. Cinemática mecanismo bipedestador - Silla de ruedas bipedestadora.

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" [31].

$$\gamma_{DA} = [0, 113.9, 425]$$

$$\gamma_{DO} = [0, -212.3, 792]$$

$$\gamma_{BA} = [0, 212.3, 1382]$$

3.2.2. Cinemática del actuador lineal.

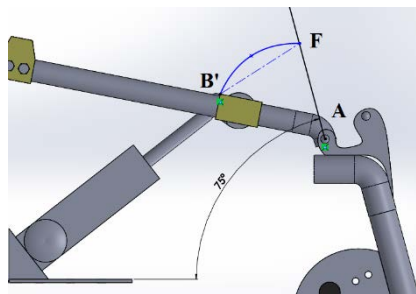


Figura 35. Trayectoria actuador lineal.

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.

$$Y_{FB'} = [0, 118.59, 154.55] \text{ mm}$$

Distancia de recorrido para el actuador lineal.

$$D = \sqrt{0^2 + 118.59^2 + 154.55^2}$$

$$D = 194.8 \text{ mm}$$

3.3. Diagrama de cuerpo libre

Al ser una maquina 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.

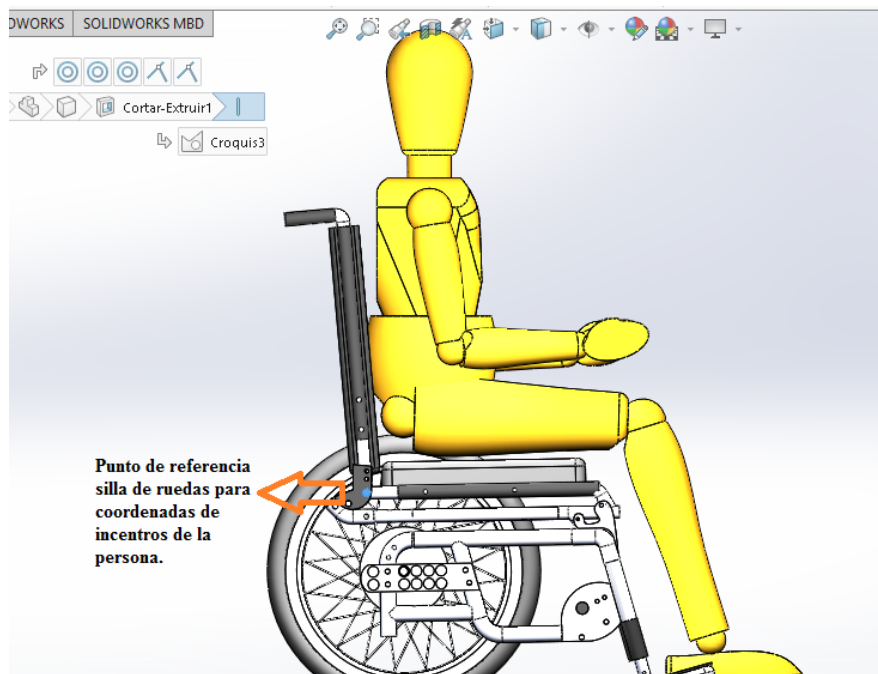


Figura 36. Representación preliminar para el análisis estático.

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

3.3.1. Barra del asiento-cojín.

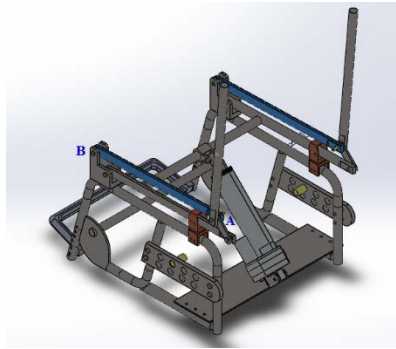


Figura 37. Descripción del componente: Barra del asiento-cojín.

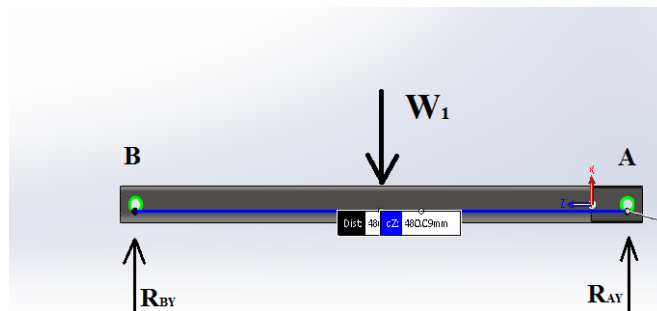


Figura 38. Diagrama de cuerpo libre: Barra asiento-cojín.

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

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

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

$$f_{SAB} = \frac{S_y}{\sigma_{maxAB}}$$

$$f_{SAB} = 3.26$$

3.3.2. Pasador en el punto B

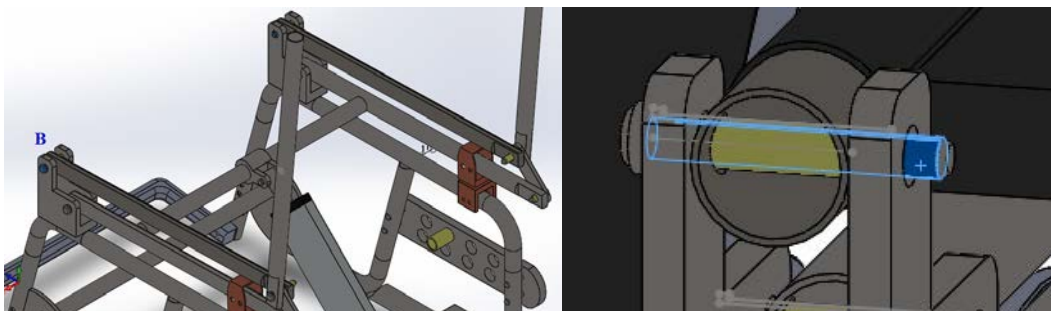


Figura 39. Descripción del componente: Pasador B.

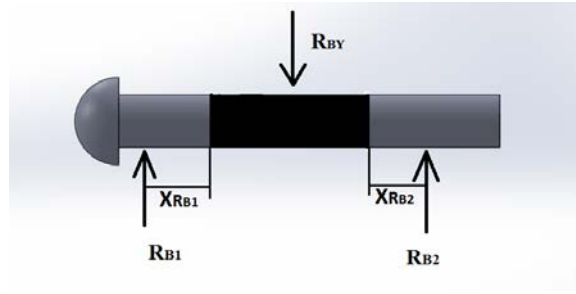


Figura 40. Diagrama de cuerpo libre: Pasador B.

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

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

$$f_{SAB} = 4.26$$

3.3.3. Pivote barra cojín – barra bipedestadora.

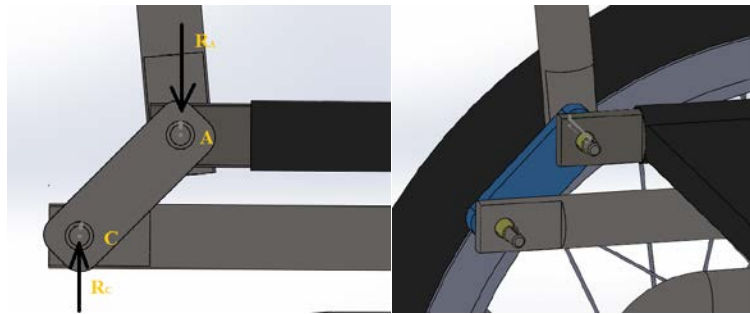


Figura 41. Descripción del componente: Pivote bipedestador.

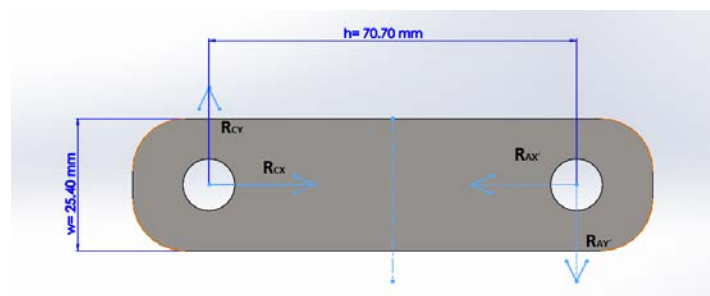


Figura 42. Diagrama de cuerpo libre: Pivote bipedestador.

Datos:

$$\text{Espesor} = e = 0.006 \text{ m}$$

$$w = 0.0254 \text{ m}$$

$$h = 0.0707$$

$$R_{AY} = 490 \text{ N}$$

$$R_{AY'} = R_{AY} \times \cos 45^\circ$$

$$R_{AY'} = 346.48 \text{ N}$$

$$R_{AX'} = R_{AY} \times \sin 45^\circ$$

$$R_{AX'} = 346.48 \text{ N}$$

Análisis de cargas.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{CY} + R_{AY'} = 0$$

$$R_{CY} = 346.48 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{CX} + R_{AX'} = 0$$

$$R_{CX} = 346.48 \text{ N}$$

Análisis momento flector.

$$M_C = R_{CY} \times h$$

$$M_C = 24.5 \text{ Nm.}$$

Análisis de esfuerzos

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

$$e = 0.006 \text{ m}$$

$$w = 0.0254 \text{ m}$$

$$h = 0.0707$$

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{maxC} = \frac{3 \times R_{CY}}{2 \times A_C}$$

$$\tau_{maxC} = 3.41 \text{ MPa}$$

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{maxCy} = \frac{M_C \times \frac{e}{2}}{\frac{e^3 \times h}{12}}$$

$$\sigma_{maxCy} = 57.75 \text{ MPa}$$

Esfuerzo carga axial

$$\sigma_{maxCx} = \frac{R_{CY}}{A_C}$$

$$\sigma_{maxCx} = 2.27 \text{ MPa}$$

Von Mises

$$\sigma_C' = \sqrt{\sigma_{maxCx}^2 - (\sigma_{maxCx} \times \sigma_{maxCy}) + \sigma_{maxCy}^2 + 3\tau_{permB}^2}$$

$$\sigma_C' = 56.95 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$f_{sC} = \frac{S_y}{\sigma_{maxAB}}$$

$$f_{sC} = 3.63$$

3.3.4. Barra horizontal bipedestadora.

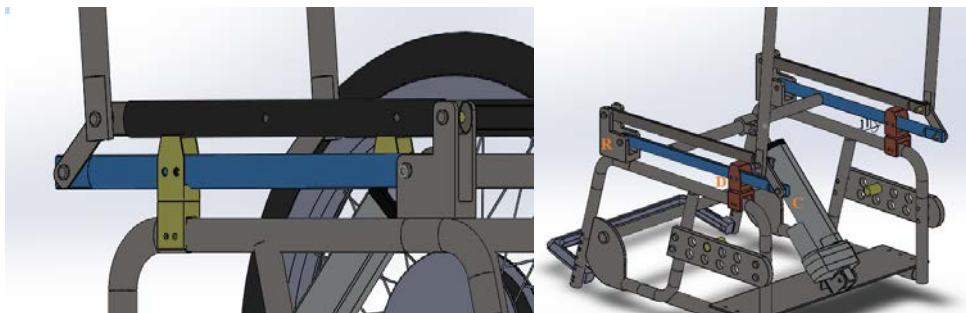


Figura 43. Descripción del componente: Barra horizontal bipedestadora.

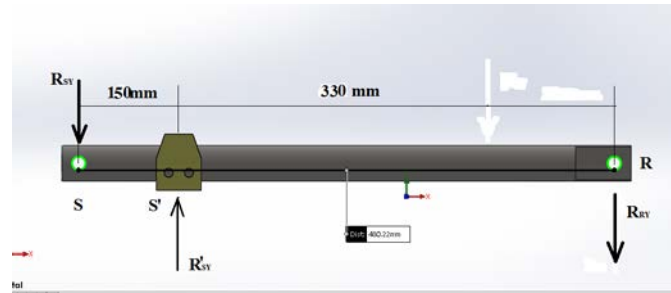


Figura 44. Diagrama de cuerpo libre: Barra horizontal bipedestadora.

Datos:

$$x_{RS} = 0.015 \text{ m}$$

Análisis de cargas.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{CY} + R_{DY} = 0$$

$$R_{DY} = 346.48 \text{ N}$$

Análisis momento flector.

$$M_C = R_{CY} \times x_{RS}$$

$$M_C = 51.97 \text{ Nm.}$$

Análisis de esfuerzos

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

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{maxCDy} = \frac{32 \times M_D \times D}{\pi \times (D^4 - d^4)}$$

$$\sigma_{maxCDy} = 81.76 \text{ MPa}$$

Esfuerzo carga axial

$$\sigma_{maxCDx} = \frac{R_{Cx}}{\frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)}$$

$$\sigma_{maxCDx} = 3.08 \text{ MPa}$$

Von Mises

$$\sigma_{CD}' = \sqrt{\sigma_{maxCDx}^2 - (\sigma_{maxCDx} \times \sigma_{maxCDy}) + \sigma_{maxCDy}^2}$$

$$\sigma_{CD}' = 80.26 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

$$f_{sC} = \frac{S_y}{\sigma_{CD}'}$$

$$f_{sC} = 2.58$$

3.4. 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.

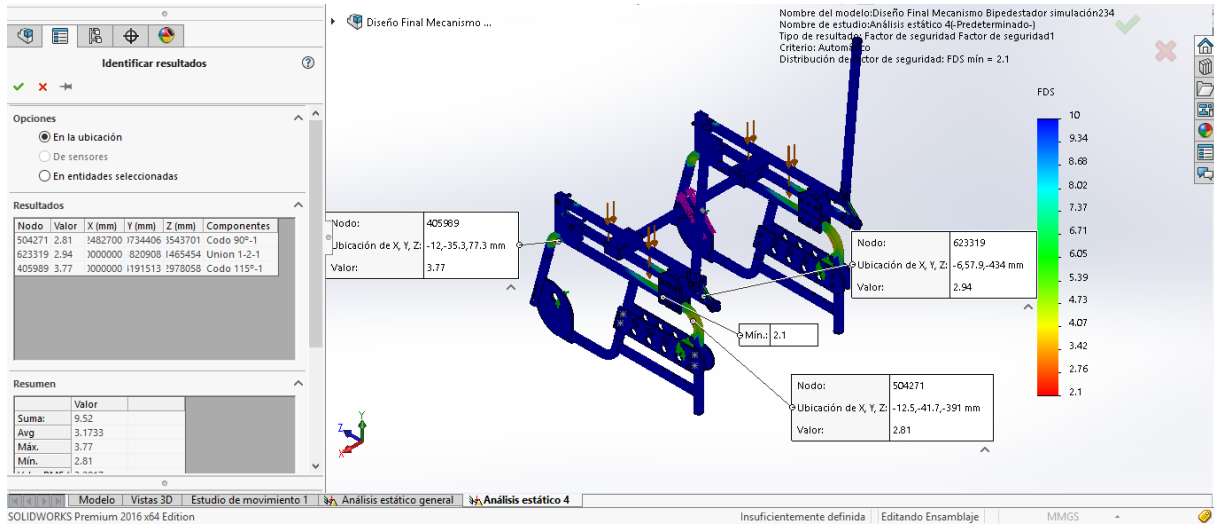


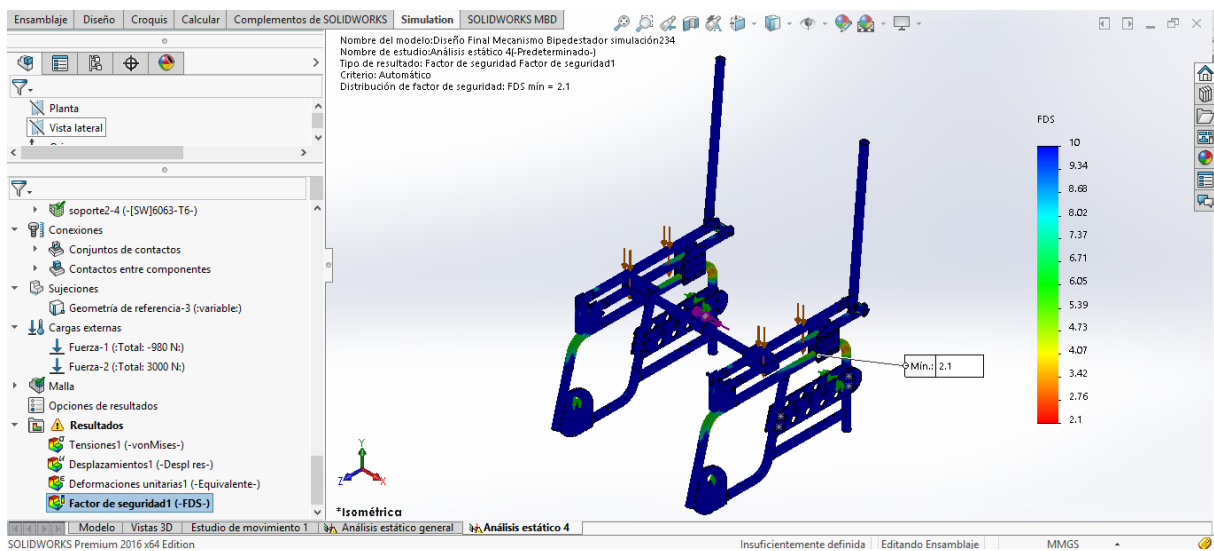
Figura 45. Análisis de elementos finitos Solidworks.

3.4.1. 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:

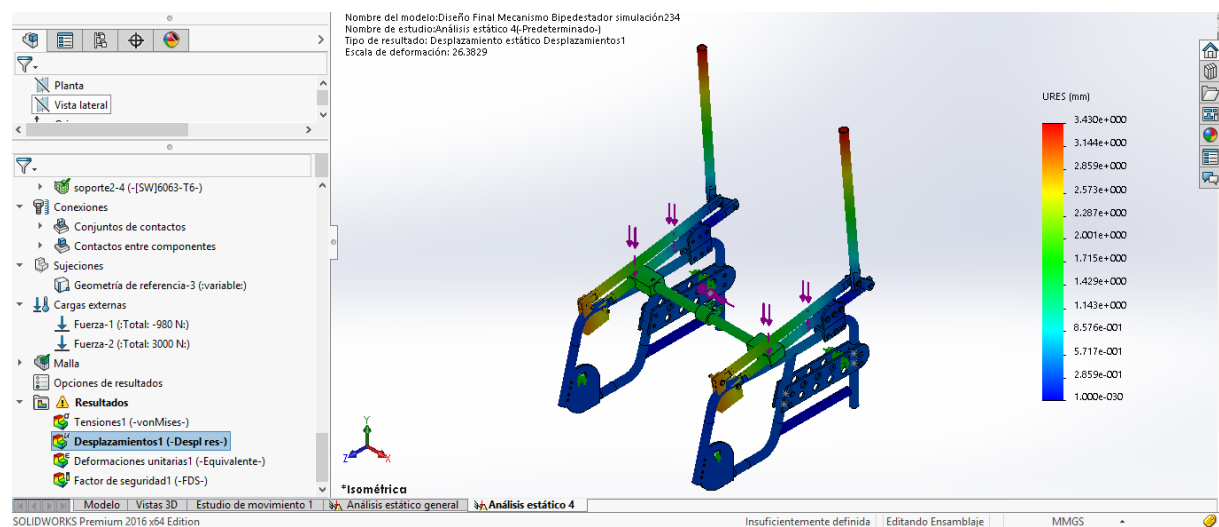
Peso máximo = 100 kg = 980 N

Fuerza actuador lineal= 3000 N



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.

3.4.2. Desplazamientos



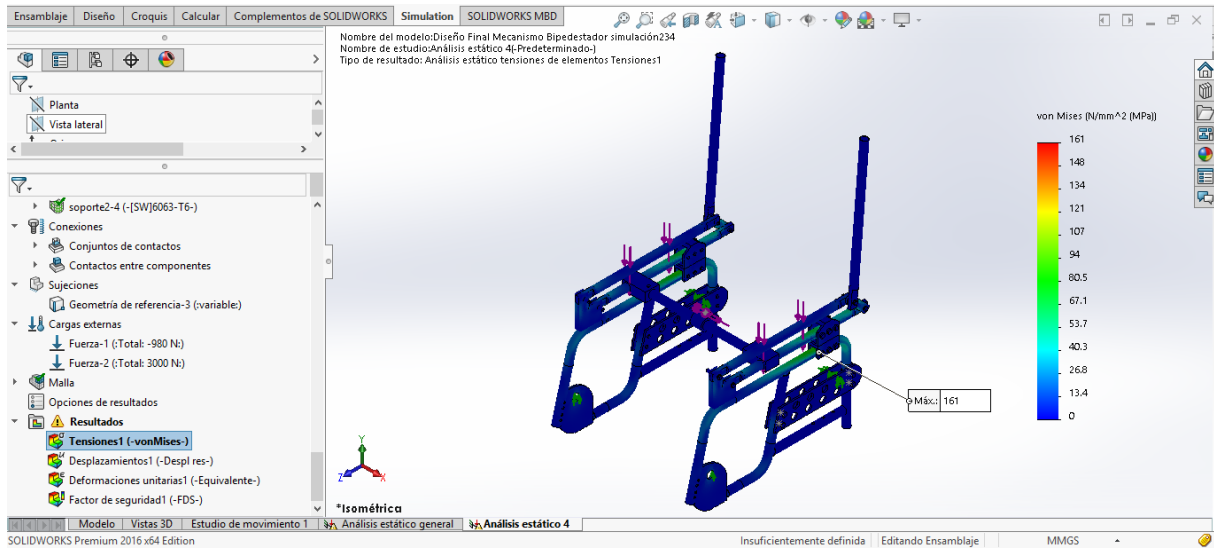
3.4.3. Von Mises

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 [27].

Aluminio 6063-T4 = 170 MPa [28].

Duraluminio Prodax = 630 MPa [27].



Todos los datos de cada uno de los componentes de la estructura mecánica de la silla de ruedas y del mecanismo bipedestador se encuentran en los anexos de este documento para una mejor descripción y análisis si así fuera el caso.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Las medidas antropométricas de la muestra de población de la ciudad de Ibarra fueron esenciales para referenciar las medidas de una silla de ruedas estándar siendo la altura mínima de 1.66 m. y la máxima de 1.75 m. obteniendo los valores antropométricos fundamentales como: SP y CdCd para el diseño del asiento, AP para la longitud del reposapiés; entre otros, como se muestra en la sección 3.1. de este documento; debido a que las sillas de ruedas comerciales hacen referencia en su mayoría a poblaciones europeas, estadounidenses y asiáticas.
- El mecanismo bipedestador cumple con los parámetros adecuados para una bipedestación adecuada para el usuario con una inclinación de 75° , debidamente aprobado por especialistas del área de fisioterapia de la Universidad Técnica del Norte.
- Debido a la escasa comercialización de materiales estructurales de altas propiedades mecánicas hizo que se alternara materiales; cómo usar tubería de acero inoxidable AISI 304L, el cual es un material estructural de mayores 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 y planchas de aluminio para otros componentes de la silla con la finalidad de disminuir peso.

- El diseño CAD permite diseñar un 70% de todos los elementos de ensamble para su verificación y comprobación de la selección del material antes del proceso de construcción y al final de la simulación se obtiene una estructura que soporta a una persona de 100Kg con un factor de seguridad de 2.1 en un componente no crítico.
- La estructura es ajustable en sus principales componentes como: altura reposapiés, ángulo asiento – espaldar, altura ruedas centrales y demás elementos de la silla con la finalidad de que la silla se adapte al usuario de la localidad.

4.2. RECOMENDACIONES

- Una estructura de la misma calidad pero de menor peso se lograra utilizando en el diseño de la estructura un tubo de aluminio estructural, como por ejemplo: 6061-T6. El cual, es utilizado en la construcción de bicicletas ligeras, pero, lamentablemente su comercialización en el país es escasa.
- Los arneses deben ser un más acolchonados y en el mejor de los casos estos deben ser personalizados para los diferentes usuarios con lesión medular.
- Los próximos estudios deben evaluar la posición de los puntos de presión de los arneses y a su vez deben ser analizados de mejor manera con la incorporación de sensores para equilibrar dichos puntos de presión.
- Incorporar un sistema de sensores que permita bloquear la función de bipedestación del dispositivo cuando este se encuentre en una superficie con una inclinación superior a la de 6,84° (norma NTE INEN 2 245, año 2000 Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, rampas fijas).

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, nº 3, 2009.
- [3] Bueno Saber, «La historia de la silla de ruedas eléctrica para las personas con discapacidad,» 2014. [En línea]. Available: <http://bueno-saber.com/caridades-y-organizaciones/la-historia-de-la-silla-de-ruedas-electrica-para-las-personas-con-discapaci.php>. [Último acceso: 09 09 2016].
- [4] C. Weant y A. Schwartz, «Stand-up wheelchair». Estados Unidos Patente US 3907051 A, 23 Sep 1975.
- [5] E. Jones y L. L. Richard, «Adjustable wheelchair device». Estados Unidos Patente US 3379450 A, 23 Abril 1968.
- [6] G. A. Ahrent y K. G. Tell, «Wheel type chair-beds for invalids and patients». Estados Unidos Patente Un US3406772, 22 octubre 1968.

- [7] R. Ruiz, J. Roviva, L. Estevez y J. Beltrán, «DISPOSITIVO PARA BIPEDESTACIÓN Y REHABILITACIÓN DE MARCHA, PARA PERSONAS CON MINUSVÁLIDAS MOTORAS». Patente WO2008065230A1, 05 Junio 2008.
- [8] D. LÓPEZ y J. VICENTINI, «Silla de ruedas terapéutica bipedestable». Patente WO 2015189760 A1, 17 Diciembre 2015.
- [9] R. Rodríguez Pujals, R. Lardoeyt Ferrer, J. Reyes Vega, M. Jijón Arguello, M. Lardoeyt Ferrer y M. Gámez Fonseca, «Caracterización clínica y etiológica de las discapacidades mayores en la República,» *Revista Cubana de Genética Comunitaria*, vol. 5, nº 3, pp. 106-112, 2011.
- [10] S. Hoppenfeld, *Neurología Ortopédica.*, 1981.
- [11] A. Romero y S. Romero, «Blogspot,» 22 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <http://accidentesdetraficoyconsecuencias.blogspot.com/2011/11/paraplejia.html>. [Último acceso: 24 01 2017].
- [12] D. Barrera y M. Maldonado, «Diseño e implementación de un sistema de transmisión variable continua (CVT), como nueva técnica para la locomoción de una silla de ruedas.,» 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6401/1/TESPEL-MEC-0008.pdf>. [Último acceso: 10 05 2016].

- [13] F. Pascual Gómez, J. Ponce Vázquez y L. Rodríguez Rodríguez, «Sillas de ruedas. Características técnicas y antropométricas,» *ELSEVIER*, vol. 33, nº 6, pp. 401-7, 1999.
- [14] COCEMFE CASTILLA Y LEÓN, 2014. [En línea]. Available: <http://www.cocemfecyl.es/index.php/discapacidad-y-tu/65-las-sillas-de-ruedas>. [Último acceso: 23 Abril 2016].
- [15] Ortopedia Plaza, 2015. [En línea]. Available: <http://www.ortopediaplaza.com/esp/1172k-silla-bipedestadora-action-vertic.php?idseccion=289>.
- [16] R. Hibbeler, *Mecánica de materiales*, México: PEARSON EDUCATION, 2011.
- [17] M. Moreno, A. Gustavo, V. Pérez y V. Milagros, *Diseño concurrente de sillas de ruedas para minusválidos*, Caracas, 2004.
- [18] H. Cortez y D. Maya, «Desarrollo e implementación de un sistema móvil de conducción para niños con insuficiencia motriz cerebral del centro San Juan de Jerusalén. (Tesis de pregrado).,» *Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga.* , 2008.
- [19] A. González Polo y M. B. Eduardo, *Silla para asistencia en la higiene de personas con discapacidad*, 2014.
- [20] Ortopedia Silvio, 2015. [En línea]. Available: www.ortopediasilvio.com. Obtenido de www.ortopediasilvio.com: <http://www.ortopediasilvio.com/es/sillas-de-ruedas-de>

aluminio-plegables/41-silla-de-ruedas-plegable-breezy-300-ruedas-pequenas.html?content_only=1.

[21] R. LUCERO, C. WAHR y C. ARANCIBIA, «ESTUDIO DE FRICCIÓN EN PAVIMENTOS.».

[22] L. Márques, «Metodologia para cálculo rápido das dimensões de pneus de tratores agrícolas,» *SciELO*, vol. 28, nº 3, 2008.

[23] J. P. Charris, «Diseño de una silla».

[24] Adaptado.es, «Adaptado.es,» 11 Junio 2008. [En línea]. Available: <http://www.adaptado.es/lcev/>. [Último acceso: 21 Agosto 2016].

[25] V. L. L. Puñal Riobóo J, «ortesis motorizada para pacientes parapléjicos usuarios de sillas de ruedas,» 4 Enero 2010. [En línea]. Available: <https://www.sergas.es/docs/Avalia-t/avalia-t201001-4rewalk.pdf>. [Último acceso: 8 Agosto 2016].

[26] A. G. Erdman y G. N. Sandor, Diseños de mecanismos Análisis y Síntesis, Mexico D.C.: Pearson Educación, 1998.

[27] 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].

- [28] CEDAL Aluminio, «SCRIBD,» 2008. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/3789262/Cedal-Catalogo-de-Ensambls-de-Aluminio>. [Último acceso: 02 Mayo 2016].
- [29] Universidad Nacional Autónoma de México, «Manual de antropometría,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/salud/censenanza/spi/unidad2/Antropom>. [Último acceso: 11 05 2016].
- [30] 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>.
- [31] A. Barrientos, L. Peñín, C. Balaguer y R. Aracil, Fundamentos de Robótica, Madrid: McGraw - Hill, 1997.

ANEXOS

ANEXO 1: MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS

Código	Medición	Posición	Definición
AP	Altura poplítea	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la depresión poplítea
SP	Distancia Sacro-Poplítea	Sentado	Distancia horizontal desde la depresión poplítea hasta el plano vertical de la espalda
SR	Distancia Sacro-Rótula	Sentado	Distancia horizontal desde la rótula hasta el plano vertical de la espalda
MS	Altura Muslo-Suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte más alta del muslo
RS	Altura Rodilla-Suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el punto más alto de la rodilla
CS	Altura Codo-Suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte más saliente del codo
AmínBa	Alcance Mínimo de Brazo	Sentado	Distancia horizontal desde el respaldo del asiento hasta el plano vertical que se produce en la mano con el puño cerrado
CM	Distancia Codo Mano	Sentado	Distancia horizontal desde el codo hasta la punta de los dedos con la mano extendida

AmáxB a	Alcance máximo de Brazo	Sentado	Distancia horizontal desde el plano vertical que paso por las escapulas hasta el eje vertical que se produjo con el puño cerrado
HS	Altura Hombros Suelo	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el punto equidistante del cuello y el acromion
CdCd	Anchura de las Caderas	Sentado	Distancia horizontal que existe entre los muslos
RRs	Ancho Rodillas	Sentado	Distancia horizontal entre los puntos exteriores de las rodilla
AS	Altura subescapular	Sentado	Distancia vertical desde el suelo hasta el ángulo inferior de la escapula
CC	Ancho Codo-Codo	Sentado	Distancia horizontal entre la parte externa de los codos
PP	Profundidad Pecho	Sentado	Distancia horizontal mediada desde la escapula hasta el punto más alejado del pecho
HH	Anchura de los hombros	Sentado	Distancia horizontal entre los músculos deltoides
AT	Ancho Tórax	Sentado	Distancia medida en el tórax en la zonas externas del pecho
PeMus	Perímetro Muslo	Sentado	Medida que rodea la parte más saliente del muslo

PePan	Perímetro pantorrilla	Sentado	Medida que rodea la parte más saliente de la pantorrilla
Atro	Altura trocánter	Parado	Distancia desde el suelo hasta el abultamiento del muslo trocánter
AG	Altura Glúteo	Parado	Distancia vertical desde el suelo hasta la parte más saliente del glúteo
PeAb	Perímetro Abdomen	Parado	Medida que rodea el abdomen

ANEXO 2: PLANOS ESTRUCTURA MECÁNICA SILLA DE RUEDAS