

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA MECÁNICO PARA EL
DESPLAZAMIENTO DE UNA PERSONA CON MOVILIDAD REDUCIDA**

LAURA MELISA PINEDA FAJARDO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA**

2021

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA MECÁNICO PARA EL
DESPLAZAMIENTO DE UNA PERSONA CON MOVILIDAD REDUCIDA**

LAURA MELISA PINEDA FAJARDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniera
Mecatrónica

Director: Sebastián Roa Prada, PhD

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA**

2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta acá.

A mis papás, a mis hermanas y a Dobby por ser mi soporte, mi apoyo incondicional y quienes me motivan cada día a ser mejor.

A mis amigos, por acompañarme durante todo el proceso de la carrera universitaria, apoyarme cuando lo necesitaba y por motivarme siempre.

A los docentes y director de proyecto, quienes hicieron parte de este proyecto y de mi aprendizaje durante todo el periodo universitario, por su mentoría y su paciencia.

Finalmente, a todas las personas que, de forma directa o indirecta, aportaron cosas positivas en mi vida y estuvieron involucrados en la culminación de este proyecto.

CONTENIDO

	pág
GLOSARIO.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. MARCO REFERENCIAL.....	16
2.1. ANTECEDENTES.....	16
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	19
2.2.1. Traumatismo craneoencefálico (TCE)	19
2.2.2. Escala del coma de Glasgow (ECG).....	19
2.2.3. Tipos de TEC	20
2.2.4. Rehabilitación para una persona con trauma craneoencefálico.....	21
2.2.5. Discapacidad motriz.....	21
2.2.6. Tipos de discapacidad física	22
2.2.7. Condiciones que producen disfuncionalidad física	22
2.2.8. Antropometría	22
2.2.9. Ergonomía y discapacidad.....	26
2.2.10. Mecanismos que ayudan a la movilidad de personas con discapacidad	30
2.2.11. Mecanismo de elevación.....	33
2.2.12. Actuadores para el mecanismo de elevación	34
2.2.13. Síntesis de mecanismos.....	35
2.3. MARCO LEGAL	37
3. OBJETIVOS.....	39
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	39
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
4. METODOLOGÍA.....	40
5. DESARROLLO DEL PROYECTO	42
5.1. FASE 1. EMPATIZAR	42
5.2. FASE 2. DEFINIR	42
5.3. FASE 3. IDEAR.....	47
5.3.1. Diseño estructural de la silla de ruedas.....	48

5.3.2.	Diseño del mecanismo de barras	51
5.3.3.	Diseño de la plataforma elevadora de tijeras	55
5.3.4.	Selección de actuadores.....	59
5.3.5.	Diagrama neumático.....	62
5.3.6.	Diagrama eléctrico	63
5.3.7.	Análisis dinámico.....	64
6.	FASE 4. PROTOTIPAR.....	71
6.1.	Diagrama del proceso de construcción	71
7.	FASE 5. TESTEAR	81
7.1.	Discusión de los resultados obtenidos.....	84
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES	86
	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	ANEXOS	90

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Glasgow Coma Scale (GCS).....	20
Tabla 2. Escala GOS	21
Tabla 3. Medidas corporales de frente.....	23
Tabla 4. Medidas corporales laterales	23
Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas del chasis	43
Tabla 6. Selección del mecanismo de accionamiento	45
Tabla 7. Matriz QFD	46
Tabla 8. Partes del mecanismo [elaboración propia].....	51
Tabla 9. Selección de actuadores.....	62
Tabla 10. Porcentaje de peso (Pamela Charney y Ainsley Malone , 2009)	64
Tabla 11. Porcentaje del peso del cuerpo.....	65
Tabla 12. Información de la malla	65

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Antropometría estática de adultos [Bustillos, 2004].....	24
Figura 2. Antropometría estática de adultos, medidas laterales [Bustillos, 2004]	24
Figura 3. Posición decúbito supino	25
Figura 4. Posición Fowler	25
Figura 5. Posición SemiFowler	26
Figura 6. Posición óptima de ejemplo	26
Figura 7. Ergonomía de una persona con discapacidad	27
Figura 8. Adaptación del hogar para una persona con discapacidad	28
Figura 9. Guía para levantar a una persona de la silla de ruedas	29
Figura 10. Guía para levantar a una persona discapacitada de la cama	30
Figura 11. Silla de ruedas convencional	31
Figura 12. Llanta motriz (Lasluisa, 2015)	32
Figura 13. Llantas direccionales (Lasluisa, 2015)	32
Figura 14. Grúa hidráulica	33
Figura 15. Scooter eléctrica	33
Figura 16. Partes de una plataforma elevadora (Melián,2016).....	34
Figura 17. Cilindro de doble efecto (Bernal, 2018)	35
Figura 18. Mecanismos de la ley de Grashof	36
Figura 19. Metodología Desing thinking.....	40
Figura 20. Identificación de las necesidades.....	42
Figura 21. Factor diferenciador	42
Figura 22. Posición de los pies	45
Figura 23. Componentes para el mecanismo de elevación.....	46
Figura 24. Conexión del pistón	47
Figura 25. Plano de la casa del señor Goya	47
Figura 26. Diseño preliminar [elaboración propia]	48
Figura 27. Diseño del mecanismo [elaboración propia].....	49
Figura 28. Posición horizontal del diseño [elaboración propia].....	49
Figura 29. Diseño de la silla con sus piezas señaladas	50
Figura 30. Mecanismo de barras [elaboración propia]	51
Figura 31. Trayectoria de los eslabones	52
Figura 32. Trayectoria de los eslabones	52
Figura 33. Mecanismo de cuatro barras con medidas.....	52
Figura 34. Diseño de los eslabones	53
Figura 35. Sistema en posición de silla.....	53
Figura 36. Sistema en posición horizontal.....	54
Figura 37. Diseño en posición plegada	55
Figura 38. Plataforma elevadora en posición extendida.....	56
Figura 39. Medidas de la estructura en estado de extensión	57
Figura 40. Reacciones de la plataforma.....	57
Figura 41. Eslabones de la plataforma.....	58
Figura 42. Resultados simulación [elaboración propia]	59
Figura 43. Diagrama neumático.....	63
Figura 44. Diagrama neumático.....	63
Figura 45. Circuito eléctrico	64

Figura 46. Diseño de malla	65
Figura 47. Detalle enmallado	65
Figura 48. Secuencia del desplazamiento del mecanismo	66
Figura 49. Esfuerzos en $t = 0$ [s]	66
Figura 50. Esfuerzos en $t = 0,18$ [s]	67
Figura 51. Desplazamiento en $t = 0$ [s]	67
Figura 52. Desplazamiento en $t = 0,18$ [s].....	68
Figura 53. Desplazamiento final.....	68
Figura 54. Análisis del factor de seguridad	69
Figura 55. Análisis de factor de seguridad en el espaldar	70
Figura 56. Análisis de factor de seguridad en el asiento	70
Figura 57. Análisis del factor de seguridad en el reposapiés.....	71
Figura 58. Mapa de construcción [elaboración propia]	72
Figura 59. Silla convencional	72
Figura 60. Estructura de cruceta de una silla de ruedas	73
Figura 61. Plataforma de elevación.....	73
Figura 62. Mecanismo de elevación de tijeras	74
Figura 63. Posición horizontal del mecanismo usando una plataforma de tijeras.....	74
Figura 64. Ubicación del cilindro	75
Figura 65. Ubicación de los eslabones 4 unidos al cilindro	75
Figura 66. Ubicación de los eslabones 2.	76
Figura 67. Soporte para posición horizontal.....	76
Figura 68. Freno de las ruedas traseras	77
Figura 69. Cinturón de seguridad.....	77
Figura 70. Botonera para el accionamiento del mecanismo	78
Figura 71. Sistema finalizado.....	78
Figura 72. Sistema finalizado.....	79
Figura 73. Mecanismo en posición horizontal	80
Figura 74. Mecanismo en posición horizontal	80
Figura 75. Prueba general con peso	82
Figura 76. Prueba general con peso	82
Figura 77. Prueba de usuario mayor con un peso de 80kg usando el mecanismo en posición de silla	83
Figura 78. Prueba de usuario mayor con un peso de 80kg usando el mecanismo en posición horizontal.	83
Figura 79. Propiedades mecánicas del acero	91

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	55
Ecuación 2. Norma UNA EN 280.....	56
Ecuación 3. Cargas en Y para el eslabón 1.....	58
Ecuación 4. Cargas en X para el eslabón 1.....	58
Ecuación 5. Cargas en Y para el eslabón 2.....	58
Ecuación 6. Cargas en X para el eslabón 2.....	58
Ecuación 7. Fuerza.....	59
Ecuación 8. Área del pistón.....	59
Ecuación 9. Área transversal.....	60
Ecuación 10. Diámetro del cilindro.....	60
Ecuación 11. Fuerza calculada.....	61
Ecuación 12. Velocidad del émbolo.....	61

GLOSARIO

- **Fisiatra**, un médico especialista en medicina física y rehabilitación, que supervisa el proceso completo de rehabilitación, coordina el equipo de rehabilitación, el cual está constituido por múltiples profesionales que desde cada una de sus especialidades ayuda al paciente a una capacitación más integral, utilizando idealmente el modelo transdisciplinario de atención, controla los problemas médicos de la rehabilitación y receta medicamentos según sea necesario. (Mayo Clinic, 2019)
- **Terapeuta ocupacional**, que ayuda a que la persona aprenda, vuelva a aprender o mejore las habilidades para realizar actividades diarias. (Gutiérrez Monclús)
- **Fisioterapeuta**, que ayuda con la movilidad y el nuevo aprendizaje de la caminata, el equilibrio y los patrones de movimientos. (Gutiérrez Monclús)
- **Neuropsicólogo**, que evalúa el desempeño y el deterioro cognitivo, ayuda a que la persona controle sus comportamientos o aprenda estrategias de afrontamiento y proporciona psicoterapia según sea necesario para el bienestar psicológico y emocional. (Mayo Clinic, 2019)
- **Especialista en enfermería en materia de traumatismo craneoencefálico**, que ayuda a coordinar la atención y educa a la familia acerca de la lesión y el proceso de recuperación. (Mayo Clinic, 2019)
- **Émbolo**: consiste en una pieza que se mueve de forma alternativa dentro de un cilindro y que interactúa con un fluido. (Hello auto, 2020)
- **Vástago**: es una cremallera que acciona un piñón y transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio, hacia la izquierda o hacia la derecha, según el sentido del émbolo. (Escuela superior de Ingenieros Bilbao, 2016)
- **Cámara de aire**: retiene el aire que circula dentro del fluido y mantiene su presión.
- **Energía potencial**: hace referencia a la posición que ocupa una masa en el espacio
- **Energía cinética**: es la energía que tienen los cuerpos en movimiento y está asociada a la velocidad. La energía cinética puede transferirse entre objetos y transformarse en otros tipos de energía. (Fundación Endesa, 2021)
- **Amortiguación de fin de carrera**: Son dispositivos, fijos o regulables, colocados generalmente en las tapas de los cilindros, y cuya finalidad es la de absorber la energía cinética de las masas en movimiento. Según los modelos de cilindros, se puede tener amortiguación delantera, trasera o doble. (Bernal, 2018)

RESUMEN

El presente proyecto busca aliviar el trabajo del adulto mayor a cargo de un paciente en condición de discapacidad motriz, producto de un trauma craneoencefálico a raíz de un accidente de tránsito.

Con el fin de brindar una solución a la situación planteada, se lleva a cabo el diseño, construcción e implementación de un sistema mecánico adaptable a una silla de ruedas convencional, para transportar al usuario dentro de su hogar, garantizando estabilidad y comodidad en su desplazamiento.

Para el desarrollo del proyecto se plantea una metodología que se divide en cinco fases. La primera fase consiste en empatizar, en esta etapa se identifica el problema que presenta el paciente y su familia. La segunda fase es definir, esta consiste en buscar la información necesaria sobre la antropometría y ergonomía a tener en cuenta para una persona con movilidad reducida. Posteriormente se da paso a la fase tres, la etapa de idear el sistema mecánico por medio de una herramienta CAD y realizar el análisis de los cálculos de resistencia, deformación y las simulaciones del comportamiento del sistema frente al paciente. Al completar esta fase, llega la fase de prototipar, en donde se hace la construcción del mecanismo y finalmente se testea para comprobar su correcto funcionamiento.

Palabras clave: traumatismo craneoencefálico, silla de ruedas, antropometría, diseño mecánico.

ABSTRACT

This project seeks to lighten the work of the elderly person who is in charge of a patient with a motor disability condition as a result of a head trauma caused by a traffic accident. In order to provide a solution to the situation, it carries out the design, construction and implementation of a mechanical system adaptable to a conventional wheelchair to transport the user within their home guaranteeing stability and comfort in their movement.

For the development of the project, it is proposed a methodology that is divided into five phases. The first phase consists of empathizing, at this stage the problem presented by the patient and his family is identified.

The second phase is to define, this consisted of looking for the necessary information on anthropometry and ergonomics to be taken into account for a person with reduced mobility.

Then, phase three is followed. The phase of devising the mechanical system by means of a CAD tool and perform the analysis of the resistance calculation, deformation and simulations of the system behavior in front of the patient.

Completion of this phase, the prototyping phase arrives, where the construction of the mechanism is made and finally it is tested to verify its correct functioning.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el trauma craneoencefálico (TCE) tiene una tasa de muerte de 579 por 100.000 personas/año. La tasa de incidencia de TCE en Latinoamérica es alta en lesiones causadas por accidentes de tránsito. La condición de sufrir trauma craneoencefálico grave obliga a las víctimas de estos accidentes a utilizar, en la mayoría de los casos, sillas de ruedas convencionales, que suelen estar hechas de forma genérica y su diseño no contempla ninguna de las características propias de cada paciente ni sus necesidades.

Los problemas de movilidad disminuyen la igualdad de oportunidades que tiene una persona frente a la sociedad. Además, el hecho de que estos equipos no tengan en cuenta la diferencia entre cada caso y persona incrementa la incomodidad y dificultad del estado vegetativo, tanto parcial como permanente.

Este proyecto se enfoca en Ernesto Goya, paciente diagnosticado con TCE en estado vegetativo permanente, quien fue dotado con una silla de ruedas convencional, que no satisface sus necesidades físicas y, por el contrario, genera más molestia. La ineficiencia del mecanismo llevó a la persona al cuidado del señor Ernesto a disponer de diferentes objetos cotidianos, como una silla de plástico y almohadas, para lograr que esté cómodo y no sienta dolor adicional.

En la actualidad, gracias a los avances de la tecnología y la mecánica, el carácter genérico de las sillas de ruedas no es un problema, ya que se pueden diseñar mecanismos que permitan la modificación y personalización de las mismas para que se adapten a los requerimientos de cada usuario.

Ejemplo de lo anterior es el proyecto Nuevo Girón de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, en donde un equipo multidisciplinario de profesores UNAB trabaja para impactar positivamente y mejorar la calidad de vida de los integrantes del barrio Nuevo Girón, ubicado en el departamento San Juan Girón con el programa UNAB Transformativa.

Las personas que habitan este territorio son, principalmente, los damnificados de la inundación que se dio en el municipio en 2006. Dentro de los problemas de esta comunidad se encuentran la falta de oportunidades laborales, precariedad en salud y educación, entre otros.

Uno de los habitantes de este sector es el señor Goya, quien padece la condición de trauma craneoencefálico producto de un accidente de tránsito y por este motivo presenta los problemas de movilidad reducida que lo han reducido a un estado vegetativo. Por ende, depende de dos personas mayores que están a cargo de su cuidado, pero quienes han venido presentando dificultades de salud debido a su labor de movilizar al señor Goya

dentro de su vivienda para realizar sus actividades básicas como son el aseo personal, subir y bajar de la cama y desplazarse dentro del hogar.

Luego de hablar con la persona al cuidado del señor Goya, se concluyen los siguientes requerimientos: Un mecanismo de movilidad que permita transportar al señor Ernesto dentro de la casa que cuente con una altura adecuada para prevenir la incomodidad de las piernas del señor Goya y un tipo de ruedas que favorezca el desplazamiento de la silla por las distintas partes de la casa y un artefacto que facilite el acceso a la cama para el usuario en mención.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, las nuevas tecnologías se han visto aplicadas en alto grado en la vida de las personas, permitiendo la productividad en diferentes campos y actividades diarias. A lo largo de los años diversas investigaciones se han enfocado en buscar soluciones para la movilidad de personas con discapacidad motriz. Como ejemplo de esto se encuentra Hernández et al. (2011), quienes propusieron el rediseño una silla de ruedas para garantizar el desplazamiento en dos posiciones de forma más autónoma y funcional, además de mantener una postura erguida.

De la misma forma, presentaron un análisis detallado de los distintos mecanismos comercializados necesarios para el rediseño de la silla, un mecanismo para elevar el asiento, paso para el que se requieren cálculos de fuerzas que determinen la fuerza necesaria que hará el mecanismo, y el diseño del sistema eléctrico.

Para la alimentación de la silla de ruedas se empleó una batería recargable High Capacity Lithium Battery pack for e-bike. Respecto al factor electrónico del mecanismo, en principio el optoacoplador OR1 en su salida transmite una señal que activa el transistor 2N3904 que tiene la función de conmutador, al estar activado este permite que la bobina del mini relevador se alimente y que realice el cambio de los contactores, el diodo 1N4001 se coloca en paralelo a la bobina para evitar una falla con el transistor.

El relevador RL1, al realizar el cambio de sus contactores permite alimentar al motor el cual comienza a rotar. RL2 está desactivado toda alimentación que llega queda nula puesto que no hay continuidad. El cambio de giro se da cuando el relevador RL2 es activado mientras que RL1 es ahora el desactivado. Este proyecto aporta al presente la información sobre los análisis pertinentes a realizar al usuario de la silla de ruedas, así como el diseño eléctrico que permite el control de la misma.

Bang et al. (2011), centraron su investigación en el desarrollo de una silla de ruedas que fuese capaz de subir escaleras, ya que esta tarea conlleva demasiado esfuerzo para realizarse con las sillas disponibles en la actualidad. Para este proyecto se estudió y probó el movimiento de dos ruedas motrices similares a las ruedas convencionales, y se utilizaron sensores a distancia para medir las dimensiones de las escaleras.

También se aprovechó en el diseño el par de ruedas que generalmente permanecen guardadas en las sillas tradicionales, estas apoyaron el proceso de movimiento del mecanismo por las escaleras.

Agudo et al. (2013), recopilaron y clasificaron la información principal sobre las necesidades y requisitos básicos para la elección de un sistema de sedestación para las personas que padecen parálisis cerebral. La investigación se apoya en los conceptos explorados por las anteriores para dar importancia al usuario de la silla, así como a su postura y su comodidad al momento de hacer uso de la misma.

Dentro del documento se encuentran una serie de recomendaciones a tener en cuenta para la selección, o construcción también, de un modelo de silla de ruedas que entienda y se adapte a las características de una persona con parálisis cerebral. Entre los puntos de foco principales se destacan la espasticidad, la persistencia de los reflejos primitivos y la ausencia de reacciones de enderezamiento y equilibrio.

Asimismo, esta investigación detalla los posibles cambios que se presentan luego del diagnóstico en partes del cuerpo como la pelvis y los miembros inferiores, y describe la importancia de conocer a plenitud el estado de los mismos para no generar conflictos entre ellos y el mecanismo de la silla de ruedas. Como aporte al presente proyecto, se destaca un punto de vista más detallado sobre el bienestar y la mejora de la calidad de vida del paciente, así como información pertinente sobre los factores a tener en cuenta al momento de diseñar el mecanismo para el tipo de paciente en cuestión.

Olmedo-Torre et al. (2015), presentaron el diseño de una silla de ruedas que se apoya tanto en los conceptos básicos del sistema mecánico como en los más innovadores para superar los obstáculos más comunes para las personas en condición de discapacidad motriz.

El proyecto presenta el diseño de una silla de ruedas compuesta por dos ensamblajes: la dirección posterior y anterior y la estructura del asiento de la silla. Respecto al mecanismo de desplazamiento del asiento a derecha e izquierda está compuesto por el servomotor lineal con guías atornillado sobre la barra horizontal de la estructura de la silla. En la placa se colocan las guías para montar los reposapiés que se pueden mover dentro la guía del soporte para adaptarse a la altura del ocupante de la silla.

En el desarrollo de este proyecto se suma a los anteriores una perspectiva psicológica y anímica del usuario de la silla, factor que no suele ser explorado ni tenido en cuenta como se ha evidenciado en los proyectos expuestos anteriormente. Además, se incrementa el nivel de experticia para el diseño y construcción del mecanismo de elevación de la silla, que consiste en montar un servomotor rotativo en el interior del eje direccional que irá atornillado al palier para transmitirle el movimiento rotativo y en consecuencia poder elevar una rueda del suelo.

El engranaje planetario se utilizará para aumentar el par motor del servomotor. También se tiene en cuenta el mecanismo de giro de la silla y los ejes de dirección. Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto brinda diferentes diseños que se pueden adaptar a la silla de ruedas

convencional. También aporta diferentes técnicas para la obtención de cálculos como las resistencias, los esfuerzos y los comportamientos estáticos de las piezas de la silla de ruedas.

Arcia Hernández (2015), propuso mejorar la movilidad de las personas en condición de discapacidad de una forma asequible. Para ello, destacó el factor tecnológico que evolucionó de manera trascendental a través de los años. Con los avances tecnológicos que se tenían en 2015, este proyecto pudo mejorar exponencialmente los resultados de los tres documentos anteriores, añadiendo al diseño de la silla sistemas operativos y de control.

En el diseño se utilizaron accesorios y tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ " presión 11-400 psi, cuyas uniones fueron adheridas con cemento solvente de PVC. Otro de los puntos a favor de este proyecto es el factor económico, que no se encuentra tan detallado en la investigación de Agudo et al. (2013), pues es de público conocimiento que un gran porcentaje de personas de todas las nacionalidades no tienen una estabilidad económica que les permita acceder fácilmente a sillas de ruedas cómodas y modernas. Adicionalmente, se crea una aplicación móvil, compatible con sistema operativo Android, que permite interactuar vía remota a través del módulo de bluetooth HC-05 al Arduino, emitiendo símbolos correspondientes a cada acción que se desee ejecutar en la silla. Este proyecto aporta también el desarrollo y la aplicación del sistema de electrónica motriz funcional y adaptable a la silla para el control de motores por medio de un puente H y un microcontrolador.

Makwana et al. (2017), expusieron el prototipo diseñado para solucionar el problema que representa una silla de ruedas controlada tradicional, o controlada por mandos de difícil acceso, para una persona con movilidad reducida o nula. Esta propuesta tiene como base una operación de un toque, que requiere menos presión y permite una operación suave de la silla. Para ello, se diseña una silla de ruedas eléctrica con el uso de sensores y un módulo de procesamiento, en la que se integran características como los comandos para conducir a través de una Graphical User Interface (GUI), el nivel de batería, las llamadas de emergencia y el monitoreo de latidos e indicación de obstáculos en una pantalla.

El prototipo reúne en gran medida los conceptos y mecanismos desarrollados por los autores de los proyectos e investigaciones anteriores. A través de un ensamblaje básico y la adición de los múltiples actuadores y moduladores, el mecanismo tradicional de la silla de ruedas convencional se puede optimizar, a tal nivel que una persona con parálisis permanente pueda incrementar su calidad de vida y la facilidad de su movilización en espacios cerrados. Este proyecto presenta una estrategia de interfaz gráfica del usuario que podría ser pertinente para ser manejada por la persona a cargo del señor Ernesto Goya, quien es parte fundamental del presente proyecto. Otro aporte importante es el control que se le da a la silla de ruedas a través de la señal que se genera al motor desde la Raspberry Pi.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Traumatismo craneoencefálico (TCE)

El TCE fue definido por Kraus en 1984 como “cualquier lesión física o deterioro funcional del contenido craneal secundario a un intercambio brusco de energía mecánica, producido por accidentes de tráfico, laborales, caídas o agresiones”.

Asimismo, se define como la alteración en la función neurológica cerebral después de un traumatismo craneoencefálico. El Hospital de Neurorrehabilitación define que este tipo de traumas se deben, por una parte, a la lesión primaria (contusión) directamente relacionada con el impacto sobre el cráneo o con el movimiento rápido de aceleración/desaceleración, y, por otra parte, a la lesión secundaria (edema, hemorragia, aumento de la presión en el cráneo, etc.) que se desarrolla a raíz de la lesión primaria durante los primeros días tras el accidente y que puede conllevar graves consecuencias en el pronóstico funcional.

2.2.2. Escala del coma de Glasgow (ECG)

Fue desarrollada en 1974 por Tesdale y Jannet. Es un sistema de puntuación que evalúa la gravedad del traumatismo craneoencefálico el cuál se basa en la apertura de los ojos y la respuesta verbal y motora del paciente.

La gravedad del TCE depende de cómo ocurrió el traumatismo (caídas, accidentes de tráfico, agresiones, etc.) y de la aparición de complicaciones tras el mismo. La escala se define así:

- 14 a 15, es un traumatismo craneoencefálico leve
- 9 a 13, es un traumatismo craneoencefálico moderado
- 3 a 8, es un traumatismo craneoencefálico grave.

En donde una puntuación de 3 indica una lesión potencialmente mortal, basándose en que ninguna de las pupilas responde a la luz y faltan las respuestas oculovestibulares, la cual es el reflejo de movimiento ocular que estabiliza la imagen de la retina durante el movimiento de la cabeza.

En la tabla 1 que se presenta a continuación se explica el origen para la puntuación:

Apertura ocular	Respuesta verbal	Respuesta motora
4: Abre los ojos espontáneamente	5: Orientado y conversa	6: Obedece órdenes
3: Abre los ojos al estímulo verbal	4: Desorientado y conversa	5: Localiza el dolor
2: Abre los ojos al estímulo doloroso	3: Palabras inapropiadas	4: Retirada en flexión
1: No hay apertura ocular	2: Sonidos incomprensibles	3: Flexión anormal (rigidez de decorticación)

	1: No hay respuesta verbal	2: Extensión anormal (rigidez de descerebración)
		1: No hay respuesta motora

Tabla 1. Glasgow Coma Scale (GCS)

2.2.3. Tipos de TEC

- **TEC leve:** son pacientes que presentan pérdida leve de conciencia, vómitos, mareos, dolor de cabeza, entre otros que pueden durar horas o unos pocos días.
- **TEC moderado:** son pacientes que presentan confusión, alteración de la fuerza, dificultad para ver o hablar y diferentes lesiones. Dichas personas son intervenidas quirúrgicamente o permanecen más tiempo en observación.
- **TEC grave:** son los pacientes que están en coma como consecuencia del traumatismo y suelen presentar lesiones graves en el cuerpo.

- **Impacto personal y social de persona con trauma craneoencefálico**

Para valorar el estado funcional que puede llegar a tener una persona que presenta un traumatismo craneoencefálico después de un año, resulta muy útil el volver utilizar la Escala de Glasgow Outcome Score (GOS). Dicha escala es la más utilizada para la valoración global del resultado final en pacientes que han presentado una lesión cerebral. Fue desarrollada en Glasgow por Jannet y Bond y publicado en Lancet en 1975.

La escala se creó teniendo en cuenta el concepto de la recuperación multidimensional, en el que no solo es importante la supervivencia, sino también la calidad de la supervivencia. El nivel de recuperación conseguido dependerá del grado de afectación en cada una de las áreas funcionales del individuo: física, psíquica y social. (Serrano, s.f.)

La escala GOS clasifica los pacientes en 5 categorías que se presentan en la siguiente tabla:

Muerte	Esta categoría se estableció para determinar si la causa era la lesión neurológica.
Estado vegetativo persistente	Ausencia de conciencia. El paciente no responde a las órdenes, no dice palabras ni se comunica de ninguna otra forma. Solo presenta respuestas reflejas con periodos de apertura ocular espontánea y puede mantener ciclos de sueño y vigilia.
Discapacidad grave	Conciencia con dependencia. Requiere la ayuda de otras personas para desarrollar las actividades de la vida diaria ya que es incapaz de vivir de manera autónoma.
Discapacidad moderada	Independiente pero discapacitado. Es autónomo pero su nivel de vida no es el mismo que antes.

Buena recuperación	Reintegrado socialmente.
---------------------------	--------------------------

Tabla 2. Escala GOS

2.2.4. Rehabilitación para una persona con trauma craneoencefálico

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la rehabilitación es un conjunto de intervenciones diseñadas para optimizar el funcionamiento y reducir la discapacidad en individuos con condiciones de salud en la interacción con su entorno. Las condiciones de salud se refieren a enfermedades (agudas o crónicas), trastornos, lesiones o traumatismo. El Comité de Expertos de la OMS (en la Serie de Informes Técnicos 688), sobre incapacidad, prevención y rehabilitación, coincidió en las siguientes definiciones:

- a) La Rehabilitación incluye todas las medidas destinadas a reducir el impacto de las condiciones de incapacidad y minusvalía y hacer posible que estas personas alcancen la integración social.
- b) El objetivo de la Rehabilitación no es sólo el entrenar a personas incapacitadas y minusválidas a adaptarse a su entorno, sino también el intervenir en su entorno inmediato y en la sociedad para facilitar su integración social.
- c) Estas personas, sus familias y las comunidades en las que viven, deben participar en la planificación y puesta en marcha de servicios relacionados con la Rehabilitación.

Los especialistas en rehabilitación pueden comprender diferentes campos que ayudan en la terapia del paciente y comprenden los siguientes:

- Fisiatra
- Terapeuta ocupacional
- Patólogo del habla y del lenguaje
- Neuropsicólogo
- Asistente social o encargado del caso
- Personal de enfermería de rehabilitación
- Especialista en enfermería en materia de traumatismo craneoencefálico
- Asesor vocacional

2.2.5. Discapacidad motriz

El término de discapacidad motriz engloba los problemas que afectan a una estructura o función corporal, a las limitaciones en la actividad y a las restricciones en la participación que estos conllevan.

La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), considerada el marco conceptual de este informe, entiende el funcionamiento y la discapacidad como una interacción dinámica entre las condiciones de salud y los factores contextuales, tanto personales como ambientales.

2.2.6. Tipos de discapacidad física

- **Discapacidades físicas orgánicas:** son aquellas que afectan a la cabeza, la columna vertebral y las extremidades inferiores y superiores.
- **Discapacidades de las estructuras musculares:** son las relacionadas con el movimiento de las extremidades.
- **Discapacidades de afectación de órganos y vísceras:** las que afectan a los aparatos respiratorio, cardiovascular, digestivo y urinario y a los sistemas metabólico e inmunológico

2.2.7. Condiciones que producen disfuncionalidad física

- **Daños cerebrales:**
 - **Daño Cerebral Adquirido (DCA).** El DCA es una lesión repentina en el cerebro. Aparece de forma abrupta y puede presentar una gran variedad de secuelas; entre ellas, alteraciones físicas.
 - **Parálisis cerebral.** Se trata de una afectación crónica originada durante el desarrollo cerebral del feto o el bebé. Produce graves efectos en la motricidad, tales como la rigidez, agitación, convulsiones o incluso una parálisis completa de la musculatura.
- **Daños en la musculatura:**
 - **Distrofia muscular.** Se trata de un conjunto de trastornos que conducen a la debilitación y la pérdida de masa muscular. Los síntomas pueden incluir dificultad para caminar, para respirar o tragar, restricciones en la moción conjunta y problemas en el corazón y otros órganos. (Observatorio discapacidad física, s.f.)

- **Aspectos de ergonomía**

Según la Asociación Internacional de Ergonomía, la ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona. El campo de conocimientos estudia las características, necesidades, capacidades y habilidades de los seres humanos. En todas las aplicaciones su objetivo es común: se trata de adaptar los productos, las tareas, las herramientas, los espacios y el entorno en general a la capacidad y necesidades de las personas, de manera que mejore la eficiencia, seguridad y bienestar de los consumidores, usuarios o trabajadores.

2.2.8. Antropometría

La antropometría es una técnica que se dedica a cuantificar el tamaño, la forma y las proporciones del cuerpo humano por medio de la medición directa e indirecta. (Bustillos, 2004)

- **Antropometría estática:** abarca la medición del cuerpo en reposo, se presentan valores generales tales como la talla y los alcances sin acción de estiramiento.

En la tabla 3, según un estudio realizado por Enrique de la Vega de la universidad de Guanajuato, se presentan las medidas corporales promedio de una persona en condición de discapacidad motriz.

Medidas corporales (cm)							
Percentil	Alcance hacia arriba		Del piso a la cabeza	Altura al ojo	Altura al hombro	Alcance bajo	
	Dedo	Puño				Dedo	Puño
5	158.55	146.95	117.28	106.83	93.10	68.25	58.73
50	175.30	164.60	128.95	118.75	103.10	75.20	65.45
95	188.30	176.75	136.45	126.35	110.43	85.68	76.15
Prom	174.36	165.08	128.25	118.25	102.64	75.96	66.30

Tabla 3. Medidas corporales de frente

Medidas corporales (cm)							
Percentil	Alcance al frente		Longitud antebrazo		Alcance lateral		Profundidad del tronco
	Dedo	Puño	Dedo	Puño	Dedo	Puño	
5	80.73	71.30	27.45	19.40	81.08	70.80	27.33
50	89.60	79.25	37.80	27.45	88.65	79.85	35.45
95	98.10	87.93	51.33	41.30	97.13	88.03	43.28
Prom	89.33	79.59	38.56	29.93	89.30	79.93	35.33

Tabla 4. Medidas corporales laterales

En la figura 1 y 2 se muestran las dimensiones que se deben respetar de la antropometría estática para una persona con condición de discapacidad motriz.

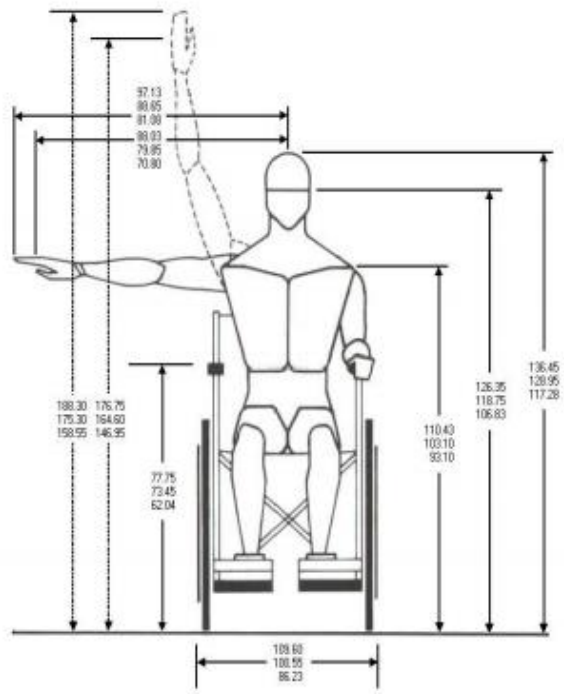


Figura 1. Antropometría estática de adultos [Bustillos, 2004]

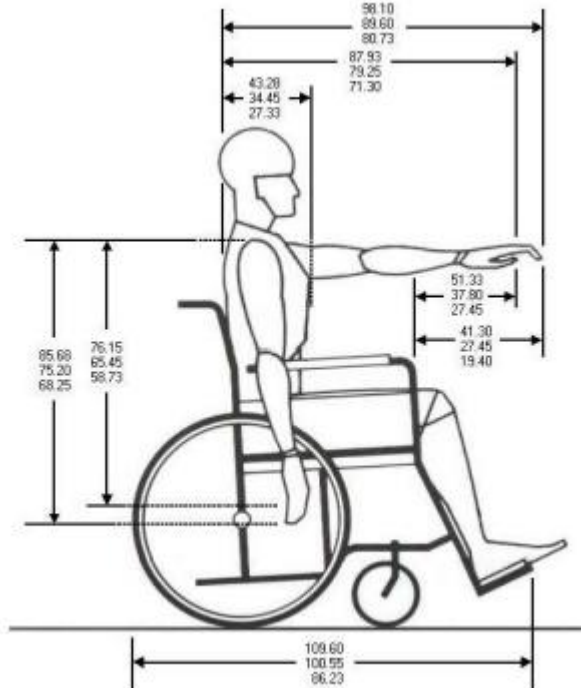


Figura 2. Antropometría estática de adultos, medidas laterales [Bustillos, 2004]

- **Posiciones para el paciente**

- **Posición decúbito supino:** el paciente debe estar con las dos extremidades inferiores extendidas y juntas. Su cabeza y tronco deben estar acomodados y alineados. Respecto a sus extremidades superiores, deben estar paralelas al cuerpo y pagadas al tronco, deben estar bien acomodadas sobre el apoyabrazos en un ángulo no superior a 90°.



Figura 3. Posición decúbito supino

- **Posición de Fowler:** El paciente debe estar en posición supina. La posición de la cabecera de la cama está elevada a un ángulo no mayor de 90° respecto a los pies. Esta postura genera más comodidad en personas encamadas con problemas cardíacos o respiratorios. (OrtoSureste, 2021)

Ángulo de la posición: 45° -110°

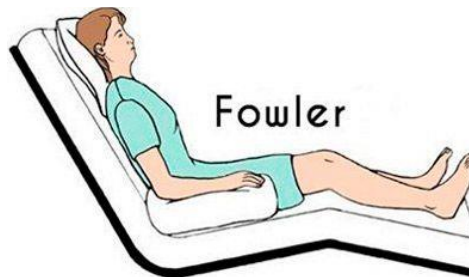


Figura 4. Posición Fowler

- **Posición SemiFowler:** Se tiene al paciente semisentado con el tronco inclinado y las rodillas semiflexionadas.

Ángulo de la posición: 30° -45°



Figura 5. Posición SemiFowler

- **Postura adecuada para el usuario:**

Es importante considerar la postura que se debe tener al estar sentados en una silla de ruedas, por tal motivo, la (Universidad autónoma del Estado de México , s.f.) presenta unos ángulos adecuados para generar comodidad al paciente:

La óptima posición para la mayoría de los usuarios de sillas de ruedas es de un ángulo de inclinación del respaldo de 90 -100 ° y un ángulo de la rodilla de 90 ° -120 °.

En la figura de continuación se presenta un ejemplo en dónde el paciente está en un ángulo de 90° respecto al respaldo y en un ángulo de 120° respecto a la rodilla.



Figura 6. Posición óptima de ejemplo

2.2.9. Ergonomía y discapacidad

El término discapacidad significa ausencia o limitación de la capacidad para realizar una actividad. La ergonomía tiene como objetivo adaptar el entorno a las características de las personas y para ello hay que analizar la relación que existe entre las necesidades, capacidades, habilidades y limitaciones del sujeto y las condiciones de aquello que se intenta adaptar, de manera que le resulten satisfactorios. Para conseguir esto, hay que alcanzar una serie de características comunes a cualquier producto bien diseñado: utilidad, eficiencia, facilidad de uso, seguridad, durabilidad, aspecto agradable y precio realista.

- **Utilidad:** Capacidad que tiene una cosa de servir o de ser aprovechada para un fin determinado.
- **Eficiencia:** Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.
- **Facilidad de uso:** Facilidad con que las personas pueden utilizar una herramienta particular o cualquier otro objeto fabricado por humanos con el fin de alcanzar un objetivo concreto.

- **Seguridad:** Sensación de total confianza que se tiene en algo o alguien.
- **Durabilidad:** Condición de duradero o durable: es decir, que puede durar una gran cantidad de tiempo.
- **Metodología de adaptación:** En cualquier método de adaptación hay que tener en cuenta dos componentes principales:
 - Las exigencias o demandas de la vivienda: que abarca todos los aspectos que dependen directa o indirectamente del hogar.
 - Análisis de las características del sujeto (capacidad funcional, aptitudes, habilidades, preferencias, formación, experiencia, etc.)
 - Implantación de las medidas de adaptación propuestas y seguimiento de la adecuación

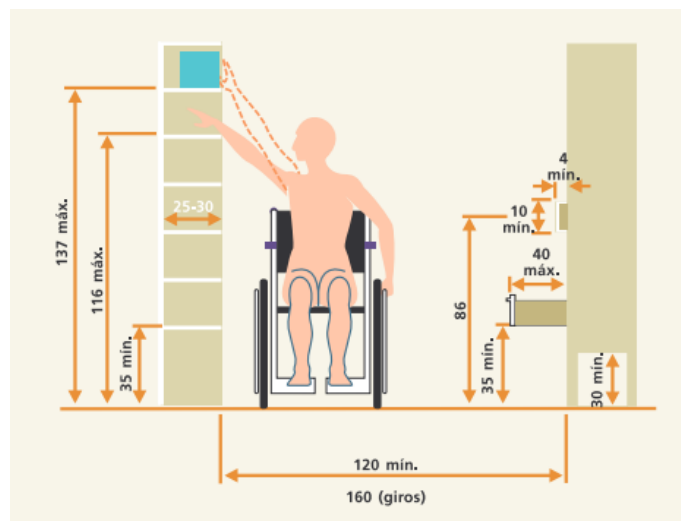


Figura 7. Ergonomía de una persona con discapacidad

La figura 7 muestra diferentes medidas que se deben tener en cuenta en cada persona con discapacidad para una mejor adaptación al mecanismo de silla de ruedas.

Según la guía de buenas prácticas en la atención de personas con discapacidad, cuando una persona ha sufrido de un daño cerebral al momento de estar sentada debe adquirir una postura recta a 90°, flexión de cadera y rodillas, pies totalmente apoyados en el suelo o apoyados en un soporte, hombros simétricos y el tronco y la cabeza sobre la línea media. En algunos casos es necesario utilizar algún soporte (por ejemplo, almohadas) para garantizar el correcto posicionamiento de la cabeza y el tronco.

Respecto a la alimentación, si la persona no puede levantarse de la cama para comer, debe colocarse lo más incorporada posible, con la espalda recta, elevar el cabecero de la cama y, si es necesario, ayudarse con cojines o almohadas para que mantenga la cabeza recta. Si la cabeza tiende a irse hacia atrás nunca debe comer en esa posición. (Centro de Documentación y Estudios SIIS Dokumentazio eta Ikerketa Zentroa, 2012)

En la figura 8 se presentan diferentes medidas que se deben tener en cuenta para adaptarle el hogar a una persona en condición de discapacidad.

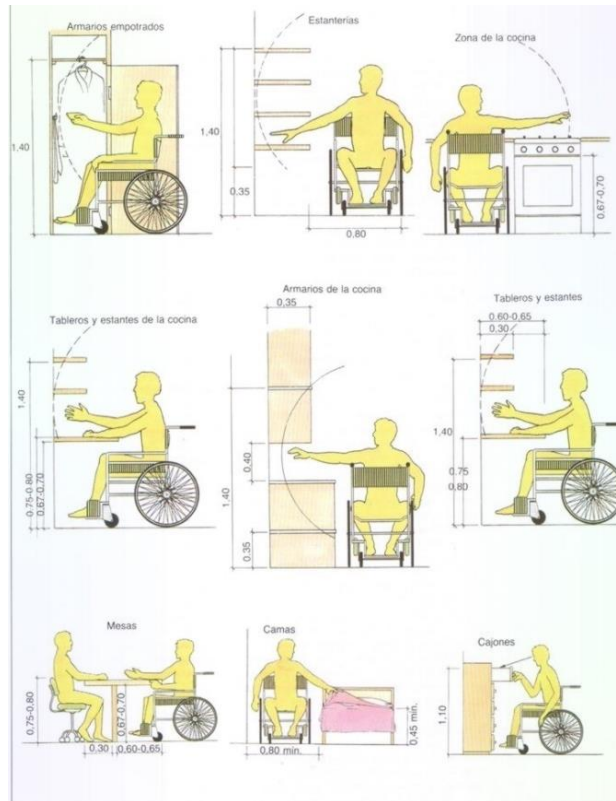


Figura 8. Adaptación del hogar para una persona con discapacidad

Una persona en condición de discapacidad debe mantenerse en una postura erguida para garantizar su comodidad sin presentar molestias para su salud, para ello se debe tener en cuenta las siguientes características: (Fundazioa)

Si está sentada

- Disponer de asientos que permitan mantener la espalda recta y apoyada.
- Procurar que las caderas, rodillas y tobillos de la persona, formen un ángulo recto, debiendo estar los pies siempre apoyados en el suelo. Si estos no alcanzan el suelo, colocar un taburete debajo de los mismos para evitar que queden colgando en el aire.
- Para levantarse de la silla, indicarle que formarán ángulos rectos e se incline recto hacia delante de manera que su cabeza llegue al plano de las rodillas, se apoye en los reposabrazos o en su defecto en la mesa, y a la orden de “tres” colabore en el impulso hacia delante y arriba para ponerse de pie.

Para levantar a la persona de la silla se debe seguir una serie de normas que se explican a continuación:



Figura 9. Guía para levantar a una persona de la silla de ruedas

1. La persona cuidadora colocará su pie delante del pie del familiar haciendo tope y el otro pie deslizado hacia atrás semiflexionado.
2. El familiar se agarrará por la cintura de la persona cuidadora.
3. La persona cuidadora agarrará a su familiar a nivel de la ingle haciendo presa en la ropa con una mano y cogerá con la otra el codo de su familiar.

Si está acostada

- Mantener piernas y brazos alineados a lo largo de su cuerpo.
- El colchón sobre el que se encuentre acostada debe ser firme para que el apoyo sea uniforme y estable.

Para levantar a la persona de la cama se debe seguir una serie de normas que se explican a continuación:

1. El familiar tumbado boca arriba y la persona cuidadora en el lado hacia donde se dirigen los pies.
2. Cruzar los brazos sobre el cuerpo.
3. Cruzar las piernas.
4. La persona cuidadora coloca una mano en la base del cuello y la otra por encima de las piernas cruzadas.
5. Con la mano que sujeta los pies se tira hacia fuera de la cama y con la otra mano que sujeta el cuello se empuja, pivotando al familiar.
6. Al acabar el movimiento, una mano sostiene la espalda y la otra las piernas. El familiar se encuentra sentado en el borde de la cama.
7. Se coloca la silla cerca de la cama. (Inmaculada Valero Cantero y Alfonso García Guerrero., 2012)



Figura 10. Guía para levantar a una persona discapacitada de la cama.

Transferencia del paciente de la silla de ruedas (camilla) a la cama

La camilla se pondrá en paralelo a la cama y debe estar asegurada para evitar accidentes. El objetivo es trasladar el paciente sin levantarlo, es decir halándolo con ayuda de una sábana deslizando, para esto es de utilidad hacer el proceso con dos personas. (DrTango, Inc., 2019)

- 1) Se recomienda que la persona 1 se encargue de movilizar el paciente y la persona 2 se asegure que el paciente no se vaya a lastimar.
- 2) Se posiciona la sábana deslizando debajo del paciente.
- 3) El paciente debe estar en posición horizontal y con los brazos y piernas pegados al cuerpo.
- 4) Las dos personas se posición en la cabecera y los pies de la cama y sujetan una parte de la sábana deslizando.
- 5) La posición de las personas que realizaran el traslado debe ser: un pie hacia adelante y la espalda ligeramente inclinada.
- 6) Se programan y mueven el paciente halando la sábana hacia la camilla.
- 7) Por último, se acomoda el paciente.

2.2.10. Mecanismos que ayudan a la movilidad de personas con discapacidad

Existen diversos mecanismos que ayudan a transportar a las personas con discapacidad motriz, entre ellos se tienen:

- **Silla de ruedas:** es un dispositivo de accionamiento manual o eléctrico diseñado para el uso de una persona con discapacidad motriz en sus extremidades. Tiene como función permitir el desplazamiento de la persona y ayudar a que permanezca sentada en una posición correcta, mediante una serie de accesorios con los que cuenta. (ADA. Red Nacional, s.f.)



Figura 11. Silla de ruedas convencional

A la hora de adquirir una silla de ruedas conviene valorar los siguientes aspectos:

- Capacidad y habilidad de la persona:
- Verificar si podrá manejar la silla de ruedas autónomamente o si requerirá algún tipo de ayuda o apoyo.
- Verificar si podría manejar una silla eléctrica.
- Verificar si serían necesarias determinadas adaptaciones dentro del servicio para que la persona pudiera hacer uso de la silla de ruedas.
- Verificar si la persona será capaz de manejar la silla de forma segura: maniobrar bien, frenar a tiempo, etc. Si la persona no es capaz, se realizará un entrenamiento y se valorará si con este adquiere la capacidad necesaria.
- Verificar si la silla de ruedas precisa de adaptaciones específicas que se ajusten mejor a las necesidades: por ejemplo, respaldo reclinable, antebrazos especiales, elevador de pies.
- Verificar que las dimensiones de la silla se adecuan bien a la persona usuaria.

Elementos de una silla de ruedas

La silla de ruedas convencional cuenta con los siguientes elementos:

- Chasis
- Llantas
 - Llantas motrices



Figura 12. Lanta motriz (Lasluisa, 2015)

- Lantas direccionales



Figura 13. Lantas direccionales (Lasluisa, 2015)

- Respaldo
- Reposabrazos
- Reposapiés
- **Grúa hidráulica:** Diseñada para facilitar el movimiento y traslado de pacientes con poca o nula movilidad. (Interfísica, 2019)

Los primeros modelos de Grúas para movilizar a personas con discapacidades eran manuales, el aparato era utilizado como palanca. La palanca permitía que se levante al paciente manteniendo la espalda del enfermero o cuidador en posición correcta, quien utilizaba la palanca utilizaba su peso para obtener más fuerza, con el pasar de los años esto evoluciono y se añadieron más elementos para facilitar el trabajo, entre ellos cintos hidráulicos.

En la figura 14 se presenta una grúa de tipo araña, la cual está compuesta de un sistema hidráulico, y una serie de articulaciones que permiten que se oriente al paciente sobre un eje vertical, lo que facilita la movilización, este tipo de artefacto es útil para mover al paciente en espacios estrechos.



Figura 14. Grúa hidráulica

- **Scooter eléctrica:** emplea un motor como medio de propulsión. Permite la movilidad y una forma de devolver la independencia y autonomía a las personas con movilidad reducida. (Ortopedia web, 2018)



Figura 15. Scooter eléctrica

2.2.11. Mecanismo de elevación

- **Gato hidráulico:** una máquina empleada para la elevación de cargas pesadas mediante el accionamiento manual de una manivela o una palanca, o bien mediante un sistema de accionamiento asistido por un motor eléctrico o por un compresor de aire.
- **Plataforma de tijeras:** es una máquina cuyo trabajo consiste en levantar diferentes objetos con sus herramientas en el aire. Se pone el nombre de tijera debido al sistema de elevación situados bajo la plataforma de trabajo y que se une entre sí como tijeras. (Empresa especializada Manain, 2020).
Existen diferentes tipos de plataforma de tijeras que se eligen dependiendo del terreno en el cual se quieren emplear, entre ellas están:
 - Plataforma de tijeras eléctricas
 - Plataforma de tijeras por accionamiento neumático.
 - Plataforma de tijeras por accionamiento hidráulico.

- Plataforma de gasolina.

- **Partes de una plataforma elevadora de tijeras:** según (Melián, 2016) una plataforma se tijera se compone de:
 - Plataforma de trabajo: es la cesta de la máquina donde el personal se sube a efectuar el trabajo
 - Estructura extensible: es la estructura de tijera que permite el movimiento de elevación y está unida al chasis sobre la que está instalada la plataforma de trabajo.
 - Chasis: es la base de la plataforma y en ella se alojan los actuadores que permiten el movimiento del sistema.

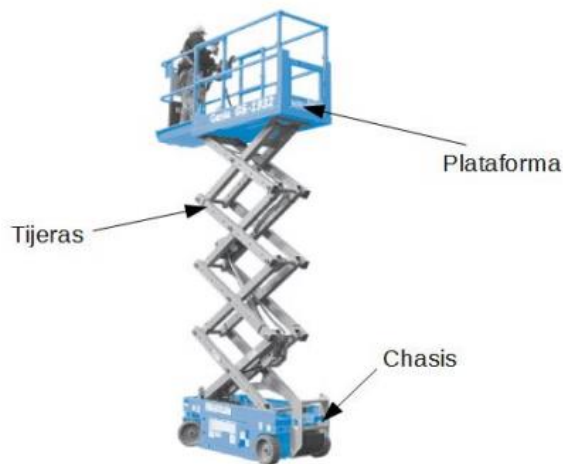


Figura 16. Partes de una plataforma elevadora (Melián,2016)

2.2.12. Actuadores para el mecanismo de elevación

- **Actuadores:** son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos o gases; estos pueden ser hidráulicos, neumáticos o eléctricos. (Atlantic International University , 2019)
 - **Actuadores hidráulicos:** se emplean cuando lo que se necesita es potencia.
 - **Actuadores neumáticos:** se emplean para movimiento y posicionamiento.
 - **Actuadores neumáticos lineales:** consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Existen dos tipos fundamentales de los cuales derivan construcciones especiales.
 - **Cilindros de simple efecto:** solo pueden efectuar trabajo en una dirección. Su funcionamiento consiste en que el émbolo se hace retornar por medio de un resorte interno o por algún otro medio externo como cargas, o diferentes movimientos mecánicos, estos cilindros de simple efecto se utilizan para sujetar, marcar, expulsar, entre otras tareas relacionadas.

- **Cilindros de doble efecto:** son aquellos que efectúan trabajo en ambas direcciones, es decir, realizan su carrera de avance y la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes sí pueden realizar trabajo en ambos sentidos. En la siguiente figura se presenta el cilindro doble efecto con sus partes señaladas.

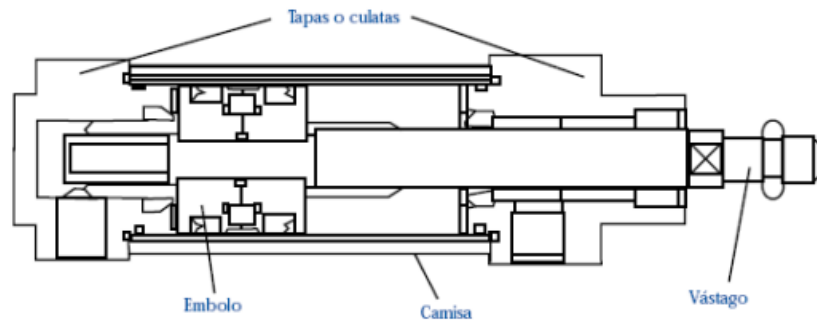


Figura 17. Cilindro de doble efecto (Bernal, 2018)

2.2.13. Síntesis de mecanismos

Para algunos problemas de diseño, no existe un algoritmo definido que pronostique una solución, por tal motivo surge la síntesis de mecanismos en donde se crean soluciones potenciales para el sistema. (Norton, 2009) Existen diversas síntesis como:

- **Síntesis cualitativa:** Se refiere a la creación de soluciones potenciales en ausencia de un algoritmo bien definido que configure o pronostique la solución.
- **Síntesis de tipo:** Se refiere a la definición del tipo apropiado de mecanismo mejor adaptado al problema, y es una forma de síntesis cualitativa. Acá la tarea requiere algo de experiencia y conocimiento de los diversos tipos de mecanismos que se presentan y que también pueden ser factibles desde el punto de vista de funcionamiento y manufactura.
- **Síntesis cualitativa o síntesis analítica** Se refiere a la generación de una o más soluciones de un tipo particular que se sabe son adecuadas para el problema, y es de más importancia, uno para el cual está definido un algoritmo de síntesis. Este tipo de solución se puede cuantificar, ya que hay un conjunto de ecuaciones que darán una respuesta numérica.
- **Síntesis dimensional:** Consiste en determinar las dimensiones (longitudes) de los eslabones necesarios para realizar los movimientos deseados, y puede ser una forma de síntesis cuantitativa, si se define un algoritmo para el problema particular, pero puede ser una forma de síntesis cualitativa si hay más variables que ecuaciones.
- **Generación de la trayectoria:** según (Norton, 2009) se define como el control de un punto en el plano, de tal suerte que siga una trayectoria prescrita. Se requiere que un cuerpo sea conducido en una secuencia de movimientos prescrita.
- **Generación de movimiento:** Se define como el control de una línea en el plano de modo que asuma un conjunto prescrito de posiciones secuenciales.

- **Generación de función:** Se define como la correlación de un movimiento de entrada, con un movimiento de salida en un mecanismo. Un generador de función (o de funciones) es, conceptualmente, una “caja negra” que suministra una salida predecible, en respuesta a una entrada conocida.
- **Ley de Grashof:** es una fórmula utilizada para analizar el tipo de movimiento que el mecanismo de cuatro barras hará, esto es con el fin de que exista un movimiento continuo entre ellas. La suma de la barra más corta y la barra más larga no puede ser mayor que la suma de las barras restantes. En la siguiente figura se muestran los tipos de movimientos, en donde s : longitud del eslabón más corto, l : longitud del eslabón más largo, P : longitud del eslabón restante, Q : longitud del eslabón restante.

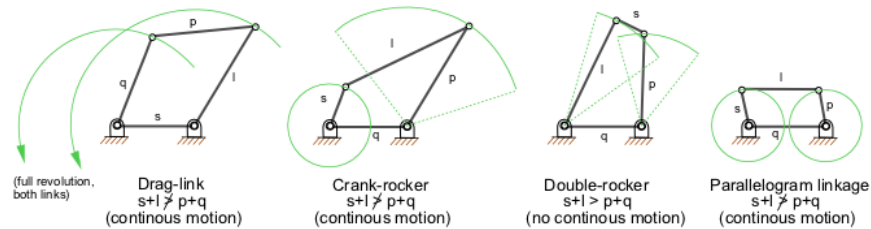


Figura 18. Mecanismos de la ley de Grashof

Un mecanismo cuatro barras es tipo Grashof si se cumple que $S+L \leq P+Q$, y al menos uno de sus eslabones describirá una revolución completa, llamada cadena cinemática Clase I. Si el mecanismo de cuatro barras no cumple la desigualdad entonces, es No Grashof y ningún eslabón podrá dar una revolución completa, dándose la cadena cinemática Clase II. También puede darse que $S+L = P+Q$ para el caso especial de Grashof Clase III. Las inversiones en este estudio se relacionan con el eslabón más corto del mecanismo. (López & Garmendia)

2.2.13.1. Síntesis gráfica de eslabones: en la síntesis de mecanismos se dan movimientos de entrada y salida deseados para determinar el mecanismo requerido. El método gráfico se basa en la medición directa de las longitudes y de los ángulos de los eslabones del mecanismo. Es decir, es la determinación de las dimensiones (longitudes) de los eslabones necesarios para lograr los movimientos deseados y funciona bien hasta para tres posiciones del diseño. (Instituto Politécnico Nacional)

- **Generación de movimiento con mecanismos de cuatro eslabones**
- **Síntesis de dos posiciones:** si se desea guiar un eslabón en un mecanismo, de manera que alcance diferentes posiciones, esto puede ser establecido como una simple rotación sobre un polo de rotación. La síntesis de dos posiciones se divide

en dos categorías: salida de balancín, en donde se habla de rotación pura y salida de acoplador, en donde el movimiento es complejo.

2.3. MARCO LEGAL

Artículo 4°, Obligaciones generales, Ley 1346 de 2009. 1. Los Estados Partes se comprometen a asegurar y promover el pleno ejercicio de todos los derechos humanos y las libertades fundamentales de las personas con discapacidad sin discriminación alguna por motivos de discapacidad. A tal fin, los Estados Partes se comprometen a:

- a) Adoptar todas las medidas legislativas, administrativas y de otra índole que sean pertinentes para hacer efectivos los derechos reconocidos en la presente Convención;
- b) Tomar todas las medidas pertinentes, incluidas medidas legislativas, para modificar o derogar leyes, reglamentos, costumbres y prácticas existentes que constituyan discriminación contra las personas con discapacidad;
- c) Tener en cuenta, en todas las políticas y todos los programas, la protección y promoción de los derechos humanos de las personas con discapacidad;
- d) Abstenerse de actos o prácticas que sean incompatibles con la presente Convención y velar por que las autoridades e instituciones públicas actúen conforme a lo dispuesto en ella;
- e) Tomar todas las medidas pertinentes para que ninguna persona, organización o empresa privada discriminen por motivos de discapacidad;
- f) Empezar o promover la investigación y el desarrollo de bienes, servicios, equipo e instalaciones de diseño universal, con arreglo a la definición del artículo 2° de la presente Convención, que requieran la menor adaptación posible y el menor costo para satisfacer las necesidades específicas de las personas con discapacidad, promover su disponibilidad y uso, y promover el diseño universal en la elaboración de normas y directrices;
- g) Empezar o promover la investigación y el desarrollo, y promover la disponibilidad y el uso de nuevas tecnologías, incluidas las tecnologías de la información y las comunicaciones, ayudas para la movilidad, dispositivos técnicos y tecnologías de apoyo adecuadas para las personas con discapacidad, dando prioridad a las de precio asequible;
- h) Proporcionar información que sea accesible para las personas con discapacidad sobre ayudas a la movilidad, dispositivos técnicos y tecnologías de apoyo, incluidas nuevas tecnologías, así como otras formas de asistencia y servicios e instalaciones de apoyo.

Artículo 6° Ley 1145 de 2007. El Sistema Nacional de Discapacidad estará integrado a todos los Sistemas Nacionales relacionados con el conjunto de derechos y garantías de la

población con y en situación de discapacidad, para lograr una dinámica institucional transversal.

Artículo 47º. de 1991. “El Estado adelantará una política de previsión, rehabilitación e integración social para los disminuidos físicos, sensoriales y psíquicos, a quienes se prestará la atención especializada que requieran”.

Normal UNE-EN 280: La masa de cada persona se asimila a una carga específica aplicada a la plataforma de trabajo en un punto situado a una distancia horizontal de 0.1m del borde interior de la parte superior de la barandilla. La distancia entre las cargas debe ser 0.5m.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de sistema mecánico que facilite el desplazamiento cómodo y dinámico dentro del hogar de una persona con movilidad reducida.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las especificaciones a tener en cuenta en el diseño del sistema mecánico que permita suplir las necesidades de una persona con movilidad reducida.
- Diseñar el sistema mecánico propuesto mediante una herramienta CAD.
- Construir el prototipo del sistema mecánico.
- Validar el funcionamiento del prototipo según las características funcionales indispensables determinadas anteriormente.

4. METODOLOGÍA

Partiendo de las necesidades y baja calidad de vida, producto de la discapacidad motriz del paciente, se propone el diseño de un dispositivo con el cual se busca mejorar su movilidad y ergonomía.

Con el fin de encontrar una solución que satisfaga sus necesidades físicas y fisiológicas, el proyecto se estructura bajo la metodología *desing thinking* de la universidad de Stanford.

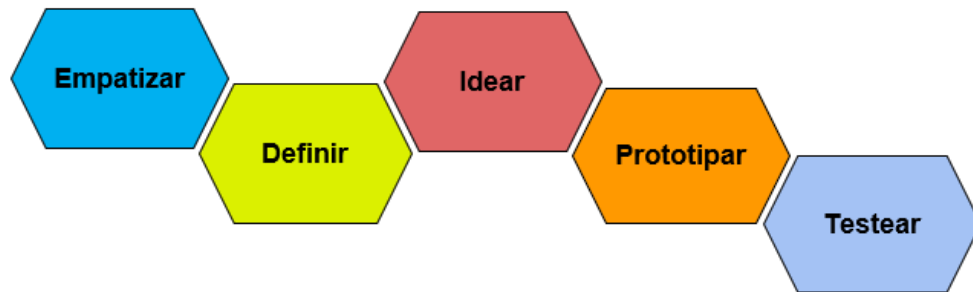


Figura 19. Metodología Desing thinking

Empatizar

- Identificación del problema el cuál es la ausencia de un mecanismo para mejorar la movilidad y postura del señor Ernesto Goya.
- Identificación de las necesidades a suplir teniendo como base el trauma craneoencefálico que padece el señor Goya. Para ello se realizan visitas al señor, se habla con la persona a cargo de él sobre los diferentes cuidados que se deben tener en cuenta respecto a la posición del señor y se realiza un diagrama de análisis de la necesidad.

Definir

- Búsqueda y recolección de información en las diferentes bases de datos sobre las necesidades fundamentales de las personas con movilidad reducida y de diferentes mecanismos para el desplazamiento de ellas.

Idear

- Elaboración de un bosquejo general del sistema electromecánico diseñado para el desplazamiento y postura de una persona en específico.
- Se diseñan los elementos del mecanismo mediante una herramienta CAD.
- Realización de todos los cálculos de las resistencias, deformaciones y simulación de los esfuerzos y comportamientos estáticos por medio del complemento Solidworks Simulation.
- Con base al diseño elaborado se escogen los diferentes elementos necesarios para el funcionamiento del mecanismo. Para esto se hace una búsqueda

de los diferentes componentes que cumplen con las características que se necesitan para el sistema electromecánico y se evalúa cuál de ellos es el mejor.

Prototipar

- Con la instrumentación adecuada se procede a la construcción y adaptación del sistema mecánico.

Testear

- Después de ensamblados y montado todo el sistema, se realizan las pruebas correspondientes para validar el funcionamiento de los diferentes componentes.
- Se valida el sistema de desplazamiento teniendo en cuenta el peso que puede soportar y los componentes funcionales.
- Validación de la posición adecuada según las necesidades del usuario.
- Para la validación del sistema completo se evaluará con una persona la cuál será desplazada dentro de un espacio controlado y bajo la normativa correspondiente.
- Se valida que el sistema supla las necesidades para el desplazamiento y posición del usuario.
- Para facilitar la pedagogía del sistema electromecánico se elabora un manual de uso que contiene imágenes y explicaciones del prototipo.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. FASE 1. EMPATIZAR

Para la primera etapa del proyecto se realizó una visita al usuario en donde se identificaron las necesidades y se habló con la persona a cargo de él sobre los diferentes cuidados que se deben tener en cuenta respecto a la posición y movilidad del paciente.

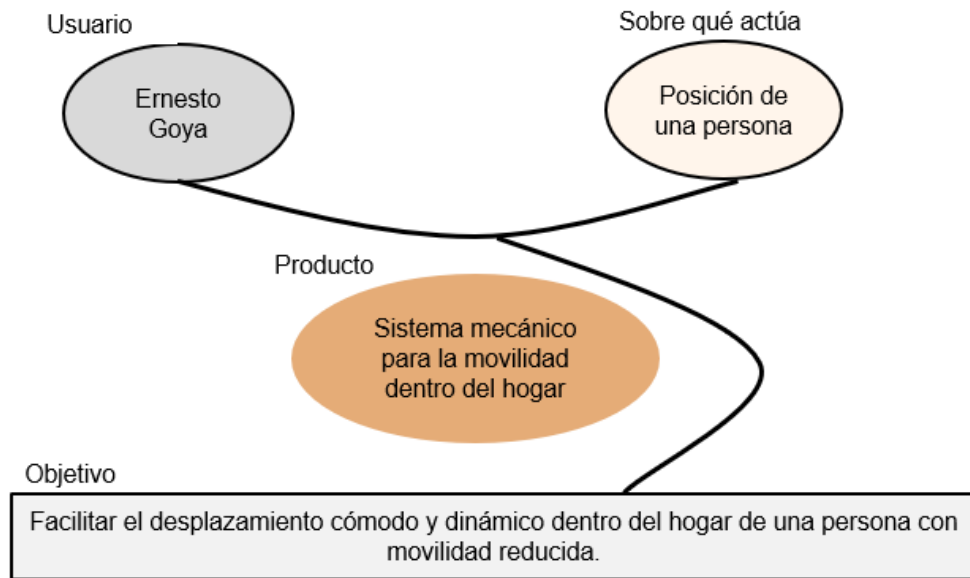


Figura 20. Identificación de las necesidades

5.2. FASE 2. DEFINIR

A continuación se presenta el factor diferenciador del sistema

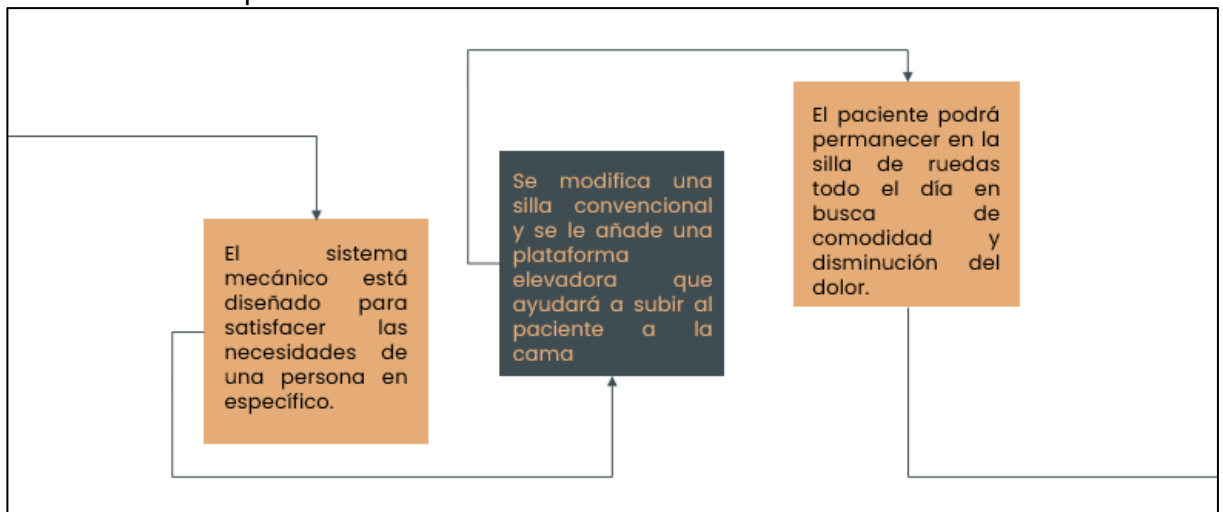


Figura 21. Factor diferenciador

Para la etapa de definir, se buscó en diferentes bases de datos mecanismos para el desplazamiento de personas con movilidad reducida, se evaluó el mejor sistema y se escogió una silla de ruedas.

- a. **Chasis:** Las sillas de ruedas cuentan con un chasis, el cual es el componente de la silla de ruedas en donde se ponen las piezas. Existen diferentes materiales empleados para la fabricación de una silla de ruedas y se presentan en la siguiente tabla. (Lasluisa, 2015)

Material	Propiedades físicas y mecánicas
Acero	Resistente Económico Fácil adquisición Baja resistencia a la corrosión Resistencia de tracción en aceros estructurales: 310 Mpa. Densidad de 7850 kg/m ³ Es un material soldable
Aluminio	Duradero Fácil adquisición Alta resistencia a la corrosión Buen conductor térmico y eléctrico- Densidad de 2700 kg/m ³
Titanio	Muy resistente Alta resistencia a la corrosión Costo elevado Biocompatible Densidad de 4507 Kg/m ³
Fibra de Carbono	Alta resistencia mecánica Buena resistencia a la corrosión y al fuego Conductor eléctrico y térmico Elevado costo de producción Se requieren moldes para el conformado deseado Su fabricación implica un alto impacto ambiental Densidad de 1750 Kg/m ³

Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas del chasis

Por sus propiedades y fácil adquisición del material, se escogió la opción de un chasis de acero.

- b. **Cojinería:** Para el desarrollo del proyecto, se seleccionó los cojines anti escaras de espuma que generan comodidad, ayudan a mantener la estabilidad en la silla y previene la aparición de úlceras.
- c. **Llantas:** Según (Lasluisa, 2015), las sillas de ruedas cuentan con dos tipos de llantas: motrices y direccionales.
Las llantas motrices son las que reciben la potencia y son de mayor tamaño, mientras que las llantas direccionales facilitan el desplazamiento, pero brindan menor estabilidad.

- **Llantas motrices:** se componen de las siguientes partes
 - Cubierta: se encuentra en contacto directo con el suelo. El neumático de caucho la opción más usada brindando una buena amortiguación.
 - Cuerpo: es la parte central de la llanta, el material principal de fabricación es generalmente acero debido a su bajo costo y gran resistencia.
 - Eje: es el espacio central de la llanta.

Por sus propiedades y fácil adquisición, se eligió una llanta con neumático de caucho.

- d. **Asiento:** es el elemento que brinda al usuario el soporte de la pelvis y el tronco. Algunos aspectos a tener en cuenta son la ergonomía, el peso del usuario, el material, el costo y la adaptabilidad a la silla de ruedas.
- e. **Reposabrazos:** su función principal es brindar descanso a los brazos del usuario y tener un punto de apoyo.
- f. **Reposapiés:** su función principal es brindar apoyo a los pies del usuario.
- g. **Plataforma de tijeras:** es un tipo de plataforma elevadora las cuales basan su funcionamiento en un mecanismo que se abre y cierra por secciones como unas tijeras.
- h. **Sistema neumático:** el cilindro neumático hace un trabajo repetitivo que consiste en transformar la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras.
Para la elaboración del proyecto se seleccionó la plataforma de tijeras accionada de forma neumática porque presenta un factor de seguridad alto debido a baja fuerza que desarrolla las presiones con las que trabaja, tiene como ventaja el bajo costo de sus componentes, tiene facilidad de uso, lo que genera que la persona a cargo del paciente, no presente inconvenientes a la hora de accionarla y por último, se adapta al ambiente en donde vive el paciente, puesto que al compararla con una plataforma eléctrica, su uso genera mayor costo.

Selección del mecanismo de plataforma de tijeras			
Criterios	Accionada de forma neumática	Accionada de forma hidráulica	Eléctrica
Facilidad de uso	4	4	5
Funcionamiento	5	5	5
Costo	5	3	1
Seguridad	5	3	4
Ambiente	5	5	2
Total	24	20	17

Tabla 6. Selección del mecanismo de accionamiento

i. Sistema de elevación de las piernas

La posición de los reposapiés también provoca una gran influencia en la postura del paciente, puesto que los reposapiés demasiado bajos el usuario tenderá a deslizarse hacia abajo, mientras que si son demasiado altas provoca un exceso de presión en las nalgas las cuales pueden llegar a provocar úlceras por presión. (Adrián González Polo y Eduardo Martínez Barranco, 2014)



Figura 22. Posición de los pies

Para el diseño del sistema de elevación de las piernas, se realizó un análisis con diferentes sistemas teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para la construcción se debe considerar la altura máxima a la que puede subir la silla con la plataforma elevadora.
- La velocidad con la que sube la plataforma elevadora para que el soporte de las piernas suba al mismo tiempo.
- El peso de las piernas y el peso los materiales con los que se construye el soporte de las piernas.
- Un sistema seguro y cómo para el paciente que permita la elevación de las piernas.
- Que sea de fácil manejo para que pueda ser operado por la persona a cargo del señor Goya.
- Que sea adaptable a la silla de ruedas convencional para facilitar su construcción.

A continuación se presenta la matriz elaborada para la selección del mecanismo

¿Cómo?	Importancia	Elevación de las piernas			
¿Qué?		Sistema individual	Único pistón	Dos pistones	Mecanismo de barras
Seguro	5	9	9	9	9
Cómodo	5	1	9	9	3
Económico	5	3	1	1	9
Fácil manejo	4	1	3	1	3
Facilidad de construcción	5	9	1	1	3
Adaptable	3	3	9	3	9
Evaluación		123	139	113	159

Tabla 7. Matriz QFD

Se seleccionó el mecanismo de barras ubicado en la parte inferior porque satisface las necesidades planteadas en la matriz QFD, el mecanismo de barras se activa con el pistón y permite la elevación de las piernas al mismo tiempo que se eleva y el espaldar de la silla va descendiendo. Dicho pistón es accionado por un compresor.

- j. **Aire comprimido:** Inicialmente se seleccionó una bomba de pedal para mayor comodidad de la persona a cargo del paciente que se utilizaba apoyando la base de la bomba en el suelo y pisando con el pie para bombear y darle movimiento al cilindro neumático al que se encontraba conectado por una manguera. La presión que maneja es de 100 psi y se emplea una válvula reversible que permitirá que la plataforma baje su posición extendida. En la figura que se presenta a continuación se evidencia la conexión de la bomba, con la válvula y el pistón.



Figura 23. Componentes para el mecanismo de elevación

Sin embargo, luego de realizar las pruebas correspondientes, se tomó la decisión de reemplazar este diseño por uno más robusto como un compresor de aire, que garantizara la funcionalidad del mecanismo.

Esta herramienta del compresor, absorbe el aire a presión ambiental a través de un sistema de filtrado y lo devuelve con la presión deseada, que en este caso será a la manguera conectada a la válvula de paso y un cheque que conducirán el aire al pistón para permitir elevar la silla.



Figura 24. Conexión del pistón

5.3. FASE 3. IDEAR

El objetivo del proyecto es facilitar la movilidad del usuario dentro de su hogar, por ende, se presenta el plano de su casa, en donde se destacan los lugares que son transitados por el usuario en cuestión.

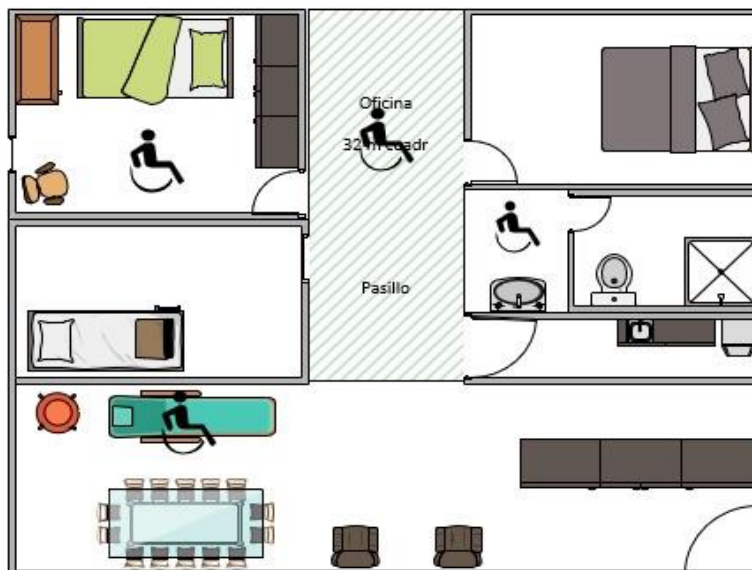


Figura 25. Plano de la casa del señor Goya

5.3.1. Diseño estructural de la silla de ruedas

Para el diseño estructural de la silla de ruedas se utilizó SolidWorks, que es un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D y para el análisis del mecanismo, se empleó el software COMSOL.

El sistema mecánico está diseñado para satisfacer las necesidades de una persona en específico, para eso, se modifica una silla convencional y se le añade un mecanismo de barras que ayudará a subir al paciente a la cama buscando con el diseño que el paciente pueda pasar sentado todo el día en la silla de ruedas sin presentar dolores.

En la figura 26 se presenta el diseño preliminar del sistema. El diseño preliminar contaba con un chasis fabricado en acero, con una plataforma de tijeras accionada por un cilindro hidráulico, y con el espaldar estático, de manera que, al subir la plataforma, el paciente quedaba sentado, lo que dificultaba su traslado a la cama. Por tal motivo, se realizaron algunas correcciones para mejorar dicho proceso.



Figura 26. Diseño preliminar [elaboración propia]

El mecanismo final diseñado cuenta con un chasis fabricado en acero estructural, ensamblado por un mecanismo de barras ubicado en la parte inferior de la silla, que brindan soporte, estabilidad al diseño y permite la elevación del paciente. El mecanismo de barras es accionado por un cilindro neumático que recibe el fluido de un compresor de aire. Los reposapiés y reposabrazos son de acero. El asiento de la silla está sujeto al mecanismo y este se eleva cuando se accione el pistón ubicado en la parte de debajo de la silla.

El espaldar de la silla es reclinable y de un mayor tamaño, brindando mayor comodidad y permitiendo que el paciente quede en posición horizontal como una camilla para trasladarlo a la cama y cuenta con cinturón de seguridad para ponérselo al paciente.

Las figuras 27 y 28 presentan el diseño elaborado en Solidworks.



Figura 27. Diseño del mecanismo [elaboración propia]

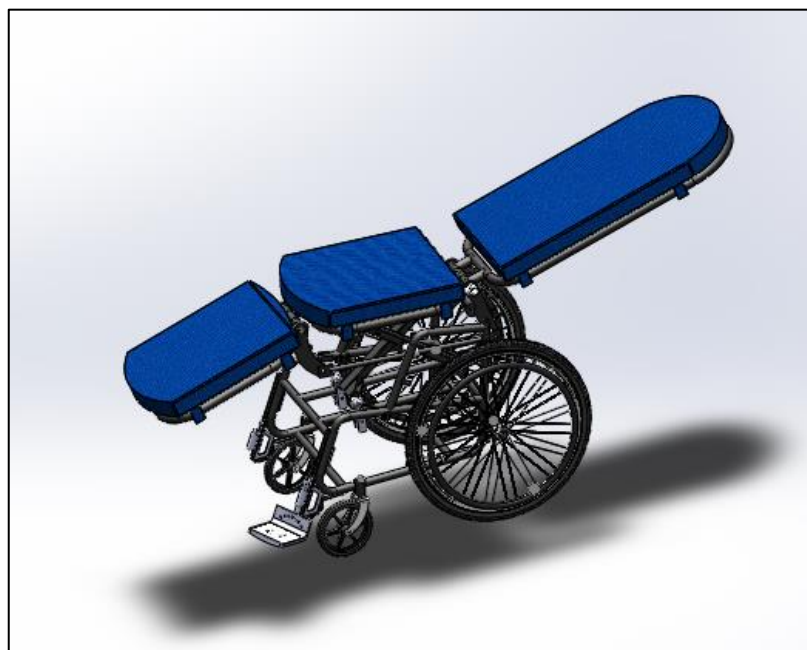


Figura 28. Posición horizontal del diseño [elaboración propia]

En la figura 29 y en la tabla 8 se observan las principales piezas que conforman el diseño mecánico elaborado.

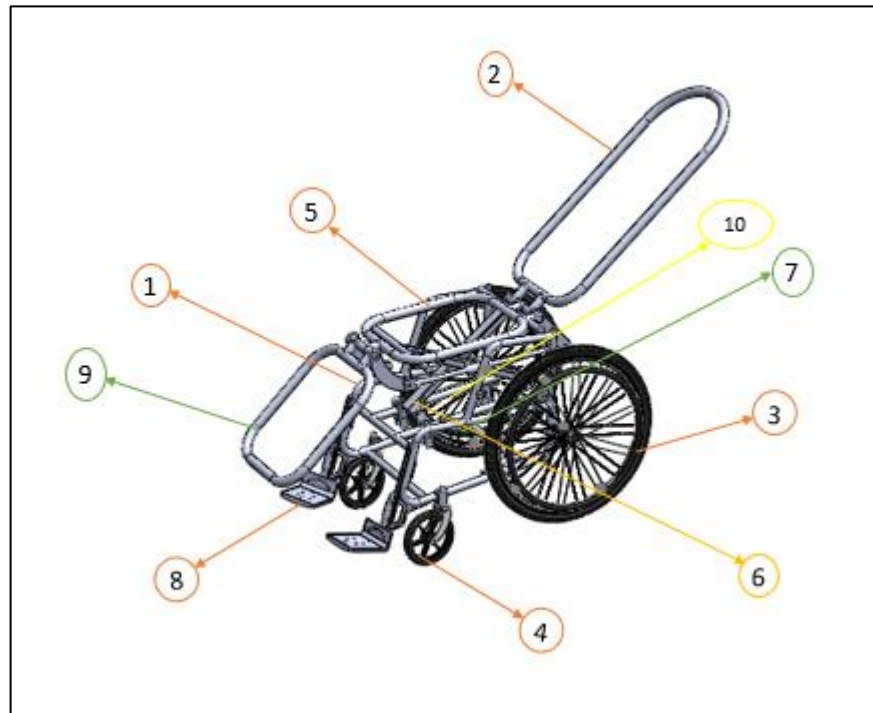


Figura 29. Diseño de la silla con sus piezas señaladas

Número	Pieza	Descripción
1	Chasis del asiento	Cumple la función de dar soporte al asiento de la silla. Material: acero estructural
2	Chasis del espaldar	Cumple la función de dar soporte al cojín del espaldar y permite bajar al paciente para que quede en posición acostada. Material: acero estructural
3	Lantas motrices	Reciben la potencia y brinda soporte a la silla de ruedas Material: neumático de caucho
4	Lantas direccionales	Permiten el movimiento de la silla de ruedas. Material: cubierta de goma maciza.
5	Base del asiento	Base del asiento Material: acero estructural
7	Pistón	Pistón neumático para accionar el mecanismo de cuatro barras.

8	Soporte posapiés	Favorece adoptar una postura óptima enfocándose en las piernas. Material: Acero estructural.
9	Chasis de las piernas	Cumple la función de dar soporte al cojín de las piernas y permite subir las piernas del paciente para que quede en posición horizontal Material: acero estructural
10	Mecanismo de cuatro barras	Material de los eslabones: acero de bajo carbono Material del eje central: acero plata

Tabla 8. Partes del mecanismo [elaboración propia]

5.3.2. Diseño del mecanismo de barras

Para el diseño del mecanismo de barras se empleó la síntesis dimensional gráfica que permite un análisis de la posición de los eslabones para el movimiento deseado. Para la síntesis se establecieron dos posiciones, en dónde la rotación se da en dos polos. Para la síntesis, se planteó un mecanismo de cuatro barras en donde su posición final (posición B), permita que el paciente quede acostado.

El eslabón 1 (E1) será el eslabón fijo del mecanismo, el eslabón 2 (E2) está conectado con el eslabón 4 (E4), el cual, junto con el eslabón 3 (E3), forman un ángulo de 90° con el soporte para las piernas y el espaldar. Cuando el eslabón 2 sea accionado por el pistón, permitirá el movimiento del mecanismo de barras permitiendo así que la silla quede en posición horizontal.

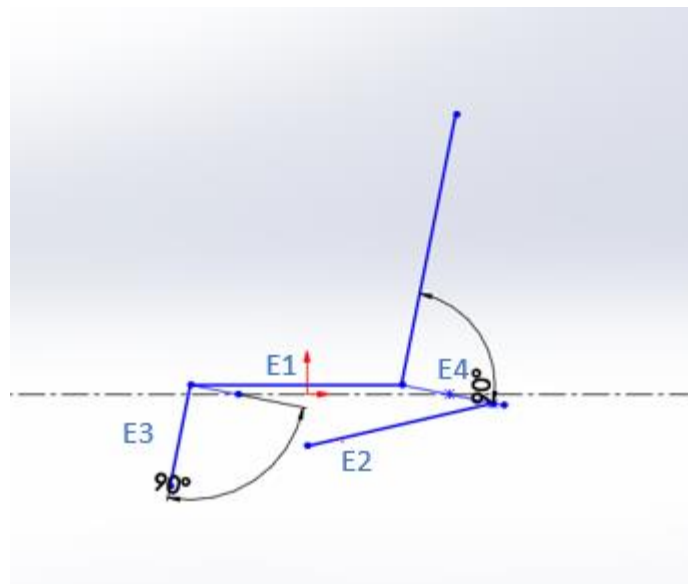


Figura 30. Mecanismo de barras [elaboración propia]

Para llegar de la posición A a la posición B los eslabones 2, 3, 4 deben seguir la sienta trayectoria.

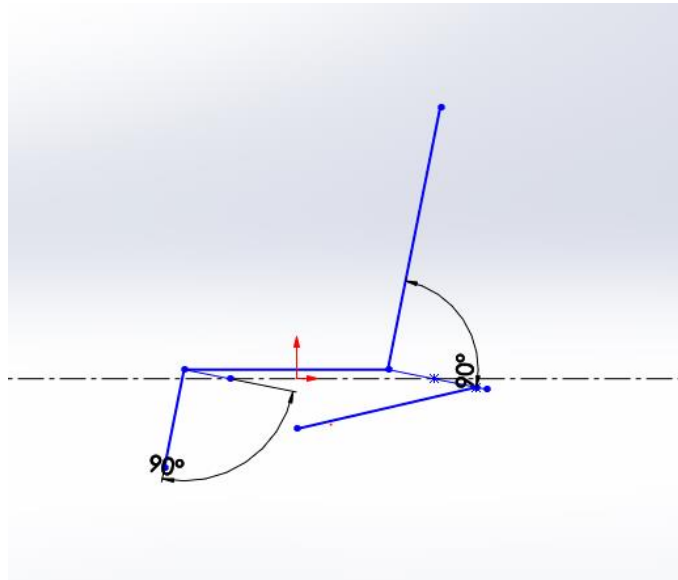


Figura 31. Trayectoria de los eslabones

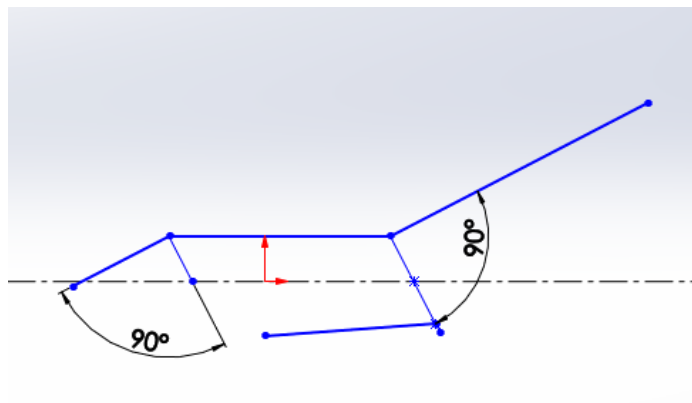


Figura 32. Trayectoria de los eslabones

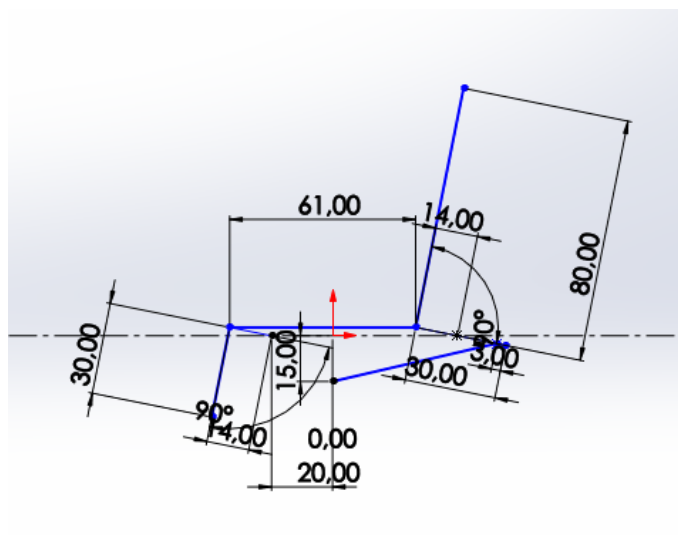


Figura 33. Mecanismo de cuatro barras con medidas

Para el diseño del mecanismo de cuatro barras se empleó la síntesis dimensional gráfica, que permite hacer un análisis de la posición de los eslabones para el movimiento deseado. Para ello se establecieron dos posiciones, en donde la rotación se da en dos polos. Así, la posición final del mecanismo (posición B), dejará al paciente horizontalmente alineado.

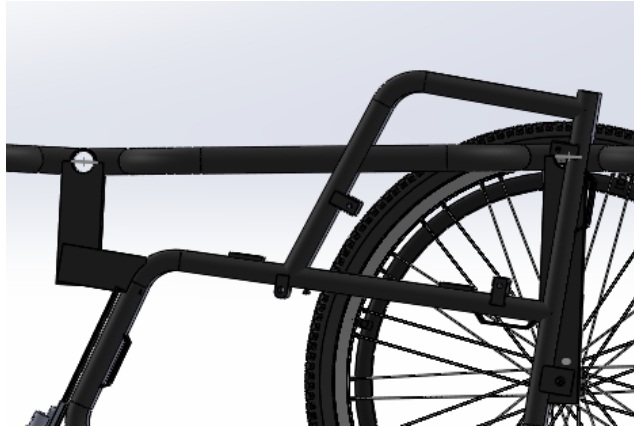


Figura 34. Diseño de los eslabones

El eslabón 4, es una barra de acero que se une al eslabón 1 para permitir que el espaldar de la silla quede en posición horizontal, está conectado al eslabón 2 y está ubicado en el chasis de la silla por medio de un eje montado en una chumacera que se emplea para permitir su rotación.

El eslabón 3 es una barra de acero que se une al eslabón 1 para permitir la elevación de las piernas del paciente y se ubica en el chasis de la silla por medio de un eje montado en una chumacera que se emplea para permitir su rotación.



Figura 35. Sistema en posición de silla



Figura 36. Sistema en posición horizontal

Teniendo una condición final en donde el mecanismo se encuentra en posición horizontal en un ángulo de 0° y una condición inicial con un ángulo de 79° .

$$\theta_{in} = 79$$

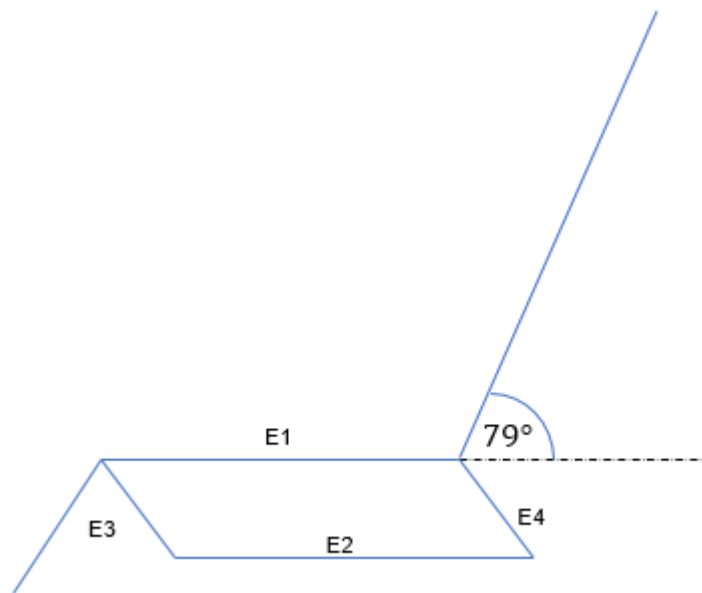
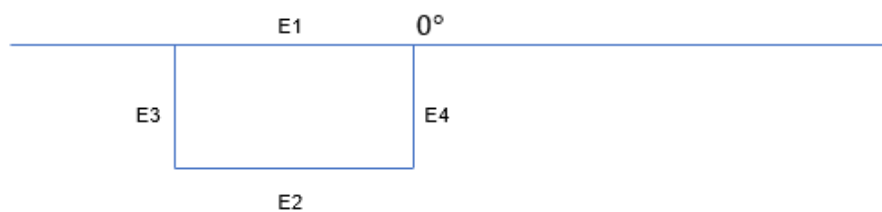


Figura 37. Posiciones mecanismo de barras

$$\theta_{fin} = 0$$



El objetivo del mecanismo de barras es generar un movimiento que permita al paciente quedar en posición horizontal y quedar a la misma altura de la cama para su traslado. Por tal razón, teniendo una altura final, se obtiene el radio del eslabón.

r: radio del eslabón

h: Altura cuando él queda acostado

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= 79 \\ \Delta h &= 12 \text{ cm} \\ \text{Ecuación 1}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r * \cos \theta &= h \\ r * \cos 0 &= r \\ r * \cos 79 &= r * 0.1908 \\ 10 &= r - (r * 0.1908) \\ 10 &= r * (0.8092) \\ r &= 12.37 \text{ cm}\end{aligned}$$

Se obtiene que el radio del eslabón debe ser de 12, 37 [cm] para que el mecanismo de barras pueda permitir al usuario tener dos posiciones, sentado y horizontal para quedar a la misma altura de la cama.

5.3.3. Diseño de la plataforma elevadora de tijeras

La plataforma elevadora de tijeras se diseñó para ser posicionada dentro de la silla de ruedas y poder ser utilizada por el paciente mientras él está sentado esperando a ser trasladado a la cama, por lo tanto, se diseñó para que se elevara a una altura no mayor de 20 cm.

Este diseño fue descartado ya que no permitía que el mecanismo de silla de ruedas quedara en posición horizontal.

En la figura 37 se evidencia la plataforma en posición recogida. Fuente: elaboración propia.

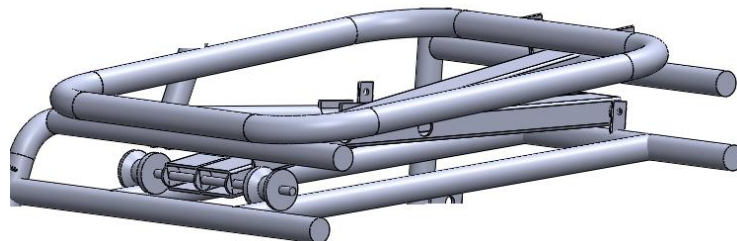


Figura 378. Diseño en posición plegada

En la figura 38, se evidencia la plataforma en posición extendida. Fuente: elaboración propia.

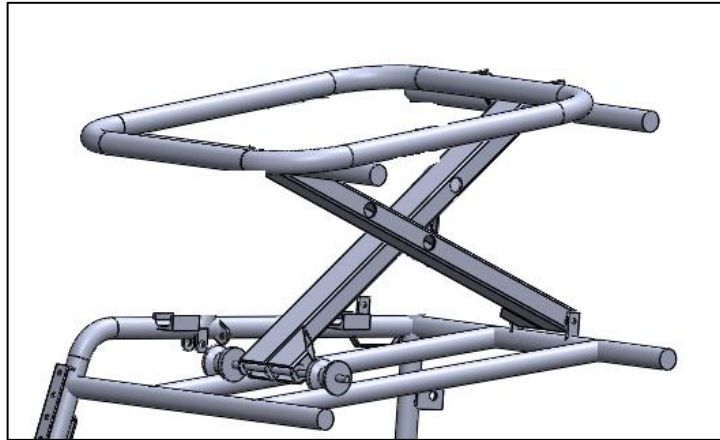


Figura 38. Plataforma elevadora en posición extendida

La norma UNA EN 280 define “Plataforma elevadora móvil de personal” en donde establece que el suelo de la plataforma debe poder soportar la carga máxima de utilización “m” calculada, empleando la siguiente ecuación:

$$m = n * m_p + m_e$$

Ecuación 2. Norma UNA EN 280

En donde:

m_p = masa de una persona

m_e = valor mínimo de la masa de las herramientas y materiales

n = número de personas en la plataforma

Por lo tanto, se considera al paciente con un peso de 80 [kg], y para el valor mínimo de la masa se considera el peso de la cojinería de 10 [Kg], que se ubica encima de la plataforma, tendiendo así:

$$m = 1 * 80 + 10 = 90[kg]$$

Se considera una masa total de 90[kg] para tener un margen de exceso.

En la figura 35 se establecen las distancias generales de la estructura.

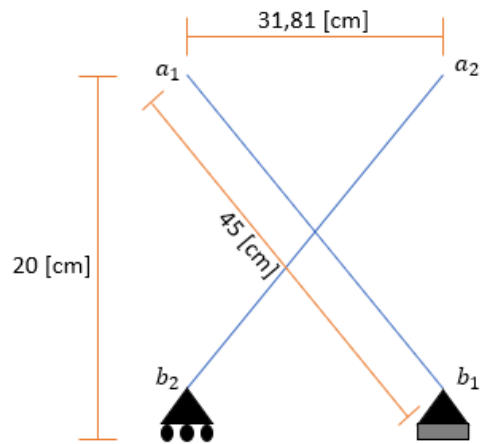


Figura 39. Medidas de la estructura en estado de extensión

Se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- La longitud de cada barra, del punto a_1 al punto b_1 , es de 45 cm.
- La abertura máxima de las tijeras en extensión es de 45 cm, es decir del punto a_1 al punto a_2

La plataforma elevadora presenta la siguiente distribución de carga planteada en la figura 36.

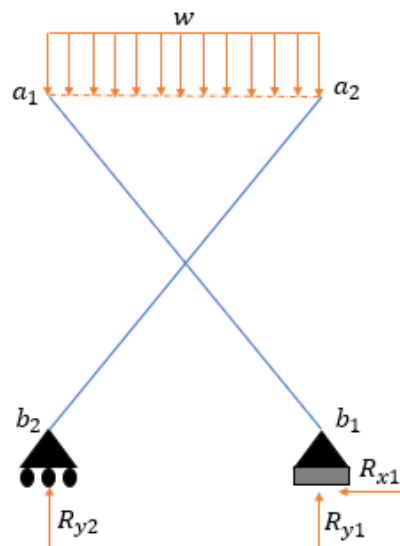


Figura 40. Reacciones de la plataforma

Se hace el análisis de los eslabones:

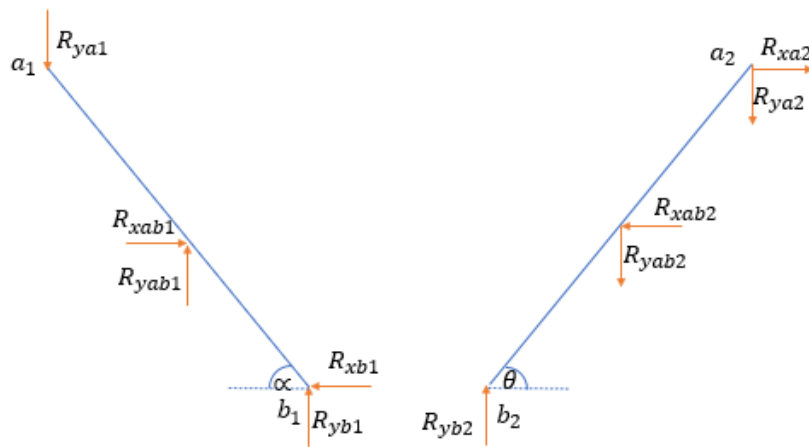


Figura 41. Eslabones de la plataforma

Para el eslabón 1:

$$\sum F_y = 0$$

Ecuación 3. Cargas en Y para el eslabón 1

$$\sum F_y = R_{yb1} + R_{yab1} - R_{ya1}$$

$$R_{yb1} = R_{ya1} - R_{yab1}$$

$$\sum F_x = 0$$

Ecuación 4. Cargas en X para el eslabón 1

$$\sum F_x = R_{xb1} - R_{xab1}$$

$$R_{xb1} = R_{xab1}$$

Para el eslabón 2:

$$\sum F_y = 0$$

Ecuación 5. Cargas en Y para el eslabón 2

$$\sum F_y = R_{yb2} - R_{yab2} - R_{ya2}$$

$$\sum F_x = 0$$

Ecuación 6. Cargas en X para el eslabón 2

$$\sum F_x = R_{xa2} - R_{xab2}$$

A partir de las ecuaciones se realiza el análisis por medio de la herramienta CAD.

5.3.4. Mecanismo de bloqueo

Para el mecanismo de bloqueo de la silla, se emplea el freno ubicado en los laterales de la silla. Consiste en una palanca que al ser accionada ejerce presión sobre las llantas traseras y su función es mantener las llantas detenidas, otorgando estabilidad y seguridad al bloquear el desplazamiento de la silla de ruedas.

5.3.5. Selección de actuadores

a. Cálculo del diámetro del cilindro

La selección del área interior o diámetro interno del cilindro depende de:

- La fuerza requerida del cilindro
- La presión suministrada al cilindro

Se sabe que:

La carga que sostiene la plataforma es de: 90 [kg]

Entonces la fuerza que se le aplicaría es de:

$$F = m * a$$

Ecuación 7. Fuerza

$$F = 90 \text{ [kg]} * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 882,9 \text{ [N]}$$

La fuerza de 882,9 [N] no abarca el peso del mecanismo en total, solo el de la persona. Por tal motivo, por medio de la simulación elaborada en Solidworks, se calculó que la fuerza ejercida por todo el mecanismo es de 1747 [N].

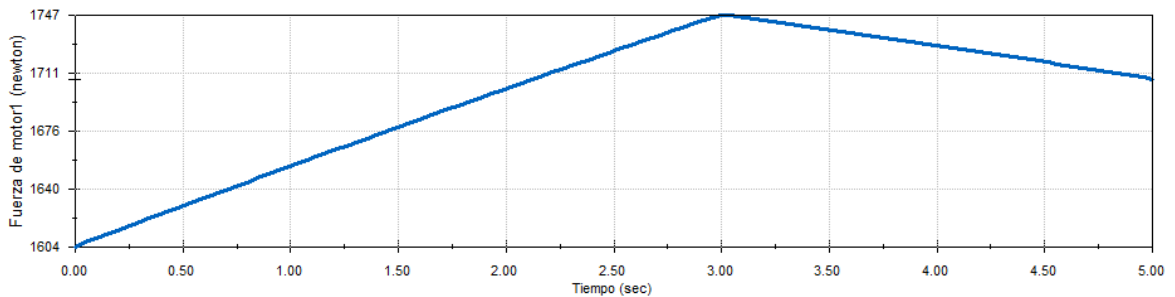


Figura 42. Resultados simulación [elaboración propia]

Para hallar el área transversal de un pistón se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Área}^2 = \frac{\text{Fuerza}_{\text{resistente}} \text{ [N]}}{\text{Presión}}$$
$$A^2 = \frac{F}{P}$$

Ecuación 8. Área del pistón

Además,

$$A^2 = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Ecuación 9. Área transversal

Por lo tanto, si se tiene una presión de 100 [psi] = 689476 [pascales].

El área que debe tener el pistón para hacer el levantamiento está dada por la ecuación 3:

$$A^2 = \frac{1747[N]}{689476 [P]} = \frac{1747[N]}{689476 [N/m^2]} = 0,0025 [m^2]$$

Se despeja la ecuación 9 y se halla el diámetro del cilindro:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{F}{P}}$$

Ecuación 10. Diámetro del cilindro

Resolviendo la ecuación 10, se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} * 0,0025 [m^2]} = 0,05641 [m]$$

$$D = 0,05641 * 1000 = 56,418 [mm]$$

Con el diámetro obtenido, se identifica que se requiere un pistón de 56,418 [mm], comercialmente, se obtiene un cilindro de 63 [mm].

Caudal de entrada del cilindro

$$Q = V * A$$

En donde:

V: velocidad de subida de la silla

A: área transversal de pistón

$$Q = 12 \left[\frac{mm}{s} \right] * \pi * 28,909^2 [mm]$$

$$Q = 0,012 \left[\frac{m}{s} \right] * \pi * (0,028209[m])^2$$

$$Q = 0,0000299 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 0,02999 \left[\frac{L}{s} \right]$$

$$Q = 1,7999 \left[\frac{L}{min} \right]$$

Se ajustó el caudal con la válvula reguladora a este valor para que manejara una velocidad suave de salida de vástago, de manera que la persona se reclina suavemente y no tenga movimientos inseguros.

b. Compresor

Para la selección del compresor, se tuvo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$F = P * A$$

Ecuación 11. Fuerza calculada

En donde:

F: fuerza

P: presión mínima que debe entregar el compresor

A: Área transversal del cilindro

R: radio del cilindro

$$P = \frac{F}{\pi * r^2}$$

$$F = 1747 \text{ [N]}$$

$$D = 56,48 \text{ [mm]}$$

$$R = 28,298 \text{ [mm]}$$

$$P = \frac{1747}{\pi(0,028209)^2}$$

$$P = 698823,741 \text{ [Pa]}$$

$$P = 101,356 \text{ [psi]}$$

Se tiene que la presión mínima que debe entregar el compresor es de 101,356 [psi]. Comercialmente, se consiguió un compresor de 255 [psi].

Suponiendo un compresor que entrega un caudal de 35 [L/min]

$$Q = 35 \left[\frac{\text{L}}{\text{s}} \right]$$

Se obtiene la velocidad en la que sube el émbolo del cilindro

$$V = \frac{Q}{A} = 0,233 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Ecuación 12. Velocidad del émbolo

En donde:

A: Área transversal del cilindro

V: Velocidad del émbolo del cilindro

Por teoría, se tiene que la velocidad promedio en la que sube una camilla es de 12 mm/s, entonces se halla el porcentaje de taraje para la apertura de la válvula.

$$V_{\text{requerido}} = 0,012 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$\%_{\text{tareje}} = \frac{0,012}{0,2333} * 100\%$$

$$\%_{\text{tareje}} = 5,14\%$$

El porcentaje mínimo de apertura para regular la válvula de caudal debe ser de 5,14%, lo que hace referencia a media vuelta, sabiendo que una vuelta equivale al 10%.

c. Válvulas

Para la elaboración de la parte neumática se emplearon las siguientes válvulas presentadas en la tabla 9.




Válvula	Para qué sirven	Función en el sistema
<p>Electroválvula</p> 	<p>Su misión principal es controlar el fluido que pasa a través de una tubería para repercutir en el movimiento del cilindro.</p>	<p>La electroválvula controla el aire que circula en un sentido cuando el sistema va descendiendo, permitiendo mayor control y seguridad al momento de descender y permitir el retorno del sistema sin peso.</p>
<p>Válvula de cheque</p> 	<p>Una válvula de cheque permite el fluido en una dirección y cierra automáticamente para prevenir el flujo en la dirección opuesta.</p>	<p>Una vez se acciona el compresor, la silla empieza a subir y la válvula de cheque evita que el aire que está fluyendo en una dirección, se devuelva, por lo tanto, retiene la posición elevada del sistema.</p>
<p>Manguera neumática de ¼</p> 	<p>Es el medio por el cual el aire comprimido fluirá en un sistema neumático para alimentar los diferentes elementos</p>	<p>Con esta manguera se realizará la conexión entre el compresor, las diferentes válvulas y el pistón para el flujo de aire comprimido.</p>

Tabla 9. Selección de actuadores

5.3.6. Diagrama neumático

En el diagrama que se muestra a continuación se presenta la conexión de los elementos que conforman el sistema neumático.

El compresor se activa por medio de un pulsador eléctrico, este permite que el aire empiece a fluir pasando por una electroválvula, desplazando el vástago del cilindro neumático hasta su posición final y cuenta con una válvula cheque que evita que el fluido se devuelva y así el paciente queda en posición horizontal sin riesgo a una caída.

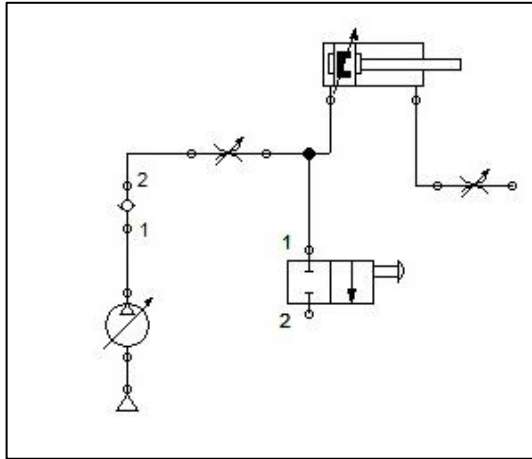


Figura 43. Diagrama neumático

Para bajar el paciente, se oprime un botón neumático que libera la presión contenida dentro del circuito de forma controlada por medio de una válvula reguladora de caudal que asegura un descenso suave. Adicionalmente, se cuenta con un botón cuyo objetivo es aliviar la presión interna de la electroválvula para que ella pueda conmutar nuevamente y permitir el regreso del sistema.

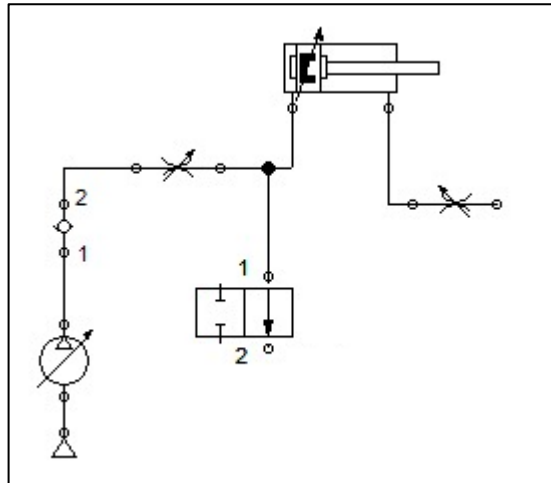


Figura 44. Diagrama neumático

5.3.7. Diagrama eléctrico

El circuito eléctrico cuenta con un pulsador que activa el compresor y a su vez genera el flujo del aire a través del sistema. El compresor es alimentado por una fuente de 12 voltios que transforma el voltaje de los 110 v de corriente alterna a continua.

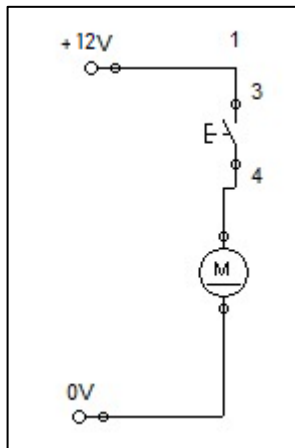


Figura 45. Circuito eléctrico

5.3.8. Análisis dinámico

Para el cálculo de las deformaciones, factor de seguridad, simulación de los esfuerzos y comportamientos dinámicos del sistema, se empleó la herramienta COMSOL, que permitió el análisis de todos los componentes del mecanismo.

Parte del cuerpo	Porcentaje
Cabeza	8 %
Tronco sin miembros	50 %
Mano	0,7 %
Antebrazo con la mano	2,3 %
Antebrazo sin la mano	1,6 %
Parte superior del brazo	2,7 %
Brazo completo	5 %
Pie	1,5 %
Parte inferior de la pierna con el pie	5,9 %
Parte inferior de la pierna sin el pie	4,4 %
Muslo	10,1 %
Pierna completa	16 %

Tabla 10. Porcentaje de peso (Pamela Charney y Ainsley Malone , 2009)

Para el análisis se importa el archivo a COMSOL desde Solidworks, se importa y se adapta la geometría y para el análisis se asumen los siguientes valores:

Parte del cuerpo	Porcentaje	Distribución del peso
Cabeza	8%	7,2 Kg

Tronco sin miembros	50%	45 Kg
Brazos	10%	9 Kg
Muslo	20,2%	18,18 Kg
Parte inferior de la pierna con el pie	11,8%	10,62 Kg

Tabla 11. Porcentaje del peso del cuerpo

Se fijo el sistema en la parte inferior como si fueran las ruedas y se definió un tiempo de llegada a la parte final de 2 segundos y subirá a una velocidad de 0,05 m/s.

- Malla: se empleó una malla sólida tetraedrica

Vértices de malla	476
Triángulos	68640
Tetraedro	107262

Tabla 12. Información de la malla

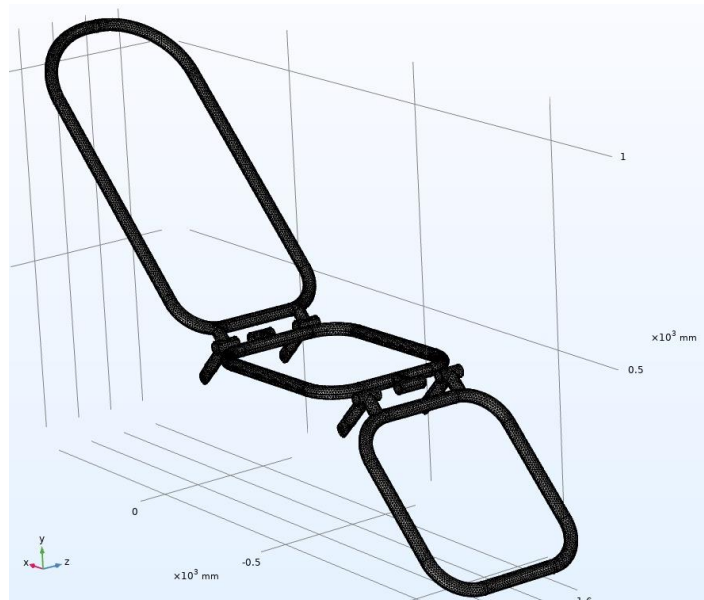


Figura 46. Diseño de malla

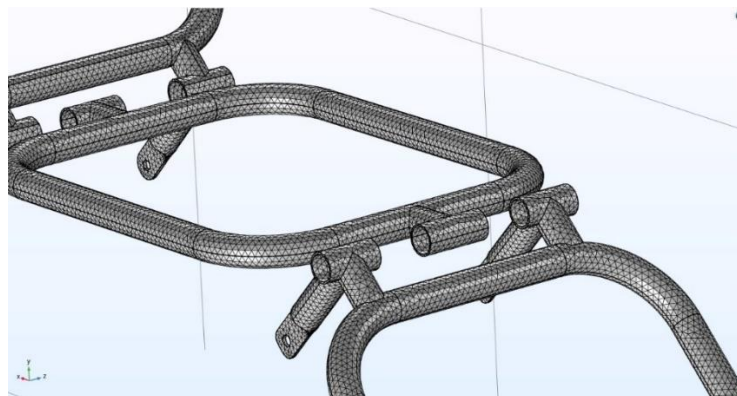


Figura 47. Detalle enmallado

En la siguiente secuencia de imágenes se presenta el desplazamiento y levantamiento del mecanismo.

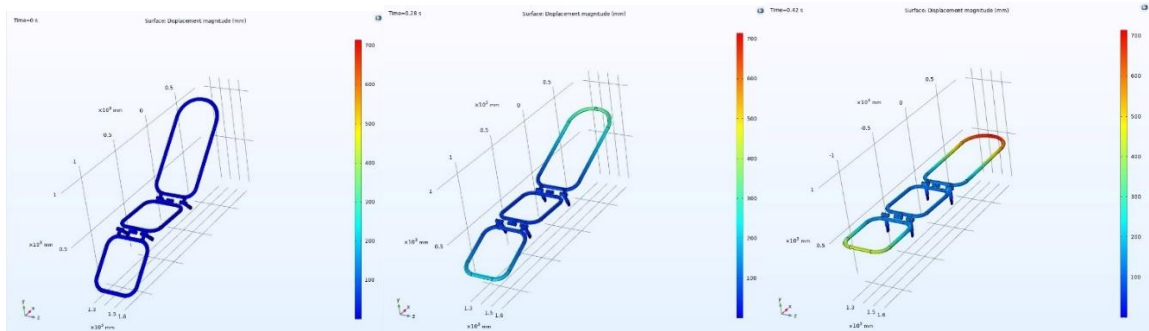


Figura 48. Secuencia del desplazamiento del mecanismo

- **Esfuerzos:** se realiza el análisis de esfuerzos cuando el mecanismo se encuentra en el tiempo 0 y no ha empezado a desplazarse. Los resultados que se obtienen son favorables.

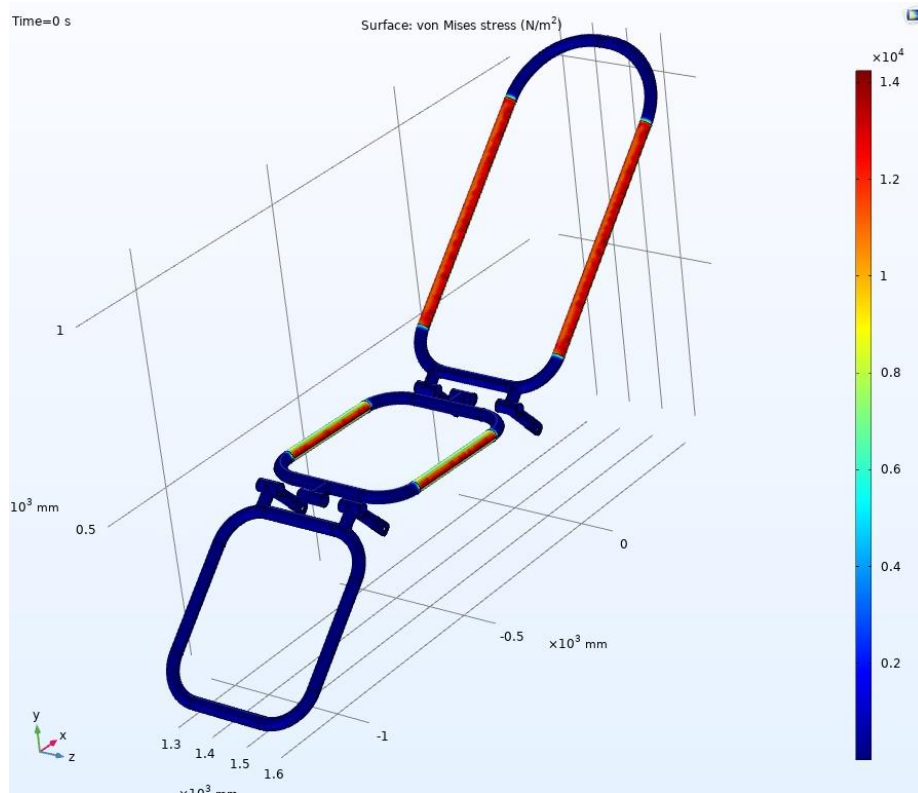


Figura 49. Esfuerzos en $t = 0$ [s]

Se presentan los resultados de los esfuerzos cuando ya ha transcurrido un tiempo de desplazamiento. En la figura 50 se evidencia que las partes señaladas en rojo, son las piezas que van a sufrir mayor esfuerzo durante el tiempo de uso, pero se evidencia que la tensión máxima de Von Mises no se acerca al valor del límite elástico de los componentes, por lo que se da por válido el diseño.

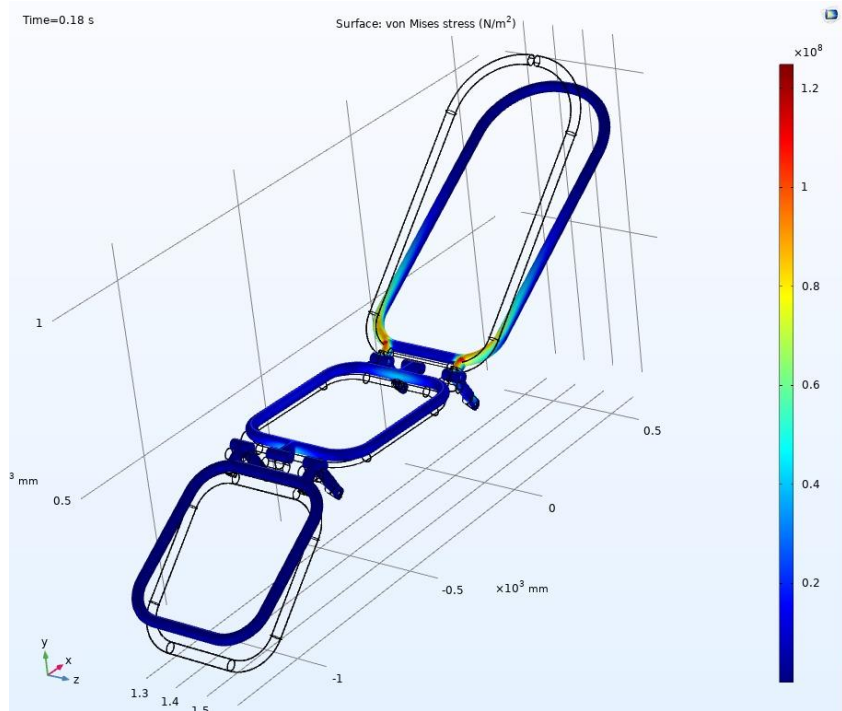


Figura 50. Esfuerzos en $t = 0,18[s]$

- **Desplazamiento:** se realiza el análisis del desplazamiento del sistema ante un tiempo de cero segundos.

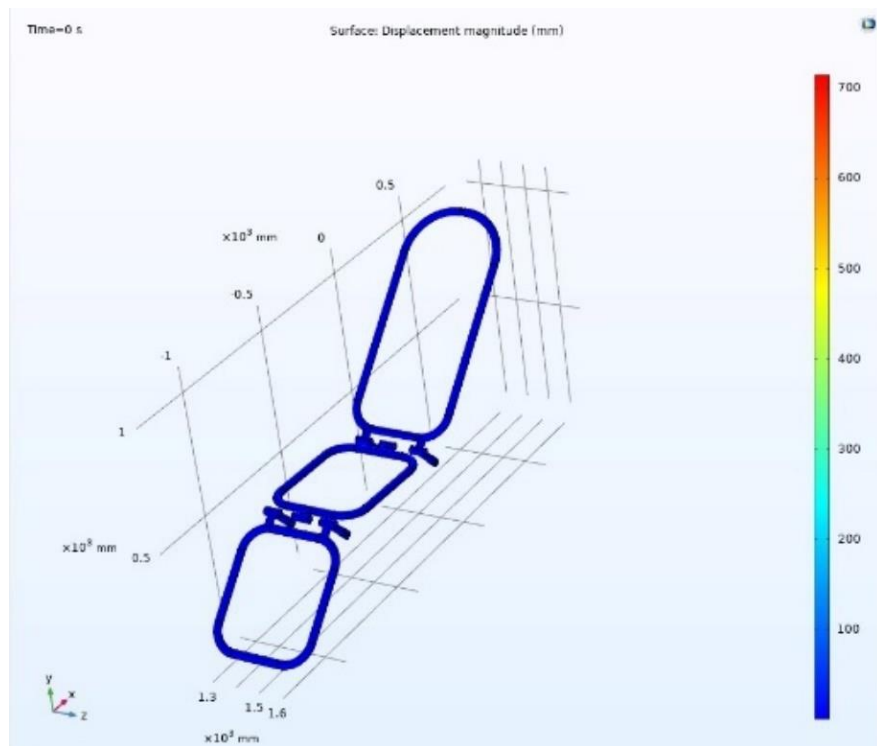


Figura 51. Desplazamiento en $t = 0 [s]$

Al observar un comportamiento favorable, se procede a evidenciar el análisis del desplazamiento cuando va a mitad del tiempo del proceso de elevación.

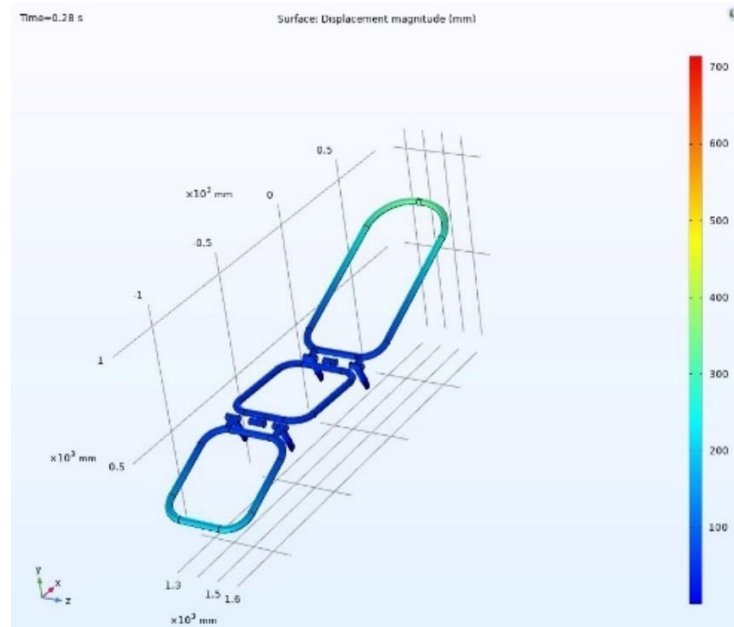


Figura 52. Desplazamiento en $t = 0,18$ [s]

Por último, se presenta el comportamiento del sistema cuando finaliza el proceso de apertura de la silla, según los resultados obtenidos, el máximo desplazamiento será en la parte superior de la silla, pero es un valor pequeño, por lo tanto, no afectará el mecanismo construido.

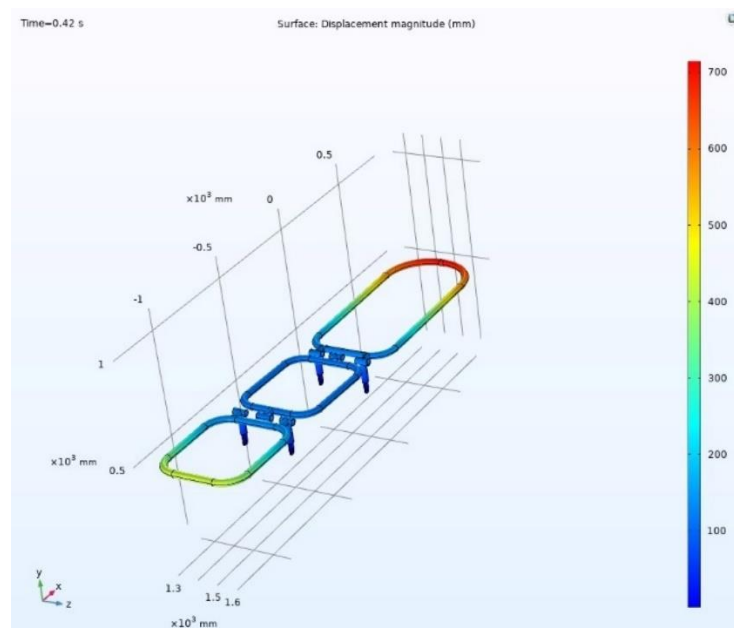


Figura 53. Desplazamiento final

Se analiza el desplazamiento máximo que se puede generar con el nuevo diseño hecho, se presenta la posición horizontal, en donde se espera dejar al paciente acostado para poder desplazarlo a la cama de forma más fácil. En la siguiente figura se evidencia que el máximo desplazamiento se puede ver evidenciado en la parte superior del espaldar, pero dicho desplazamiento no genera mayor deformación.

- **Factor de seguridad:** el factor de seguridad indica la capacidad de exceso que tiene el mecanismo sobre los requerimientos. Se calcula bajo la ecuación:

$$N = \frac{\text{Esfuerzo último (esfuerzo de diseño)}}{\text{Esfuerzo permisible (Esfuerzo de trabajo)}}$$

En la figura 54 se presenta el comportamiento del factor de seguridad simulado y calculado de manera dinámica.

Se obtiene los mayores esfuerzos y se observan que el mayor esfuerzo lo tienen los pivotes en los eslabones 3 y 4 y el asiento (eslabón 1).

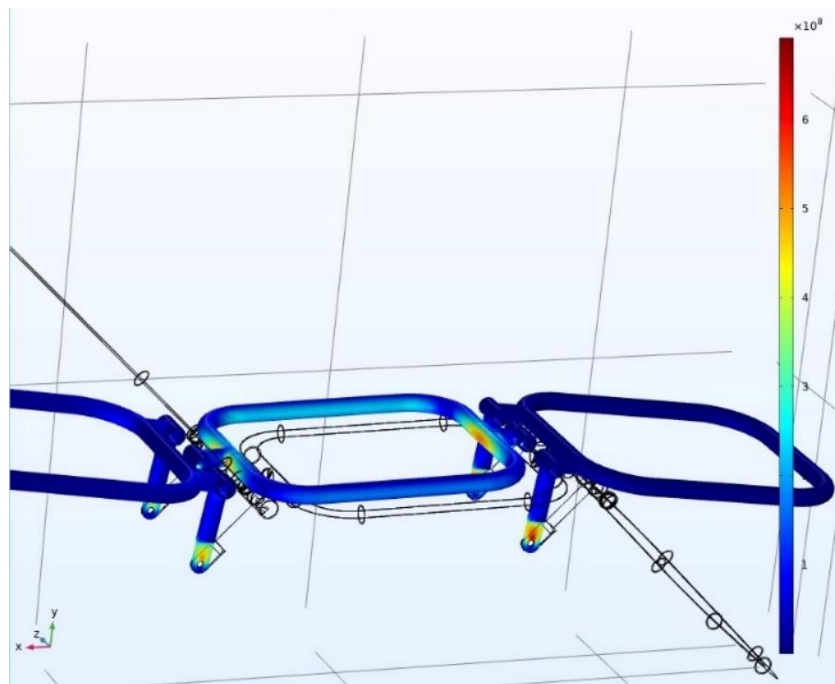


Figura 54. Análisis del factor de seguridad

Factor de seguridad en los puntos claves del mecanismo

Los resultados obtenidos en la tabla 13 evidencia el favor de seguridad para seis muestras de tiempo. Se considera aprobado el diseño porque el coeficiente de seguridad superior a la unidad indica seguridad ante el fallo.

- **Espaldar**

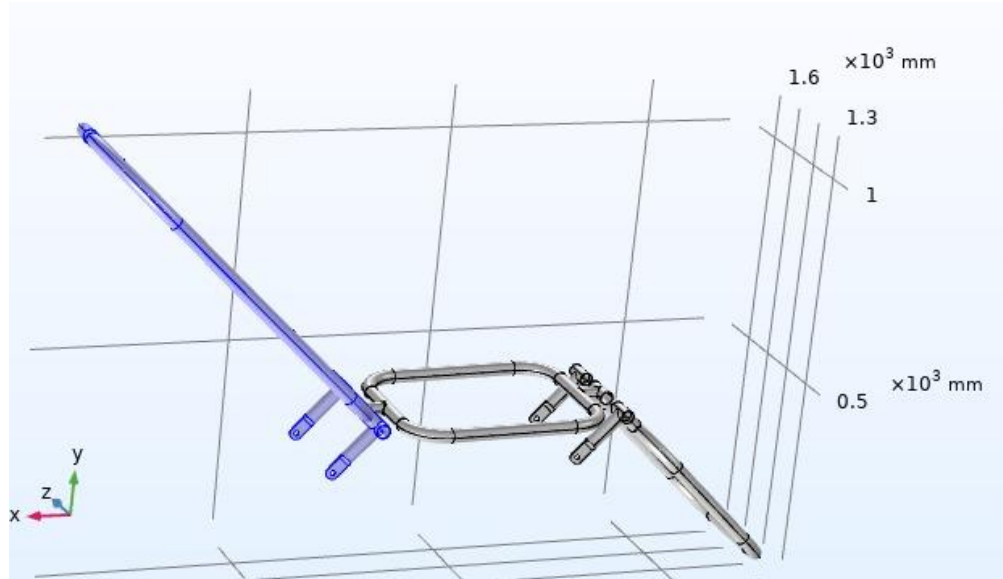


Figura 55. Análisis de factor de seguridad en el espaldar

Tiempo	Factor de seguridad
0,4 [s]	3,6254

- **Asiento**

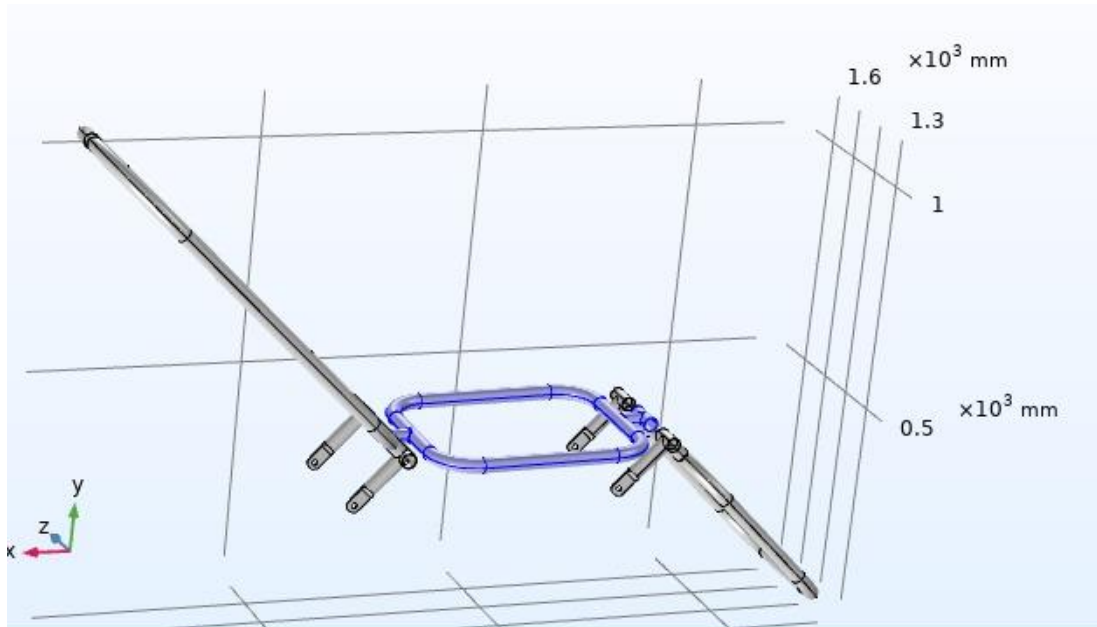


Figura 56. Análisis de factor de seguridad en el asiento

Tiempo	Factor de seguridad
0,4 [s]	6,7470

- Soporte para piernas

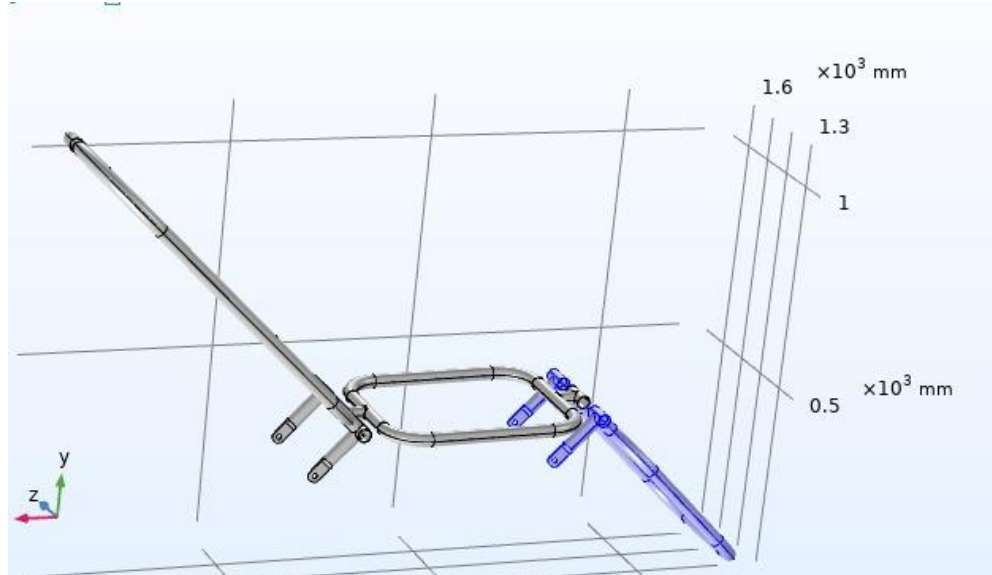


Figura 57. Análisis del factor de seguridad en el reposapiés

Tiempo	Factor de seguridad
0,4 [s]	4,5920

6. FASE 4. PROTOTIPAR

Una vez se tienen los planos del diseño CAD, especificando las dimensiones, tolerancias y demás parámetros necesarios, se inicia la construcción.

Para la construcción del mecanismo, se emplearon diferentes máquinas como la cortadora, para cortar las barras de acero a la medida correspondiente, una dobladora de poleas para moldear el acero, el torno para mecanizar las diferentes piezas del mecanismo y la fresadora para elaborar las piezas de acople a la silla.

Posteriormente, para el ensamble de las piezas elaboradas, se empleó un equipo de soldadura por arco eléctrico para unir los tubos y demás piezas del mecanismo de silla de ruedas.

6.1. Diagrama del proceso de construcción

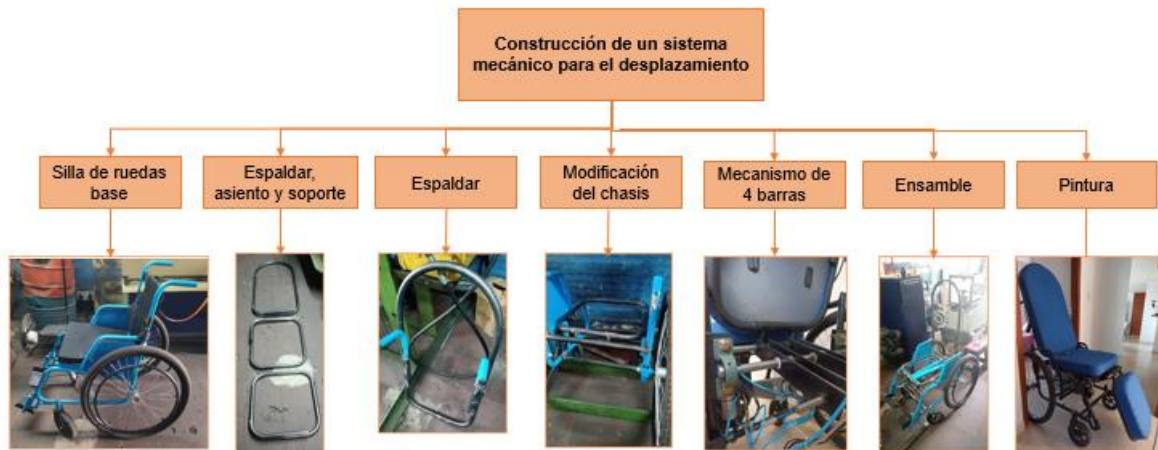


Figura 58. Mapa de construcción [elaboración propia]

- Se adquirió una silla de ruedas convencional elaborada en acero estructural para hacerle las modificaciones necesarias y agregar las nuevas piezas elaboradas. A partir de ahí se tomaron medidas y se dio paso a la construcción del asiento.



Figura 59. Silla convencional

- Para la construcción de la estructura del asiento, se moldeó la barra de acero con ayuda de una dobladora de poleas, se unieron los tubos con soldadura y se le dio la forma adecuada para posicionar más adelante la cojinería.
- Una vez se tiene la estructura del espaldar, se procede a unirlo con los manubrios de la silla de ruedas.

- Para poder posicionar el mecanismo de cuatro barras, se quitó el armazón de la silla de ruedas que estaba unido por una estructura de cruceta, figura 60, que funcionaba con un sistema de plegado de la silla.



Figura 60. Estructura de cruceta de una silla de ruedas

- Como primer diseño, se empleó una plataforma de tijeras, en donde se hizo uso del sistema de plegado anteriormente mencionado y de rodamientos elaborados de un polímero HDPE. El proceso consistió en hacer un cilindro con el polímero perforado con un redondeado interno y ubicado uno arriba y otro abajo para que la plataforma no se levantara. El material seleccionado se empleó por su robustez, su economía, porque no requiere una constante lubricación y el mantenimiento es reducido.



Figura 61. Plataforma de elevación



Figura 62. Mecanismo de elevación de tijeras

Este mecanismo de plataforma de tijeras fue descartado debido a que no cumplía con el objetivo de dejar al paciente en posición horizontal, como se evidencia en la siguiente imagen, el sistema no generaba una posición óptima.



Figura 63. Posición horizontal del mecanismo usando una plataforma de tijeras

- Una vez reestructurado el sistema, se emplea un mecanismo de cuatro barras para lograr el posicionamiento del sistema de posición silla a posición totalmente horizontal. Este mecanismo de cuatro barras está constituido por dos eslabones ubicados en el chasis de la silla, unidos al soporte para las piernas. Adicionalmente cuenta con dos eslabones posicionados de forma paralela al chasis

de la silla y al cilindro que es el encargado de accionar el mecanismo de cuatro barras para su funcionamiento.

El cilindro está posicionado de forma que permita que el vástago se extienda y no genere problema.



Figura 64. Ubicación del cilindro

Los eslabones 4 están a travésados por un eje que está montado en chumaceras, así mismo, en la parte final de los ejes está ensamblado el vástago del cilindro, de forma que accione el movimiento las barras y permita que el espaldar baje cuando el mecanismo está activo.



Figura 65. Ubicación de los eslabones 4 unidos al cilindro

Los eslabones 2 permiten la elevación del soporte para las piernas y están montados en chumaceras para brindar soporte al eje que atraviesa dichos eslabones.



Figura 66. Ubicación de los eslabones 2.

- Para mayor seguridad del mecanismo, se elabora un soporte que se ubica en la parte del espaldar y se acciona cuando el mecanismo se eleva y el espaldar de la silla va bajando, este soporte permitirá que el sistema no se desplace cuando se está trasladando el paciente de la silla a la cama.



Figura 67. Soporte para posición horizontal

- El mecanismo de la silla de ruedas cuenta con frenos ubicados a cada lado de la silla para así asegurar las llantas y que no se desplacen cuando se está trasladando y asegurar la seguridad del usuario.



Figura 68. Freno de las ruedas traseras

- Para brindar mayor seguridad al paciente, se emplea un cinturón de seguridad de cuatro puntas, que garantiza el ajuste perfecto de la persona a la silla, evitando así que pueda resbalar o desplazarse y es ajustado en la parte atrás del espaldar.



Figura 69. Cinturón de seguridad

- Para el funcionamiento final, se emplea una botonera que acciona el cilindro y permite que el mecanismo quede en posición horizontal.



Figura 70. Botonera para el accionamiento del mecanismo

- Finalmente se ensamblaron todas las piezas para finalizar el mecanismo, se ensambló el circuito neumático y eléctrico y se realizaron las respectivas pruebas del sistema construido.



Figura 71. Sistema finalizado

- Por último, se pintó el mecanismo construido.



Figura 72. Sistema finalizado



Figura 73. Mecanismo en posición horizontal



Figura 74. Mecanismo en posición horizontal

7. FASE 5. TESTEAR

Para la última fase del proyecto, se elaboró el siguiente plan de pruebas

Prueba de resistencia al peso				
N° de prueba	Sin peso	Con peso de 80 kg	Con peso > 80 kg	Observaciones
Prueba 1	Aprobado	Aprobado	Aprobado	La silla soporta los pesos implementados para la fase de pruebas. El sistema funciona también sin peso.
Prueba 2	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 3	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 4	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 5	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba de elevación del mecanismo				
N° de prueba	Sin peso	Con peso de 80 kg	Con peso > 80 kg	Observaciones
Prueba 1	Aprobado	Aprobado	Aprobado	El mecanismo de elevación funciona correctamente, se acciona mediante el compresor y cumple con el objetivo de elevar la silla.
Prueba 2	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 3	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 4	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 5	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba de desplazamiento con peso				
N° de prueba	Sin peso	Con peso de 80 kg	Con peso > 80 kg	Observaciones N° de prueba
Prueba 1	Aprobado	Aprobado	Aprobado	El mecanismo construido cumple con el objetivo de poder desplazar a una persona.
Prueba 2	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 3	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 4	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 5	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba general del funcionamiento del mecanismo				
N° de prueba	Sin peso	Con peso de 80 kg	Con peso > 80 kg	Observaciones
Prueba 1	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Se da cumplimiento a los objetivos y se agrega un soporte para no perder la estabilidad.
Prueba 2	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 3	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 4	Aprobado	Aprobado	Aprobado	
Prueba 5	Aprobado	Aprobado	Aprobado	



Figura 75. Prueba general con peso



Figura 76. Prueba general con peso



Figura 77. Prueba de usuario mayor con un peso de 80kg usando el mecanismo en posición de silla



Figura 78. Prueba de usuario mayor con un peso de 80kg usando el mecanismo en posición horizontal.

7.1. Discusión de los resultados obtenidos

En términos generales, se ejecuta el objetivo primario de transportar al paciente de un punto determinado 'A' a uno 'B' con éxito, empleando el mecanismo construido.

De la misma forma se desarrolla a cabalidad el diseño y posterior construcción de un mecanismo de cuatro barras, accionado por un compresor de aire, que presenta mayor facilidad para la persona a cargo del paciente en el desplazamiento asistido del mismo a su lugar de descanso, a través de la posibilidad de incrementar y disminuir su altura en reposo.

En el diseño inicial de la silla, el mecanismo elegido para la suspensión de la plataforma fue una bomba de aire de tipo pedal. No obstante, al momento de realizar las pruebas correspondientes y analizar el funcionamiento de este componente, se tomó la decisión de reemplazarlo, ya que su desempeño no era el adecuado para que la silla se elevara de forma óptima. En lugar de la bomba tipo pedal se incorporó un compresor que funciona a 110 V y permite que la plataforma se eleve con el peso del usuario, además de ahorrar el esfuerzo físico a las personas a cargo del paciente.

En las pruebas iniciales, empleando una plataforma de tijeras para elevar el mecanismo, se evidenció el mal funcionamiento de la plataforma de tijeras y la necesidad de la simetría del mecanismo de barras, es decir, construir otro mecanismo paralelo al que ya está construido. Esta necesidad se da porque al elevar la silla sin peso, el sistema tiende a girarse, por tal razón, se analizó el sistema sin la plataforma de tijeras y optimizando el mecanismo de cuatro barras y se obtuvo una mejor respuesta en donde el mecanismo se mantiene estable y se llega a una posición totalmente horizontal y a la altura de una cama.

Por último, en las pruebas iniciales se evidenció la necesidad de una optimización del mecanismo general al momento de elevar el sistema en posición horizontal, esto para eliminar cualquier riesgo de desestabilización de la silla que pudiera ser ocasionado por el peso del usuario al ascender, por tal razón se diseñó un soporte que permitiera la estabilización del sistema.

CONCLUSIONES

Partiendo de la dificultad que tienen las personas a cargo del paciente, usuario con movilidad reducida producto de trauma craneoencefálico, para su desplazamiento, se diseñó y construyó un mecanismo de silla de ruedas personalizada de acuerdo a las necesidades específicas del paciente, dando cumplimiento a los objetivos propuestos para el proyecto.

El sistema construido representa una solución posible a corto plazo para el desplazamiento dentro del hogar de esta persona con movilidad reducida, facilitando el proceso diario del paciente.

Para llevar a cabo el diseño del mecanismo de movilidad primero se identificaron los requerimientos básicos del usuario en cuestión. Así mismo, se consideró su antropometría debido a la determinada posición en la que debe permanecer para no sentir dolor adicional. A nivel técnico se empleó una herramienta CAD para el diseño, teniendo en cuenta las dimensiones de la silla y los materiales a utilizar para su construcción.

El análisis del diseño evidenció que el sistema cumple con las condiciones de seguridad, ya que el factor obtenido de este criterio supera la unidad. adicionalmente, con el análisis de los esfuerzos y deformaciones se evidencia que cuando el mecanismo está en movimiento no presenta fallas, ni sobrepasa el límite de los materiales.

Una vez terminado el proceso de diseño, se seleccionaron los componentes necesarios para la puesta en marcha del mecanismo. El sistema se pensó con componentes comerciales, que se consiguieron mucho más fácil y rápido. También para que, en caso de algún daño, el mantenimiento o reparación del mecanismo no sea dispendioso o excesivamente costoso.

El proceso de construcción consistió en la creación de un chasis de acero estructural, que proporciona rigidez y cuenta con las características físicas que permiten la deformabilidad necesaria para moldear el sistema de acuerdo al diseño elaborado. Para el accionamiento del mecanismo de cuatro barras se seleccionó un pistón neumático que facilita el trabajo y cumple con el objetivo que se planteó.

Finalmente, las características mecánicas de la construcción permiten a quien opere la silla de ruedas un fácil manejo de la misma, ya que no se requiere de un entrenamiento para maniobrar el mecanismo, y un mínimo esfuerzo físico, disminuyendo el esfuerzo que conlleva problema de salud en quienes están a cargo del paciente en estado vegetativo.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones y cambios que se pueden implementar para realizar mejoras de funcionalidad y diseño se propone:

- Supervisar constantemente al paciente mientras la plataforma de elevación se encuentre en movimiento
- Optimizar la fabricación de piezas del mecanismo con un material más ligero como el aluminio, por ejemplo.
- Tener en cuenta la movilidad en las extremidades superiores y la posición más común de las mismas para el diseño de un reposabrazos acorde a las necesidades del usuario. En el presente proyecto se mantuvo un diseño muy sencillo y a baja altura para evitar obstáculos en el traslado del paciente a una cama.
- Añadir un apartado al mecanismo que le permita al mismo paciente manejar la plataforma. Esta última recomendación es dirigida a proyectos en los que el usuario cuente con un mínimo de movilidad en sus extremidades superiores, caso contrario del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ADA. Red Nacional. (s.f.). *ADA*. Obtenido de <https://adata.org/faq/what-definition-wheelchair-under-ada>
- Adrián González Polo y Eduardo Martínez Barranco. (2014). *Silla para asistencia en la higiene de personas con discapacidad*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Agudo, A. G., MARTÍN, C. F.-B., & RUISÁNCHEZ, J. G. (2013). Adaptación de la silla de ruedas a una persona con parálisis cerebral. *Rehabilitación (Madr)*.
- Arduino. (s.f.). *Arduino Mega 2560*. Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Atlantic International University . (2019). *Courses - Atlantic International University* . Obtenido de <https://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%204.pdf>
- Bang, Y.-b., Lee, C.-h., Yoo, J.-h., Lee, K.-m., & Kim, I.-s. (2011). Silla de ruedas de dos patas para subir escaleras y su medición de dimensiones de escaleras mediante sensores de dis. *IEEE*.
- Bernal, V. H. (2018). *Automatización: Sistemas neumáticos*.
- Bustillos, E. J. (2004). Antropometría para discapacitados. *Congreso Internacional de Ergonomía*, 13.
- Centro de Documentación y Estudios SIIS Dokumentazio eta Ikerketa Zentroa. (2012). En *Buenas prácticas en la atención a personas con discapacidad*. . Diputación Foral de Álava. Obtenido de <https://www.ifbscalidad.eus/es/practicas/personas-con-discapacidad/practica/pr-81/>
- DrTango, Inc. (10 de 9 de 2019). *Medline Plus*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000429.htm>
- El Confidencial. (31 de 01 de 2020). Bombas de aire para inflar ruedas, colchones o flotadores. *El Confidencial*.
- Empresa especializada Manain. (30 de Abril de 2020). *Manain*. Obtenido de <https://manain.com/cuando-usar-las-plataformas-elevadoras-tipo-tijeras-manain/>
- Escuela superior de Ingenieros Bilbao. (2016). *Actuadores de los sistemas neumáticos*. Obtenido de http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/361_ca.pdf
- Fundación Endesa. (2021). *Fundación Endesa - Energía*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-que-es-la-energia>
- Fundazioa, C. d.-C. (s.f.). *Buenas prácticas en la atención a personas con discapacidad*. . Provincia de Álava: Diputación Foral de Álava.
- Grupo Gamma. (2017). *Red integrada de salud*. Obtenido de <https://www.grupogamma.com/el-rol-del-medico-fisiatra/>
- Gutiérrez Monclús, P. L. (s.f.). *Terapeuta ocupacional, que ayuda a que la persona aprenda, vuelva a aprender o mejore las habilidades para realizar actividades diarias*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Hello auto. (2020). *Hello Auto - glosario*.
- Hernández, J. A. (2015). *CREAR UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA DE BAJO COSTO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ CONTROLADA POR UN DISPOSITIVO MANUAL Y MÓVIL CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID*. Montería. Córdoba.
- Hispavila. (2016). *El puente H (H bridge)*. Obtenido de <https://www.hispavila.com/el-puente-h/>

- Hollet, L. (s.f.). Evaluating the adult with cerebral palsy for specialized adaptive seating. 65. Hospital de Neurorrehabilitación. (16 de 08 de 2019). *Institut Guttmann*. Obtenido de <https://www.guttmann.com/es/treatment/traumatismo-craneoencefalico-tce>
- Ineichen, P. (2014). *Université de Genève*. Obtenido de http://www.cuepe.ch/archives/annexes-iae/ineichen-2014_long-term-saf-validation.pdf
- Inmaculada Valero Cantero y Alfonso García Guerrero. (2012). *Guía Para Personas Cuidadoras*. Sevilla.
- Instituto Politécnico Nacional. (s.f.). *Análisis y síntesis de mecanismos*. Ciudad de México. Interfísica. (2019). *Interfísica. Hitech physical therapy*. Obtenido de <http://www.interfísica.com/producto/grua/>
- Lasluisa, N. D. (2015). *Diseño y construcción de una silla de ruedas autónoma accionada mediante ondas cerebrales para la Asociación de limitados pléjicos de Tungurahua (ASOPLEJICAT)*. Latacunga.
- López, I. M., & Garmendia, M. L. (s.f.). *Análisis estructural de mecanismos planos*. Mekanika Ingeniaritza Saila.
- Makwana, S. D., Shah, V. V., & Mehta, S. A. (2017). Prototipo de construcción de sistema de silla de ruedas automatizado multifacético basado en GUI. *IEEE*.
- Mayo Clinic. (Junio de 2019). *Lesión cerebral traumática*. Obtenido de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/traumatic-brain-injury/diagnosis-treatment/drc-20378561>
- Mecatrónica LATAM. (2018). *Sensor de distancia*. Obtenido de <https://www.mecatronicalatam.com/tutorial/es/sensores/sensor-de-distancia>
- Melián, Ó. J. (2016). *Diseño y análisis de una plataforma elevadora de tijera de accionamiento hidráulico*. Zaragoza: Universidad Zaragoza.
- Mónica Patricia Herrera Martínez. Ariel Gerardo Ariza Hernández. onathan José Rodríguez Cantillo. Alfonso Pacheco Hernández. (2018). Epidemiología del trauma craneoencefálico. *Revista cubana de Medicina intensiva y emergencias*.
- Naylamp. (s.f.). *Sensor de proximidad fotoeléctrico Infrarrojo*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/236-sensor-de-proximidad-fotoelectrico-infrarrojo-e18-d80nk.html>
- Noelia Olmedo-Torre, J. I.-C.-P. (2015). Diseño mecánico de una silla de ruedas con superación de obstáculos. *Dyna*.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria*. Massachusetts: Mc Graw Hill.
- Observatorio discapacidad física. (s.f.). *La discapacidad física: ¿qué es y qué tipos hay?* Obtenido de <https://www.observatoriodiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica-que-es-y-que-tipos-hay>
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Pautas para el suministro de sillas de ruedas*. Ortopedia web. (2018). *Ortopedia web*. Obtenido de <http://www.ortoweb.com/blogortopedia/los-10-mejores-scooters-para-personas-con-discapacidad/>
- OrtoSureste. (31 de 05 de 2021). *Posición de Fowler y SemiFowler*. Obtenido de <https://www.ortosureste.es/posicion-de-fowler-y-semifowler/>
- Pamela Charney y Ainsley Malone . (2009). *Ada pocket guide to nutrition assessment*. Chicago: American Dietetic Association.
- Salcedo Hernández Luis Fernando, T. S. (2011). *Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas Eléctrica de Dos Posiciones*. México.
- Sean Bennett, R. H. (2008). *Modern Diesel Techonology heavy equipment systemns*. SENECA. (s.f.). *Traumatismo cráneo-encefálico*. Adeje: Sociedad Española de Neurocirugía.

Serrano, M. A. (s.f.). *La lasgow outcome scale extended (GOSE) para la valoración del resultado funcional del paciente neurocrítico*. Obtenido de <https://docplayer.es/80123620-La-glasgow-outcome-scale-extended-gose-para-la-valoracion-del-resultado-funcional-del-paciente-neurocritico.html>

Universidad autónoma del Estado de México . (s.f.). *Facultad de Medicina*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14305/405594.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

- Manual de usuario



- **Propiedades mecánicas de aceros estructurales**

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Figura 79. Propiedades mecánicas del acero

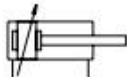
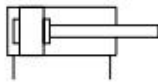
- Hoja de datos del cilindro DNC63X150-PPV-A

Hoja de datos

Función

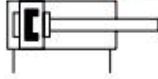
DNC-...

Sin detección de posiciones



DNC-...-A-...

Con detección de posiciones



• Diámetro
32 ... 125 mm

• Carrera
10 ... 2000 mm

• www.festo.com

Conjuntos de piezas sujetas a desgaste

→ Página 24



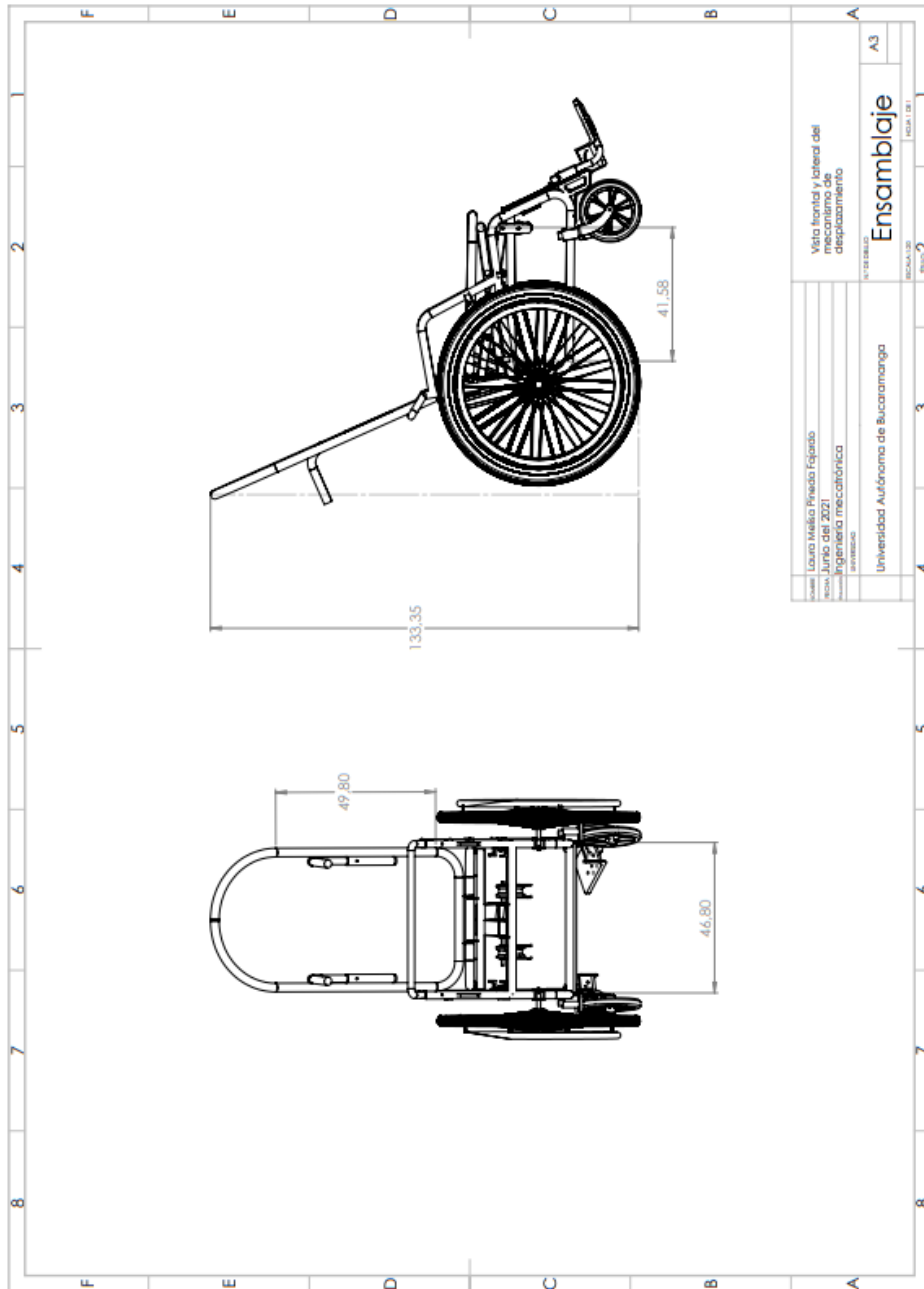
- Cilindros normalizados según la norma ISO 15552 (corresponde a las normas anteriores ISO 6431, DIN ISO 6431, VDMA 24562, NF E 49 003.1 y UNI 10290)



Especificaciones técnicas generales

Diámetro del émbolo	32	40	50	63	80	100	125
Conexión neumática	G1/8	G1/4	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2
Rosca del vástago	M10x1,25	M12x1,25	M16x1,5	M16x1,5	M20x1,5	M20x1,5	M27x2
	K3	M6	M8	M10	M10	M12	M16
	K5	M10	M12	M16	M16	M20	M27
Forma constructiva	Émbolo						
	Vástago						
	Camisa perfilada						
Holgura torsional máx. del vástago [°]	Q	±0,65	±0,6	±0,45	±0,45	±0,45	±0,45
Amortiguación	Anillos/placas amortiguadores elásticos en ambos lados						
	Amortiguación neumática regulable en ambos lados						
Longitud de amortiguación PPV [mm]	20	20	22	22	32	32	42
Detección de posiciones	Para sensor de proximidad						
Tipo de fijación	Con rosca interior						
	Con accesorios						
Posición de montaje	Indistinta						

† Nota: este producto cumple con las normas ISO 1179-1 e ISO 228-1.



Autor: Laura Melicio Pineda Echeverri Fecha: Junio del 2021 Carrera: Ingeniería mecatrónica Institución: Universidad Autónoma de Bucaramanga		Vista frontal y lateral del mecanismo de desplazamiento Escala: 1:1 Hoja: 2 de 2	
TÍTULO: Ensamblaje		A3	