



Universidad de la República  
Facultad de Ingeniería



# Informe Final

Curso Dalavuelta 2021

Proyecto de Silla Elevadora

Diseño interdisciplinario de silla elevadora para tareas de transferencias y cuidados vinculadas a discapacidad.

Integrantes:

Tiago Garrel 5.154.717-0

Leandro Pérez del Castillo 5.304.593-6

Germán Vázquez 5.061.593-6

Nahuel Araújo 4.867.246-5

Juan Loureiro 4.956.237-0

# Índice

<b>Índice</b>	<b>1</b>
<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Problema abordado</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2.3 Justificación</b>	<b>3</b>
<b>Marco teórico</b>	<b>3</b>
<b>Proceso de diseño</b>	<b>5</b>
<b>Modelos</b>	<b>6</b>
<b>5.1. Modelo: “tijeras”</b>	<b>6</b>
<b>5.2. Modelo: “carro”</b>	<b>8</b>
<b>5.3. Modelo: “sube y baja”</b>	<b>9</b>
<b>5.4. Modelo: “parrillero”</b>	<b>11</b>
<b>5.5. Modelo: “Rampa”</b>	<b>13</b>
<b>Presentaciones y selección</b>	<b>16</b>
<b>Prototipo 1</b>	<b>17</b>
<b>Prototipo 2</b>	<b>21</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>23</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>24</b>

# Resumen

En este informe se expone el trabajo y recorrido realizado por los integrantes del curso EFI Dalavuelta de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR al intentar solucionar una problemática planteada por el equipo docente de la materia. Dicha problemática consiste en el desarrollo de un producto destinado a Manuela, una niña con PCI (parálisis cerebral infantil) y el equipo de cuidadores que reduzca los impactos negativos en el cuerpo asociados a la transferencia diaria de llevarla del piso a una silla y viceversa, buscando una mejoría de su calidad de vida. Atendiendo las necesidades específicas de Manuela, mencionadas por el equipo de cuidadoras, se logró llegar a cinco posibles soluciones, de las cuales dos fueron seleccionadas para continuar desarrollándose y de esta forma se pudo construir un prototipo de las mismas.

## Introducción

En el marco del proyecto del curso “Dalavuelta” 2021, se presentó por parte del equipo docente de la materia, el caso de Manuela, una niña de 11 años que padece Parálisis Cerebral. Dado a que esta condición restringe su capacidad motriz, necesita de asistencia para realizar movimientos de un lado a otro, denominados *transferencias*<sup>1</sup>. Como objetivo global, se nos propuso desarrollar un *producto de apoyo* que mejore la forma en que dichos movimientos se realizan, en particular, la elevación desde el nivel del piso hasta el de una silla, además del cambio de posición que esto implica al encontrarse originalmente acostada de forma horizontal y pasar a una sedente en la silla.

### 2.1 Problema abordado

Encontrar una solución para un tipo de *transferencia* (de posición horizontal a sedente, de diferentes niveles). Esto se debe a que se desean reducir los esfuerzos que en la actualidad implica dicho movimiento, dado que se utiliza una silla convencional. Por lo tanto, los grandes esfuerzos son realizados por el asistente, que a su vez crecieran junto con la edad de la persona.

### 2.2 Objetivos

Diseñar y construir un producto de apoyo utilizando los conocimientos previos adquiridos en la carrera, que a su vez pretende ser lo más económica posible y que no solo disminuya el esfuerzo realizado por el equipo que asiste a Manuela, sino que además

---

<sup>1</sup> Una transferencia consiste en desplazar a una persona de una superficie o lugar a otro.

cumpla con una serie de requisitos ideales, la mayoría basados en un producto que ya se encuentra disponible en el mercado, la silla Raizer.<sup>2</sup>

Las razones que la llevan a ser el modelo de comparación son:

- Fácil armado, manipulación y traslado.
- Casi nulo esfuerzo por parte del asistente.
- Seguro y confiable para la persona que necesita ser levantada.
- Posibilidad de usarla en diferentes entornos, brindando mayor libertad a la persona.

## 2. 3 Justificación

Tanto el mercado nacional, como el internacional ofrecen múltiples soluciones para este tipo de situaciones. Según lo establecido en el Art.20 de la Convención de los Derechos de las Personas con Discapacidad de las Naciones Unidas “*La movilidad personal y la independencia deben fomentarse facilitando la movilidad personal asequible, la capacitación en habilidades de movilidad y el acceso a ayudas, dispositivos, tecnologías de asistencia y asistencia en vivo de movilidad*” (2006, p.16) pero lamentablemente, esto no ocurre cuando hablamos de las soluciones que el mercado ofrece, ya que los costos suelen ser demasiado elevados, haciéndolos inasequibles para una gran mayoría de la población que se encuentra en esta situación. Por ende es de suma importancia acercar más a las personas e instituciones a esta problemática, para poder desarrollar productos que mejoren la calidad de vida de quienes los necesitan independientemente de su capacidad monetaria.

## Marco teórico

Para poder hablar de “discapacidad” debemos entender a qué nos referimos ya que éste es un concepto que continuamente evoluciona. Angelino et al. (2009) entiende a la discapacidad desde el modelo social, es decir, haciendo énfasis en la estructura y la accesibilidad que ésta ofrece a los sujetos en situación de discapacidad. Bajo este paradigma, se reconoce la deficiencia de carácter biológico en el individuo, pero se hace énfasis en el “entorno discapacitante” que, apoyado sobre un sistema de valores transversalizado por la ideología de la normalidad, lo señala como fuera de la norma. Bajo esta definición, podemos decir que con este trabajo, intentamos en cierto grado, reducir estas barreras que crean discapacidad, o al menos hacerlas lo más bajas posibles para que

---

<sup>2</sup> <https://www.infogeriatria.com/media/uploads/noticias/wwraizer2.jpg>



las personas en dicha posición encuentren menos limitaciones en lo que para nosotros es la “normalidad”.

Actualmente, se considera a la parálisis cerebral como un conjunto de trastornos del desarrollo y el movimiento causados por un daño o malformación no progresiva en el encéfalo en desarrollo del feto o lactante. Las particularidades que vuelven a la PCI (parálisis cerebral infantil) de gran importancia son: la severidad con la que afecta y su elevada frecuencia, ya que se estima que aproximadamente 1 de cada 500 niños en edad escolar sufren de la misma<sup>3</sup>, constituyendo una de las mayores causas de discapacidad motriz en la infancia.

Podemos clasificarla por los principales trastornos motrices asociados:

- **Parálisis cerebral espástica:** es la forma más frecuente de PCI. Se caracteriza por una hipertonía, la cual es un exceso del tono muscular que en ocasiones produce articulaciones fijas.
- **Parálisis cerebral discinética:** se caracteriza por un tono fluctuante con movimientos involuntarios, incontrolados y reiterados.
- **Parálisis cerebral atáxica:** el síntoma predominante de la misma es la hipotonía muscular, que al contrario de la PCI espástica, carece de tono muscular.

Como fue mencionado anteriormente, cada uno de estos síntomas, que son solo una parte de la problemática afectan radicalmente el día a día de la persona en cuestión, como de su entorno que para reducir su impacto se han desarrollado a lo largo del tiempo varios *productos de apoyo* para facilitar y mejorar las *transferencias* como los efectos que producen en el cuerpo de la persona afectada como de las que se encargan de realizar las mismas. Pero ¿qué entendemos por *transferencias*? Así llamamos al cambio de superficie de apoyo o modificación a la forma en la que se encuentra soportado el cuerpo, ejemplo de estas son: cambio de una cama a una silla, de una silla de ruedas a un inodoro, etc. Como mencionamos anteriormente, existen distintos productos de apoyo para cada situación dada, como las *tablas de transferencia* (Imagen 3.1.1) que son utilizadas por ejemplo para cambiar de una silla a otra.

---

<sup>3</sup>GOMEZ-LOPEZ, Simón et al. Parálisis cerebral infantil. *Arch Venez Puer Ped*



Figura 3.1.1: Tabla de transferencia<sup>4</sup>



Figura 3.1.2: Grúa<sup>5</sup>

Por otro lado, y con un propósito diferente tenemos los mecanismos de elevación como lo son las *Grúas* (Figura 3.1.2) que permiten pasar de un lugar de apoyo a otro, como podría ser del piso a una cama o mover a las persona con poco esfuerzo.

El problema de estos sistemas ya pensados y fabricados en serie, es que en este caso no son prácticos para solucionar lo planteado, ya que cumplen pero parcialmente con lo que se necesita, o las dimensiones no son las adecuadas. Por si esto fuese poco, aún tenemos otra barrera, más ligada hacia las intenciones económicas de las empresas que producen dichos dispositivos, que, aprovechándose de la necesidad y la falta de soluciones, colocan precios impagables para muchos de quienes se encuentran en esta condición ya que en muchos casos se suma a otros costos como lo son los de rehabilitación como lo puede ser la fisioterapia.

## Proceso de diseño

Para obtener los diseños finales, hubo varias instancias para presentar distintos diseños con diferentes enfoques. En cada uno se llevó una puesta en común, cosas que mejorar o se encontraban posibles causas de error a cada uno. De esta forma pudimos ir avanzando en conjunto con ayuda de los profesores para llegar a diseños que puedan adecuarse correctamente a los usuarios.

Una gran ayuda que tuvimos fue una reunión vía Zoom con las fisioterapeutas que tratan a Manuela. Ellas nos comentaron las dificultades que tienen a la hora de realizar la transferencia dada, y las consideraciones particulares a tener en cuenta. El principal cambio

---

<sup>4</sup> Recuperado de SOLVOSTORE Mercado Libre Argentina.

<sup>5</sup> Recuperado de latiadadelabuelito, 30 dic. 2016.

que ellas nos plantearon fue el hecho de que la silla debería elevarse, y al mismo tiempo el respaldo debe colocarse en posición vertical. Esto reduciría todo el esfuerzo que tanto el asistente y Manuela deben hacer para lograr correctamente la transferencia, sobre todo considerando que al no poder estirar sus piernas por completo debido a la plasticidad muscular el movimiento en conjunto del asiento y respaldo sería el más conveniente para ella.

Pasada la reunión y actualizados los diseños se llegó a una lista de requerimientos tanto en seguridad, comodidad para ambos usuarios, costo, y dificultad de armado. Con los mismos se llegó a realizar una matriz de Pugh. El Método de Pugh es un proceso sistemático de selección de la mejor alternativa de diseño que utiliza de manera conjunta todos los posibles criterios de evaluación implicados. Para ello debemos especificar cuáles son estos, asignarles una importancia relativa y comparar las alternativas en cada uno. Presentamos a continuación todos los prototipos a ser considerados en nuestra Matriz de Pugh.

## Modelos

### 5.1. Modelo: “tijeras”

Luego de las consideraciones anteriores se llegó a un prototipo que denominamos como “tijeras” debido al sistema que utiliza para su elevación como se muestra en el esquema a continuación.

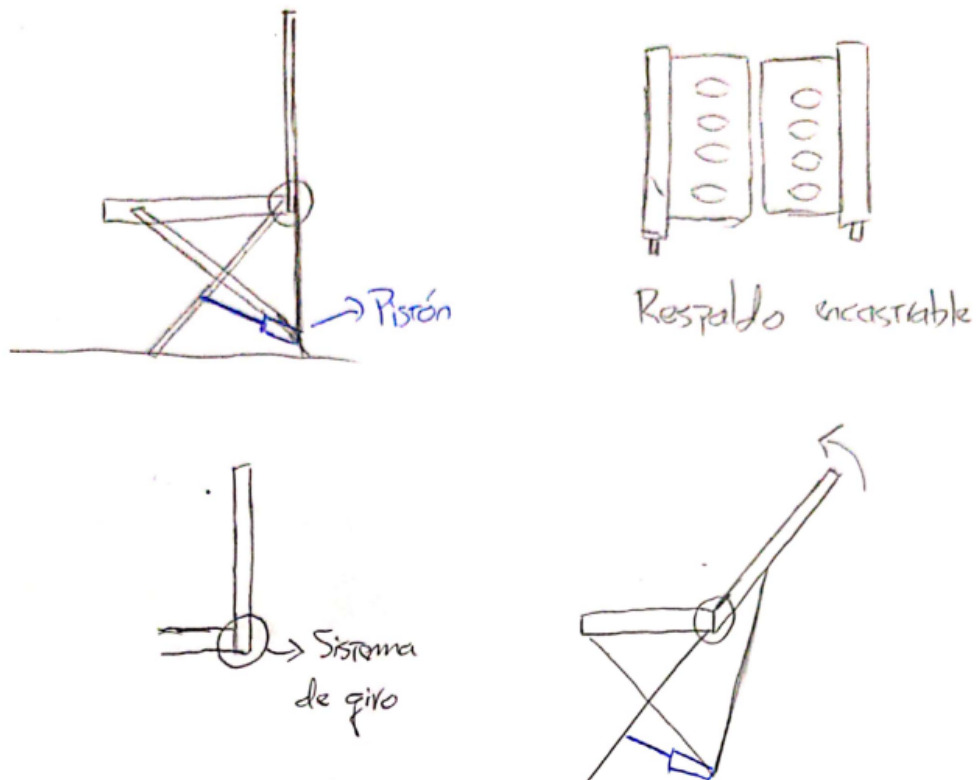


Figura 5.1.1: Esquema de piezas.

La idea de este prototipo consistió en utilizar un pistón eléctrico “fijado” a una de las patas de forma de que utilizando la carrera que el mismo permite poder elevar la silla desde el nivel del suelo, hasta una altura de entre 40 y 45 centímetros. El diseño se basó en todas las consideraciones previas habladas con las funcionarias del centro IDEI<sup>6</sup> (centro al cual asiste Manuela bajo el cuidado de las fisioterapeutas), de forma de cubrir todas las necesidades de Manuela, y al mismo tiempo, poder facilitar el trabajo del asistente que se encuentre con ella.

La misma cuenta con un respaldo de encastre en la base del asiento y un asiento acorde a la necesidad de que Manuela no pueda estirar las piernas por completo. El pistón se coloca a un costado (izquierdo en este caso) de la silla junto a un sistema de elevación de “tijeras”, el cual permite elevando desde el punto adecuado elevar las otras piezas llegando así a la elevación total del asiento y del respaldo en conjunto. Esta parte del sistema se encuentra dentro de una “caja negra” evitando que Manuela tenga algún inconveniente con las partes móviles del sistema.

Como el pistón eléctrico posee una velocidad de 5 mm/s permite que la elevación sea controlada sin movimientos bruscos, dando lugar a que el asistente pueda acompañar

<sup>6</sup> Es una institución que se dedica a la atención de bebés, niños y jóvenes, de 0 a 20 años de edad, con diferentes problemáticas: desde una pequeña dificultad en el aprendizaje escolar, el lenguaje, la comunicación, motriz, sensorial, etc, a patologías severas, de diversa etiología. El mismo se encuentra en San Carlos, Maldonado.

el movimiento en todo momento. Si por algún motivo se debe detener la elevación, el pistón detiene el avance de la carrera evitando que el sistema caiga al suelo. El asistente deberá colocar el respaldo debajo de la espalda de Manuela y las patas del lado derecho, luego la silla hará el resto al ser activada. A su vez el respaldo encastrable posee un sistema con un resorte que aporta una ayuda para lograr elevar el mismo, mientras que el sistema de “tijeras” realiza el esfuerzo más grande desde la parte posterior del respaldo.

La problemática que le encontramos a este diseño es la llamada “caja negra”, ya que la misma puede llegar a ser pesada y complicada para su transporte. También al intentar reducir el tamaño de esta parte, puede complicar el diseño al disminuir ya que las piezas estarían más juntas llevando a algún problema.

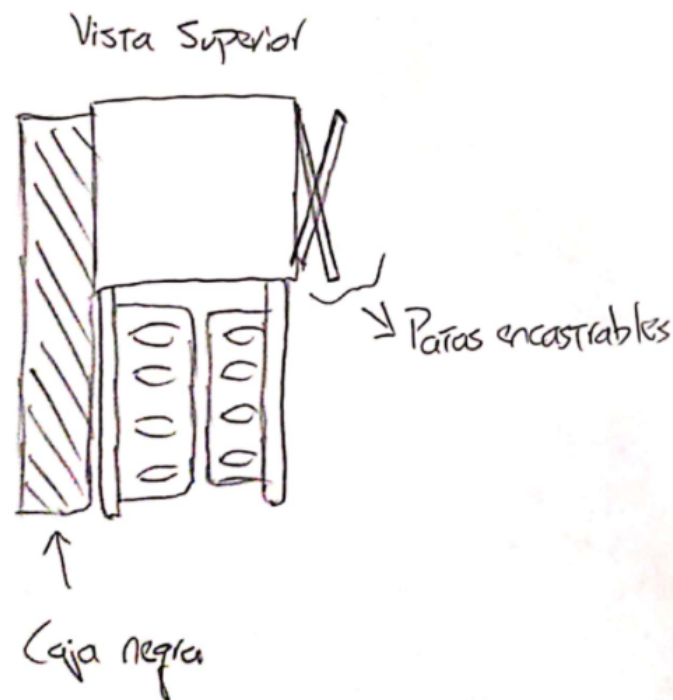
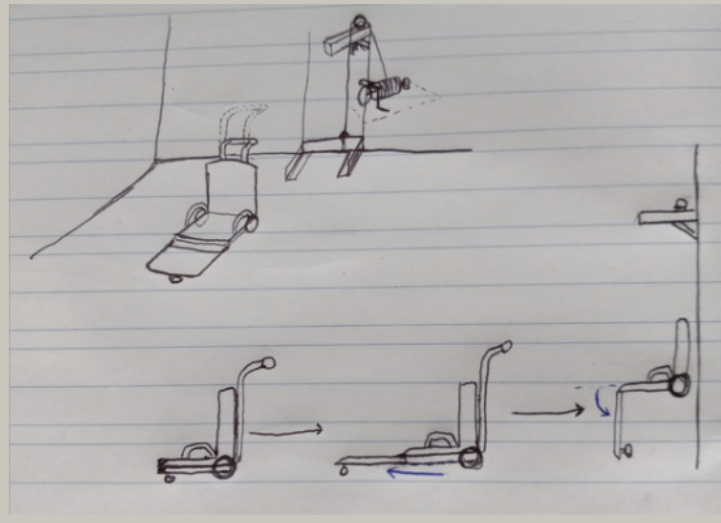


Figura 5.1.2: Vista superior del diseño.

## 5.2. Modelo: “carro”

La idea principal del diseño fue minimizar el esfuerzo proporcionado por el asistente para hacer la transferencia desde el suelo al transporte que se vaya a utilizar. En este caso, como se observa en la Figura 5.2.1, el transporte es similar a una silla de ruedas pero a nivel del suelo. Para solucionar la parte de la elevación, se propuso un sistema a parte integrado en la estructura donde se utilice dicho carro, cuyo sistema de acople permite la sujeción de la persona a la vez que se eleva verticalmente.

- Carro
  - Soportes
  - Plataforma móvil deslizante
  - Ruedas
  - Barandas
- Elevación
  - Sistema sinfín-corona (eléctrico o mecánico)
  - Plataforma elevadora (enganche o plataforma)



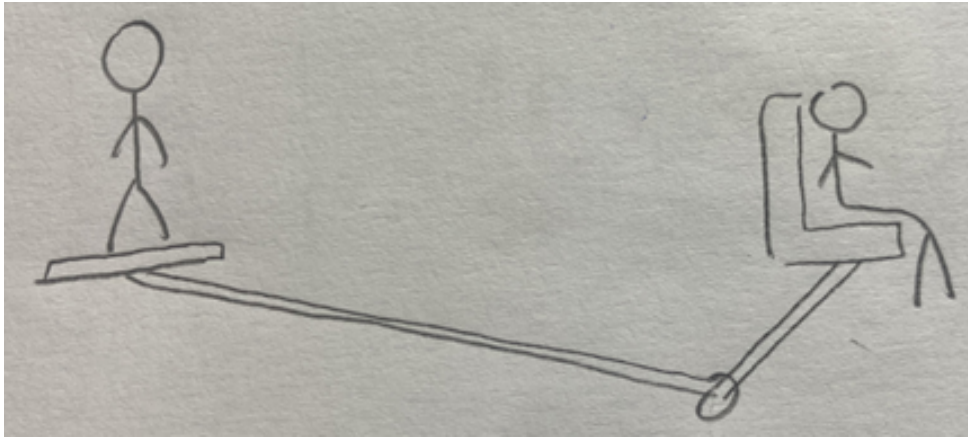
*Figura 5.2.1: el carro*

Como se observa en la figura, al elevarse la parte del carro que sujeta las piernas desciende gracias a estar articulada, por lo que la posición final sería con las piernas dobladas en la posición de sentada usual.

Varias problemáticas se encontraron al respecto. Primero que nada, que el sistema de elevación tenga que estar sí o sí vinculado a una estructura lo hace imposible de transportar. Aunque en un ambiente cerrado puede ser viable, tendría que tener precaución de ciertas curvas que el carro no podría conseguir atravesar por ser muy estrechas. Y por último y más importante, el diseño está pensado para principalmente transportar una persona con cierta movilidad en la cadera y piernas, en quien la posición de sentado con piernas estiradas sea cómoda y de descanso. No es el caso con la espasticidad de Manuela, y este detalle hace que el diseño sea inadecuado para el caso.

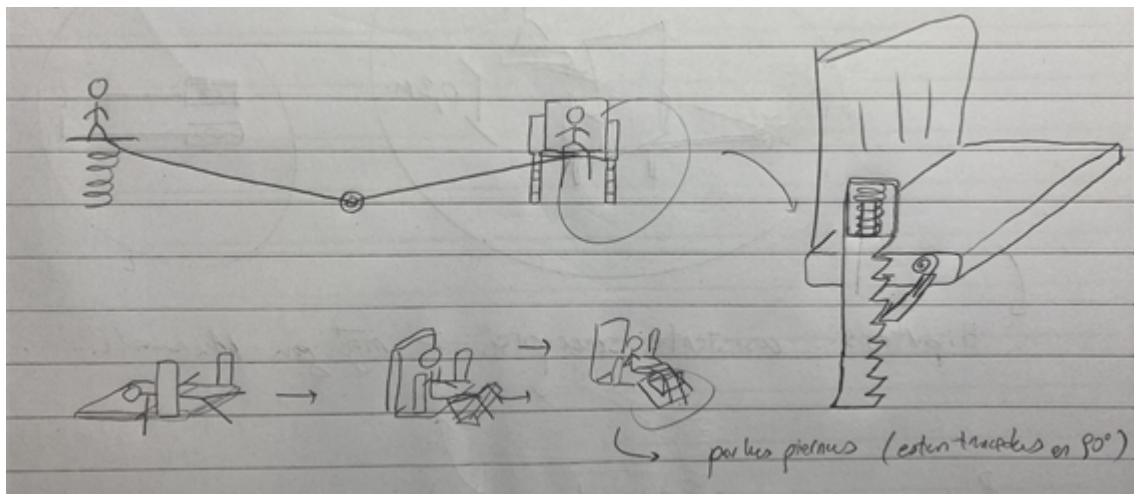
### 5.3. Modelo: “sube y baja”

El concepto comenzó con la idea de minimizar el esfuerzo físico requerido para hacer la transferencia por medio de una palanca. Como se muestra en la figura 5.3.1, en una de las puntas se para una persona y únicamente con su propio peso y por la relación de los dos largos de la palanca poder subir desde la otra punta a la niña en cuestión.



*Figura 5.3.1: Esquema del modelo inicial*

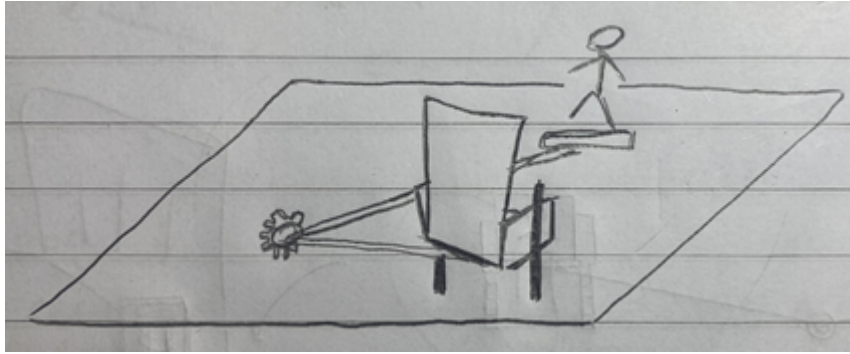
La distancia requerida para que funcione el mecanismo impedía que el asistente estuviera en cercanía de la persona para seguridad. Por lo que en una segunda instancia se pensó cómo podía ser lo suficientemente seguro el mecanismo y la subida como para que no sea necesario un asistente al lado, esto llevó a la *figura 5.3.2*. Desde la nueva punta ascendente se colocaron una serie de soportes y trancas de seguridad en los mismos que se trancan impidiendo un descenso inesperado y repentino a medida que la altura sube además de un asiento con respaldos laterales incluidos para evitar deslizamientos laterales y si además así se desea es posible agregar sujeciones al asiento.



*Figura 5.3.2: Esquema con detalles del modelo corregido*

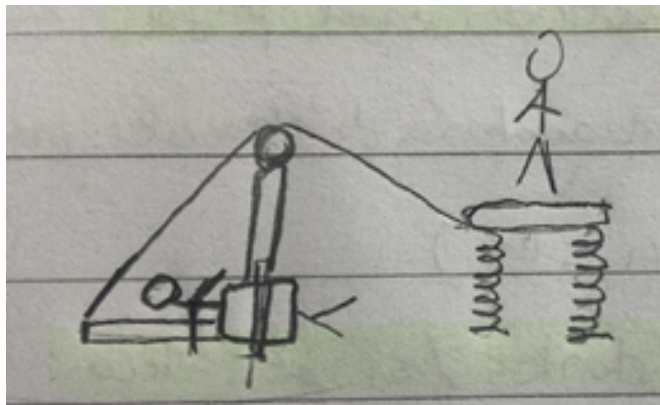
Finalmente, se nos fue comunicado que el asistente siempre debe estar al lado, esto implicó cambiar el concepto al que es mostrado en la *figura 5.3.3*. El mecanismo sigue siendo el mismo con la diferencia que ahora las dos palancas se conectan mediante una caja de engranajes vista en la figura, de esta forma permitiendo que el asistente esté enfrente a la niña.





*Figura 5.3.3: Esquema del modelo final*

Luego de que el equipo se reuniera con las fisioterapeutas que cuidan a la niña, nos hicieron notar la importancia de que la posición inicial sea acostada boca arriba con la piernas en flexión, por lo que el modelo se cambió nuevamente según muestra la *figura 5.3.4* para acomodarse a esta observación. La figura muestra cómo con una cuerda atada al respaldo reclinable del asiento ascendente, pasando por una guía y conectada a la plataforma descendente generan que se levante el respaldo a medida que se eleva el asiento, terminando así en una posición sentada.



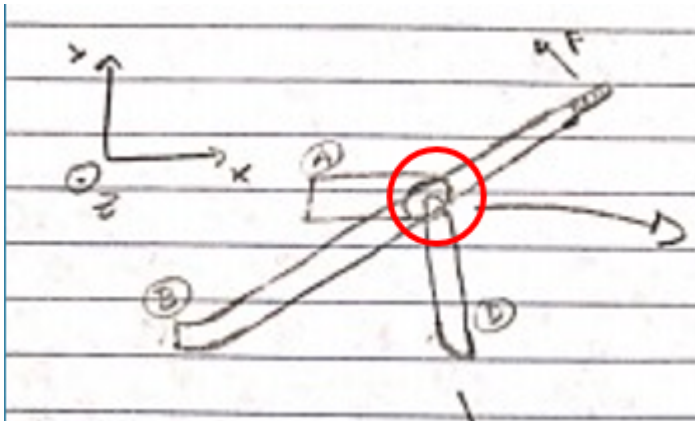
*Figura 5.3.4: Esquema del modelo final con detalles del resorte y polea.*

#### 5.4. Modelo: “parrillero”

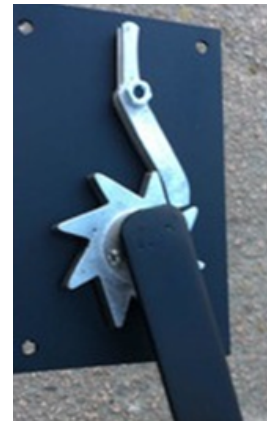
La primer idea para la silla fue la que se muestra en la Figura 5.4.1, la silla mostrada gira sobre el eje z en la parte circulada en rojo, en esta sección posee un sistema de tranca como el que se muestra la Figura 5.4.2, este sistema es utilizado en muchos parrilleros y de aquí proviene el nombre del concepto. Para esta silla el respaldo al igual que el asiento se pueden separar en dos partes de forma de facilitar la colocación de la misma cuando el usuario está en el suelo. La principal desventaja de este modelo es que el asistente que utilice la silla debe levantar la silla desde el suelo hasta una posición elevada, resultando en



un gran esfuerzo y posiciones incómodas; además, el estar detrás de la persona asistida no es una posición recomendable para este tipo de movimientos.

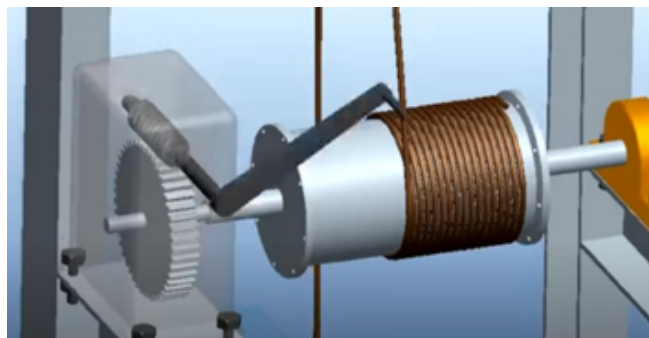


*Figura 5.4.1: Esquema del modelo*



*Figura 5.4.2: Pieza de seguridad*

La primera modificación que se le realizó al modelo fue la de agregar un sistema de manivelas y poleas para la facilitación en la parte de levantamiento. El sistema que se agregó es el que se muestra en la figura 5.4.3, este soluciona dos de los problemas planteados anteriormente, estos son la gran fuerza que debe hacer el asistente en las posiciones incómodas que debía hacerlas y que ya no está detrás del paciente sino que puede estar a un costado, una posición más recomendable para este tipo de movimientos. En la figura 5.4.4 se puede ver toda la silla con el conjunto de poleas y la manivela en la posición final.

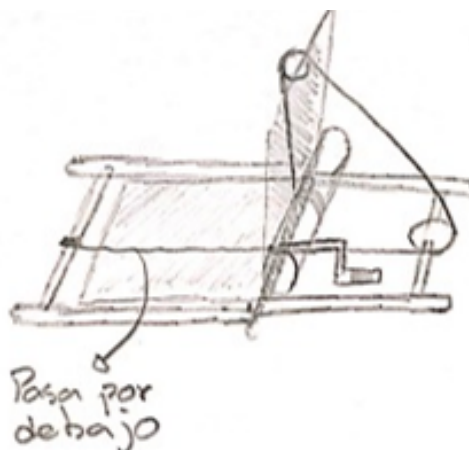


*Figura 5.4.3: Sistema de poleas*



*Figura 5.4.4: Esquema completo*

Posterior a la reunión vía zoom con las asistentes del IDEI, centro al que asiste Manuela, había dos problemas del último modelo a solucionar, el primero y principal el cual era la posición inicial de la silla (en el suelo) y el segundo el cable que pasa por las poleas. La posición inicial, mostrada en la Figura 5.4.5 tiene el problema de que la silla forma un ángulo de 90 grados con el suelo, esto es un problema para las piernas de Manuela principalmente ya que no se pueden adaptar a esta posición correctamente por sus limitaciones. Mientras que el cable que pasa entre las poleas presenta un problema para sus asistentes ya que la manipulación de la silla se dificulta, sobre todo su armado y desarmado.



*Figura 5.4.5: Posición inicial*

El primer problema se resolvió reclinando el respaldo hasta que quede paralelo con el piso y elevando el asiento unos 20 grados, buscando crear un sistema que levante el respaldo al mismo tiempo que se levanta la silla. Por otra parte el problema de las poleas y el cable se resolvió sustituyendo la manivela, poleas y cables por un pisto el cual une las patas de un lado y guías que permitan a las del otro lado acompañar el movimiento.

## 5.5. Modelo: “Rampa”

Este diseño fue pensado basándose en la silla *Raizer* existente en el mercado, que lleva a la persona desde una posición horizontal hacia una lo más parecida a la que tendríamos al estar sentados, ya que, en la mayoría de los casos se busca levantar a la persona del suelo para llevarla a una silla como podría ser una de ruedas para su posterior traslado reduciendo el esfuerzo tanto del o los asistentes como aumentando la comodidad y seguridad de la persona que necesite ser levantada en cuestión. En primer lugar se empezó por diseñar el recorrido que tendría, para luego ajustarlo según las limitaciones de movimiento, seguridad, espacio e incluso de diseño.

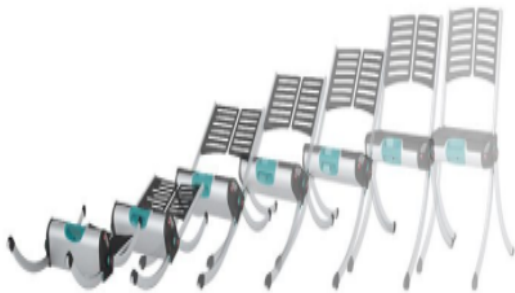


Figura 5.5.1: Silla Raizer.

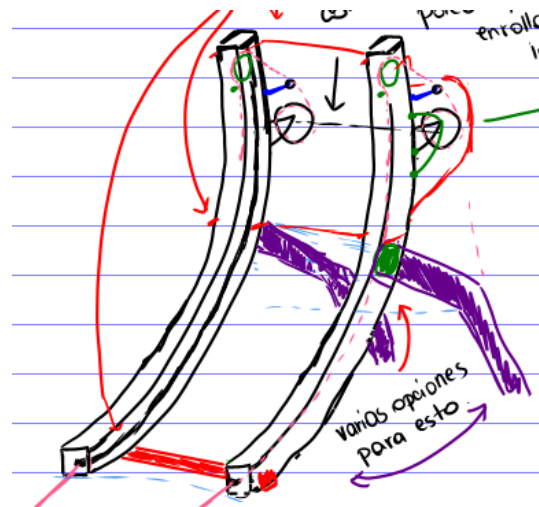


Figura 5.5.2: Idea inicial.

Inicialmente consistía en dos guías curvas paralelas que la llevarían de un ángulo dado a otro, sin movimientos bruscos, mezclando rotación con traslación por lo que los puntos que definen a la curva, debían ser pensados en función de que esto sea posible. Además se propuso que el mecanismo que levantara el peso fuera impulsado por un sistema de poleas y engranajes cuya relación redujeran la fuerza aplicada por el asistente

sin elevar mucho las vueltas que deben darse a la manija para completar la totalidad del recorrido. Además, se encontraba dividido en dos “partes”, por un lado las guías que le daban el movimiento deseado a la persona y por otro, el carro que seguiría dicho recorrido. Cada una de las partes debía ser pensada con todas las precauciones y consideraciones de seguridad para las personas involucradas en su uso. Algunas de las cuales surgen de la misma interacción *persona-máquina* y otras que tienen más que ver con hacia quién nos dirigimos. Por ejemplo:

- Mínima cantidad de movimientos bruscos.
- Tapar mecanismos que puedan lastimar al cuerpo.
- La curva debe respetar la *fisonomía* de la persona.
- Debe poder operar una sola persona.
- Maximizar el contacto visual y la cercanía en general.

El “sistema” de poleas consistía originalmente en dos “rollos”, uno en cada guía, y un *sinfín-corona*. Además, un eje conecta ambos rollos transmitiendo el momento y así enrollar ambos lados al mismo tiempo.

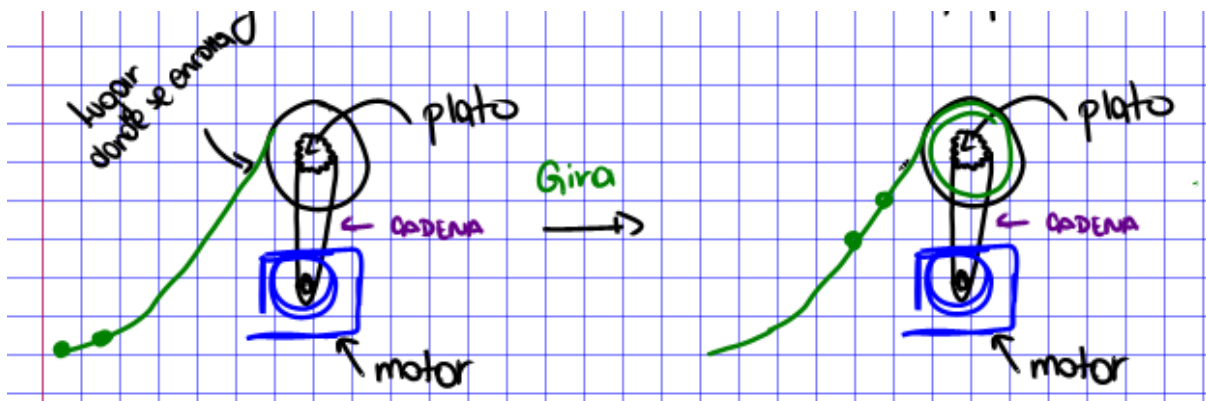
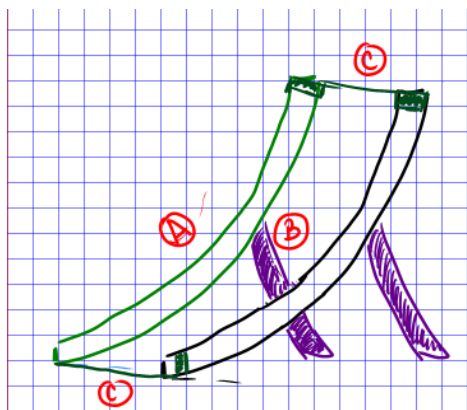


Figura 5.5.3



- (A) Guías y estructura principal.
- (B) Patas de apoyo.
- (C) Barras para estabilizar la estructura.

Figura 5.5.4

El carro, por otra parte, estaba formado por un asiento y un respaldo, que podía girar libremente, acomodándose en la guía a medida que avanzaba, como se muestra en la figura inferior derecha.

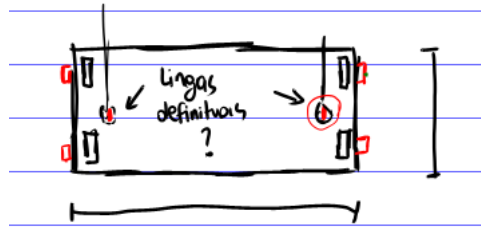


Figura 5.5.5



Figura 5.5.6

La figura 5.5.4 representa la vista inferior del carro. Lo que se aprecia en las esquinas contra los laterales, son las ruedas que permitirán el movimiento mientras el carro se encuentra en el piso. Las dos líneas que se señalan con las flechas, es de donde se tira el carro (al girar la manivela o accionar el motor).

Las ideas para llevar a cabo el recorrido dado fueron varias, que a medida que surgían problemas en el diseño se iban corrigiendo o incluso ideando nuevamente.

## Presentaciones y selección

Una vez concluidas las etapas de modificaciones de los conceptos se procedió a que cada integrante presentará su concepto por última vez con todos los cambios realizados. Posteriormente se realizó una matriz Pugh, la misma la realizan todos los integrantes del grupo de trabajo en conjunto. Esta matriz es una matriz de comparación en la que se comparan todos los modelos expuestos contra un solo modelo, en este caso la silla Raizer. Se contrastan distintos criterios previamente seleccionados por el grupo y considerados relevantes para el proyecto. En una entrada de la matriz están los modelos y en la otra los criterios, para cada lugar en la matriz se evalúa si el criterio lo cumple mejor, igual o peor que la silla Raizer. Si es mejor en la entrada se pone un 1, si es igual 0 y si es peor -1. Finalmente se suman los puntos positivos por un lado y los negativos por otro, esto permite ver cuántas ventajas y desventajas tiene cada modelo en comparación con la silla Raizer. Para los 5 modelos previamente planteados la matriz resultante fue la siguiente:

Concepto	Tijeras	Carro	Sube y baja	Parrillero	Rampa
Fabricación	1	1	1	1	1
Armado	1	0	-1	1	1
Seguridad / confort	1	0	1	1	1
Tamaño / movilidad	-1	-1	-1	0	-1
Peso	0	-1	0	0	0
Tiempo de uso	0	0	0	0	0
Costo monetario	1	1	1	1	1
Transferencia	0	0	0	0	0
Ciclo inverso	0	0	0	0	0
Fuerza del asistente	0	0	0	0	0
Puntos positivos	4	2	3	4	4
Puntos negativos	1	2	2	0	1

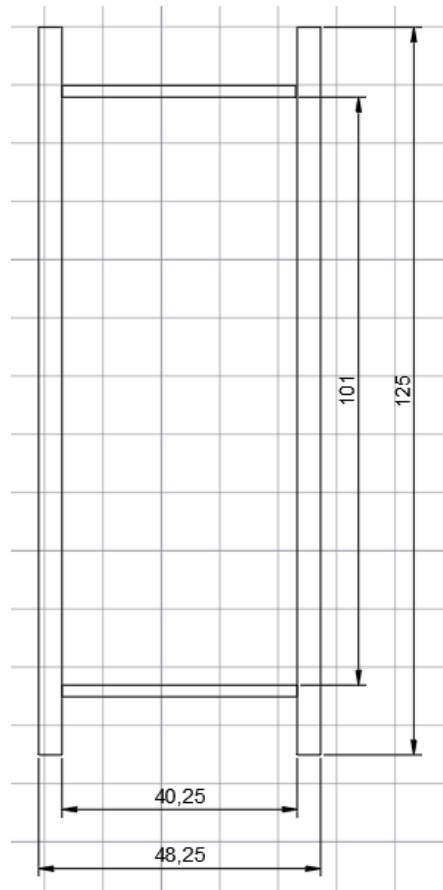
*Tabla 6.1: Matriz de Pugh.*

Una vez concluida la matriz se decidió dividir el grupo de trabajo en dos subgrupos para continuar con el desarrollo sobre dos ideas principales. La primera, una mezcla entre

los conceptos de “tijeras” y “parrillero” (prototipo 1), y la segunda tomando como guía el concepto de “rampa” (prototipo 2).

## Prototipo 1

Luego de elegir los modelo “parrillero” y “tijeras” como base del prototipo final a partir de la matriz Pugh el equipo se reunió para solucionar los problemas que presentaba este modelo. De esta forma se llega al prototipo 1 que se desarrolla en conjunto con los modelos que utilizaban un sistema de pistón. Se deja a continuación un esquema con todas las piezas por separado con sus respectivas medidas sin el asiento y respaldo.



*Figura 7.1.1: Plano ilustrativo, soportes de la silla.*

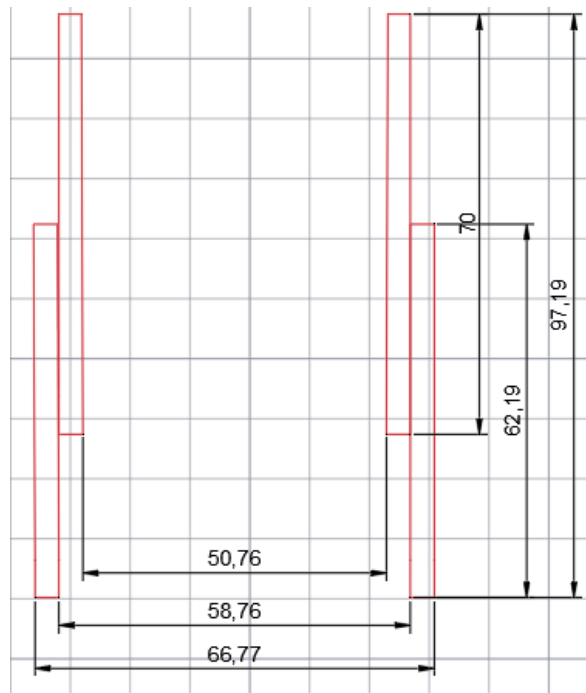
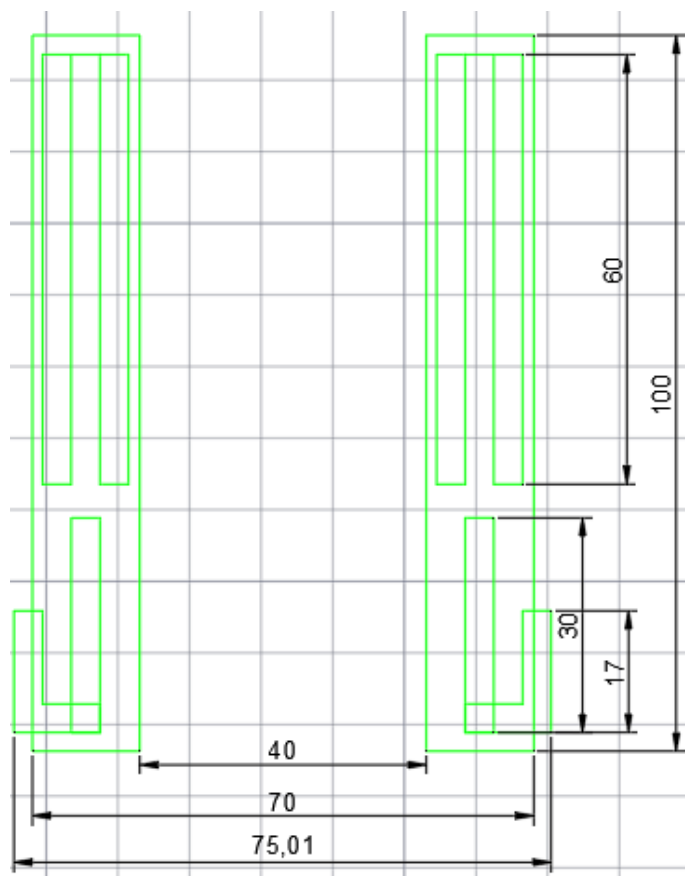
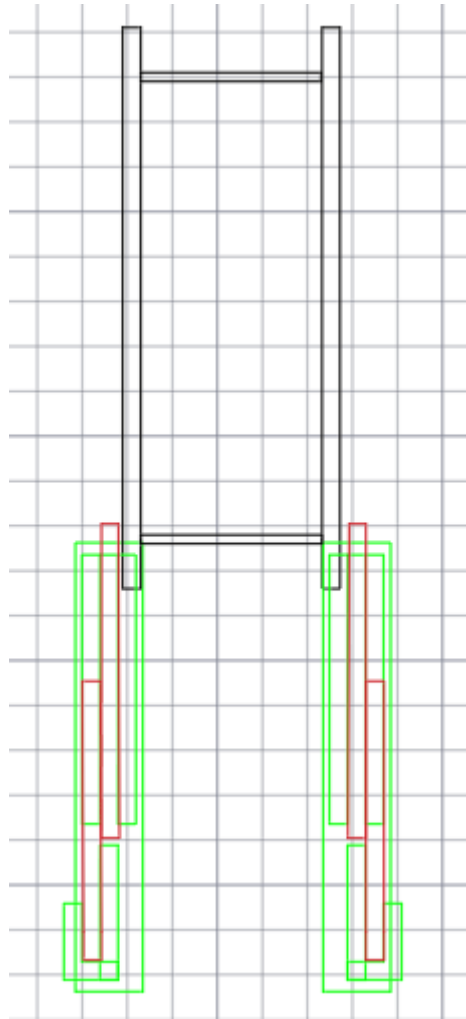


Figura 7.1.2: Plano ilustrativo, sistema de elevación mecánico.





*Figura 7.1.3: Plano ilustrativo, guías que proporcionan estabilidad.*



*Figura 7.1.4: Plano ilustrativo, modelo completo "encastrado".*

El principal problema que se presentó fue lograr colocar el pistón de forma tal de levantar la silla del suelo hasta una altura de 45 centímetros. Por lo que al no poder conseguir una solución en el tiempo propuesto y ni un pistón de mayores dimensiones se procedió a realizar un sistema de elevación mecánico, a modo de poder realizar el movimiento del prototipo. Sin embargo, el modelo final debe contar con un pistón para realizar el trabajo ya que el esfuerzo es grande para una persona, él mismo haría las fuerzas sobre los mismos puntos usados para levantar la silla mediante el brazo utilizado en este prototipo.

El brazo consta de dos barras unidas que logran elevar la silla empujando los soportes conectados a la parte más trasera del asiento. Gracias a las guías se mantiene el movimiento estable hasta su total elevación (manteniendo una fuerza lo más constante posible). Como solución a que la silla quede paralela al piso, se colocó una cuerda con una

punta fija y la otra unida al soporte de más adelante de la silla, que ejerce una fuerza vertical logrando finalizar el movimiento de forma que la silla quede en la posición correcta.



*Figura 7.1.5: Secuencia de movimiento completo.*

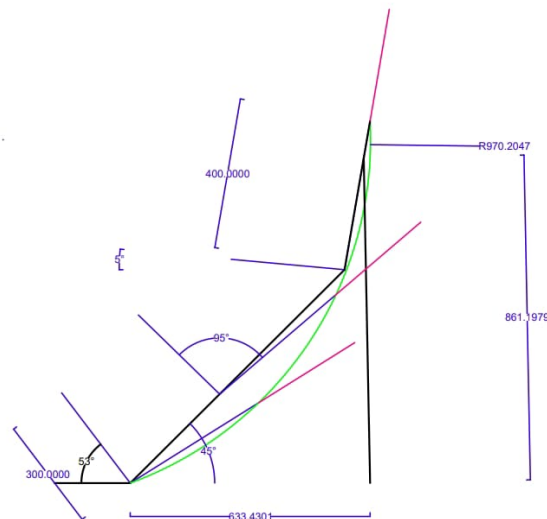
La Figura 7.1.5 muestra la secuencia de movimiento del prototipo construido en el IEM con los materiales disponibles. En la misma puede verse todas las partes que se detallaron anteriormente y la posición final de la silla.

El principal inconveniente es que dado los materiales (madera en este caso) la fricción que se genera es alta, teniendo que generar mucha fuerza (la cual no logra ser constante ya que se hace manualmente) haciendo inestable la elevación, sin embargo, la solución es sencilla, ya que se puede lubricar con parafina o se pueden poner ruedas que faciliten el deslizamiento.

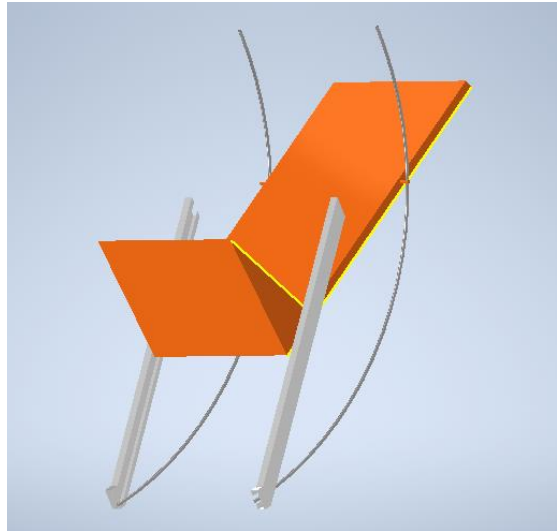
Se logró poner a prueba el funcionamiento colocando peso en la silla armada, logrando su objetivo (sin considerar los errores en la construcción que generan una falta de estabilidad).

## Prototipo 2

En este modelo se pretendió continuar el diseño de la rampa, afinando poco a poco los detalles del movimiento, estructura y componentes. En primer lugar se sustituyó la idea inicial de utilizar únicamente dos guías por dos recorridos distintos: uno para el carro y otro para el respaldo del mismo. A partir de ahí, se detalló la posición inicial y final de la silla, considerando además otro punto intermedio que obtuvimos de establecer un largo máximo estimado de la rodilla para abajo del usuario. Teniendo en cuenta además que su cadera se encuentra en una posición fija que forma unos  $90^\circ$  aproximadamente, para evitar el contacto de sus pies con el suelo mientras el carro hace su recorrido por las guías. Como se ve en la figura 8.2.1, utilizamos AutoCAD para obtener otras medidas que serían de utilidad aprovechando la herramienta *cotas* que brinda el programa. Para mejorar la visualización del diseño, se usó Inventor para generar la figura 8.2.2.



*Figura 8.2.1: Plano ilustrativo de AutoCAD. Se observan distintas etapas del movimiento del carro sobre la rampa.*



*Figura 8.2.2: Imagen del prototipo en Inventor (sin la estructura base que lo sostiene).*

Un problema que se encontraba en el diseño original, era que al comenzar a subir por la rampa las piernas rozaban en el suelo y, al no ser fijo el ángulo del respaldo con el asiento, esto produciría una pequeña flexión al entrar el respaldo en la rampa motivando entonces como solución hacer dos guías diferentes como fue mencionado anteriormente, una para el asiento (recta) y el respaldo (curva). También se mantienen fijos el asiento y el respaldo uno respecto del otro. En AutoCAD se determinó el punto en el que la flexión era más probable que ocurra, y tomando esa posición, se definieron las medidas de la estructura para evitarla.

Posteriormente se procedió a realizar un prototipo, con materiales que teníamos al alcance, y herramientas del IEM, con el fin de probar físicamente el funcionamiento, movimiento, posibles problemas de fabricación, entre otros, antes de desarrollar el diseño definitivo. Éste puede verse en la figura 8.2.3.



*Figura 8.2.3: Prototipo físico de verificación del movimiento.*

Observamos pequeñas pero importantes dificultades a la hora de recrear el movimiento, la entrada del carro a las guías, el soporte en el respaldo para que no rote sobre las guías hacia adelante, la cantidad de peso que debería soportar la estructura para no deformarse con toda la carga sobre el asiento. Para desarrollar el siguiente prototipo se tendrán en cuenta, de otra manera no podría soportar el peso y elevación de una persona. En la Figura 8.2.4 se demuestra la secuencia del movimiento conseguida manualmente con el prototipo.



Figura 8.2.4: Secuencia de movimiento manual del prototipo.

Se realizó el siguiente diagrama de cuerpo libre simplificado (Figura 8.2.5), a modo de guía para estimar fuerzas que soportaría la estructura final durante el servicio. Se simplificó según las siguientes suposiciones: materiales rígidos o de pequeñas deformaciones; movimiento cuasiestático, por lo tanto aceleración nula; y que el usuario está completamente centrado en el asiento, de manera que el problema se reduce a 2 dimensiones debido a la simetría.

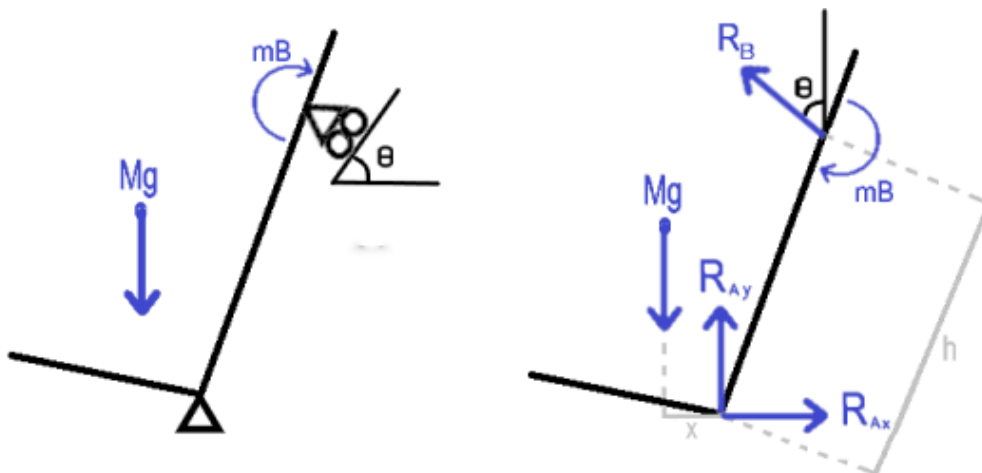


Figura 8.2.5: Diagrama de cuerpo libre del asiento simplificado, vista lateral.

El apoyo sobre el respaldo se comporta como un apoyo simple más un momento, porque se trata de la guía curva por la que unas roldanas deslizan, que va enderezando el asiento a medida que asciende, mientras que sobre el otro apoyo en el asiento éste gira libremente. El centro de masa del usuario se encuentra en un punto similar a la posición del ombligo, donde aproximadamente se ubica en una persona sentada. Desarrollando cálculos, obtenemos lo siguiente.

1era Cardinal:

$$R_{Ax} + R_B \operatorname{sen}\theta = Mg;$$

$$R_{Ay} - R_B \operatorname{cos}\theta = 0 \Rightarrow R_B = Mg / (\operatorname{sen}\theta + \operatorname{cos}\theta);$$

Imponiendo condición final, con  $\theta = 5^\circ$  y  $Mg = 70 \text{ kg} * 9,8 \text{ ms}^{-2} = 686 \text{ N}$ , podremos despejar las reacciones:

$$R_B = 633,2 \text{ N};$$

$$R_{Ax} = 630,8 \text{ N};$$

$$R_{Ay} = 630,8 \text{ N};$$

2da Cardinal desde el punto A, e imponemos  $x \approx 25 \text{ cm}$  para simplificar ya que varía de persona a persona y también según la etapa del movimiento, y  $h = 45 \text{ cm}$  fija:

$$Mg * x + R_B * h - mB = 0$$

$$\Rightarrow mB = 456,4 \text{ Nm}$$

Los puntos críticos del asiento completo se encuentran entonces en A y B, y gracias a las simplificaciones podemos tener un estimado de su valor (con errores importantes, pero del lado conservador). Para un análisis más profundo se precisa determinar ciertas dimensiones como las diferentes secciones, tanto del asiento como de la estructura que sostiene las guías. También es importante la unión entre A y B con sus respectivos sistemas de movimiento, como los ejes de las roldanas en el caso del punto B o el eje del engranaje que irá subiendo por la cremallera en el punto A.

## Conclusiones

Se desprenden distintas conclusiones del trabajo realizado a lo largo del curso. Entre estas, las principales son la reducción de los costos en comparación con la Raizer, la

utilidad y viabilidad de los modelos, ambos ampliamente satisfactorios con respecto a lo planteado al comenzar el proyecto.

Con respecto a los costos se puede decir que los mismos van a ser menores que la Raizer debido a distintas razones, estas son que ninguno de los dos prototipos precisa un motor o materiales tan caros como los de la silla en cuestión. La principal razón de esto es la diferencia en compactabilidad que tienen ambas sillas, mientras la Raizer es pequeña y además permite ser desarmada lo que la vuelve fácil de cargar, los prototipos realizados no cuentan con este grado de compactabilidad.

Por otra parte, más allá de que los prototipos no hayan sido probados en un usuario, ya que están restringidos por sus materiales y el grado de avance en su construcción, se puede ver la funcionalidad de los mismos. En las pruebas realizadas a estos respondieron correctamente (dentro de la construcción realizada) haciendo el movimiento deseado lo que lleva a concluir que de seguir desarrollando estos prototipos se pueda llegar a una silla 100% funcional.

## Bibliografía

(Angelino et al.). *“Discapacidad e ideología de la normalidad. Desnaturalizar el déficit.”*. (Buenos Aires: NovEduc. 2009.).

(GOMEZ-LOPEZ, Simón et al). *Parálisis cerebral infantil. Arch Venez Puer Ped*

(Pilar Póo Argüelles) *“Parálisis cerebral infantil”*. (Hospital Sant Joan de Dèu, Barcelona. 2008).