Mejora en el ingreso de una persona con discapacidad física en miembros inferiores a un vehículo automotor de 4 ruedas

Gustavo Adolfo Berdugo Velasquez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Bogotá, Colombia
2023

Mejora en el ingreso de una persona con discapacidad física en miembros inferiores a un vehículo automotor de 4 ruedas

Gustavo Adolfo Berdugo Velasquez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al grado de:
Magister en Ingeniería - Automatización Industrial

Asesorado por:
M.A. Luis Miguel Mendez Moreno

Línea de investigación:
Accesibilidad a personas con discapacidad física

Grupo de investigación:
UN-Robot: Grupo de plataformas robóticas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ingeniería
Bogotá, Colombia
2023

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica

Aristóteles

Agradecimientos

Doy gracias a Dios, a mi familia y amigos por acompañarme en todo este proceso, que no solo han sido estos 2 años y medio, sino todo mi recorrido académico desde la primaria, bachillerato en los Liceos del Ejercito y mi carrera profesional realizada en la Universidad Nacional de Colombia.

Agradezco por siempre estar a mi lado, apoyándome y guiándome en que lo necesité en cada etapa de mi vida. Además, agradezco a mi alma mater la Universidad Nacional de Colombia por brindarme muchas oportunidades tanto profesional como personalmente. Enfatizo en mayor profundidad a los departamentos de ingeniería eléctrica, electrónica, ingeniería mecánica y mecatrónica que me brindaron a grandes docentes siempre para un excelente desarrollo profesional.

Resumen

Mejora en el ingreso de una persona con discapacidad física en miembros inferiores a un vehículo automotor de 4 ruedas.

Actualmente las personas con discapacidad tienen muchos problemas a pesar de todos los esfuerzos que se hacen para solventarlos. Dichas adversidades impiden que una persona con discapacidad interactúe normalmente dentro de una sociedad. Por ejemplo, una de las barreras que persiste aun, es la de movilización a grandes distancias, superiores a 3 Km. Por lo anterior es necesario conseguir algún tipo de transporte que solucione este problema, una de las alternativas se encuentra en el uso del transporte privado, esto debido a que posee ventajas como la comodidad y privacidad. Sin embargo, este medio de transporte tiene algunos problemas que no permiten que esta idea sea la solución definitiva. Un problema es el ingreso al vehículo, en donde a veces se vuelve una tarea compleja y de esfuerzo que requiere tiempo para terminarla. Por lo tanto, este proyecto busca realizar una mejora en cuanto al ingreso de una persona en silla de ruedas a un vehículo particular.

Para lograr lo planteado, se observan las diferentes alternativas de ingreso existentes y que ventajas y desventajas presentan cada una de ellas. Luego se realiza un análisis de las alternativas, donde se determina cual es la más adecuada para una persona especifica con discapacidad. Después de tener una idea seleccionada lo que prosigue es realizar el análisis de la misma, con la finalidad de entender las necesidades que tiene el proyecto, tales como lo es el espacio a trabajar, los requerimientos del usuario, los materiales a emplear, las técnicas a realizar y el paso a paso para lograr la construcción. Una vez hecho el plan de trabajo se prosigue con la ejecución, donde es importante resaltar la importancia de las validaciones, mediante los cálculos realizados y las simulaciones propuestas.

Palabras clave: Silla de ruedas, transporte, traslado, movilización, discapacidad, ingreso, salida, prototipo

Abstract

Improvement in the entry of a person with physical disabilities in lower limbs to a 4-wheeled motor vehicle.

Currently, people with disabilities face many mobility problems despite all the efforts made to address them. These adversities prevent a person with a disability from interacting normally within society. For example, one of the persistent barriers is mobility over long distances, exceeding 3 km. Therefore, it is necessary to find some type of transportation that solves this problem, and one of the alternatives is using private transportation, as it offers advantages such as comfort and privacy. However, this mode of transportation has some issues, such as the entry into the vehicle, which can sometimes be a complex and effortful task that requires time to complete.

Therefore, this project aims to improve the ingress of a wheelchair user into a private vehicle. To achieve this goal, various existing entry alternatives and their advantages and disadvantages are observed. Then, an analysis of the alternatives is carried out to determine which is the most suitable for a person with a disability. After selecting an idea, the next step is to conduct a detailed analysis of it to identify the requirements, such as the working space, user needs, materials to be used, techniques to be employed, and step-by-step instructions for construction. Once the structure and planning are in place, the execution phase begins, where the importance of validation through calculations and proposed simulations is highlighted.

Keywords: Wheelchair, transport, transfer, mobilization, disability, entry, exit, prototype

Contenido

Agradecimientos VI

Resumen VII

Abstract VIII

Lista de Figuras XI

Lista de Tablas 1

1 Introducción 2

2 Antecedentes 5
- 2.1 Historia de la silla de ruedas 5
- 2.2 Formas de ingreso de una persona en silla de ruedas a un vehículo 8
  - 2.2.1 Vehículo tipo M 9
  - 2.2.2 Grúas de movimiento, mecánicas o eléctricas 10
  - 2.2.3 Movimiento de la silla de copiloto 12
  - 2.2.4 Propulsión con o sin ayudas 14

3 Identificación y Justificación del problema 16

4 Objetivos 19
- 4.1 Objetivo General 19
- 4.2 Objetivos Específicos 19

5 Materiales y métodos 20
- 5.1 Design Thinking 20
  - 5.1.1 Empatizar 21
  - 5.1.2 Definir 21
  - 5.1.3 Idear 21
  - 5.1.4 Prototipar 21
  - 5.1.5 Probar 22
  - 5.1.6 Iterar 22
- 5.2 Diseño General 22
- 5.3 Trabajo realizado 23
  - 5.3.1 Definición de requerimientos para el prototipo 23
  - 5.3.2 Descripción del movimiento a realizar del prototipo 24

5.3.3 Planteamiento de sistema montado en el vehículo 26
5.3.4 Trabajo en la silla 29
5.3.5 Trabajo con el chasis 29
5.3.6 Validaciones de diseño 31
5.3.7 Selección del motor 37
5.4 Fatiga 37
5.5 Estructura - Prototipar 38
5.6 Movimiento 46
5.7 Control 47
5.8 Pruebas de funcionamiento - Testeo 48
5.8.1 Estructura pruebas de funcionamiento 48
5.8.2 Validación de pruebas 49

6 Resultados 50

7 Conclusiones y trabajo futuro 51
7.1 Conclusiones 51
7.2 Trabajo futuro 52

A Lamina de Acero Cold Roll 53

B Tubos de Acero Cold Roll 54

References 55

Lista de Figuras

2-1 Silla de Bath, Fuente [1] 6
2-2 Primera Silla plegable, Fuente [1] 6
2-3 Ejemplo de tipos de sillas de ruedas, Fuente [2] 7
2-4 Vehículo tipo M o Van, Fuente [1] 9
2-5 Van con rampa, Fuente [3] 10
2-6 Van con elevador, Fuente [4]. 10
2-7 Tipos de grúas eléctricas, Fuente [5] 12
2-8 Grúa mecánica, Fuente [6] 12
2-9 Asiento salido, Fuente [7] 13
2-10 Silla de carro extraíble, Fuente [8] 14
2-11 Ejemplo de ingreso sin ayudas, Fuente [9] 15
2-12 Ejemplos de propulsión con ayuda, Fuente [10] 15

5-1 Esquema general del trabajo realizado. 23
5-2 Orientaciones claves en el movimiento del asiento en el carro, Fuente [Elaboración propia] 25
5-3 Ángulo de interés, Fuente [Elaboración propia] 25
5-4 Puntos de soporte, Fuente [Elaboración propia] 26
5-5 Placa base, Fuente [Elaboración propia] 27
5-6 Placa de movimiento, Fuente [Elaboración propia] 28
5-7 Diseño del eje, Fuente [Elaboración propia] 28
5-8 Prototipo funcional, Fuente [Elaboración propia] 29
5-9 Boceto silla que se requiere, Fuente [Elaboración propia] 30
5-10 Ruedas para la silla de ruedas, Fuente [Elaboración propia] 30
5-11 Freno, Fuente [Elaboración propia] 31
5-12 Sistema de elevación, Fuente [Elaboración propia] 32
5-13 Silla de ruedas con peso de la silla y peso del usuario, Fuente [Elaboración propia] . 32
5-14 Silla de vehículo con peso de la silla y peso del usuario, Fuente [Elaboración propia] 33
5-15 Análisis del acople, Fuente [Elaboración propia] 33
5-16 Análisis del chasis, Fuente [Elaboración propia] 34
5-17 Circuito para el manejo del motor seleccionado, Fuente [Elaboración propia] 37
5-18 Ejemplo de curva Wöhler, Fuente [Elaboración propia] 38
5-19 Múltiples imágenes, Fuente [Elaboración propia] 39
5-20 Múltiples imágenes, Fuente [Elaboración propia] 40
5-21 Motor, Fuente [Elaboración propia] 41
5-22 Primer croquis de la silla, Fuente [Elaboración propia] 42

5-23 Una espuma anti escaras, Fuente [Elaboración propia] 42
5-24 Espuma asiento vehículo, Fuente [Elaboración propia] 43
5-25 Tela, Fuente [Elaboración propia] 44
5-26 Descansa brazos, Fuente [Elaboración propia] 44
5-27 Montaje de la silla en su primera etapa, Fuente [Elaboración propia] 45
5-28 Prueba estructura silla con peso, Fuente [Elaboración propia] 45
5-29 Perfiles de distancia, velocidad y aceleración, Fuente [Elaboración propia] 46
5-30 Diagrama Caja Negra, Fuente [Elaboración propia] 47
5-31 Diagrama Caja Gris, Fuente [Elaboración propia] 48

Lista de Tablas

5-1 Tabla de ventajas y desventajas de los tipos de movimiento 35
5-2 Requerimientos del usuario con un valor número entre el 1 al 5, donde 1 es de baja importancia y 5 es muy importante 36
5-3 Formato base para pruebas 49

1. Introducción

La palabra discapacidad según la Real Academia Española (RAE) se refiere a la "situación de la persona que, por sus condiciones físicas, sensoriales, intelectuales o mentales duraderas, encuentra dificultades para su participación e inclusión social" [11]. A partir de esta definición, se puede inferir que las personas con discapacidad a menudo se pueden considerar como marginadas socialmente o que tienen dificultades para integrarse a la sociedad.

Como afirmó Aristóteles, "El hombre es un ser social por naturaleza", lo cual nos lleva a entender que el entorno en el que una persona se desarrolla tiene un gran impacto en su crecimiento individual. En base a lo anterior, también se entiende que el desarrollo de una persona con condiciones especiales estará mayormente afecta por dicho entorno, ya que los problemas pequeños pueden llegar a convertirse en enormes barreras para generar esa interacción que dicha persona necesita para realizar un ejercicio de convivencia [12].

Así mismo, las personas con discapacidad a lo largo de la historia se han tratado desde distintas perspectivas, el primer modelo tiene la óptica desde lo religioso, donde se creía que dichas personas con discapacidad eran innecesarias y que sus problemas son de origen religioso, el segundo modelo se ve desde la parte científica, donde las personas con discapacidad no son innecesarias en un entorno social, siempre y cuando tengan un nivel de rehabilitación. Y el último modelo habla desde la parte social, en la que se recalca que por ser personas y tener vida, se debe tener respeto y entendiendo a la situación en la que viven y a pesar la situación en la que se encuentran aún puede seguir aportando a una sociedad, sin importar su tipo de discapacidad. Este último modelo, es la base para los grandes avances que se ha tenido en el reconocimiento del valor de las personas con discapacidad [13].

Un ejemplo de esta última perspectiva, la vemos en la Corte Constitucional de Colombia [14], en la cual se habla sobre la dignidad de las personas con discapacidad, además de contar con derechos que benefician a estas personas, con el interés de mantener su dignidad y su valor social, convirtiendo a esta minoría en un tema que les incumbe no solo a los miembros cercanos, sino a la comunidad en general.

En el caso de Colombia, vemos que hay una estadística perteneciente al año 2002, la cual indica que el 2% de la población en dicho momento tenía una discapacidad, lo cual tiene una alta desviación si se tiene en cuenta la regla del 10%, la cual dice que en una sociedad el 10% de las personas tienen una discapacidad [15], entonces el autor se plantea la idea de una posible adulteración de las estadísticas, y se cuestiona el fin o motivo para estas presuntas alteraciones. Estas situaciones nos puede decir el nivel tan bajo de importancia que han tenido estas personas en Colombia, tanto es así, que se buscó ocultar sus estadísticas reales durante un tiempo.

Si nos enfocamos en Bogotá, capital de Colombia, encontramos que hasta el 31 de diciembre de 2022 [16], había un total de 33,312 personas certificadas con discapacidad, un 0.4% de la población capitalina, de las cuales 9,803 presentaban discapacidad física, eso es prácticamente la cantidad de habitantes en la localidad de La Candelaria. Algo a recalcar respecto de estas cifras, es que estas corresponden únicamente a las personas certificadas, dejando por fuera a aquellas personas con discapacidad que no han obtenido la certificación por diversos motivos.

Dentro de los problemas que afrontan las personas con discapacidad podemos encontrar el transporte, donde no existen las suficientes facilidades para moverse en el entorno de una gran ciudad, puesto que no cuentan con los espacios adecuados o con el debido mantenimiento de los equipos, sumado a la poca empatía y falta de cultura ciudadana para brindar una colaboración activa a estas personas hacen que la tarea de movilidad se convierta en otro reto.

Respecto a lo mencionado, Bogotá ha implementado algunas estrategias para solventar este problema, como es mencionado en esta nota [17]. En la capital se están realizando esfuerzos para mejorar esta situación, pero no son suficientes, debido a que aún existe una gran brecha de acceso al transporte entre las personas con condiciones normales y las que cuentan con una discapacidad. Como se ve en [18], el trabajo ha estado fallando, ya que se puede visualizar todos los obstáculos que debe sortear una persona en silla de ruedas para ingresar al sistema de Transmilenio y como se dificulta el tránsito en los mismos.

De lo anterior se han realizado trabajos con el fin de mejorar su situación en la sociedad, un ejemplo claro está focalizado en el turismo [19]. Son ideas que intentan dar una claridad del panorama, además de dar indicios en cosas para mejorar estos problemas que hay para las personas en sillas de ruedas. Otra idea es una página web [20], donde se tratan todos los temas de medidas tanto en espacios abiertos como cerrados con la idea de guiar a las personas que tienen proyectos inmobiliarios en proyectar ideas incluyentes.

Para este proyecto se decidió en trabajar Design Thinking, puesto que es una metodología bastante flexible y permite pasar de etapas con la finalidad de realizar modificaciones pertinentes a cada momento del proyecto.

En la parte de empatizar se puede explorar la información sobre el ingreso de una persona en silla de ruedas, además de identificar las normas o estándares que rigen actualmente. EN la parte de definir, se pueden establecer las bases del problema a tratar.

Idear es la parte donde se plantean distintas alternativas, con el propósito de identificar distintas alternativas de solución. En este proyecto el paso de prototipar se extiende un poco más, debido a que el producto desarrollado será de carácter mecatrónico, ya que contara con su parte eléctrica, mecánica y de control.

Ya por último tenemos la parte de evaluar, la idea es estructurar plantillas de evaluación con el objetivo de validar dicho proyecto, y verificar su funcionamiento en diversas condiciones, para construir una confianza en el proyecto.

2. Antecedentes

2.1. Historia de la silla de ruedas

Cuando una persona tiene una discapacidad que limita su movimiento o desarrollo físico, se vuelve imprescindible la utilización de elementos de apoyo como bastones [21], sin embargo, cuando esa movilidad se reduce en más del 40%, es pertinente pensar en la utilización de sillas de ruedas, que de acuerdo con Souza y otros (2020), es la alternativa por excelencia de movilidad para las personas que sufren dificultades o simplemente no pueden caminar [2].

Una silla de ruedas es un dispositivo de movilidad diseñado para permitir que las personas con discapacidad física o movilidad reducida puedan desplazarse de manera más independiente y cómoda, tratándose de un equipo que consta de una estructura con ruedas que puede ser empujada manualmente por el usuario o impulsada eléctricamente en algunos modelos. Los componentes de una silla de ruedas incluyen un asiento con respaldo y brazos, ruedas, ejes, reposapiés y, en algunos casos, apoya piernas.

El propósito principal de una silla de ruedas es mejorar la movilidad de las personas con discapacidad, permitiéndoles acceder a lugares y servicios de manera más igualitaria, estas sillas facilitan el acceso a edificios, transporte público, instalaciones médicas y una amplia variedad de lugares y servicios, lo que a su vez promueve la autonomía y la participación en la vida cotidiana.

Además de mejorar la movilidad, las sillas de ruedas también proporcionan comodidad y alivio a quienes las utilizan. Están diseñadas ergonómicamente para brindar soporte postural y reducir la fatiga, lo que es esencial para prevenir lesiones por esfuerzo repetitivo. Además, en situaciones de lesiones o afecciones temporales, una silla de ruedas puede ser parte de un programa de rehabilitación y recuperación. Para algunas personas con discapacidad, las sillas de ruedas eléctricas ofrecen opciones de movimiento motorizado que les permiten moverse con mayor facilidad y reducir la fatiga. Estos modelos son especialmente útiles para usuarios con movilidad limitada en las extremidades superiores.

No se tiene bien documentado donde o cuando nació la primera silla de ruedas de la humanidad, se piensa que fue en la antigua Grecia donde hay indicios de los primeros sistemas mecánicos empleados para el transporte de las personas con discapacidad, también se piensa que en la antigua china tiene indicios de las primeras sillas de ruedas.

A nivel histórico en el año 1595 se tiene la constancia de que se construyó la primera silla de ruedas con el propósito de movilizarse, esta fue construida para el rey Felipe II, el cual sufrió de gota y

artrosis. Para el año de 1783 John Dawson de Bath construyó una silla de ruedas, la cual contaba con 2 ruedas grandes en la parte posterior una rueda pequeña en la parte frontal como se ve la Figura **2-1**.

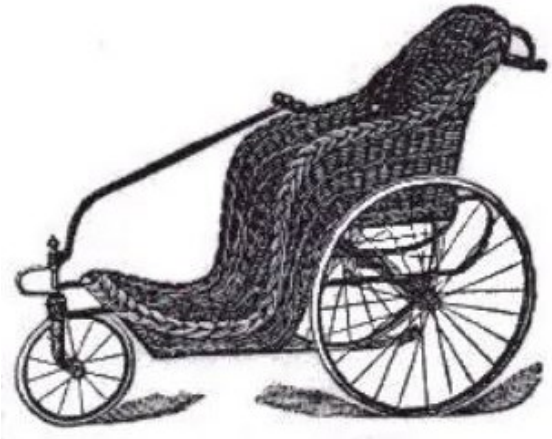


Figura 2-1.: *Silla de Bath, Fuente [1]*

Para inicios del siglo XX, se comienzan a emplear las primeras ruedas con radios para las sillas de ruedas por mayor facilidad, además para el año 1916 en Londres se construyó la primera silla motorizada en plena guerra mundial. Uno de los cambios más profundos e importantes para las personas en sillas de ruedas ocurrió en el año 1932, de la mano del ingeniero Harry Jennings, que diseño y construyó la primera silla de ruedas con acero tubular, pero la característica más importante es que la silla tenia la capacidad de doblarse como se ve en la siguiente Figura **2-2**.

Figura 2-2.: *Primera Silla plegable, Fuente [1]*

Durante los siguientes años hubo un monopolio de sillas de ruedas por la empresa Everest & Jennings, donde el ingeniero y su compañero Herbert Everest, un paralitico, dominaron el mercado de silla de

(a) *Silla de ruedas apra playa* (b) *Silla de ruedas para deporte*

Figura 2-3.: *Ejemplo de tipos de sillas de ruedas, Fuente [2]*

ruedas, hasta que el Departamento de Justicia presentó una demanda anti monopolio.

A pesar de los grandes beneficios de utilizar silla de ruedas, Souza y otros (2020) explican que su utilización conlleva desafíos y limitaciones que es importante tener en cuenta. Una de las principales es la falta de accesibilidad en muchos entornos. Las barreras arquitectónicas, como escaleras y puertas estrechas, pueden dificultar el acceso a edificios y lugares públicos.

Esto a menudo significa depender de la ayuda de otros para superar obstáculos y barreras, lo que puede limitar la independencia de las personas que utilizan sillas de ruedas. El esfuerzo físico requerido para impulsar una silla de ruedas manual puede causar fatiga y, en algunos casos, lesiones por esfuerzo repetitivo. Además, el uso de sillas de ruedas puede ser complicado en espacios reducidos, como baños estrechos o ascensores congestionados.

Una vez solucionado el tema del monopolio los avances relacionados con las sillas de ruedas han sido más diversos, como el uso de nuevos materiales, como el aluminio 7000, dándole resistencia y más ligereza. Otros avances importantes realizados se puede ver en la parte estructural, donde un ejemplo son las sillas para la playa o para deporte como se ve en la Figura **2-3**.

2.2. Formas de ingreso de una persona en silla de ruedas a un vehículo

Con el paso del tiempo, las distancias y la duración de un recorrido generalmente han aumentado, por ello las personas en silla de ruedas se han visto en la necesidad de generar nuevas alternativas para poder movilizarse en la ciudad. Una estrategia empleada es la de vivir cerca al centro de salud donde son atendidos, pero por ciertos factores externos, como la economía, no siempre es la mejor opción.

Por ello muchas personas optan por su propio medio de transporte, pero este en general no es el adecuado para una persona en silla de ruedas, por lo que se crean diversas estrategias para movilizarse e ingresar. Donde se pueden contemplar las siguientes ideas.

I. Vehículo tipo M.
II. Grúas de movimiento, mecánicas o eléctricas.
III. Silla de carro con movimiento.
IV. Propulsión con o sin ayudas.

Además de lo anterior se debe tener en cuenta el confort de la persona, no solo por que va a quedarse un tiempo determinado en el transporte, sino que en todo momento va a encontrarse sentado en su silla de ruedas, por ello en el trabajo planteado [22], se realiza un análisis a profundidad de que tan cómodo puede ser una silla de ruedas para una persona con discapacidad, lo que permite mejora de diseño en base a sus resultados.

Un criterio adicional que se debe tener en cuenta es el desempeño general de una silla de ruedas, como se propone en el siguiente trabajo [23], donde se ve la necesidad de entender claramente los factores que componen el movimiento de una silla de ruedas, por lo que se ve necesario considerar ese trabajo para ir más allá de solo un ingreso, también es necesario pensar en el movimiento previo o posterior del mismo.

También hay que tener en cuenta que el ingreso puede estar en la silla tanto del piloto como del copiloto, esto con el fin de permitir que la persona con discapacidad pueda manejar un vehículo [24], claramente con las modificaciones pertinentes para hacer que la experiencia de manejo sea la mejor posible.

Un punto necesario para el trabajo es entender que se esta enfocado en el ingreso al vehículo, ya que en ocasiones se toman riesgos o también son los puntos donde más desmotiva a las persona en silla de ruedas para salir, debido a que no hay formas más fáciles para salir.

Ya con lo anterior descrito, es necesario hacer un desglose de todos los tipos de forma que hay para ingresar a un vehículo, con la finalidad de describir de la mejor manera las distintas alternativas que tiene una persona en silla de ruedas para ingresar a un vehículo.

2.2.1. Vehículo tipo M

Esta forma de ingresar es con ayuda de los vehículos que se conocen como Van, un ejemplo es el de la Figura **2-4**. Estos vehículos cuentan con una parte tracería amplia, lo cual permite la modificación de esa parte y se pueda hacer un tipo de ingreso tal que la persona en silla de ruedas este usando su medio para movilizarse.

Figura 2-4.: *Vehículo tipo M o Van, Fuente [1]*

Las modificaciones más frecuentes que se encuentran son las de tipo rampa y las de tipo elevador, en cada una de ellas se necesita la modificación del carro con el fin de poder implementar mecanismos que puedan realizar el ingreso de una persona en silla de ruedas.

Adicionalmente a lo anterior se debe tener en cuenta el sistema de seguridad, ya que la silla debe quedar fija al vehículo, por lo que es necesario un sistema de fijación mediante cualquier medio pero que asegure durante todo el viaje que la persona está a salvo y no tendrá ningún problema de este tema, por lo que en el trabajo [25], además de plantear el ingreso, también, propone visualizar una forma de mantener al usuario de la manera más segura posible.

Van Rampa

En el caso de la rampa, como se ve en la Figura **2-5**, el ingreso de la persona es desde la parte posterior del vehículo, además se ven todos los sistemas de seguridad adicional para mantener la integridad

de la persona. Otro punto a resaltar es la necesidad de una tercera persona para el ingreso, con el objetivo que el ayudante hace el esfuerzo necesario para superar la inclinación de la rampa y se pueda ingresar al vehículo [3].

Figura 2-5.: *Van con rampa, Fuente [3]*

Van Elevador

Para la Van con elevador, como el de la Figura **2-6**. La persona se ubica en una plataforma y con un sistema motorizado se genera un movimiento curvilíneo, que tiene como finalidad dar ingreso a la silla de ruedas al vehículo. Acá también se cuenta con una aplicación del sistema de seguridad para asegurar y fijar la silla de ruedas al vehículo, para tener un paseo más tranquilo y a su vez minimizar los riesgos [4].

Figura 2-6.: *Van con elevador, Fuente [4].*

2.2.2. Grúas de movimiento, mecánicas o eléctricas

Para las personas con discapacidad física el termino grúa no es ajeno a su día a día, esto debido a que hay muchas facilidades que con estos mecanismos permiten que un colaborador pueda mover a la

persona con discapacidad sin mucho trabajo a varias posiciones.

En este caso se puede encontrar 2 tipos de grúas, la motorizada y la mecánica. Su principal diferencia se encuentra en el donde se saca la energía para el movimiento. Mientras la grúa motorizada usa un motor y una batería, la grúa mecánica emplea mecanismos como engranajes y tornillos sin fin para generar el movimiento una persona, pero ambas cumplen su objetivo.

Grúa eléctrica

Como se dijo con anterioridad, la grúa eléctrica emplea un actuador lineal y un sistema de alimentación, que consta de una batería. La grúa es un sistema que requiere su espacio y toca estar vigilando el estado de la batería, ya que existe el riesgo de que la batería presente una falla, lo que tendría como efecto bloquear el motor en una momento del traspaso de la persona con discapacidad.

Actualmente existen varias formas del sistema de grúa eléctrica, pero nos vamos a enfocar en 2 sistemas que son los más empleados en la actualidad. El primer sistema, el cual se ve en la Figura **2-7**a, es un sistema con un actuador lineal, además cuenta con ruedas locas en la parte inferior de la estructura para poder realizar movimientos en cualquier sentido, con los se realiza el ingreso de la persona con discapacidad al vehículo [26].

El segundo sistema de grúa eléctrica [27] se emplea con una modificación en la puerta del copiloto, donde la persona con discapacidad va ingresar, esta modificación es con la finalidad de que sea el soporte de la grúa. Este sistema se caracteriza por ser pequeño y además su fuente de alimentación generalmente es el mismo vehículo, también presenta una mejor forma de guardado con respecto a su contra parte, como se ve en la Figura **2-7**b. Entonces al estar el sistema pivotado en la puerta se entiendo que ahí se encuentra el rango de movimiento del sistema [5].

Grúa mecánica

A diferencia de la grúa eléctrica, la grúa mecánica no emplea energía eléctrica, usa el movimiento de una manivela con el sentido de subir o bajar todo el sistema que puede soportar a la persona en silla de ruedas. Este sistema. que se ve en la Figura **2-8**, es el esqueleto de la primera grúa mecánica, vemos que es un sistema no actualizado que tiene la ventaja de no requerir un sistema de alimentación, por lo que no puede llegar a fallar de la misma forma pero si se necesita una cierta fuerza motriz [6].

(a) *Grúa eléctrica tipo 1.*

(b) *Grúa eléctrica tipo 2.*

Figura 2-7.: *Tipos de grúas eléctricas, Fuente [5]*

Figura 2-8.: *Grúa mecánica, Fuente [6]*

2.2.3. Movimiento de la silla de copiloto

Silla de carro con movimiento

Una alternativa al sistema anterior, es la extracción parcial de la silla del vehículo, esto con el fin de recibir en la silla a la persona con discapacidad de forma más sencilla, como se muestra en la Figura **2-9**. Esta forma de ingreso permite que la persona se ubique en el asiento del copiloto al contar con más espacio, además de ingresar de forma autónoma. Cabe resaltar que el sistema de actuación eléctrica puede ser alimentada por el mismo vehículo o una batería externa.

Además en la Figura **2-9**, también se ve la necesidad de modificar el carro con la idea de soportar

todo el sistema. Sin embrago el ingreso de la persona puede ejecutarse por su propia fuerza lo cual permite a la persona con discapacidad tomar más independencia en el momento de su traslado, lo único en lo que necesitaría ayuda seria en el ingreso de la silla de ruedas al vehículo [7].

Figura 2-9.: *Asiento salido, Fuente [7]*

Silla de carro extraíble

Esta forma de ingreso es parecida a la anterior mencionada, pero su gran diferencia es que la silla del vehículo sale completamente y se integra a la silla de ruedas. En otras palabras, la silla donde se encuentra la persona con discapacidad es la misma que esta en el vehículo y en la silla de ruedas.

En la Figura **2-10**, se puede observar los dos momentos claves para este ingreso al vehículo. El primer momento tiene que haber un desacople entre el chasis de lo que queda de la silla de ruedas y la silla. Esto permite que el ingreso de la persona sea sin la necesidad de cambiar de silla, simplemente mantiene la que esta usando [8]. El segundo momento es el ingreso de la silla al vehículo, en donde haya no hay un acople con el chasis de la silla sino con el chasis del vehículo.

Cabe recalcar que esta forma de ingreso también se puede emplear con o sin energía eléctrica, lo que cambia es de donde proviene el trabajo realizado para lograr el ingreso de la persona con discapacidad al vehículo. También hay trabajos basados en este movimiento con la idea de facilitar el ingreso o salida de las personas, como en [28], donde se observa la necesidad de un sistema mecatrónico para el movimiento debido a las restricciones de la puerta y los giros presentes.

Otro sistema propuesto para este trabajo, se ve el funcionamiento de 2 engranajes que realiza el movimiento rotativo, lo cual permite girar la silla y prepararla para su posterior extracción, además cabe resaltar la importancia de un sistema ligero y fácil de montar [29].

(a) *Desacople entre la silla y el chasis de ruedas* (b) *Acople silla con el vehículo*

Figura 2-10.: *Silla de carro extraíble, Fuente [8]*

2.2.4. Propulsión con o sin ayudas

Estas formas de ingreso son las más económicas de todas, debido a que no necesitan modificaciones de ningún tipo al vehículo, tampoco se necesitan sistemas con mucha elaboración. Pero si requieren que la persona con discapacidad tenga un cierto control de su fuerza, que le permita realizar el ingreso sin ningún problema. Para este caso el ingreso debe realizarse con la fuerza de una persona, ya sea de la persona con discapacidad o del ayudante que tenga.

Propulsión sin ayudas

En este caso la persona en silla de ruedas usa su propia fuerza para agarrase o sujetarse del vehículo y con la fuerza en sus brazos realizar el ingreso, esta técnica es muy artesanal y depende de cada persona como se sienta más cómoda para hacer el ingreso. Para algunos es mejor usar la puerta, para otros no y usan el asiento, En la Figura **2-11**, se muestra como una persona hace el ingreso al vehículo y se nota donde esta su soporte [9].

Propulsión con ayudas

En este método son consideradas las ayudas de un tercero o de algún tipo de artilugio sencillo que permita el ingreso de la persona en silla de ruedas al vehículo. Como se puede observar en la Figura **2-12**a, el enfermero colabora con el movimiento del adulto mayor que emplea una silla de ruedas,

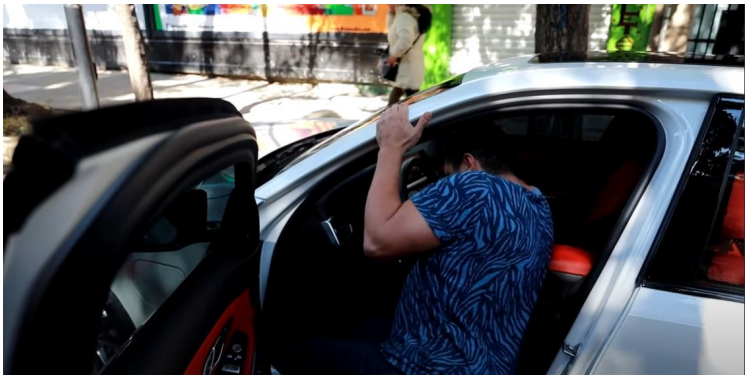


Figura 2-11.: *Ejemplo de ingreso sin ayudas, Fuente [9]*

(a) Ayuda de un tercero (b) *Tabla de movimiento*

Figura 2-12.: *Ejemplos de propulsión con ayuda, Fuente [10]*

es importante observar que el adulto mayor es capaz de apoyarse o mantener una posición erguida durante un intervalo de tiempo prudente mientras se realiza el traslado, lo cual ayuda a la tercera persona realizar el movimiento [30]. Mientras que si observamos en la Figura **2-12**b, se usa un artilugio el cual permite deslizar a la persona en silla de ruedas sobre un plano liso, lo que permite a la persona pasar al interior del vehículo con mayor comodidad y sin la necesidad de ponerse de pie [10].

3. Identificación y Justificación del problema

Con lo que hemos visto hasta ahora podemos ver que las personas con discapacidad enfrentan grandes desafíos por su condición, se nos muestra como es la afectación del desarrollo social de la persona, no solo por un problema con su cuerpo o mente, sino también con un problema en la sociedad donde se desenvuelve. Pese a ser un problema que le compete a la sociedad en general y no solo a unos pocos.

Regresando al tema del transporte, se sabe que podernos movilizar es un fator clave para la conexión con la sociedad, ya que permite a las personas estar en diferentes entornos, conocer gente, lugares y vivir experiencias enriquecedoras, es decir, integrarse con la sociedad. Acceder a este tipo de espacios mediante el transporte es importante, sin olvidar también, que, en términos de salud, el poder trasladarse de mejor forma a terapias o citas médicas es fundamental para que las personas con movilidad reducida puedan mantener una buena salud.

Respecto a ello nos preguntamos ¿Cómo una persona en silla de ruedas puede recorrer grandes distancias dentro de una ciudad como Bogotá?, pues no es muy complejo de responder, para movilizarse en Bogotá las personas con movilidad reducida cuentan con dos alternativas, la primera es el transporte público como Transmilenio, dejando de lado el servicio de taxi y similares que normalmente no cuenta con el espacio suficiente para llevar a una persona y su silla de ruedas, la segunda es el transporte privado. Para cada opción existe ventajas y desventajas como lo son facilidad de acceso, recursos, tiempos, distancias, entre otros factores a tener en cuenta a la hora de escoger.

Para el desarrollo de este trabajo se escogió el transporte privado para las personas en silla de ruedas, debido a que la persona a la cual se va a ayudar en específico cuenta con su propio medio de transporte privado.

Esta persona cuenta con una discapacidad física de todas sus extremidades al encontrarse en estado de cuadriplejia, lo que implica una necesidad de movilización en la ciudad de Bogotá para sus citas médicas, sus terapias y otras necesidades que tenga. Para que esta persona pueda movilizarse en Bogotá con el objetivo de cumplir sus obligaciones tanto médicas como sociales debe contar con 2 colaboradores. Donde el primer colaborador debe ser un individuo con gran fuerza para poder levantar a la persona con discapacidad e ingresarla, además de guardar la silla de ruedas, y el segundo colaborador tiene que ayudar en la recepción de la persona tanto para la silla de ruedas y el vehículo, después organizar y acomodar a la persona con discapacidad.

Como se observa los colaboradores realizan un trabajo de mucho esfuerzo y precisión con la persona en silla de ruedas, principalmente el primer colaborador que debe ser capaz de levantar una persona

de 75 Kg.

Este trabajo no es únicamente para la persona en silla de ruedas, también es para los colaboradores, la idea es que el ingreso sea más suave, más controlado y seguro de lo que es actualmente, salvaguardando la integridad de las 3 personas involucradas. Con esto se espera poder ayudar a la persona en condición de discapacidad para mejorar su calidad de vida y la de sus colaboradores.

Dar una solución objetiva al problema de dificultad de acceso de personas con discapacidad es un reto, y para conseguirlo, se debe adaptar una metodología de diseño y desarrollo de producto funcional que permita enfocar los esfuerzos hacia la asertividad, comprendiendo lo más intrínseco de la persona en términos de gestión, practicidad y desarrollo. Dicho esto, se considera que la metodología Design Thinking es la más efectiva en el proceso. Serrano y Blázquez (2016) establecen que esta es una metodología que se ha convertido en una herramienta popular para la resolución de problemas y la generación de ideas innovadoras en una amplia gama de contextos, desde el diseño de productos hasta la mejora de servicios y la innovación en procesos empresariales, todo gracias a su principio de empatizar [31].

Esta metodología se centra en entender las necesidades y deseos de las personas para desarrollar soluciones creativas y efectivas, es por ello por lo que es apta para este proyecto. El Design Thinking se basa en la premisa de que, para crear soluciones exitosas, es necesario comprender profundamente a los usuarios, sus problemas, deseos y necesidades, esto, a través de un enfoque colaborativo e interdisciplinario, se busca fomentar la empatía con los usuarios y promover la creatividad. Un aspecto importante del Design Thinking es su enfoque en la iteración. Después de la fase de prueba, se regresa a etapas anteriores si es necesario, lo que permite refinar y mejorar continuamente las soluciones hasta lograr una solución final que sea efectiva y satisfactoria para los usuarios.

El Design Thinking fomenta la colaboración y la creatividad, y se ha convertido en una metodología versátil utilizada en diversas áreas, desde el diseño de productos y servicios hasta la resolución de problemas sociales. Es especialmente valioso cuando se busca innovación, y solucionar problemas complejos, ya que pone el énfasis en comprender a fondo a las personas a las que se sirve y en encontrar soluciones que resuelvan sus necesidades de manera efectiva.

El Design Thinking pone al usuario en el centro del proceso de diseño, lo que resulta en soluciones que están verdaderamente alineadas con las necesidades, deseos y emociones de las personas [31], y esto mejora la satisfacción del cliente y la adopción de productos o servicios. De igual modo, es una fuente que fomenta la creatividad y el pensamiento fuera de la caja, volviéndose es una poderosa herramienta para la generación de ideas innovadoras. Ayuda a las organizaciones a destacar en mercados competitivos y a abordar problemas complejos de manera original.

La metodología Design Thinking también es altamente efectiva para abordar problemas complejos y

multifacéticos, ya que divide el proceso en etapas lógicas y manejables, lo que facilita la identificación y resolución de problemas, y por todo ello, se considera la más adecuada para el proyecto.

Ya con lo anterior podemos ver que hay una dificultad para el ingreso de personas con movilidad reducida de los miembros inferiores a un vehículo automotor de 4 ruedas, el cual es el problema por tratar, pero para elaborar soluciones se debe identificar las causas de este y por ende los efectos a las personas en sillas de ruedas. Como causas están más que todo las sociales y la poca visibilidad que tienen estas personas en la sociedad, y al profundizar tenemos que son:

- No se ha pensado en un modo de transporte para estas personas.
- Es una minoría que no hay tenido protagonismo.
- Baja sensibilidad social con estas personas.
- Carencia de una empatía colectiva para entender los problemas.

Mientras que los efectos permiten agudizar un problema social que tienen las personas en sillas de ruedas, y de los cuales se observó fueron

- Marginación social.
- Aumento del tiempo para la movilidad de trayectos considerables.
- Crecimiento en la dependencia física.
- Incremento de los riesgos al subir a un vehículo automotor.
- Filtros vehiculares más restrictivos.

Claramente vemos que, si existe una necesidad de mejorar el ingreso a un vehículo para su transporte, mejorando tiempos, aumentando la seguridad y disminuyendo el desgaste de la tercera persona, que pase lo que pase siempre tiene que estar.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Construir un sistema electromecánico capaz de ingresar a una persona con discapacidad en miembros inferiores a vehículo personal automotor de 4 ruedas.

4.2. Objetivos Específicos

I. Explorar información relacionada a sistemas de ingreso a personas en situación de discapacidad en miembros inferiores a un vehículo de 4 ruedas.

II. Determinar condiciones normativas y estándares relacionados a personas en discapacidad y la relación con el transporte.

III. Plantear diversas alternativas para la solución del problema.

IV. Definir un sistema mecatrónico parametrizado que tenga en cuenta el caso específico.

V. Mejorar el sistema mecatrónico en base a un desarrollo integrado de elementos mecánicos, de automatización y control programable.

VI. Estructurar pruebas de funcionamiento del sistema planteado.

VII. Verificar los criterios planteados del sistema propuesto mediante pruebas de rendimiento.

5. Materiales y métodos

5.1. Design Thinking

El proceso de diseño formal de la silla de ruedas será comprendido por la metodología Design Thinking, acotando que consta de varias etapas, que pueden adaptarse según el contexto, pero generalmente se dividen en cinco fases [31]

- Empatizar: En esta etapa, los equipos de trabajo se sumergen en el mundo de los usuarios para comprender sus necesidades, deseos, y desafíos. Esto implica la realización de investigaciones, entrevistas y observaciones para obtener una visión profunda de las experiencias y emociones de las personas involucradas.

- Definir: Con base en la información recopilada en la fase de empatía, se crea una definición clara y específica del problema o desafío a abordar. Esta etapa implica la creación de "statements" o declaraciones de problema que guían el proceso de diseño.

- Idear: En esta fase, se fomenta la generación de ideas creativas. Los equipos participantes se reúnen para brainstorming y exploran una amplia gama de soluciones posibles. La divergencia de ideas es crucial, y se promueve la colaboración y el pensamiento fuera de la caja.

- Prototipar: Luego de la etapa de ideación, se seleccionan las ideas más prometedoras y se crean prototipos o representaciones visuales y/o tangibles de esas soluciones. Estos prototipos pueden ser simples y rápidos, pero deben ser lo suficientemente efectivos para probar y comunicar las ideas de manera concreta.

- Probar: Los prototipos se someten a pruebas con usuarios reales para obtener retroalimentación. Esta retroalimentación ayuda a evaluar la eficacia de las soluciones propuestas y a identificar áreas de mejora. Este proceso puede implicar iteraciones, es decir, la repetición de las fases anteriores con base en los resultados obtenidos.

Un aspecto importante del Design Thinking es su enfoque en la iteración, pues después de la fase de prueba, se regresa a etapas anteriores si es necesario, lo que permite refinar y mejorar continuamente las soluciones hasta lograr una solución final que sea efectiva y satisfactoria para los usuarios.

Esta metodología fomenta la colaboración y la creatividad a partir de comprender a fondo a las personas a las que se sirve y en encontrar soluciones que resuelvan sus necesidades de manera efectiva [31], es por ello que se adapta de forma asertiva hacia el diseño de este proyecto, con base en este contexto, los pasos metodológicos de aplicación formal del Design Thinking son:

5.1.1. Empatizar

- El proceso comienza por comprender a fondo las necesidades y desafíos específicos que enfrentan las personas con discapacidad física en miembros inferiores en relación con su movilidad y acceso a un carro. Esto implica investigar en la literatura acerca de cómo viven o llevan la cotidianidad las personas afectadas, también involucra, de ser posible, comunicación con estas personas, así como con profesionales de la salud y terapeutas ocupacionales que tienen experiencia en este campo para poder comprender esa situación compleja que atraviesan.

- Seguidamente, se debe observar en una persona con discapacidad física sus interacciones con los vehículos, identificando las barreras y obstáculos en el proceso, todo para tratar de comprender sus emociones y experiencias al respecto. Con esta segunda etapa se busca, por ejemplo, comprender si la persona se frustra al tener que transportarse en un vehículo convencional, si tiene falencias en el proceso, si no es capaz de solucionar por sí solo y demás.

5.1.2. Definir

- Con base en la información recopilada en la etapa de empatía, se procede a definir de forma clara y detallada el problema o desafío a abordar. Para esto se debe utilizar la literatura científica y académica del tema de estudio.

- En esta etapa también se definen los pasos o posibles soluciones desde la teoría, para ver que se puede descartar y que puede ser utilizado para referente, comprendiendo que, en Design Thinking y desarrollo formal de productos, algo innovador no debe ser algo específicamente "nuevo", debe solamente ser algo que responda a la situación identificada, y para ello se puede utilizar una solución anterior y mejorarla para alcanzar la objetividad.

5.1.3. Idear

- Se deben considerar soluciones como adaptaciones en el vehículo, rampas de acceso, sistemas de sujeción para sillas de ruedas, tecnología asistencial, entre otras ideas que se fueron dando en la lluvia de ideas y la generación de la solución del paso anterior.

5.1.4. Prototipar

- Una vez se tienen las propuestas en la etapa anterior, se procede a seleccionar las ideas más prometedoras y que tengan mayor potencial de responder objetiva y realmente al proyecto, con base a ello, se crean prototipos de las soluciones. Estos prototipos pueden ser maquetas, dibujos, modelos a escala, o incluso simulaciones en Software, en todo caso, la clave es representar las soluciones de manera tangible para evaluar su viabilidad.

- Seguido al prototipado, se reúne a personas interesadas en el proyecto y que les convenga la solución, es decir, la persona con discapacidad física ya descrita a probar los prototipos y recopilar sus comentarios, comprendiendo si funciona o no, si tiene modificaciones, recomendaciones y demás.

5.1.5. Probar

- Una vez se tiene esa mejor versión posible, se someten los prototipos a pruebas con usuarios reales, en este caso, la persona que tiene la lesión que limita su movilidad en los miembros inferiores. En el proceso se debe observar cómo la persona evaluadora con discapacidad interactúa con las soluciones, todo para recopilar opiniones, experiencias y sugerencias de mejora al producto.
- A partir de los resultados de las pruebas, se realizan las modificaciones necesarias en los prototipos y de ser necesario, las pruebas se repiten.

5.1.6. Iterar

- El proceso de Design Thinking se caracteriza por la iteración, entonces, después de todos los pasos anteriormente descritos, se debe volver a las etapas anteriores si es necesario para refinar y mejorar las soluciones.
- Se debe asegurar de seguir colaborando estrechamente con personas con discapacidad y otros expertos en el campo para garantizar que las soluciones se ajusten a sus necesidades y deseos.

5.2. Diseño General

El inicio de esta parte comienza con la identificación de posibles soluciones, como indica la parte de idear en el método de Design Thinking. Para ello los esfuerzos se deben tener en cuenta las ventajas y desventajas de algunas ideas que se encuentran los antecedentes. Estas ideas se pueden ver en la Tabla **5-1**. Después se entra a considerar las cuestiones del vehículo, como la disposición del mismo. Por lo anterior se procede a definir una idea, con un trabajo de observación a profundidad del entorno de trabajo.

El proyecto sigue la construcción del prototipo, en la que se debe identificar las limitantes del espacio que se tiene, lo que termina siendo parte de los requerimientos. Además de entender cuales son las necesidades del usuario, para ello la comunicación con la persona con discapacidad es muy importante.

Después, todo se va sometiendo a probar, todo mediante cálculos matemáticos y simulaciones. En los casos donde se encuentren problemas, se realiza una iteración de los pasos anteriores. Se prosigue

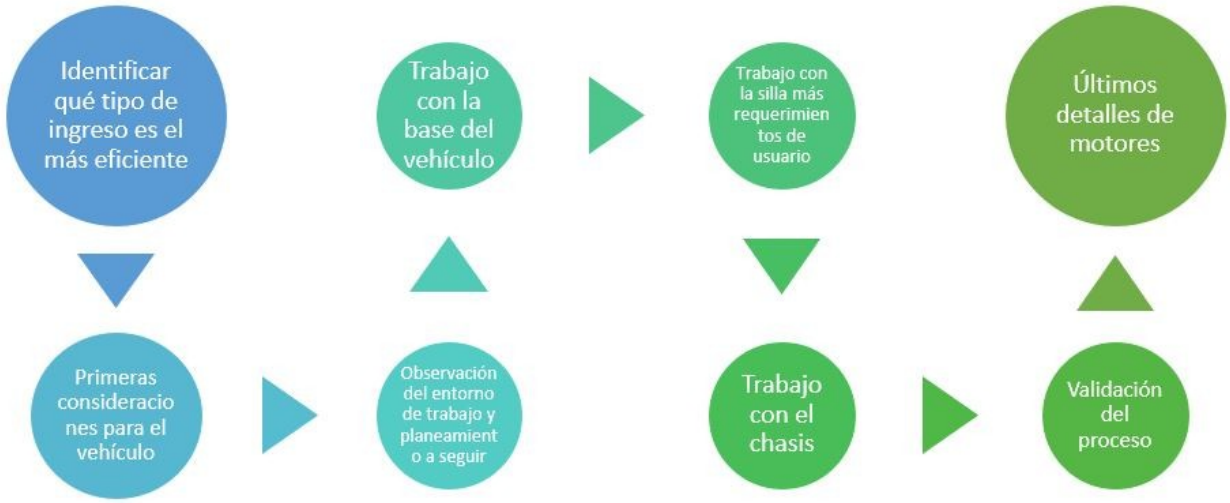


Figura 5-1.: *Esquema general del trabajo realizado.*

con un trabajo de selección de motores, donde se va a necesitar los requerimientos en torque y velocidad, además se debe tener en cuenta que la energía eléctrica vendrá del mismo vehículo. Todo el planteamiento se puede observar en la Figura **5-1**.

5.3. Trabajo realizado

5.3.1. Definición de requerimientos para el prototipo

Para el desarrollo del prototipo, primero se debe idear, para ello se inicio con una descripción principal de lo que se quería buscar, analizando la situación de la persona que queremos impactar con este trabajo. Para esta parte es fundamental entender las características de la persona que usa la silla de ruedas y cual ingreso utiliza.

Con lo anterior se hace la descripción de la persona. Sabemos que es la persona tiene una discapacidad física en sus cuatro extremidades, lo cual indica que no puede hacer propulsión con o sin ayudas de herramientas, debido a que en estos casos se necesita que la persona sea capaz de tener un mínimo de fuerza para el ingreso. Además de lo anterior, la persona con discapacidad cuenta con su propio vehículo y no le es tan sencillo el cambiarlo a un vehículo tipo Van.

Por lo que quedan las ideas de las grúas (de extracción parcial o total de la silla del vehículo) y silla extraíble. Para pensar en la mejor alternativa, se debe profundizar en las necesidades de la persona en silla de ruedas.

Un requerimiento del usuario es tener una baja intervención al vehículo. Se busca realizar las menores

modificaciones posibles. Otro requerimiento es el espacio disponible, la persona en silla de ruedas se encontrará en constante movimiento en su vehículo y necesita mantener espacio en el baúl. Además, sus destinos no son fijos, por lo que puede llegar a diversos lugares donde las grúas no son tan practicas, ya que ocupan mucho espacio.

Por ultimo queda las sillas extraíbles (de forma completa o parcial), en la que ambos pueden ser alternativas viables. La silla extraíble parcial, no permite a la persona sin movimiento alguno debajo de su cuello ingresar de una forma sencilla, esto debido a que debe realizar un cambio de silla, por lo que va a requerir a un tercero con fuerza.

Por lo anterior se puede inferir que la mejor alternativa es la la silla extraíble de forma completa. Ya que se necesita a alguien para iniciar el movimiento pero esa persona de apoyo puede ser suplida por un grupo más grande.

Una vez escogido el tipo de ingreso, se prosigue con el planteamiento de soluciones que puedan solventar las necesidades presentadas. El planteamiento de soluciones siempre debe estar acompañado de la persona con la necesidad, esto para brindar la mejor alternativa a la persona y que la misma sea quien vea sus necesidades siendo solventadas.

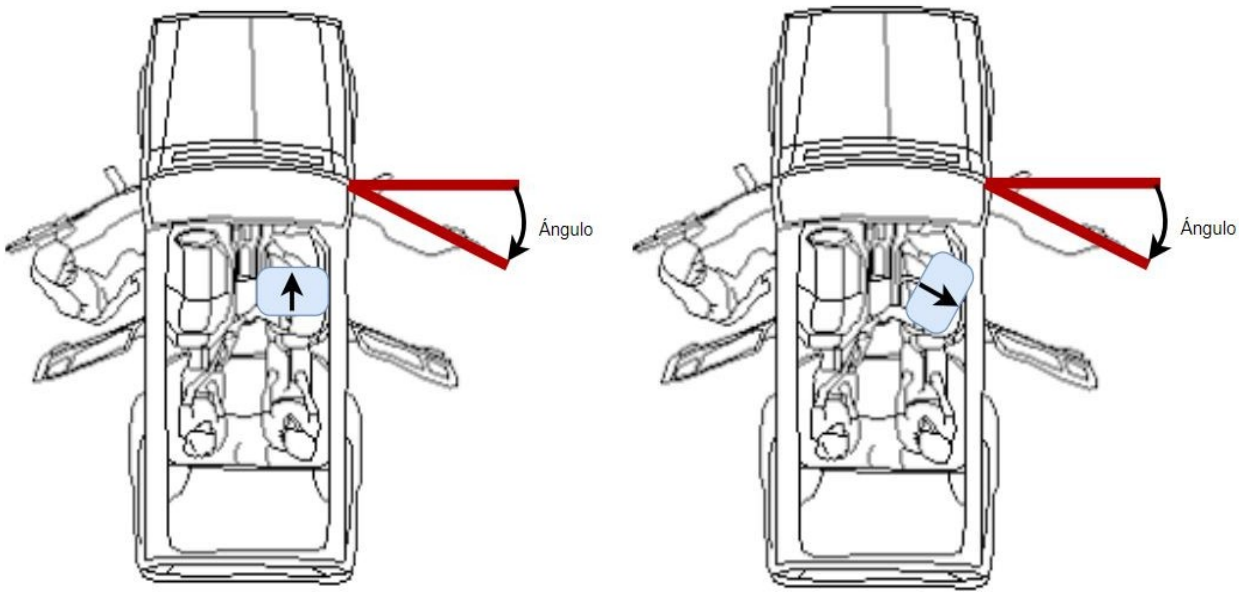
Teniendo en cuenta lo anterior se fue planteando diversas soluciones que siempre estuvieron bajo el ojo de la persona que iba ser impactada con la idea. Se comienza con la descripción del movimiento que va a realizar, entendiendo que la silla del vehículo va salir de forma completa.

5.3.2. Descripción del movimiento a realizar del prototipo

En este caso, para sacar la silla del vehículo se necesitan 2 movimientos. El primer movimiento es de rotación pura lo cual cambia la orientación de la silla del vehículo, que pasa de mirar el vidrio panorámico a mirar el vidrio del copiloto.

Dicha rotación se debe realizar de tal forma que la salida del vehículo sea limpia, es decir, no interfiera con otras partes del vehículo, por lo que la puerta se vuelve un problema, ya que la gran mayoría de puertas tienen una restricción de apertura como se muestra en la Figura **5-2**. Esto indicara el giro debe ser preciso para realizar la salida sin inconvenientes.

Como observamos en la Figura **5-2**b, la orientación depende mucho del ángulo de apertura que tenga la la puerta, por ello es necesario tomar mas medidas y hacer un calculo trigonométrico para encontrar dicho ángulo. Para esto se debe tomar la medida de la puerta, además de la distancia entre la punta de la puerta y el carro de forma perpendicular, como se ve en la Figura **5-3**.



(a) Orientación principal del asiento (b) *Orientación de salida del asiento*

Figura 5-2.: *Orientaciones claves en el movimiento del asiento en el carro, Fuente [Elaboración propia]*

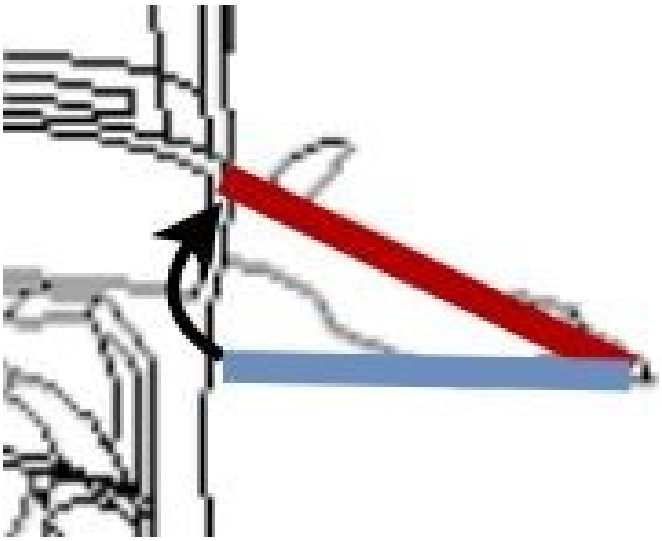


Figura 5-3.: *Ángulo de interés, Fuente [Elaboración propia]*

Con esas medidas tomadas se usa la identidad trigonométrica, la cual se ven en 5-1, ahora despejemos el ángulo lo cual da como resultado 5-2 y reemplazando los datos tenemos que 5-3.

$$cos(\alpha) = \frac{Cateto\ Adyacente}{hipotenusa} \tag{5-1}$$

$$\alpha = cos^{-1}(\frac{Cateto\ Adyacente}{hipotenusa}) \tag{5-2}$$

$$\alpha = cos^{-1}(\frac{963}{100}) = cos^{-1}(0.963) = 15.46986^{\circ} \tag{5-3}$$

Por lo que el cambio de orientación debe ser este ángulo α sumado los 90° de cambio de orientación que el cambio total es de 105.47°.

5.3.3. Planteamiento de sistema montado en el vehículo

Ya teniendo ese ángulo lo siguiente a realizar es el planeamiento del sistema que debe realizar el giro. Este sistema debe contemplar donde va a estar anclado al vehículo y además de los espacios del mismo. Para ello se debe tener en cuenta que la silla del vehículo va a ser retirada entonces la forma de sostenerse al carro puede también ser la base para el sistema rotativo, como se ve en la Figura **5-4**.

Figura 5-4.: *Puntos de soporte, Fuente [Elaboración propia]*

En la Figura **5-4** se puede observar que el asiento está soportado por 4 puntos, que están directos al chasis del carro. Por lo que montar ahí el mecanismos no supone nada de gravedad, además de brindar una base directa con el vehículo.

La idea con eso 4 puntos es generar una platina con el mismo espaciamiento de los agujeros, lo que nos permite poner el sistema de giro y de paso el sistema de recepción o salida de la silla. Entonces

toca contemplar que dicho sistema debe estar integrado con la platina inferior.

Para el diseño de la rotación, se toma de inspiración un motor, gracias a que el movimiento es circular. Lo que podemos tomar es un punto sobre la platina que sea de eje y todo gire al rededor del eje permitiendo el movimiento de una segunda platina la cual permitiría el acople de la silla con el vehículo. Para lo anterior se deben tener unas consideraciones, como por ejemplo ese eje va ser conectado a un motor DC 12v, debido a la batería del carro, lo que permitirá que gire de forma automática, pero para ello se debe evitar que el eje reciba tanto como cargas axiales o cargas radiales.

Sabiendo que toca hacer una placa base y otra de movimiento ahora viene la forma de integrarlos mediante el eje. Entonces la placa de abajo se diseña con la distribución de los 4 agujeros y el espacio del eje como se observa en la Figura **5-5**.

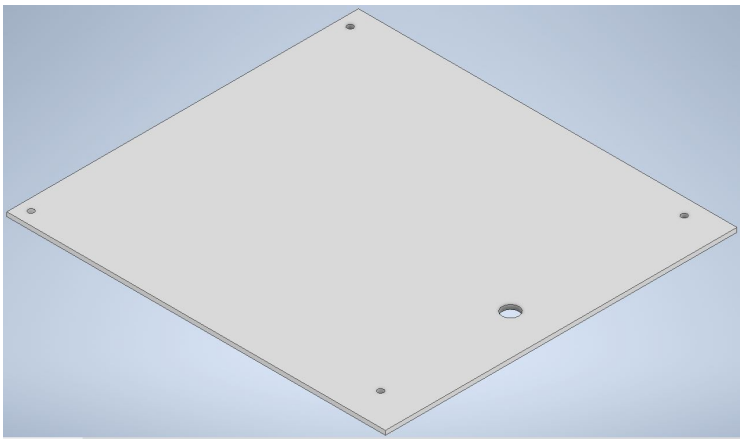


Figura 5-5.: *Placa base, Fuente [Elaboración propia]*

Una vez con la placa base, sigue la placa de movimiento la cual debe ir de la mano con el sistema de movimiento lineal que ha a hacer la silla cuando este en la orientación de salida. Para lo anterior se debe definir el sistema de movimiento, para esto un actuador lineal es el más indicado, pero además de que va a propulsar la silla también hay que tener en cuenta sobre que se va a mover.

El movimiento de la silla fue inspirado por un movimiento que esta presente en todos los carros, ya sea manual o automático, este movimiento es el de regulación de distancia para el piloto y copiloto que se llama riel. Entonces la placa de movimiento debe tener el espacio necesario para tener los rieles, como se ve en la Figura **5-6**.

Con lo anterior ya se puede hacer el diseño del eje, y verificar las diferentes dimensiones que se deben contemplar para luego realizar los cálculos para los factores de seguridad. La idea del eje, como se ve en la Figura **5-7**, es tener ese doble escalón para descansar en rodamientos que son los que van a soportar las cargas, así el eje solo se preocupa en rotar y el motor no necesitará ser muy robusto. El

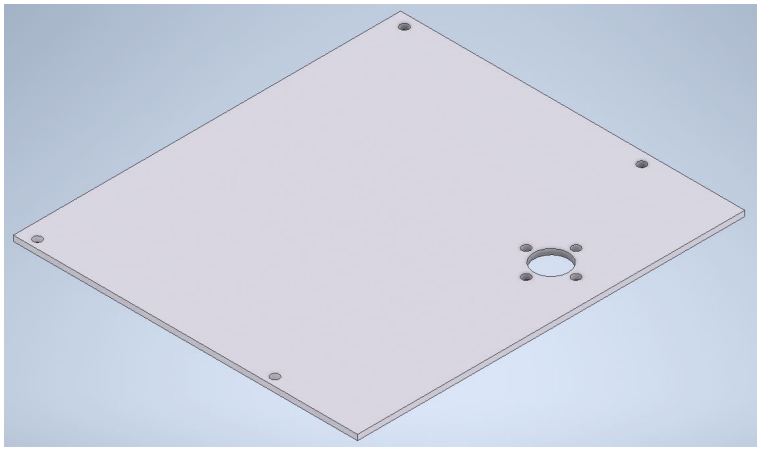


Figura 5-6.: *Placa de movimiento, Fuente [Elaboración propia]*

primer rodamiento cumple con unas características muy especificas, además de su diámetro mayor, también hay que tener en cuenta que los rodillos son cónicas, esto por su versatilidad para cargas tanto axiales y radiales [32]. El segundo rodamiento tiene un diámetro menor pero mantiene una gran capacidad de soportar las cargas axiales y radiales [33]. El uso de 2 rodamientos de estas características es poder amortiguar todos los esfuerzos posibles para que el eje solo se encargue de girar lo que permitiría un eje menos robusto pero con la misma seguridad de que el funcionamiento es el adecuado.

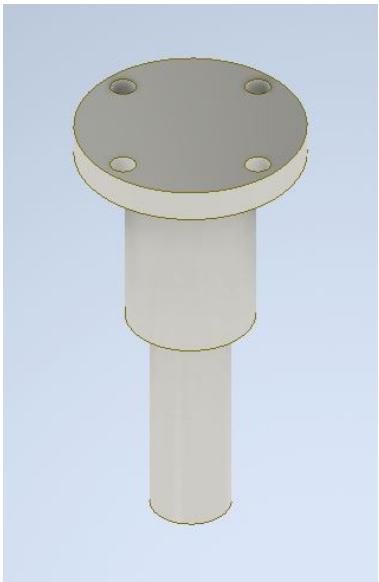


Figura 5-7.: *Diseño del eje, Fuente [Elaboración propia]*

Ya con esos 3 elementos se puede hacer un prototipo funcional que permita ajustar las dimensiones de una mejor manera y validar que el movimiento si se puede realizar, este prototipo se puede ver en la Figura **5-8**. Ya ajustando las distancias se puede entrar a validar todo mediante simulación, lo cual

nos permite verificar materiales y factores de seguridad.

Figura 5-8.: *Prototipo funcional, Fuente [Elaboración propia]*

5.3.4. Trabajo en la silla

Otro trabajo fuerte a realizar es la construcción de la silla de ruedas, o más específicamente el chasis, esto es debido a que esta estructura debe recibir la silla del vehículo. Para la construcción del chasis se debe pensar en la silla, que dará las dimensiones generales. Para ellos se necesita apoyarse del usuario, el cual pidió lo siguiente.

Todos estos requerimientos son importantes y por ello se deben realizar y que parten desde una necesidad del usuario. Todo lo anterior permite hacer el bosquejo de la silla y obtener las dimensiones generales, que son claves para la realización del chasis. El boceto, que se ve en la Figura **5-9**, cabe recalcar que en este boceto se tiene la parte de los rieles para el traslado que no esta en los requerimientos de usuario pero si en los requerimientos del proyecto.

5.3.5. Trabajo con el chasis

Ya con la silla planteada y con dimensiones más aterrizadas lo que prosigue es el trabajo en el chasis de la silla. En este caso se puede hacer un desglose de los componentes importantes del chasis, como lo son las ruedas traseras, las ruedas delanteras, el sistema de freno, los descansa pies y por ultimo la estructura de soporte de todo, la cual tiene variaciones.

Para las ruedas traseras se selecciono ruedas de 12 in, esto porque son de tamaño estándar para silla de ruedas eléctricas y al ser de menor tamaño que las de 24 in nos permite acercar el chasis al vehículo haciendo que en el momento del traslado haya menos momentos soportados por el vació.

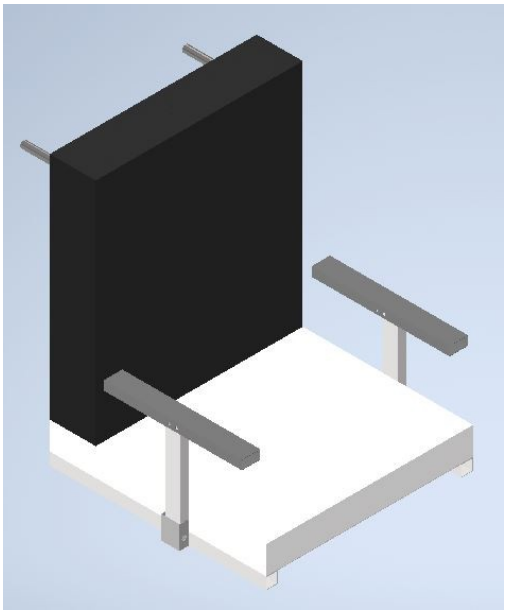


Figura 5-9.: *Boceto silla que se requiere, Fuente [Elaboración propia]*

(a) *Ruedas Traseras*

(b) *Ruedas delanteras*

Figura 5-10.: *Ruedas para la silla de ruedas, Fuente [Elaboración propia]*

En las ruedas delanteras se tienen rudas de 200x50 mm, las cuales son más anchas de la estándar lo que permite solventar de mejor manera algunos obstáculos. Estas ruedas se pueden ver en la Figura **5-10**.

Para el sistema de freno se opto por el clásico, que es un sistema de 4 barras que coloca una pestaña sobre la rueda trasera y frena la silla de ruedas, se puede visualizar en la Figura **5-11**. Adicional a lo anterior la selección de los reposa pies es mantener la postura básica de las sillas plegables, pero

además durante el traslado se necesita otro reposa pies que este vinculado más con la silla que con el chasis, para que se pueda hacer la ubicación de los pies sin llegar a incomodar.

Figura 5-11.: *Freno, Fuente [Elaboración propia]*

Para el esqueleto del chasis se debe tener en cuenta algo muy importante, la altura del vehículo no es constante, varia por diversos factores, la presión en llantas, la cantidad de pasajeros, lo que se lleve en el baúl, cantidad de gasolina, y demás factores que llegan a intervenir en la altura de un vehículo. Pero el traslado debe hacerse de forma tal que todo se encuentre sobre el mismo plano, para ello se opto que el esqueleto haya una forma de subir y bajar la parte superior y todo lo anterior mencionado este en la base inferior.

Para lograr elevar algo con un mecanismo hay varias alternativas, por la que se decanto fue la de los gatos de tijera, las cuales mediante un tornillo sin fin son capaces de elevar un vehículo de 1 una tonelada y media, que se ve en la Figura **5-12**a. para mantener la simetría se empleo 2 gatos uno en cada lateral. Pero esto conlleva a un problema, el cual es que los movimientos de los gatos deben ser sincronizados. Para ello se implemento un mecanismo polea correa, con los piñones de una cicla y la cadena de la misma, como se ve en la Figura **5-12**b, para ello los piñones deben ser del mismo tamaño para mantener una relación 1:1, lo que asegurará la uniformidad del movimiento.

5.3.6. Validaciones de diseño

Ya teniendo todo planteado se debe modelar en 3D, y realizar validaciones por simulación de cada elemento. Para ejecutar de mejor forma las simulaciones es necesario un análisis previo por diagramas de cuerpo libre, para identificar las fuerzas y torques existentes en el sistema.

Diagramas de cuerpo libre

Como se puede observar todos los coeficientes de seguridad se mantienen por encima de 2, por lo que nos indican que los materiales y dimensiones seleccionadas son adecuados y que no hay problema.

(a) Vista del gato tipo tijera (b) *Mecanismo polea correa*

Figura 5-12.: *Sistema de elevación, Fuente [Elaboración propia]*

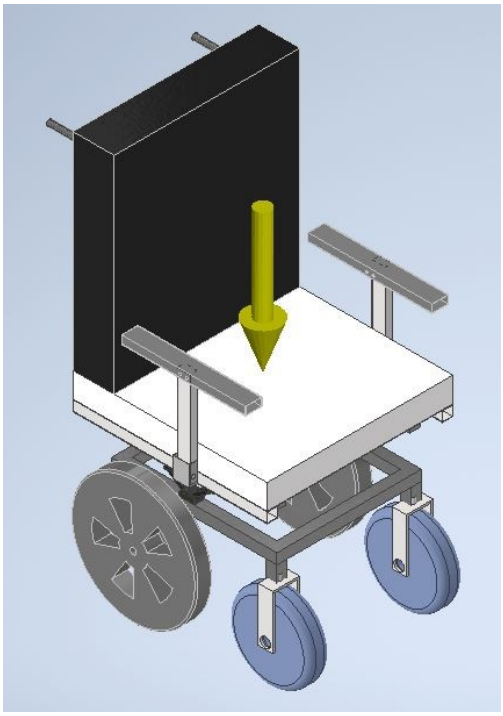


Figura 5-13.: *Silla de ruedas con peso de la silla y peso del usuario, Fuente [Elaboración propia]*

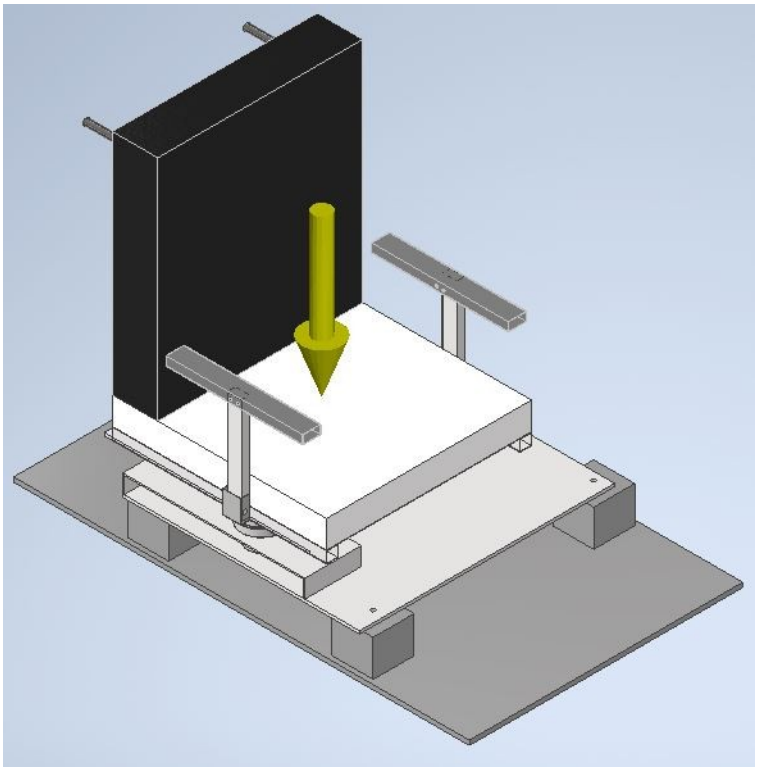
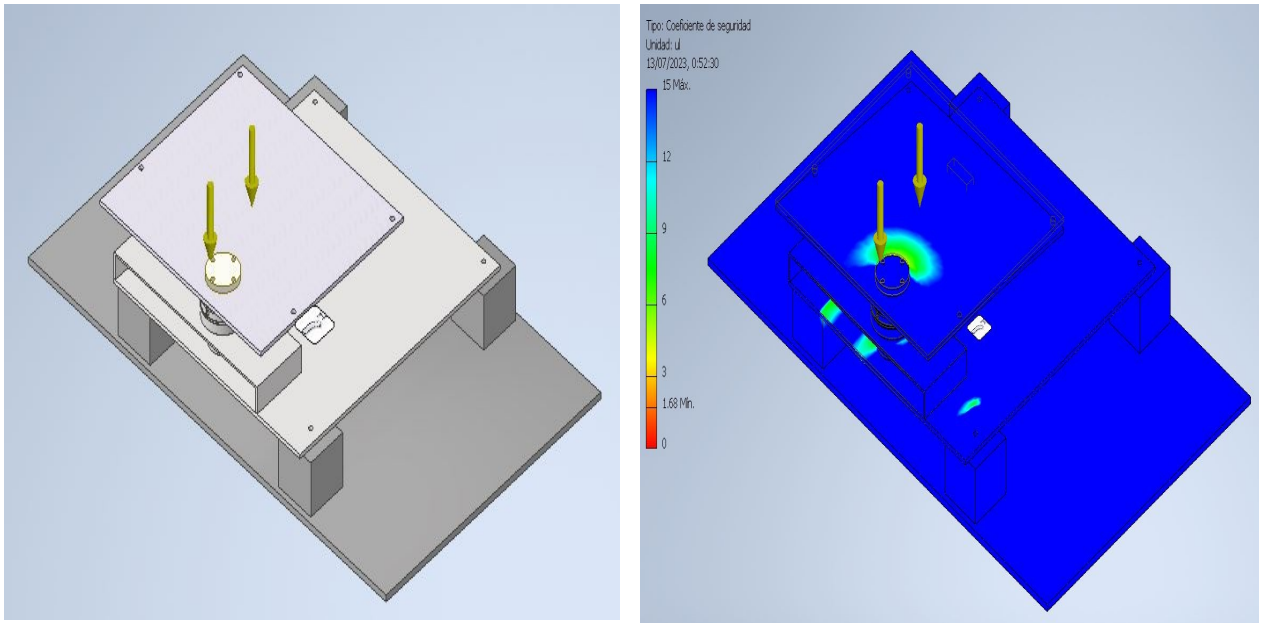
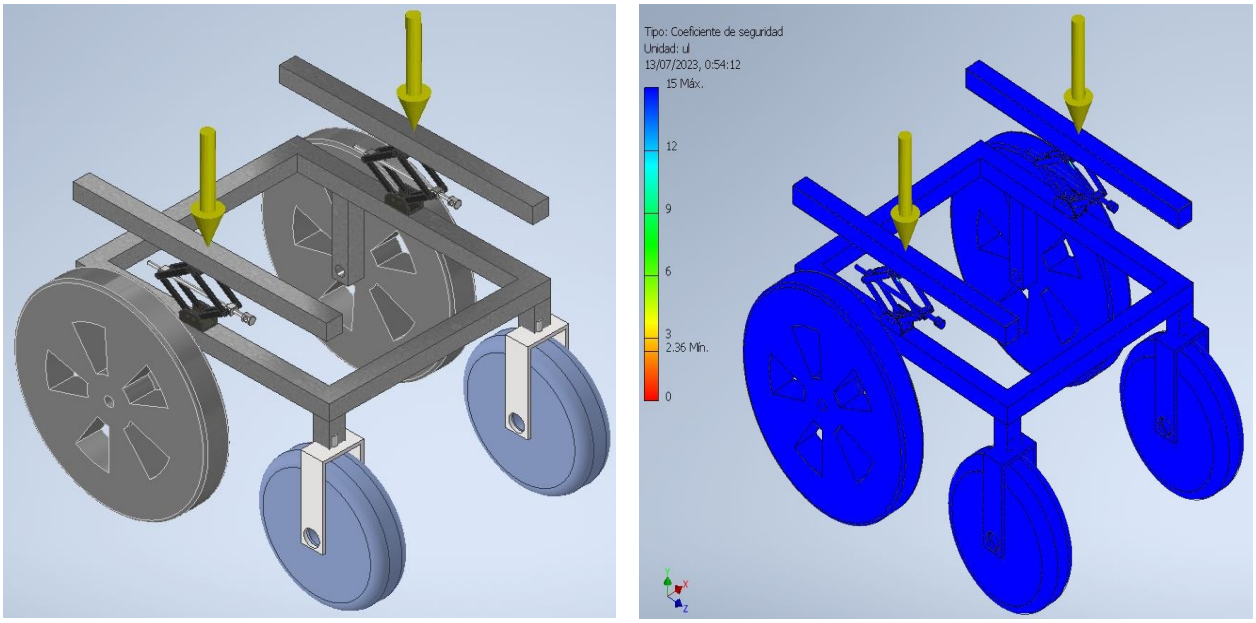


Figura 5-14.: *Silla de vehículo con peso de la silla y peso del usuario, Fuente [Elaboración propia]*



(a) DCL del acople (b) *Coeficiente de seguridad en acople*

Figura 5-15.: *Análisis del acople, Fuente [Elaboración propia]*



(a) *DCL del chasis* (b) *Coeficiente de seguridad en el chasis*

Figura 5-16.: *Análisis del chasis, Fuente [Elaboración propia]*

Ventajas y desventajas forma de ingreso		
Tipo de ingreso	Ventajas	Desventajas
Van rampa	Acceso sin bajar de la silla de ruedas. Comodidad de transporte. Ingreso rápido.	Seguridad dentro del vehículo. Ingreso con desnivel. Modificación del vehículo.
Van elevador	Acceso sin bajar de la silla de ruedas. Ingreso horizontal de la persona. Ingreso moderado.	Seguridad dentro del vehículo. Modificación del vehículo. Requiere un mantenimiento periódico.
Grúa mecánica	No usa energía eléctrica. Cualquier persona puede usarla. No se necesita un vehículo especifico.	Cambio de silla. Persona suspendida en el aire. No tan practica de guardar.
Grúa eléctrica	El motor hace el esfuerzo. No se necesita un vehículo especifico. Baja intervención del cuidador.	Ocupa mucho espacio en el baúl. Usa energía eléctrica. Desgaste de batería externa.
Silla de carro con movimiento	Ingreso de silla a silla más rápido. No importa el tipo del vehículo. No hay problemas con el espacio.	La persona debe intervenir mucho. Paso silla a silla complejo. Modificación del vehículo.
Silla carro extraíble	No se cambia de silla. Silla de ruedas más compacta para guardar. Esfuerzo por parte del motor	Uso de energía eléctrica. El ingreso debe ser preciso. Limitaciones de espacios.
Propulsión con ayudas	No necesita energía eléctrica. No ocupa el baúl Elementos externos para el movimiento.	Persona de ayuda con características especificas. Tiempo de traslado amplio. Ideas complicadas de ejecutar.
Propulsión sin ayudas	No necesita energía eléctrica No ocupa el baúl Independencia de la persona en silla de ruedas.	Persona en silla de ruedas debe tener fuerza. Ayuda para guardar la silla.

Tabla 5-1.: *Tabla de ventajas y desventajas de los tipos de movimiento*

Requerimientos del usuario y Nivel de Importancia para Usuario (NIU)	
Requerimiento	N.I.U
Hacer una nueva silla, no usar la de copiloto que hay.	5
Tapizado de la nueva silla parecida a la que se tiene en el vehículo.	4
Estilo de silla parecida al tipo sparco, que con la forma de la espuma permite ir asegurando a la persona.	3.5
Cinturón de 5 puntos.	5
Apoya brazos.	3.5
Sistema de reclinación mediante barra.	4
Cabecero.	2.5
Sistema retráctil para mangos para impulsar.	4.3
Silla anti escaras.	4.5

Tabla 5-2.: *Requerimientos del usuario con un valor número entre el 1 al 5, donde 1 es de baja importancia y 5 es muy importante*

5.3.7. Selección del motor

Para poder seleccionar el motor se debe ir al DCL de la Figura **5-15**b, y en el punto de apoyo alejada del eje se debe calcular la fricción estática. Para ello se usa la formula de $Fr = \mu \cdot N$, donde N es la normal en ese punto el cual tiene un valor de 600 N y μ es el coeficiente de fricción el cual para 2 aceros es de 0.74 y tenemos que la fuerza de fricción es de $Fr = 444\ N$.

Ahora ya con la fricción calculada se necesita la distancia que hay entre el eje y el punto de apoyo, esa distancia es de 0.4 m, y ya con esto se puede hacer el calculo del torque necesario para mover el sistema, es decir el torque mínimo requerido, el cual es de 177.6 Nm.

Para el control del motor de esas características se pude hacer con la plataforma Arduino, adicionando un driver, el cual no permitirá controlar las corrientes elevadas que pueda llegar a exigir el motor. Además a lo anterior para el Arduino se puede colocar los interruptores, lo cual nos permite accionarlos y ejecutar movimientos del motor, como se observa en la Figura **5-17**.

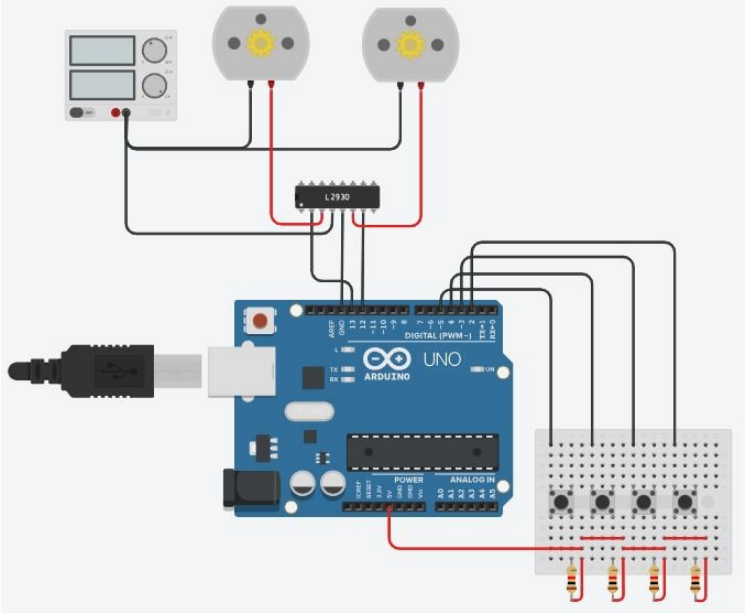


Figura 5-17.: *Circuito para el manejo del motor seleccionado, Fuente [Elaboración propia]*

5.4. Fatiga

En la ciencia de material se conoce como fatiga a un fenómeno donde un material es sometido a una carga dinámica cíclica, lo que hace que el material falle más fácil que con cargas estáticas. Para el calculo de la fatiga se debe tener en cuenta la cantidad de ciclos que va a trabajar la pieza, además de

saber como se comporta el material. Generalmente para los aceros hay una bajada pero después de un punto se dice que el material no cambiara más su valor, pero este generalmente es mucho menor, un ejemplo lo vemos en la Figura **5-18**, donde se observa como el valor baja drásticamente, por lo que es muy necesario hacer un análisis a profundidad.

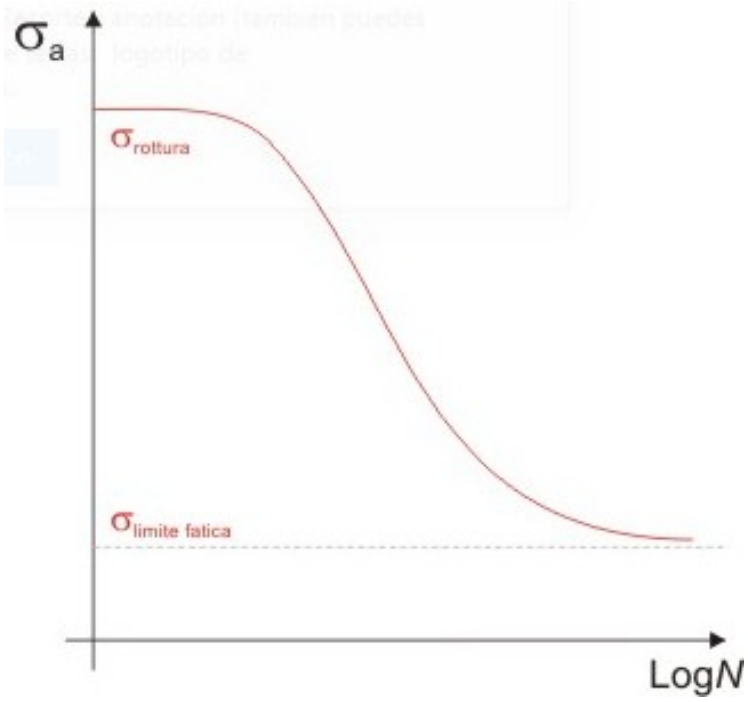


Figura 5-18.: *Ejemplo de curva Wöhler, Fuente [Elaboración propia]*

Para el caso del proyecto el análisis se puede realizar mediante simulación en Inventor, es necesario realizar la cuenta teniendo el valor de los ciclos diarios. Para este caso se estima un total de 4 veces al día, lo que significa salir a un lado y volver a la casa, con lo anterior tenemos que en un año hay $año = 4\frac{30d}{1mes} * \frac{12m}{1año} = 1440$ veces por año. Este caso es considerado como un número bajo de ciclos a realizar, por lo que el análisis por simulación debe validar bien el resultado.

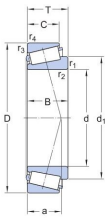
5.5. Estructura - Prototipar

Con todo ya validado y estudiado, lo que prosigue es la selección de elementos normalizados, como lo son los rodamientos, motores y tornillería.

Para los rodamientos se debe tener en cuenta que estas están sometidas a cargas, las cuales son cargas axiales y cargas radiales, por lo que la mejor alternativa son los rodamientos cónicos, que están diseñados para poder soportar cargas elevadas en ambos sentidos.

Es necesario tener 2 rodamientos, como se ven en las Figuras **5-19** y **5-20**, donde cuentan con sus dimensiones y valores necesarios para la selección de los mismos. Los rodamientos son el skf 31305 y skf 31308, respectivamente. Para la compra de estos se busca los proveedores oficiales.

(a) Rodamiento pequeño



Dimensiones

d	25 mm	Diámetro interno
D	62 mm	Diámetro exterior
T	18.25 mm	Ancho total
d_3	≈ 45.8 mm	Diámetro del resalte del aro interior
B	17 mm	Ancho del aro interior
C	13 mm	Ancho del aro exterior
$r_{1,2}$	min. 1.5 mm	Dimensión del chaflán del aro interior
$r_{3,4}$	min. 1.5 mm	Dimensión del chaflán del aro exterior
a	19.689 mm	Distancia de la cara lateral al punto de presión

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	46.6 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	40 kN
Carga límite de fatiga	P_u	4.4 kN
Velocidad de referencia		8 500 r/min
Velocidad límite		11 000 r/min
Valor límite	e	0.83
Factor de cálculo	Y	0.72
Factor de cálculo	Y_0	0.4

(b) Tabla de dimensiones(c) *Datos de cálculo*

Figura 5-19.: *Múltiples imágenes, Fuente [Elaboración propia]*

(a) Rodamiento grande

Dimensiones

Diámetro interno	40 mm
Diámetro exterior	90 mm
Ancho total	25.25 mm
Ancho del aro interior	23 mm
Ancho del aro exterior	17 mm
Ángulo de contacto	28.811 °

(b) Tabla de dimensiones

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	91.1 kN
Capacidad de carga estática básica	81.5 kN
Velocidad de referencia	5 600 r/min
Velocidad límite	7 500 r/min

(c) *Datos de cálculo*

Figura 5-20.: *Múltiples imágenes, Fuente [Elaboración propia]*

(a) Forma del motor

AC/DC	de corriente continua
Tipo	brushless
Voltaje	24 V, 12 V, 48 V, 9 V, 100 V
Índice de protección	CEM
Aplicaciones	industrial
Otras características	con reductor, CANopen, de regulación de movimientos
Potencia	66 W, 110 W, 170 W (0,09 hp)
Par	125 Nm, 225 Nm, 550 Nm (92,1953 ft.lb)
Velocidad de rotación	3.000 rpm (18.849,56 rad.min-1)
Diámetro	57 mm (2,24 in)

(b) *Datos motor*

Figura 5-21.: *Motor, Fuente [Elaboración propia]*

Ya con los rodamientos seleccionados se prosigue con el motor. ya teniendo el torque de $177.6\ Nm$ y sabiendo que el motor será alimentado por la batería del carro, el cual es de $12\ V$. El motor no tiene requerimientos de velocidad por lo que la selección va más por el torque, como se ve en la Figura **5-21**, los datos del motor seleccionado. Un problema son las dimensiones de los motores, el espacio disponible entre el vehículo y la placa no cubre lo de un motor, para ello se debe usar una caja reductora con relación 1:1 o cambiando un poco la relación para conseguir motores más económicos, esta caja reductora tiene objetivo de cambiar la dirección del eje de giro. Por lo que el motor que mejor cumple con las necesidades estén en [34], el cual tiene el requerimiento de torque, lo que permite el movimiento de mejor manera.

Con los anteriores elementos seleccionados se prosigue en la parte de construcción. Los elementos conseguidos se ven en la Figura **5-22**. Se puede observar los materiales del chasis y de la silla, en este paso se colocan todas las partes en el suelo y se ubican de tal forma que se vaya generando la forma de la silla de ruedas, con la idea de ir visualizando distancias, tamaños y espacios no considerados antes.

También es necesario una espuma o colchón anti escaras. Una escara es una lesión en la piel que de no ser cuidada puede traer muchos problemas para los pacientes que la padecen, para ello es necesario evitar todo punto de presión e ir rotando de posición en intervalos de tiempo. Como se ve en la Figura **5-22**, la una espuma tiene de base un prisma rectangular con la diferencia en que su lado superior tienen una geometría muy especifica. Esa geometría esta pensada con el fin de distribuir de forma equitativa las presiones sobre todo el área, además se puede observar que los demás lados mantiene su forma plana.

Figura 5-22.: *Primer croquis de la silla, Fuente [Elaboración propia]*

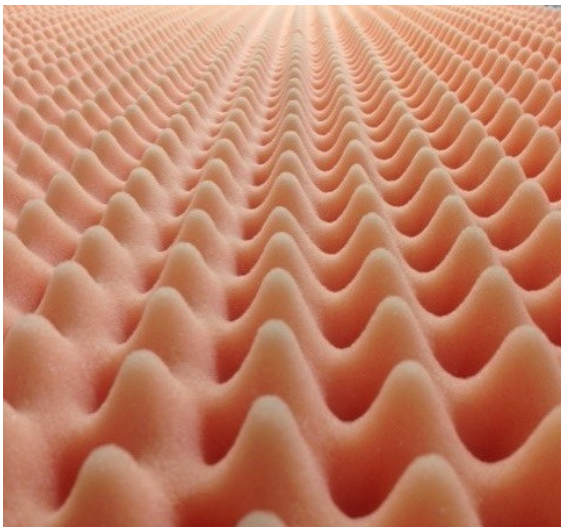


Figura 5-23.: *Una espuma anti escaras, Fuente [Elaboración propia]*

La espuma de la silla es la base para el confort del usuario de la silla de ruedas, por ello su selección

acompañado por el usuario también es importante. Además caber recalcar que el asiento va a ser modificado, la idea es colocar una parte de la espuma anti escaras, Figura **5-23**, con el fin de proporcionar más seguridad en usos prolongados, realizando una protección adicional a los puntos de presión.

Figura 5-24.: *Espuma asiento vehículo, Fuente [Elaboración propia]*

En la Figura **5-25** podemos observar el material para el tapizado de la espuma para el asiento. Esta tela fue seleccionada te tal forma que tuviera un parecido similar a la tela original de los asientos del vehículo, además de tener más valores agregados, tales como ser un material duradero, resistente a los fluidos y de buen transpiración, todo con el fin de brindar una mayor comodidad posible.

Un requerimiento de importancia media son el reposa brazos, Figura **5-26**, por ello se consiguieron de la medida justa para colocar el antebrazo de una persona adulta. Una característica importante es que el reposa brazos es móvil, esto con la idea de dar mayor versatilidad al uso de la silla de ruedas, ya que ingresar por un lateral permite tener una mayor cantidad de posibilidades.

En la Figura **5-27** se observa el primer montaje de la silla de ruedas final, para ello se realizó una soldadura de punto, además el tipo de soldadura es por gas, lo que permite realizar el cordón y los

Figura 5-25.: *Tela, Fuente [Elaboración propia]*

Figura 5-26.: *Descansa brazos, Fuente [Elaboración propia]*

puntos más fácil. Para este punto la estructura sigue siendo muy débil pero ya da una idea de sus dimensiones finales y su peso.

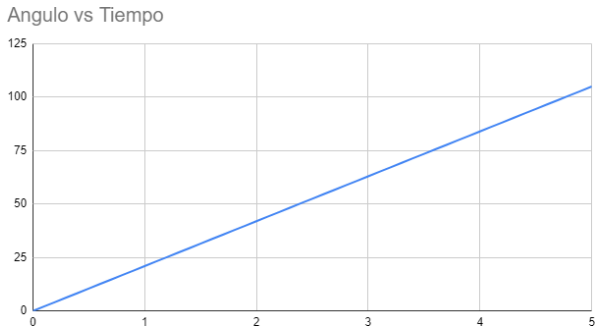
Después de terminar la soldadura a gas, se procede a realizar una verificación de soporte de peso. Para lo anterior se realiza una prueba en movimiento, dicha prueba consta de una avance de 5 metros lineales, seguido de un giro en u, la persona seleccionada para la prueba tiene un peso aproximado de 75 Kg, como se ve en la Figura **5-28**. En la prueba se obtuvo un resultado favorable al soportar de forma adecuada el peso de la persona durante toda la trayectoria pensada.

Figura 5-27.: *Montaje de la silla en su primera etapa, Fuente [Elaboración propia]*

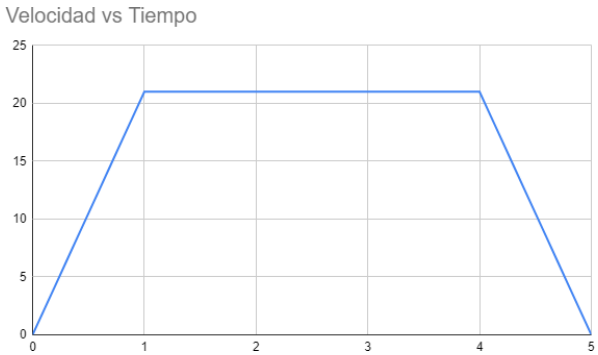
Figura 5-28.: *Prueba estructura silla con peso, Fuente [Elaboración propia]*

5.6. Movimiento

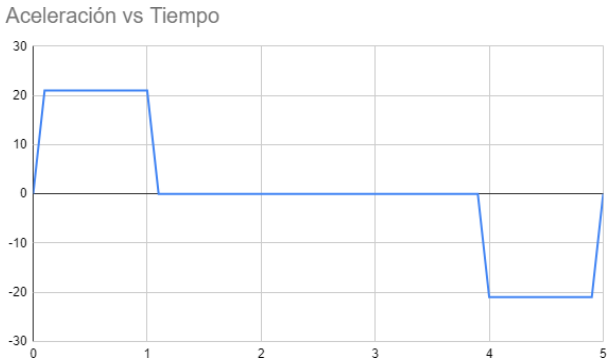
Para el movimiento observamos que el motor debe superar la fuerza de fricción ejercida entre la rueda de soporte y la placa base. Pero un análisis a agregar es el movimiento rotatorio que debe realizar el motor, el cual pasaría de los 0° hasta los 105.47°. Como se puede observar en la Figura **??**, se realizo el cálculo de los perfiles de posición angular, velocidad y aceleración para el movimiento. Cabe resaltar que la idea es que todo el movimiento se realice en 5s, además que en la Figura **5-29**a la distancia esta en grados, la velocidad en la Figura **5-29**b, es una velocidad angular y en la Figura **5-29**c es una aceleración angular.



(a) Ángulo vs Tiempo



(b) Velocidad vs Tiempo



(c) *Aceleración vs Tiempo*

Figura 5-29.: *Perfiles de distancia, velocidad y aceleración, Fuente [Elaboración propia]*

Como sabemos tenemos una función que nos indica el lugar donde debemos estar dependiendo del tiempo transcurrido, que se ve de la siguiente forma, $x = f(t)$, esta función debe derivarse y con eso se construye el perfil de velocidad y tenemos que $v = \dot{x} = \dot{f}(t)$. El perfil de aceleración también se construye con la derivada de la función anterior, lo cual tenemos que $a = \dot{v} = \ddot{x} = \ddot{f}(t)$, sabiendo que $f(t)$ se muestra en la ecuación 5-6. Con ello se puede hacer los cálculos de los demás perfiles.

$$x = f(t) = \begin{cases} 21 \cdot t^2 & si \quad t \leq 1 \\ 21 \cdot t & si \quad 1 < t < 5 \\ 104.47 + \sqrt{t-4} & si \quad t \geq 4 \end{cases} \tag{5-4}$$

$$v = \dot{x} = \dot{f}(t) = \begin{cases} 42 \cdot t & si \quad t \leq 1 \\ 21 & si \quad 1 < t < 5 \\ \frac{1}{2 * \sqrt{t-4}} & si \quad t \geq 4 \end{cases} \tag{5-5}$$

$$a = \dot{v} = \ddot{x} = \ddot{f}(t) = \begin{cases} 42 & si \quad t \leq 1 \\ 0 & si \quad 1 < t < 5 \\ -\frac{1}{4 * (t-4)^{3/2}} & si \quad t \geq 4 \end{cases} \tag{5-6}$$

5.7. Control

En la parte de control tenemos un diagrama de caja negra como o vemos en la Figura **5-30**, en dicho diagrama se encuentran las entradas y salidas del sistema eléctrico. Como se observa tenemos como entrada lo que es la entrada de energía eléctrica, la cual es 12 v de la batería del vehículo, otra entrada es la del control, la cual se compone de 4 botones encargados de iniciar con el movimiento de un motor en un sentido.

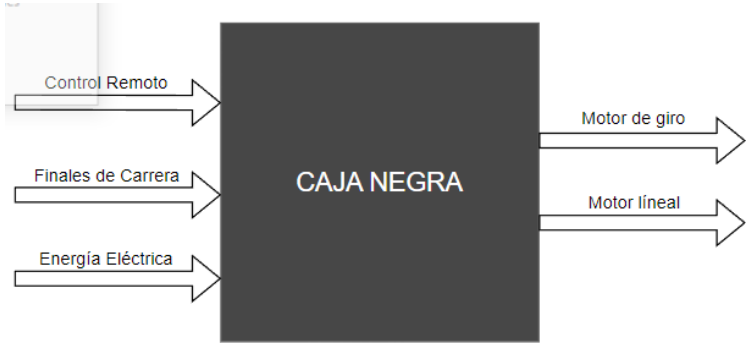


Figura 5-30.: *Diagrama Caja Negra, Fuente [Elaboración propia]*

La última entrada es la de 4 finales de carrera que señalaran los limites físicos que tiene los motores para el movimiento. Como salidas tenemos los 2 motores, el motor para la rotación y el motor lineal, para el movimiento recto de salida de la silla.

Ya con el planteamiento general de entradas y salidas, se propone la especificación del mismo, por ello se apoya con el diagrama de caja gris, que esta en la Figura **5-31**. En la Figura se ve claramente las etapas que deben pasar cada entrada y como se obtiene la salida para cada motor. Para el controlador se necesita alimentar, este normalmente se alimenta a 9 v, por ello tenemos un transformador para reducir la tensión de los 12 que tenemos inicialmente, además de lo anterior el controlador tiene las entradas de los botones y los finales de carrera, que en ambos casos estos deben ser normalmente abiertos, es decir cuando se cierran hay paso se corriente y alertar al micro controlador. Después el micro controlador manda la señal a los drivers para comenzar con el movimiento pero antes de eso debe pasar por un opto acoplador, el cual es un elemento electrónico que permite aislar la parte de potencia y la parte de control, con eso protegemos del micro controlador de corrientes altas. Ya el driver con la señal se alimenta con los 12 v de la batería del carro y comenzamos a manejar los motores, por esta razón los motores deben ser de 12v.

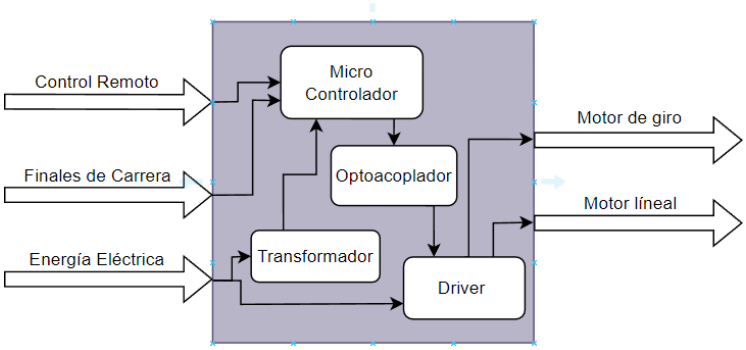


Figura 5-31.: *Diagrama Caja Gris, Fuente [Elaboración propia]*

5.8. Pruebas de funcionamiento - Testeo

5.8.1. Estructura pruebas de funcionamiento

Para la parte de testeo es necesario entender que se va a evaluar. Los parámetros están en la Tabla **5-2**, la idea es idear y estructurar una prueba que verifique el cumplimiento de cada ítem. Para ello se tiene el formato base **5-3**,la cual tiene una estructura sencilla, que se debe tener en cuenta la fecha de aplicación de de la prueba, nombre de la prueba, una breve descripción, un resultado esperado y por ultimo el resultado obtenido.

Nombre de la prueba	_____	Fecha de aplicación	___/___/_____
Nombre responsable			
Descripción			
Resultado esperado			
Resultado obtenido			

Tabla 5-3.: *Formato base para pruebas*

La idea de este formato es recopilar la información de las pruebas y con ello lograr realizar las iteraciones necesarias. Todo con la idea de realizar un proceso de mejora continua respecto al proyecto.

5.8.2. Validación de pruebas

En este apartado se tiene en cuenta que durante todo el proceso hubo una evaluación y reflexión constante, para que el proyecto fuera en un buen camino. Por lo anterior podemos hablar de dos tipos de pruebas, la primera prueba es prueba estructurada y planeada en base a los requerimientos de usuarios. Y la segunda prueba son pruebas de simulaciones.
La primera prueba se centra en el uso de los formatos **5-3**, dichas pruebas buscan verificar el cumplimiento de cada requerimiento técnico y de usuario. Adicional, el no cumplimiento de la expectativa indicaría una nueva iteración en el proceso realizado con la finalidad de mejorar en dicho ítem.

La segunda prueba esta más centrada en la validación de los cálculos de diseño, para ello se realizó un archivo CAD, el cual es fiel a la versión real. Después de tener el modelo lo que se busca simular los esfuerzos y momentos a los que va a estar sometidos, con la idea de validar las propiedades mecánicas y que el prototipo va a funcionar de forma correcta.

6. Resultados

En los antecedentes se pudo observar un poco de la historia de la silla de ruedas. Además se trato de como las personas con discapacidad hoy en día pueden movilizarse en las ciudades, dando pie al análisis para la construcción de una alternativa para la resolución del problema.

Adicional, en la investigación se encontró que en Colombia hay normas técnicas [35]. Esta norma, esta centrada en el movimiento y flujo de una persona con discapacidad en lugares públicos, con la finalidad de incluirlos en estos espacios.

Además, en los antecedentes se pudo encontrar diversas alternativas actuales para el problema planteado. Con esa base investigada, se pudo realizar diversas alternativas, cada una de ellas con sus ventajas y desventajas. A parte de eso, también ayudo para sentar bases a los criterios empleados para la elección de una alternativa.

Dentro del trabajo realizado, la alternativa seleccionada implica un trabajo de diseño mecánico, electrónico y de control. Lo cual hace este proyecto multidisciplinario, y con gran variedad de conocimientos, tal cual como lo es la ingeniería mecatrónica.

Durante todo el proceso realizado, la mejora hizo parte del proceso y se ve reflejada en el uso de Design Thinking. Como se sabe esta metodología permite pasar de pasos y devolverse sin problemas, por ello se pudo viajar a través de los pasos e ir implementando mejoras que permitieron la mejora continua de los procesos.

En los últimos momentos de este proyecto, el trabajo se centralizó en las pruebas. Todo para validar el prototipo y su funcionalidad. Por ello un paso importante fue la estructuración de formatos evaluativos centrados en el cumplimiento de los requisitos por parte del usuario.

Ya por último, se estuvo realizando evaluaciones en todo momento para verificar que el prototipo cumpliera con las expectativas, adicional cabe resaltar que las pruebas estructuradas no se alcanzaron a realizar.

7. Conclusiones y trabajo futuro

7.1. Conclusiones

I. Se puede observar que esta forma de traslado permite hacer menos esfuerzos físicos y las características del acompañante puede ser más flexibles a nivel físico. Por lo tanto, vemos que da más oportunidades para moverse al facilitar el ingreso.

II. Por temas de salud, las personas se necesitan movilizar y más si están en situaciones más complejas, por lo que este proyecto le dan una facilidad de movilizarse con más sencillez y con la menor ayuda posible.

III. Un proyecto que este dirigido directamente a una persona tiene la necesidad de siempre escuchar las necesidades del mismo durante todo el proceso, todo esto con la idea de entregar el mejor proyecto posible en base a la experiencia diaria que tenga la persona. Para ello es importante tener un buen canal de comunicación y sobre todo estar muy pendiente de las cosas que se pidan de forma directa e indirecta.

IV. Trabajar sin un plan aumenta el riesgo de fallos en todo el proceso, pero al planificar bien todo, pasar de etapa a etapa con un orden estructurado permite generar un camino al cual se puede seguir minimizando riesgos.

V. La academia y el mundo real tiene brechas aun marcadas, a pesar de que estén explicando lo mismo el mundo real siempre tiene variaciones que no se toman en la academia y esto puede generar fallos que no estaban contempladas desde la academia. Por lo tanto, es necesario elevar los factores de seguridad, esto con el fin de asegurar aún más los resultados provenientes desde cálculos teóricos o simulaciones.

VI. El proyecto resulta ser una solución idónea que cumple con la mayoría de los requisitos necesarios. Este sistema ofrece una forma eficiente de facilitar la movilidad de las personas con discapacidad sin requerir una intervención invasiva en el vehículo.

VII. Este sistema no solo beneficia a las personas con discapacidad, sino también a sus acompañantes, al eliminar la necesidad de realizar maniobras peligrosas y potencialmente perjudiciales para la integridad física de todos los involucrados. Además, al no cambiar el asiento del vehículo durante el proceso de acople y desacople, se garantiza la seguridad de la persona en silla de ruedas, lo que mejora su calidad de vida y facilita su movilidad en la ciudad.

7.2. Trabajo futuro

Lo que sigue para el proyecto es con la finalidad de impactar de forma positiva en la vida de una persona en estado de cuadriplejía. Por ello en necesario terminar la validación de fatiga, además de la búsqueda del motor con la caja reductora adecuada para el cambio de sentido del eje.

Todo ello para terminar con el sistema de giro, el cual es parte clave para lograr el ingreso al vehículo. Además de lo anterior se debe trabajar en la parte de construcción de la silla, ya que el tapizado, colocar el cinturón de 5 puntos y los descansa brazos son partes importantes para el usuario.

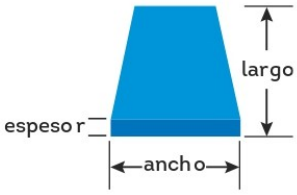
Para culminar el trabajo se puede pensar en un sistema inalámbrico y conectado por medio de bluetooth, esto para dar facilidad a los acompañantes de desprenderse de un control físico y volverlo virtual, que el trabajo se realice desde el celular.

Ya para avances más alejados se debe tener en cuenta que la idea es la automatización completa, que el chasis se acomode solo, que llegue solo y sobre todo de la mayor seguridad posible. Además de lo anterior pensar en la motorización de la silla de ruedas es un planteamiento necesario, esto con la finalidad de dar más movimiento a la persona en silla de ruedas.

Además, es importante ir probando nuevos sistemas mecánicos para la elevación del chasis, esto como objetivo de obtener un sistema rígido, liviano y plegable, este último es muy importante ya que el espacio del baúl es limitado y entre menos espacio ocupe mejor será la experiencia para el usuario.

A. Lamina de Acero Cold Roll

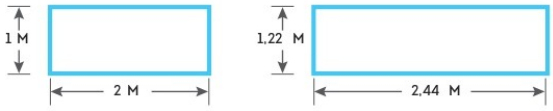
LÁMINAS COLD ROLLED Ó LAMINADAS EN FRÍO



LÁMINAS DE ACERO LAMINADAS EN FRIO								ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
CALIDADES MAS COMUNES		COMPOSICIÓN QUÍMICA						PROPIEDADES MECÁNICAS						APLICACIONES MAS FRECUENTES
ASTM	JIS G 3141	L	C	MN	P	S	SI	LÍMITE ELÁSTICO		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		% ALAR	DUREZA	
A 366	SPCC	MIN						-	-	-	-	32	-	General comercial
		MAX	0,12	0,50	0,04	0,05		-	-	28Kg/mm2		39	-	
A 619	SPCD	MIN						-	-	-	-	34	-	Estampado profundo
		MAX	0,10	0,45	0,04	0,04		-	-	28Kg/mm2		41	-	
A 620	SPCE	MIN						-	-	-	-	36	-	Estampado extraprofundo
		MAX	0,08	0,40	0,03	0,03		-	-	28Kg/mm2		43	-	

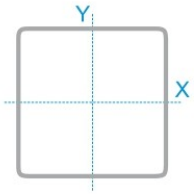
DIMENSIONES Y PESOS DE LAMINAS COMERCIALES										
	ESPESOR M.S.G			1.0 X 2.0MTS	1.22 X 2.44MTS 4'X 8	ESPESOR U.S.G.			1.0 X 2.0MTS	1.22 X 2.44MTS 4'X 8'
	CALIBRE	MILIMETRO	Kg.	Kg.	Kg.	CALIBRE	MILIMETRO	Kg.	Kg.	Kg.
LÁMINAS EN FRÍO	26	0.455	3.66	7.32	10.89	26	0.476	3.74	7.47	11.12
	25	0.531	4.27	8.54	12.71	25	0.556	4.36	8.73	12.99
	24	0.607	4.88	9.76	14.53	24	0.635	4.98	9.97	14.84
	23	0.683	5.49	10.98	16.35	23	0.714	5.60	11.21	16.68
	22	0.759	6.10	12.21	18.17	22	0.794	6.23	12.46	18.55
	21	0.876	7.04	14.09	20.97	21	0.883	6.93	13.86	20.63
	20	0.912	7.33	14.67	21.83	20	0.952	7.47	14.95	22.24
	19	1.062	8.54	17.08	25.42	19	1.111	8.72	17.44	25.96
	18	1.214	9.76	19.52	29.06	18	1.27	9.97	19.94	29.68
	16	1.519	12.21	24.43	36.36	16	1.588	12.46	24.93	37.11

FORMATOS DE LÁMINAS MÁS COMERCIALES EN COLOMBIA



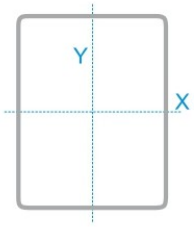
B. Tubos de Acero Cold Roll

TUBERÍA DE ACERO PARA FABRICACIÓN DE MUEBLES - CUADRADOS, RECTANGULARES Y OVALADOS.



TUBOS CUADRADOS

DIMENSIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	DIMENSIÓN EXTERIOR (pulg.)	ESPESOR DE PARED (mm)	ESPESOR DE PARED (pulg.)	ESPESOR DE PARED Calibre	PESO TUBO 6 m (Kg)
1/2"	0.50	12.700	0.70	0.028	23	1.594
			0.80	0.031	22	1.757
			0.90	0.035	20	1.970
			1.10	z.043	19	2.388
3/4"	0.75	19.050	0.70	0.028	23	2.450
			0.80	0.031	22	2.703
			0.90	0.035	20	3.039
			1.10	0.043	19	3.700
			1.20	0.047	18	4.027
1"	1.00	25.400	0.70	0.028	23	3.264
			0.80	0.031	22	3.605
			0.90	0.035	20	4.057
			1.10	0.043	19	4.951
			1.20	0.047	18	5.394
			1.50	0.059	16	6.704
1 1/2"	1.50	38.100	0.80	0.031	22	5.527
			0.90	0.035	20	6.227
			1.10	0.043	19	7.618
			1.20	0.047	18	8.308
			1.50	0.059	16	10.362



TUBOS RECTANGULARES

DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPESOR DE PARED (mm)	ESPESOR DE PARED (pulg.)	ESPESOR DE PARED Calibre	PESO TUBO 6 m (Kg)
12 X 25	0.80	0.031	22	2.496
	0.90	0.035	20	2.804
	1.10	0.043	19	3.413
	1.20	0.047	18	3.713
	1.50	0.059	16	4.593
18 X 32	0.80	0.031	22	3.605
	0.90	0.035	20	4.057
	1.10	0.043	19	4.951
	1.20	0.047	18	5.394
20 X 40	0.80	0.031	22	4.344
	0.90	0.035	20	4.892
	1.10	0.043	19	5.977
	1.20	0.047	18	6.515
	1.50	0.059	16	8.111
25 X 50	0.80	0.031	22	5.527
	0.90	0.035	20	6.227
	1.10	0.043	19	7.618
	1.20	0.047	18	8.308
	1.50	0.059	16	10.362
30 X 44	1.20	0.047	18	8.308
	1.50	0.059	16	10.362
38 X 76	1.00	0.039	19	10.459
	1.10	0.043	19	11.515
	1.20	0.047	18	12.568

Referencias

[1] [14] L. Romman and. A. Forthomme, ‘‘Wheelchair as a solution to mobility,’’ International Journal of Engineering and Development, vol. 61.

[2] C. B. D. M. F. L. G. T. F. d. S. J. P. C. C. L. R. L. F. C. C. d. C. Luís Gustavo de Souza Pena, ‘‘Limitaciones y Posibilidades en el Entrenamiento del Baloncesto en Silla de Ruedas,’’ Revista Peruana de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, 2020.

[3] Autohaus NIX GmbH, ‘‘VW Caddy Handicap Umbau für Passivfahrer - VW Nutzfahrzeuge,’’ 2021.

[4] KRDO // KIDO // Senior-Care, ‘‘Toyota & KRDO.pl | Samochód dla osoby z niepełnosprawnością - komfort i bezpieczeństwo,’’ 2022.

[5] Cavenaghi, ‘‘MULTILIFT - transferência da pessoa com mobilidade reduzida.,’’ 2014.

[6] TEKVOBIOINGENIERIA, ‘‘GRÚA PARA INGRESO A VEHÍCULO | ENSAMBLE Y SALIDA DEL USUARIO,’’ 2017.

[7] AdaptNEWS, ‘‘XL BASE,’’ 2013.

[8] BraunAbility Europe, ‘‘Wheelchair transfer to car seat,’’ 2014.

[9] Luisito Comunica, ‘‘¿Cómo conduce un auto alguien en silla de ruedas?,’’ 2021.

[10] EquipMeOT, ‘‘How to Complete a Slide Board Transfer | Wheelchair to Car | Paraplegic Transfer,’’ 2021.

[11] Real Academia Española, ‘‘Discapacidad,’’ 2023.

[12] Alberto Vianney Trujillo, EL HOMBRE UN SER SOCIAL, vol. 28. Universidad Mariana, 1 ed., 2014.

[13] Agustina Palacios, El modelo social de la discapacidad: orígenes, caracaterización y plasmación en la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. 1 ed., 2008.

[14] Corte Constitucional, ‘‘PERSONAS CON DISCAPACIDAD COMO SUJETOS DE ESPECIAL PROTECCION CONSTITUCIONAL,’’ 2023.

[15] Pilar Samaniego De Garcia, Aproximación a la realidad de las personas con discapacidad en Latinoamérica. 2006.

[16] Secretaria de salud, ‘‘Personas certificadas con discapacidad en Bogotá,’’ 2022.

[17] Redacción Bogotá, ‘‘¿Bogotá es una ciudad accesible para personas con discapacidad?,’’ 2 2021.

[18] Santiago Esteban Ocampo Rojas and Joan Sebastian Gonzalez Torres, Evaluación de la accesibilidad de personas en silla de ruedas al sistema de tr sistema de transporte público masiv te público masivo de Bogotá, T o de Bogotá, Transmilenio ansmilenio . PhD thesis, Universidad de La Salle, Bogotá, 2020.

[19] Alayo Luque Norman Mattie., Mejoramiento de accesibilidad turística del Vivero Forestal en usuarios de sillas de ruedas. PhD thesis, Universidad de San Pedro, Chimbote, 2018.

[20] Sonia Verswyvel, ‘‘Una ciudad para todos,’’ 2008.

[21] F. Moller, L. Ortiz-Muñoz, and S. Irarrázaval, ‘‘Contralateral canes for knee osteoarthritis,’’ Medwave, vol. 20, pp. e7759--e7759, 1 2020.

[22] M. F. Hikmawan and A. S. Nugraha, ‘‘Analysis of electric wheelchair passanger comfort with a half car model approach,’’ in 2016 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), pp. 76--80, IEEE, 10 2016.

[23] F. ROUTHIER, C. VINCENT, J. DESROSIERS, and S. NADEAU, ‘‘Mobility of wheelchair users: a proposed performance assessment framework,’’ Disability and Rehabilitation, vol. 25, pp. 19--34, 1 2003.

[24] M. Wada and F. Kameda, ‘‘A joystick car drive system with seating in a wheelchair,’’ in 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, pp. 2163--2168, IEEE, 11 2009.

[25] Freddy Prada Gacha, ‘‘Diseño de un sistema que facilite la movilidad de personas en sillas de ruedas en Bogotá - MOXI,’’ 2012.

[26] TEKVOBIOINGENIERIA, ‘‘Como ingresar al paciente al carro usando una grúa TEKVO de Acceso a Vehículo,’’ 2021.

[27] Autochair, ‘‘Autochair Milford Person Lift - Patient Hoist / Patient Lift,’’ 2011.

[28] S. Betancourth, U. Federico, and R. Monsalve, ‘‘DISEÑO DE SISTEMA TRANSBORDADOR ENTRE SILLA DE RUEDAS Y VEHÍCULO PARTICULAR,’’ tech. rep., 2017.

[29] MARY ANAIS SANIPATÍN COLLAGUAZO, BASE DE ASIENTO AUTOMATIZADA PARA EL INGRESO Y SALIDA A VEHÍCULOS AUTOMOTORES DE PERSONAS QUE SUFREN DE PARAPLEJÍA. PhD thesis, Universidad Tecnica del Norte, Ibarra, 2017.

[30] OsakidetzaEJGV, ‘‘(8-12) Transferencia de la silla al coche,’’ 2013.

[31] M. Serrano y P. Blázquez, Design thinking, vol. 13. 2016.

[32] SKF, ‘‘31305,’’ 2023.

[33] SKF, ‘‘31308,’’ 2023.

[34] T.C.T. Brasil Semiconductores e dissipadores, ‘‘Motor de regulación de movimientos SQ57 series,’’ 2023.

[35] icontec, ‘‘Accesibilidad al medio físico. Espacios de servicio al ciudadano en la administración pública. Requisitos,’’ 2013.