

Diseño de un dispositivo para el mejoramiento de la calidad de vida de pacientes pediátricos  
con parálisis cerebral

Juan José Cárdenas López (2195504), Lizeth Fernanda Correa Acevedo (2190324), Dayana  
López Realpe (2195116)

Universidad Autónoma de Occidente – Ingeniería Biomédica

Docente – Oscar Iván Campo Salazar

Universidad Autónoma de Occidente

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Programa de Ingeniería Biomédica

2024

Diseño de un dispositivo para el mejoramiento de la calidad de vida de pacientes pediátricos  
con parálisis cerebral

La parálisis cerebral (PC), es un trastorno del desarrollo neurológico que afecta el movimiento, control muscular, coordinación, tono muscular, reflejos, postura y equilibrio, que conlleva dificultades significativas para los individuos con PC y sus cuidadores.

Se puede clasificar de varias formas, por ejemplo, por el sistema de clasificación de función motora gruesa (GMFCS):

1. Tiene velocidad, balance y coordinación reducida, pero puede caminar independientemente y subir escaleras sin asistencia
2. Necesita railes para subir escaleras, puede ser incapaz de caminar largas distancias sin ayudas de movilidad, y tener dificultades para caminar superficies desiguales
3. Puede caminar utilizando dispositivos de apoyo en interiores, y puede autodirigirse en una silla de ruedas por periodos extendidos en los exteriores
4. Tienen dificultades para caminar incluso cortas distancias usando dispositivos de movilidad y utilizan principalmente silla de ruedas para moverse
5. No puede sentarse o pararse independientemente, tiene movimiento voluntario muy restringido y puede controlar una silla de ruedas motorizada

Más generalmente, pueden agruparse en diferentes desordenes, pueden afectar músculos o diferentes partes del cuerpo, puede haber problemas de coordinación y movimiento, como reflejos exagerados (espasticidad), variaciones en el tono muscular, como tonificación exagerada o limitada, falta de balance y coordinación (ataxia), y movimientos involuntarios.

De igual manera puede haber parálisis en lados del cuerpo, como reducción en la distancia alcanzable para una mano, o arrastrar una sola pierna, o preferencialmente en áreas asociadas a una vía neuronal, como dificultades en el habla, o en la pronunciación,

dificultades para comer como debilidad en el masticado, salivación excesiva, dificultad al tragar. Por último, esta condición puede incluir problemas neurológicos como convulsiones, dificultades intelectuales, falta de visión o escucha, entre otros.

### **Objetivos**

Diseñar un dispositivo para la optimización de las actividades diarias de los niños con parálisis cerebral.

#### **Objetivos específicos**

- Utilizar los métodos de indagación para conocer el contexto social y problemáticas de los niños con parálisis cerebral y sus cuidadores.
- Identificar las principales necesidades de los niños o de sus cuidadores para realizar actividades cotidianas.
- Seleccionar la idea del dispositivo de acuerdo con la identificación de oportunidades.
- Aplicar estrategias para el diseño de dispositivos en ingeniería biomédica, con el fin de concretar el dispositivo seleccionado.

### **Justificación**

La parálisis cerebral (PC), es la causa más común de discapacidad motora permanente en niños, debido a que es el resultado de una lesión no progresiva en el cerebro inmaduro que ocurre antes del nacimiento, durante el parto o en el período neonatal, y hasta los dos años (Hollung et al., 2018). Además, esta enfermedad se ha definido como un grupo de trastornos permanentes del movimiento y la postura que limitan la actividad y se atribuyen a alteraciones no progresivas que ocurren en el cerebro fetal o infantil en desarrollo. Debido a la complejidad de la afección, los niños con parálisis cerebral suelen recibir una amplia gama de dispositivos de asistencia (DA) para facilitar su funcionamiento y atención (Moen & Østensjø, 2023).

Los padres, hermanos y familiares pueden llegar a sufrir estrés, ansiedad y depresión debido a lo demandante que es cuidar un niño con PC, la estigmatización y aislamiento social afectan tanto al niño como a su familia, dificultando la inclusión social. Se estima que hasta el 37.4% de las familias resultan severamente disfuncionales. (Avilés-Cura, y otros, 2014)

Además, manejar la PC incluye costos sustanciales, terapias, visitas médicas, adaptaciones en casa y escuela, los padres normalmente se ven forzados a reducir las horas de trabajo o renunciar al trabajo, debido a la falta de centros de cuidado, servicios de relevo o dificultades para el transporte, afectando la economía y situación psicológica aún más. Por estas razones se identifica necesario diseñar un dispositivo que facilite el cuidado de los niños con PC.

### **Antecedentes**

Los dispositivos para la asistencia de niños con PC están basados en la idea que esta afección afecta sus habilidades para llevar a cabo tareas básicas, las cuales comúnmente son efectuadas por sus cuidadores. Esto incluye autocuidado, movilidad y comunicación. Por estas razones los dispositivos están diseñados para abordar estos desafíos, revelando un amplio rango de diseños, incluyendo sillas de rueda, ortesis de botas, muletas, férulas, standers, entre otros. El diseño de estos dispositivos debe considerar las características únicas de los niños con PC, las tecnologías asistidas existentes y los factores que influyen su uso (Ren & Che Me, 2024).

Los traslados de personas pueden ser físicamente agotadores para los usuarios y los cuidadores, ya que las posturas inadecuadas pueden provocar lesiones a cualquiera de las partes, de ahí la necesidad de los sistemas de asistencia para el traslado de personas (PTAS) por sus siglas en inglés. Los cuidadores son propensos a una flexión excesiva de la espalda debido a que se agachan o se estiran durante su transferencia (Sivakanthan et al., 2019). Un estudio transversal de diseño de encuesta para terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas en

2012 mostro que el traslado o levantamiento de personas se asoció con 26,6% de todas las lesiones durante actividades relacionadas con el trabajo (Matsumoto et al., 2016).

Para reducir los riesgos de lesiones tanto para los cuidadores, el personal asistencial y los pacientes, considerando que una hiperflexión puede hacer que suelten al paciente, los entornos clínicos están equipados con tecnología de asistencia, para ayudar con el traslado de pacientes, pero en ocasiones, el sistema de salud no ve necesario administrarle a cada familia sistemas de asistencia para el traslado de personas, por lo tanto, los cuidadores tienen que hacerlo sin ayuda (Health, 2019).

Los PTAS se pueden dividir en tres categorías diferentes: dispositivos de baja tecnología, elevadores mecánicos y sistemas robóticos. Los dispositivos de baja tecnología incluyen tableros de transferencia, toboganes y eslingas, estos son de bajo costo, pero requieren de más esfuerzo humano para poder funcionar (Sivakanthan et al., 2019).

Los sistemas mecánicos o hidráulicos basados en el suelo pueden utilizar una manivela para poder operar la elevación y la colocación del paciente, estos reducen las cargas de los cuidadores, sin embargo, tienen un centro de gravedad alto en los que, cuando el usuario está en tránsito pueden volverse inestables y volcarse. De igual forma requieren de manipulación y un esfuerzo humano significativo (Sivakanthan et al., 2019).

Los sistemas robóticos tienen actuadores electrónicos para reemplazar la manivela en los sistemas basados en piso, así como también, los dispositivos de elevación montados en el techo, estos proporcionan una reducción en el esfuerzo humano, pero tienen un precio más alto. Los PTAS emergentes incluyen sistemas robóticos que tienen en cuenta la dinámica biomecánica para imitar los movimientos humanos, al hacerlo, estos sistemas minimizan el esfuerzo humano y mejoran la experiencia tanto para el cuidador como de la persona durante el proceso de transferencia (Sivakanthan et al., 2019).

Según Sivakanthan y colaboradores en el 2019, se puede evidenciar una amplia investigación sobre el desarrollo, la usabilidad y la eficiencia de diferentes sistemas de transferencia de personas, este tipo de sistemas existen desde hace mucho tiempo y están disponibles en la mayoría de las instalaciones hospitalarias y entornos residenciales en Estados Unidos (Sivakanthan et al., 2019).

Los resultados de la investigación indican una preferencia por los sistemas montados en el suelo frente a los manuales o dispositivos de baja tecnología. Los sistemas robóticos están en constante evolución en esta industria y no han tenido la misma intensidad del tipo de investigación como los sistemas anteriormente mencionados. Estos dispositivos emergentes podrían compararse con los elevadores montados en el techo y en el piso para ayudar a determinar el valor y la disminución del riesgo de lesiones del cuidador y de la persona que está siendo transferida. Actualmente esto no se ha ejecutado ni se han realizado más estudios que comparen la tecnología robótica con las tecnologías estándar. Es posible que aún no se hayan materializado los beneficios potenciales de la tecnología robótica. La mayoría de los PTAS robóticos, excepto la cama AgileLife NextHealth, aún se encuentran en fase de desarrollo y se han publicado pocos estudios cuasiexperimentales con sujetos humanos (Sivakanthan et al., 2019).

### **Identificación de necesidades**

Para llevar a cabo la identificación de necesidades se necesita diseñar previamente uno o varios instrumentos para la indagación social, estos deben de dar información valiosa sobre la población de usuarios potenciales.

### **Método de indagación social**

Debido a la dificultad de llevar a cabo un canal de comunicación bilateral con una población significativa de los usuarios potenciales, ya que sus afecciones neurológicas suelen

causar problemas en el desarrollo de la comunicación y/o imposibilidad de comunicarse, se propone utilizar las siguientes tres metodologías.

### **Aproximación individual**

Por medio de entrevistas a profesionales afines a la temática como médicos, neurólogos, fisioterapeutas, ingenieros biomédicos, enfermeros, entre otros, para este fin se seleccionaron a:

- Individuo con parálisis cerebral, reconocido por su cuenta de Instagram:  
@nuestro pie izquierdo
- Profesor universitario con experiencia con niños con parálisis cerebral, MD.  
Wilfredo Agredo de la Universidad Autónoma de Occidente
- Investigador sobre la parálisis cerebral y sus efectos en la marcha, PhD.  
Laurent Ballaz de la Universidad de Quebec en Montreal.
- Estudiante de la Universidad Autónoma de Occidente con parálisis cerebral.

### **Indagación primaria**

Investigar de forma local organizaciones, instituciones de salud o redes sociales de entidades relacionadas con la parálisis cerebral infantil, para contactarse con algunos de ellos y aplicar una entrevista o encuesta con la ayuda de sus cuidadores.

### **Aproximación contextual**

Visita a centros educativos para niños con parálisis cerebral con el fin de evidenciar sus problemáticas en un contexto normal.

### **Instrumentos de indagación: Entrevista guiada**

Para reunir las metodologías propuestas, y con las posibilidades del contexto y limitaciones de tiempo, se diseñaron entrevistas guiadas como instrumento de indagación, tanto para pacientes a través de sus cuidadores como para los investigadores o terceros:

**Pacientes o cuidadores**

1. ¿Puedes describir un día típico en su vida?
2. ¿Cuáles son las partes más desafiantes de su día?
3. ¿Qué herramientas o tecnologías utiliza regularmente en su vida y por qué?
4. ¿Hay alguna actividad que le cause estrés o frustración?

**Investigadores o terceros**

1. ¿Cuáles son los desafíos más comunes que enfrentan los niños con parálisis en su vida diaria y cómo afecta esto su participación en la sociedad?
2. ¿Qué estrategias o herramientas han demostrado ser efectivas para ayudar a estos niños a superar estos desafíos y cómo se sienten los niños con parálisis acerca de estas soluciones?
3. ¿Qué aspectos de la vida de estos niños cree que se pasan por alto con más frecuencia en las investigaciones o soluciones existentes?
4. ¿Cómo cambian las necesidades y desafíos de estos niños a medida que crecen y se desarrollan?
5. ¿Existen diferencias significativas en los desafíos que enfrentan los niños con diferentes tipos de parálisis cerebral?
6. ¿Cuáles son las dificultades más comunes a las que se enfrentan los cuidadores?

**Hallazgos de la indagación social**

A partir de las entrevistas realizadas a varios cuidadores e investigadores se pudieron identificar ciertas necesidades principales, como la falta de comunicación mutua entre el terapeuta y ortopedista del paciente, con respecto a la formulación y fabricación de las férulas para los niños con espasticidad, esto genera diseños ineficientes y además complica la modificación rápida en caso de incomodidad del niño, impulsando la evolución de su espasticidad.



También mencionan que no se tiene en cuenta la situación individual de los niños para la receta de sus aditamentos, ejemplificando el caso de las sillas de ruedas, donde les proveen sillas de rueda generales, las cuales son inapropiadas para estos pacientes, pues normalmente no pueden sostener su cabeza, tronco y extremidades, para lo cual no apoyan estas sillas de ruedas.

Mas enfocado hacia los cuidadores de estos pacientes, mencionan que se les dificultan sus actividades debido al crecimiento de los niños, esto aumenta su peso, tamaño y fuerza, lo cual dificulta su movimiento y cuidado, y aumenta la potencia de su espasticidad, por estas razones suelen no tener más opción que mantener a los niños en un peso menor al optimo.

Además, los niños suelen presentar llagas de escaldamiento por su apoyo prolongado y en una sola posición, adicional a la postura que desarrollan los niños con espasticidad que suele disminuir el área de apoyo, esta problemática depende de la capacidad de los cuidadores de cambiar su posición periódicamente.

Teniendo en cuenta estas problemáticas se tomó la decisión de seleccionar una de las ideas que abarcara mas de estas, la cual resulto se la grúa de transferencia de pacientes asequible económicamente, considerando este dispositivo se pudo realizar una traducción de las necesidades para el dispositivo, ver tabla 1.

### **Clasificación de los atributos de diseño**

Una vez se tienen las necesidades se puede realizar una lista de atributos, teniendo en cuenta los criterios de los diseñadores, siendo estos: silencioso al usarse, asequible, estático al asegurarse, estable, cómodo, sencilla limpieza, permite levantar máximo 80 kg, permite reducir su tamaño, tiene seguridad ante errores, componentes económicos, dimensiones reducidas, fácil de usar, intuitivo, no se corroe, cómodo, atractivo al usuario, sin filos, durable, material rígido, controles simples. Siendo en total 20, pero se descartan 2, silencioso al usarse y permite reducir su tamaño.

Una vez se tienen en disposición los atributos relevantes, se lleva a cabo su jerarquización y se determina cuáles son aquellos con mayor importancia, para esto se utiliza la tabla de comparación por pares (ver tabla 2), que permite obtener una puntuación para cada atributo, y se estructura la idea de dispositivo utilizando el árbol de objetivos, ver figura 1.

Para desarrollar un prototipo que este a la altura de las necesidades de los usuarios es necesario poder verificar de manera objetiva el cumplimiento del dispositivo, para llevar a cabo esto se proponen métricas relacionadas a las necesidades, ver tabla 3 y 4.

De acuerdo con la idea seleccionada de un sistema de transporte para niños con PC en el hogar, se examinó productos similares ya disponibles en Google de los cuales se mencionan algunos:

Hoyer - Elevador de pacientes portátil avanzado: Este es un modelo de la empresa Joerns Healthcare, tiene un precio de 6.521.875 millones de pesos colombianos, es un elevador hidráulico que se pliega para ser transportado o almacenado sin necesidad de utilizar ninguna herramienta, no incluye la eslinga siendo necesario hacer la compra por separado, consiste en un diseño de cuello de cisne que se adapta a muebles grandes con un mecanismo de extensión de la pierna que se opera con el pie, dejando las manos libres para ayudar al paciente.

Invacare 9805P - Kit de elevación hidráulica personal para pacientes: Este es un modelo de la empresa Invacare, tiene un precio de 1.886.317 pesos colombianos, soporta hasta 450 lb, este elevador no está destinado a ser utilizado como un dispositivo de transporte, sino para levantar y bajar individuos de muchas superficies y escenarios diferentes, la barra esparcidora de seis puntos gira 360 grados para mayor comodidad.

Hoyer Presence - Elevador profesional para paciente: Este es otro modelo de la empresa Joerns Healthcare, es un elevador eléctrico con tecnología Smart Monitor, tiene un

precio de 16.232.360 millones de pesos colombianos, puede soportar hasta 500 lb con mayor área espacial para usuarios más grandes.

Estos son otros productos que se relacionan con la idea seleccionada:

Hurchen - Electric patient lift: Este es un modelo similar a otros del mismo fabricante, con precios que oscilan entre los 2-5 millones de pesos colombianos, viene con accesorios para hacer las necesidades y la ducha. Funciona con baterías recargables de entre 4 o 5 horas de carga, puede soportar hasta 275 libras, tiene una garantía de un año, es de fácil instalación y no necesita de herramientas para el desmontaje.

180° Opening steel electric patient transfer lift chair: Este modelo es fabricado por la empresa china Dayang Medical, el precio no está disponible, siendo necesario contactar a la empresa por correo electrónico, puede soportar hasta 100 kg, viene con un accesorio removible para hacer las necesidades, tiene 180° de apertura libre, se puede utilizar por medio de control remoto o por medio de botones, y es plegable.

REAQER Cinturón de transferencia para pacientes: Producto de la empresa REAQER, el cinturón está hecho de tela Oxford mezclada con algodón, puede soportar hasta 220 libras, se necesita de dos personas para transportar al paciente, contiene 8 asas y 2 correas de hombro que ayudan a distribuir el peso del paciente de manera uniforme, con el fin de facilitar el posicionamiento y transferir con seguridad, tiene un precio de 231.411 pesos colombianos.

### **Generación de Conceptos**

Una vez se determinaron los atributos de diseño que definen lo que se espera del dispositivo, se pueden llevar a cabo las tareas que facilitan generar conceptos que cumplan con los requisitos definidos para materializar su apariencia, funcionalidad, diseño, entre otros, para esto se utilizan diferentes estrategias como el árbol morfológico, que detalla las partes necesarias para el dispositivo, ver figura 2, basándose en este árbol se puede avanzar de

manera más sencilla en la elaboración de las funciones del dispositivo, con el análisis de caja negra y caja transparente, ver figura 3, con estas funciones detalladas, se lleva a cabo el análisis morfológico, donde se listan la mayor cantidad de alternativas para cumplir dichas funciones, este se puede considerar teniendo en cuenta el tipo de fuerza principal, que puede ser mecánica, hidráulica o eléctrica, ver tabla 5, por último, con esta información se puede realizar un amplio desglose de todas las combinaciones para el dispositivo, ver figura 4.

### **Selección de conceptos**

Se utilizó la matriz de Pugh para la selección de los conceptos, de acuerdo con los criterios y las posibles alternativas viables, con el fin de elegir cual es la solución más optima e identificar los conceptos de mejora.

Los criterios seleccionados fueron: Comodidad del paciente, tamaño, Facilidad de mantenimiento, riesgo del sistema, facilidad de uso, tiene sistema fail-safe, costo de fabricación y estabilidad.

Con el árbol de conceptos se identificó 7 alternativas viables para ser evaluadas utilizando las matrices de elección, estas serían:

- a. Manivela – trinquete – brazo – cuna.
- b. Enchufe – capacitores – motor – brazo – camilla.
- c. Enchufe – capacitores – motor – polea – arnés.
- d. Palanca – bomba solenoide – brazo – silla.
- e. Pedal – resorte – empuje mecánico – brazo – silla.
- f. Manivela – capacitores – motor – brazo – camilla.
- g. Manivela – trinquete – polea – arnés.

Acorde con los criterios y alternativas viables se calificó cada solución asignándole una puntuación subjetiva, por lo tanto, el concepto mejor evaluado fue el B con un puntaje neto de 4, seguido de los conceptos A, E y G, ver tabla 6.

Sin embargo, después de una cuidadosa consideración, se eligió el concepto B (enchufe – capacitores – motor – brazo – camilla) para convertirse en el punto de referencia, con respecto a los demás conceptos. Además, se decidió que los conceptos A y E podían combinarse para producir un nuevo concepto AE, y de esa misma forma con los conceptos F y G, produciendo el nuevo concepto FG, ver tabla 7:

AE: Manivela – trinquete – brazo – silla.

FG: Manivela – capacitores – motor – trinquete – brazo - arnés.

Con respecto al proceso de selección de conceptos, sería buena opción incluir el diseño de bosquejos de cada alternativa para tener una visualización más concreta de cada una, acercándose más a la realidad. Esto tiene sus ventajas, como poder evaluar las soluciones en un contexto más realista, sin embargo, también tiene sus desventajas, ya que requiere una mayor inversión de tiempo, y reduce limita el proceso de creatividad.

Por otro lado, el acercamiento basado en conceptos tiene la facilidad de requerir menos tiempo, adicionalmente, promueve la creatividad y generación de ideas innovadoras, lo cual puede ser especialmente valioso en las etapas tempranas del proceso de diseño. Este acercamiento permitió la creación de más propuestas originales, abriendo un rango de nuevas posibilidades en el diseño del dispositivo.

Finalmente, se considera que este método ayudo a determinar la solución más adecuada y asequible conforme con los criterios y las combinaciones de conceptos seleccionados a partir de los establecidos al principio. Debido a que el costo de manufactura era un criterio esencial para asegurar la viabilidad económica del dispositivo, y cumplir con la idea principal del dispositivo, que incluye la asequibilidad como parte clave de mejorar el acceso a soluciones en salud. Al considerar el costo de manufactura, se busca una alternativa que no solo cumpla con los requisitos funcionales y estéticos, pero que sea económicamente

viable. Este enfoque balanceado permitió la selección de una alternativa que realmente se destaque por sobre los demás tanto en términos de diseño y funcionalidad.

### **Arquitectura de producto**

Se ha elegido una arquitectura modular seccional debido a sus múltiples beneficios en términos de flexibilidad, mantenimiento, y adaptabilidad. Esta arquitectura permite que las partes del dispositivo se conecten entre sí y no necesariamente a un solo componente, facilitando la personalización y el reemplazo de partes sin afectar la funcionalidad general del dispositivo.

La elección de una arquitectura modular seccional se justifica por varias razones. En primer lugar, la flexibilidad que ofrece es esencial para adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios y las actualizaciones tecnológicas. Esta arquitectura permite realizar cambios y actualizaciones en el diseño sin necesidad de rediseñar el sistema completo, lo que es particularmente valioso en el contexto de dispositivos médicos que deben adaptarse rápidamente a nuevas tecnologías y descubrimientos científicos.

Además, la modularidad simplifica el mantenimiento del dispositivo. En lugar de reemplazar el sistema completo en caso de fallo o desgaste, se pueden sustituir módulos individuales, lo cual reduce los costos de reparación y prolonga la vida útil del dispositivo. Esto no solo es beneficioso desde una perspectiva económica, sino que también mejora la sostenibilidad del producto al reducir el desperdicio.

Finalmente, la adaptabilidad es otro factor clave en la elección de esta arquitectura. Permite la integración de nuevas tecnologías y componentes a medida que estén disponibles, asegurando que el dispositivo se mantenga a la vanguardia en términos de funcionalidad y eficiencia. Esta capacidad de adaptación también facilita la personalización del dispositivo para diferentes usuarios y aplicaciones específicas, lo cual es crucial en el diseño de dispositivos médicos que deben atender a una amplia gama de necesidades individuales.

### **Relaciones funcionales y accidentales**

El análisis de las relaciones entre componentes y funciones es crucial para asegurar un diseño eficiente y funcional del dispositivo médico. Este análisis permite identificar cómo interactúan los distintos componentes, tanto en términos de sus funciones principales como de las interacciones incidentales que pueden afectar el rendimiento del dispositivo. A través de diagramas de interacciones y matrices DSM y FCM, se puede visualizar y optimizar estas relaciones, asegurando que cada componente cumpla su propósito de manera efectiva y sin interferencias no deseadas. Además, este enfoque sistemático permite agrupar los componentes en módulos o subconjuntos lógicos, facilitando la manufactura, el mantenimiento y futuras actualizaciones del dispositivo.

En la figura 5, se observa el diagrama de las principales relaciones funcionales del dispositivo, que abarcan desde la entrada inicial de energía hasta el transporte final del paciente. La energía se introduce inicialmente mediante una manivela, que actúa como la fuente de potencia primaria. Esta energía se almacena temporalmente en el mecanismo de trinquete, que regula el flujo y la distribución de la energía a lo largo del proceso. A continuación, la energía almacenada se convierte en fuerza utilizable a través de la interacción del trinquete con el brazo del dispositivo. Este brazo es responsable de aplicar la fuerza generada a la tarea específica, en este caso, facilitar el movimiento o la manipulación del paciente. Finalmente, la fuerza aplicada se emplea para el transporte del paciente de manera segura y eficiente, cumpliendo así el propósito fundamental del dispositivo. Cada componente: la manivela, el mecanismo de trinquete, el brazo, la base y la silla, desempeña un papel crucial en este proceso coordinado, garantizando un funcionamiento efectivo y fluido del dispositivo en su conjunto.

Las relaciones incidentales, ver figura 6, identificadas como posibles puntos de fallo para el dispositivo, requieren estrategias de mitigación para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil. Una de estas incidencias es la fricción, la cual puede ser atenuada mediante la implementación de un sistema de engranajes sellado que contenga lubricantes o utilizando materiales auto lubricantes como el acero de matriz compuesta con partículas de grafito. La deformación y el torque, otro factor crítico, pueden ser reducidos seleccionando materiales más rígidos, como el acero con mayor concentración de carbono, manteniendo así la integridad estructural del dispositivo. La vibración, una compleja complicación, puede ser minimizada mediante la incorporación de sistemas de amortiguación lateral en la base, trinquetes especializados con mínimo juego en su funcionamiento y amortiguadores rotacionales. La tensión, otra variable a considerar, puede ser manejada eficazmente utilizando materiales de alta resistencia como la fibra de carbono o el Kevlar, especialmente en áreas de sujeción críticas. Para prevenir la ruptura de los mecanismos, se recomienda usar materiales especializados como el titanio 5 o el Inconel, y adoptar mecanismos diseñados para tener bajo esfuerzo entre superficies, como los engranajes armónicos o cicloidales. Por último, para abordar los efectos del desgaste y la suciedad, se pueden emplear materiales de baja porosidad o revestimientos oleofóbicos, así como materiales de alta dureza para resistir el desgaste causado por el uso continuo. Estas propuestas de mitigación abordan de manera integral las posibles fuentes de fallo, asegurando un rendimiento confiable y duradero del dispositivo.

### **Análisis de estructura de diseño**

En el proceso de desarrollo de dispositivo, se realizó un análisis detallado de la estructura y las funciones del sistema. Dos herramientas fundamentales utilizadas en este análisis fueron la Matriz DSM (Design Structure Matrix) y la Matriz FCM (Function Component Matrix).



La Matriz DSM, ver tabla 8, proporciona una representación visual de las interdependencias entre los componentes del sistema. Cada fila y columna representa un componente específico del dispositivo, mientras que los valores dentro de la matriz indican las conexiones directas entre ellos. Por ejemplo, un valor de "1" indica una conexión directa entre dos componentes, mientras que un valor de "0" indica la ausencia de tal conexión. Esta matriz nos ayuda a identificar relaciones de dependencia y facilita la comprensión de cómo los cambios en un componente pueden afectar a otros dentro del sistema.

Por otro lado, la Matriz FCM, ver tabla 9, mapea las funciones del sistema a los componentes correspondientes. Cada fila de esta matriz representa una función específica del dispositivo, mientras que cada columna corresponde a un componente. Los valores dentro de la matriz indican si un componente particular es responsable de llevar a cabo una función determinada. Esta matriz nos ayuda a comprender cómo se distribuyen las funciones en todo el sistema y a identificar qué componentes contribuyen a cada una de ellas.

### **Distribución geométrica**

De esta forma, la distribución geométrica de los componentes del dispositivo consta de cinco elementos principales: base, brazo, silla, trinquete y manivela; se pueden observar en la figura 7. A continuación, se describe la disposición de cada componente:

- **Base:** Siendo el elemento fundamental que proporciona estabilidad y soporte a todo el dispositivo. Está diseñada con una estructura robusta, usualmente de acero o una aleación resistente, que puede soportar el peso combinado del dispositivo y el paciente. La base debe ser suficientemente amplia para evitar vuelcos y garantizar la seguridad del usuario. Además, puede incluir elementos de fijación al suelo para mayor estabilidad.

- **Brazo:** Estructura articulada que se extiende desde la base. Está diseñado para soportar cargas y transmitir fuerzas de manera eficiente. El brazo se fabrica con materiales de alta resistencia, como aleaciones de aluminio o acero, para garantizar rigidez y durabilidad. La articulación del brazo permite movimientos precisos, controlados por el sistema de trinquete y manivela, lo cual es esencial para la funcionalidad del dispositivo. La longitud y el ángulo del brazo están diseñados para optimizar el alcance y la maniobrabilidad.
- **Silla:** Está suspendida del extremo del brazo y está diseñada para ofrecer comodidad y seguridad al paciente. Está fabricada con materiales suaves y duraderos, como polímeros reforzados o tejidos especializados. La silla puede incluir cinturones de seguridad y soportes adicionales para garantizar que el paciente esté bien sujeto durante el uso del dispositivo.
- **Trinquete:** Encontrándose en la intersección entre el brazo y la manivela, este componente es crucial para permitir el movimiento unidireccional de la manivela, asegurando que la energía generada se aplique de manera controlada. El trinquete está diseñado con materiales de alta resistencia al desgaste, como acero tratado térmicamente, para garantizar una larga vida útil. Su diseño debe minimizar la fricción y el ruido durante el funcionamiento, y puede incluir un sistema de amortiguación para reducir el impacto y las vibraciones.
- **Manivela:** Ubicada en la parte superior del sistema, conectada directamente al trinquete; es el componente que permite al usuario generar energía manualmente. La manivela debe ser ergonómica, fabricada con materiales que ofrezcan un buen agarre, como gomas o plásticos texturizados. Su diseño debe permitir un movimiento suave y continuo, facilitando el uso prolongado sin causar fatiga al operador. La manivela

puede estar equipada con un sistema de ajuste para modificar la resistencia según las necesidades del usuario.

Esta distribución geométrica asegura que todos los componentes funcionen de manera cohesiva y eficiente, facilitando tanto el uso como el mantenimiento del dispositivo. La proximidad entre los bloques relacionados minimiza las pérdidas de energía y mejora la respuesta del sistema, mientras que la modularidad permite una fácil actualización y personalización según las necesidades del usuario.

### **Diseño detallado**

#### **Base**

Esta estructura no tiene gran cantidad de subcomponentes, su estructura está constituida principalmente de acero fabricado en chapa, y solo consta de las ruedas.

#### **Ruedas**

Estas son de modelo genérico, utilizando el catalogo de McMaster-Carr como guía, siendo ruedas giratorias de bajo perfil, con freno por seguridad, con doble rodamiento y una altura de montaje no mayor a 3 pulgadas, referencia 2390T6

#### **Mecanismo**

Esta es la parte que mas subcomponentes tiene, pues es donde se facilita la aplicación de fuerza y la conversión de movimiento, también se considera su fabricación en chapa.

#### **Engranaje menor**

Este es un engranaje métrico, hecho de acero inoxidable 303, de 14 dientes, con modulo de engranaje 1, tiene un mecanismo de sujeción del eje utilizando un tornillo de reprimición, referencia 3757N35.

#### **Engranaje mayor**

Este engrana con el menor, hecho de acero carbón black-oxide 1045, tiene 96 dientes, no tiene mecanismo de sujeción pues se necesita su libre rotación, referencia 2664N375.

**Trinquete**

Este trinquete está sujeto con el engranaje mayor a través de 3 tornillos concéntricos, está hecho de acero carbón 1045 endurecido, con un diámetro de 120 mm y 25 mm de ancho, referencia 6283K88.

**Gatillo**

Este se considera, mas no se añadió al modelo CAD pues no permite su simulación, tiene 25 mm de ancho y está hecho de acero carbón 1045, se debe montar a 80 mm del trinquete, referencia 6283K92.

**Cremallera**

Este componente engrana con el engranaje grande, para empujar el brazo boom de la grúa, con modulo de engranaje 1, se consideró 500 mm de longitud, y un ancho de 10 mm, referencia 2485N232.

**Manivela**

Para este se consideró una rueda abombada con mango plegable, de 6 pulgadas de diámetro y proyección de 1 pulgada, hecho de aluminio recubierto, se espera realizar los cortes para una llave que sostenga el eje, referencia 60265K76.

***Manija***

El componente para la manivela sería una manija de palanca cónica, de acabado suave, giratorio y plegable, referencia 4080N12.

**Brazo boom**

Este componente sería el que soporta el principal esfuerzo, sería fabricado a partir de acero chapado y soldaduras, recibe el empuje hecho por el mecanismo, se conecta a la base y sostiene la eslinga.

**Eslinga**

Este componente soporta la silla, la cual no se incluyó en el diseño y se fabricaría a partir de tubos de acero, se soporta en el brazo boom.

***Soporte de eslinga***

La eslinga no se puede desgastar en su uso, por esta razón necesita un rodamiento para empuje, para este se consideró la referencia 4300N14.

**Modelo detallado**

El modelo finalizado, en dibujo asistido por computador (CAD), se puede ver en la figura 5.

**Factores asociados al proceso de diseño**

El proceso de diseño del dispositivo implica una evaluación exhaustiva de diversos factores que influyen en su desarrollo y éxito. Estos factores abarcan consideraciones de seguridad y salud, aspectos económicos, impactos ambientales y factores sociales. Al abordar cada uno de estos elementos de manera detallada, se busca asegurar que el dispositivo no solo cumpla con los estándares técnicos y normativos, sino que también sea viable económicamente, sostenible y socialmente responsable.

**Factores de riesgo**

En el proceso de diseño del dispositivo, se identifican varios factores de riesgo que podrían afectar la vida y la salud humana. Estos riesgos surgen tanto del diseño mecánico y operativo del dispositivo como de su entorno de uso. La identificación y mitigación de estos riesgos son esenciales para garantizar la seguridad y la eficacia del dispositivo. A continuación, se detallan los principales factores de riesgo:

- **Fallas mecánicas:** Uno de los riesgos más significativos es el potencial de fallas mecánicas en los componentes clave del dispositivo; la estructura del dispositivo,

incluyendo la base, el mecanismo de engranajes, y la manivela, ha sido diseñada para soportar cargas significativas sin fallos estructurales. Se han realizado análisis de estrés y simulaciones para asegurar que los componentes, como el engranaje menor y mayor, el trinquete, y la cremallera, operen de manera segura bajo las condiciones de uso previstas. Además, las ruedas con freno de seguridad aseguran la estabilidad del dispositivo durante su operación, previniendo movimientos no deseados que pudieran causar accidentes. La estructura de la base, fabricada en chapa de acero, está diseñada para soportar cargas dinámicas y estáticas sin sufrir deformaciones ni fallos estructurales. Los engranajes, tanto el menor de 14 dientes como el mayor de 96 dientes, han sido seleccionados y dimensionados para operar bajo condiciones de carga específicas, minimizando el riesgo de rotura o desgaste prematuro. La inclusión de un trinquete y un gatillo asegura que el dispositivo se mantenga en una posición fija durante su operación, previniendo movimientos accidentales que podrían causar lesiones.

- **Riesgos de uso:** Para mitigar los riesgos asociados al uso del dispositivo, se han diseñado componentes ergonómicos y fáciles de manejar, como la manivela con manija plegable. Las instrucciones claras y detalladas sobre el uso y mantenimiento del dispositivo serán proporcionadas a los usuarios, asegurando que comprendan cómo operar el dispositivo de manera segura y eficiente. Además, se ha contemplado la formación de los usuarios en el manejo seguro del dispositivo, así como la implementación de medidas de control y supervisión durante su uso.

### **Factores económicos**

El análisis de los factores económicos es crucial para garantizar que el dispositivo sea viable y accesible. Este análisis abarca varios aspectos clave que aseguran la sostenibilidad económica del proyecto desde su concepción hasta su implementación y uso continuado.

- **Costos de fabricación:** La estimación detallada de los costos de fabricación es fundamental para determinar la viabilidad económica del dispositivo; esto incluye los costos de adquisición de materiales, los procesos de producción, la mano de obra, y otros gastos indirectos asociados. La selección de materiales y componentes estándar y de bajo costo, como el acero fabricado en chapa para la base y los engranajes de acero inoxidable y acero carbono, permite reducir significativamente los costos de producción. Además, la colaboración con proveedores confiables y la negociación de contratos a largo plazo contribuyen significativamente a la reducción de los costos de fabricación, de esa forma, al colaborar con proveedores confiables como McMaster-Carr, se asegura la obtención de componentes de alta calidad a precios competitivos.

El análisis económico reviste una importancia significativa para garantizar su efectividad y viabilidad a largo plazo. En esta etapa, se deben considerar minuciosamente los costos relacionados con el desarrollo inicial del dispositivo, que van desde los salarios del personal hasta la adquisición de materiales y licencias de software, ver tabla 10.

Sin embargo, dado que el dispositivo tiene un propósito médico específico, es esencial ampliar el análisis económico para abarcar las etapas posteriores, como las pruebas clínicas y los procesos regulatorios con entidades como INVIMA. Estos pasos son cruciales para validar la seguridad y eficacia del dispositivo antes de su implementación en pacientes reales. Por lo tanto, se debe presupuestar adecuadamente los recursos necesarios para llevar a cabo las pruebas clínicas y cumplir con los requisitos regulatorios, garantizando así la calidad y la aceptación del dispositivo en el mercado médico. Así mismo, un análisis económico integral y proyectado a futuro es esencial para respaldar la sostenibilidad y el éxito del proyecto.

- **Costos de mantenimiento:** El diseño modular del dispositivo facilita el acceso y reemplazo de componentes, lo que reduce los costos de mantenimiento a lo largo del

tiempo. Por ejemplo, componentes críticos como el trinquete y la cremallera pueden ser fácilmente reemplazados sin necesidad de desarmar todo el dispositivo. Esta facilidad de mantenimiento no solo prolonga la vida útil del dispositivo, sino que también reduce el tiempo de inactividad y los costos asociados a reparaciones complejas.

### **Factores ambientales**

El diseño del dispositivo considera cuidadosamente varios factores ambientales con el objetivo de minimizar el impacto ecológico a lo largo de su ciclo de vida. Este enfoque sostenible es fundamental para asegurar que el dispositivo no solo cumpla con los estándares de eficiencia y funcionalidad, sino que también contribuya positivamente a la conservación del medio ambiente.

- **Selección de materiales:** La elección de materiales reciclables y sostenibles es fundamental para reducir el impacto ambiental del dispositivo. Se han seleccionado materiales como el acero reciclado para la base y los engranajes, y plásticos biodegradables para componentes no estructurales. Estos materiales no solo reducen la demanda de recursos naturales vírgenes, sino que también facilitan el reciclaje y la disposición final responsable del dispositivo al final de su vida útil. Además, se ha priorizado el uso de materiales que no contengan sustancias tóxicas o peligrosas, cumpliendo con las normativas internacionales sobre sustancias químicas restringidas.
- **Gestión de residuos:** Durante el proceso de fabricación, se espera adoptar prácticas de producción limpia para minimizar la generación de residuos y facilitar el reciclaje. Los residuos de materiales como el acero y el aluminio se reciclarían, y se contaría con la implementación de sistemas de gestión de residuos que aseguran una disposición final adecuada. Además, de trabajar para reducir las emisiones de gases de



efecto invernadero y otros contaminantes durante la producción y el transporte de los componentes.

- **Análisis del ciclo de vida (LCA):** Se contará con la realización de un análisis exhaustivo del ciclo de vida del dispositivo para evaluar su impacto ambiental desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Este análisis con el fin de permitir identificar áreas de mejora en términos de sostenibilidad y guiar decisiones de diseño para así reducir el impacto ambiental en todas las etapas del ciclo de vida del dispositivo.

### **Factores sociales**

El diseño del dispositivo no solo se ha centrado en aspectos técnicos y funcionales, sino que también ha considerado cuidadosamente diversos factores sociales para garantizar su aceptación y éxito en el mercado.

- **Accesibilidad y asequibilidad:** Uno de los objetivos principales del diseño del dispositivo es asegurar que sea accesible y asequible para una amplia gama de usuarios. Al utilizar componentes estándar y optimizar los procesos de fabricación, se puede ofrecer un dispositivo de alta calidad a un precio competitivo. Esto es especialmente importante en regiones con recursos limitados, donde la asequibilidad y el acceso a tecnologías avanzadas pueden mejorar significativamente la calidad de vida de las personas.
- **Mejora de la calidad de vida:** El dispositivo ha sido diseñado para mejorar la calidad de vida de sus usuarios mediante su facilidad de uso, seguridad y ergonomía. La inclusión de características como la manivela ergonómica y las ruedas con freno de seguridad facilita el manejo del dispositivo y reduce el riesgo de lesiones. Además, el dispositivo permite a los usuarios realizar tareas de manera más eficiente y segura, lo

que puede mejorar su bienestar general y su capacidad para realizar actividades diarias.

- **Impacto en la comunidad local:** La producción y distribución del dispositivo pueden tener un impacto positivo en la comunidad local mediante la creación de empleo y el estímulo del desarrollo económico. La fabricación del dispositivo puede generar oportunidades laborales en las áreas de producción, ensamblaje, y mantenimiento. Además, al fomentar el uso de proveedores locales y apoyar a las economías regionales, se contribuye al bienestar social y la estabilidad económica de las comunidades donde se produce y utiliza el dispositivo.
- **Responsabilidad social corporativa (RSC):** El diseño y la producción del dispositivo también consideran principios de responsabilidad social corporativa. Esto incluye prácticas de trabajo justas, el respeto por los derechos humanos, y la minimización del impacto ambiental. Al adherirse a estos principios, se asegura que el dispositivo no solo beneficie a los usuarios finales, sino que también contribuya positivamente a la sociedad en general.

La consideración de estos factores de riesgo, económicos, ambientales y sociales asegura que el dispositivo no solo cumpla con los requisitos técnicos y funcionales, sino que también sea sostenible, accesible y beneficioso para la sociedad en su conjunto. Este enfoque holístico en el diseño del dispositivo garantiza que se puedan alcanzar los objetivos de eficiencia, seguridad y responsabilidad social, promoviendo un desarrollo sostenible y mejorando la calidad de vida de las personas que utilizarán el dispositivo.

### Conclusiones

Se detectó un inconveniente en el proceso de diseño, pues la combinación de componentes seleccionada inicialmente no tuvo en cuenta el esfuerzo que genera una fuerza de torque al cargar un paciente, en el diseño inicialmente seleccionado, todo este esfuerzo de

torque sería transferido al mecanismo de engranajes y sobre todo al trinquete, lo cual rápidamente desgastaría los componentes.

Pese a que existe una gran necesidad de una grúa de transferencia para niños con PC en el mercado, la dificultad de diseñar una grúa de bajo costo con un mínimo de seguridad es muy alta, lo cual se pudo evidenciar en este proceso.

## Referencias

- Avilés-Cura, M. A., Morales-Ramírez, M., Benavides-Ibarra, M. C., Reyna-Salazar, L. L., Riquelme-Heras, H. M., Ramírez-Aranda, J. M., . . . Gutierrez-Herrera, R. F. (2014). Impacto de la parálisis cerebral en la carga y funcionalidad familiar. *Revista Médica del Hospital General de México*, 77(02), 53-57. Recuperado el 1 de 6 de 2024, de <https://elsevier.es/es-revista-revista-medica-del-hospital-general-325-articulo-impacto-paralisis-cerebral-carga-funcionalidad-x0185106314365233>
- Health, C. for D. and R. (2019). Patient Lifts. *FDA*. <https://www.fda.gov/medical-devices/general-hospital-devices-and-supplies/patient-lifts>
- Matsumoto, H., Ueki, M., Uehara, K., Noma, H., Nozawa, N., Osaki, M., & Hagino, H. (2016). Comparison of Healthcare Workers Transferring Patients Using Either Conventional Or Robotic Wheelchairs: Kinematic, Electromyographic, and Electrocardiographic Analyses. *Journal of Healthcare Engineering*, 2016, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2016/5963432>
- Ren, G., & Che Me, R. (2024). A conceptual framework of mobility assistive technology for cerebral palsy children with mobility impairment. In *Springer Series in Design and Innovation* (pp. 265–275). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Sivakanthan, S., Blaauw, E., Greenhalgh, M., Koontz, A. M., Vegter, R., & Cooper, R. A. (2019). Person transfer assist systems: a literature review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1673833>

## Tablas

Tabla 1

Traducción de las necesidades

#	Declaración de los entrevistados	Necesidad
1	No puede ser tan caro	El dispositivo tiene un costo menor a los otros
2	Debe poder levantar a mi hijo/a	El dispositivo puede levantar no más de 80 kg
3	Quisiera poder tenerlo cerca en todo momento	El dispositivo se puede guardar en cualquier lugar
4	Que no vaya a lastimar a mi hijo/a	El dispositivo tiene un sistema fail-safe
5	Ojalá no me cueste mucho el arreglo	El dispositivo tiene componentes económicos
6	Quiero poder usarlo en cualquier lugar	El dispositivo es de dimensiones reducidas
7	Que sea fácil de usar	El dispositivo es intuitivo
8	Que no se desgaste	El dispositivo se desgasta poco
9	Mi hijo/a debe sentirse cómodo	El dispositivo es cómodo
10	Que sea fácil de limpiar	El dispositivo es de limpieza sencilla

*Nota:* [Coloque todas las tablas del artículo en una sección de tablas, después de las referencias (y, si corresponde, de las notas al pie). Use una página nueva para cada tabla e incluya un número de tabla y un título de tabla para cada una, como se muestra en esta página. Todo el texto explicativo aparece en una nota de tabla después de la tabla, como en esta. Use el estilo de tabla o ilustración, disponible en la galería de estilos de la pestaña Inicio, para agregar el espaciado entre la tabla y la nota. Las tablas en el formato de APA pueden usar un interlineado de una línea o de 1,5 líneas. Incluya un título para cada fila o columna, incluso si el contenido parece obvio. Se configuró un estilo de tabla predeterminado para esta plantilla que cumple con las normas del estilo APA. Para insertar una tabla, en la pestaña Insertar, haga clic en Tabla.]

### Tabla de comparación por pares

[illegible]

Tabla 3

Categorización de las necesidades

Nº	Necesidad	Importancia
1	Es estático al asegurarse	4
2	Es estable	4
3	Tiene sistema fail-safe	4
4	Levanta menos de 80 kg	3
5	No tiene filos	4
6	Cómoda para el paciente	5
7	Partes asequibles	4
8	De dimensiones reducidas	3
9	Controles simples	3
10	Intuitiva de usar	3
11	Limpieza sencilla	2
12	No se corroe	3
13	Material rígido	4

Tabla 4

Identificación de métricas a partir de necesidades

N° métrica	N° necesidad	Métrica	Unidad	Valor objetivo
1	1, 2	Desplazamiento ante fuerza lateral	cm/N	<0.1
2	2	Amplitud en frecuencia de resonancia	dB	<10
3	3	Existencia de sistema fail-safe	Boolean	Y
4	4, 2	Peso en carga sin fallar	kg	>80
5	4	Fuerza de oposición punto de carga	N	≈400
6	5	Mínimo ángulo en facetas	°	>90
7	6	Grado de satisfacción con comodidad	Subjetivo	>4
8	6	Presión en puntos sobresalientes corporales de sujeto de prueba	Pa	<1000
9	7	Costo de fabricación o adquisición de parte máximo vs. costo total	%	<50
10	8, 6	Volumen ocupado	L	<6000
11	9, 10	Numero de funciones de control	#	<4
12	10	Grado de conformidad con “es intuitivo”	Subjetivo	>4
13	11	Energía superficial de adherencia	dyn/cm	<1
14	12	Cambio de peso en ambiente corrosivo	g/yr	<100
15	13, 2, 4	Deformación ante estrés del principal material	kPSI	>40



Tabla 5

Desglose de alternativas para cumplir funciones

Entrada de energía	Almacenamiento de energía	Conversión a fuerza	Aplicación de la fuerza	Transporte del paciente
Enchufe	Mecanismo de trinquete	Mecanismo de trinquete	Brazo articulado	Camilla
Palanca	Capacitores	Motor eléctrico	Poleas	Silla
Manivela	Bomba tipo solenoide	Presión de gas	Pistón	Arnés
Pedal	Resortes	Empuje mecánico	Componente mecánico	Cuna

Tabla 6

Matriz de selección de criterios

	Conceptos						
	A	B	C	D	E	F	G
<hr/>							
Criterios de selección							
Comodidad del paciente	0	+	-	0	0	+	-
Tamaño	-	+	+	-	+	0	0
Facilidad de mantenimiento	+	0	0	-	+	-	+
Riesgo del sistema	+	+	0	-	0	0	0
Facilidad de uso	0	+	+	0	0	0	0
Tiene sistema fail-safe	+	0	-	0	0	0	+
Costo de fabricación	+	-	-	0	+	-	+
Estabilidad	-	+	+	0	-	+	0
Suma +	4	5	3	0	3	2	3
Suma 0	2	2	2	5	4	4	4
Suma -	2	1	3	3	1	2	1
Evaluación neta	2	4	0	-3	2	0	2
Lugar	2	4	0	-3	2	0	2
Continuar	2	4	0	-3	2	0	2

Tabla 7

Matriz de evaluación de conceptos

Criterios de selección	Peso	CONCEPTO					
		B (Referencia)		AE		FG	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Comodidad del paciente	17%	5	0,85	4	1	2	0,34
Tamaño	10%	3	0,3	4	0,4	5	0,5
Facilidad de mantenimiento	10%	3	0,3	4	0,4	3	0,3
Riesgo del sistema	14%	3	0,42	4	0,56	3	0,42
Facilidad de uso	10%	5	0,5	2	0,2	5	0,5
Tiene sistema fail-safe	13%	2	0,26	3	0,39	3	0,39
Costo de fabricación	13%	1	0,13	3	0,39	1	0,13
Estabilidad	13%	4	0,52	3	0,39	3	0,39
Total	100,0%		3,28		3,41		2,97
	Lugar		3		5		2
	Continuar		3,28		3,41		2,97

Tabla 8

Matriz DSM (Design Structure Matrix)

	Base	Brazo	Silla	Trinquete	Manivela
Base	<b>x</b>	1	0	0	0
Brazo	1	<b>x</b>	1	1	1
Silla	0	1	<b>x</b>	0	0
Trinquete	0	1	0	<b>x</b>	1
Manivela	0	1	0	1	<b>x</b>

Tabla 9

Matriz FCM (Function Component Matrix)

	Soporte	Movilidad	Posicionamiento	Tracción	Rotación
Base	1	0	0	0	0
Brazo	0	1	1	0	0
Silla	1	1	0	0	0
Trinquete	0	0	0	1	0
Manivela	0	1	0	1	1

Tabla 10

## Factores económicos

Concepto			Costo Estimado (COP)
Salario mensual (3 personas*6 meses)			\$ 27.000.000,00
Costo de papelería (materiales de oficina)			\$ 500.000,00
Licencias de software			\$ 3.000.000,00
Material para prototipado	Base	Acero	\$ 500.000,00
	Ruedas	Acero / Poliuretano	\$ 300.000,00
	Mecanismo	Acero	\$ 800.000,00
	Engranaje menor	Acero inoxidable	\$ 250.000,00
	Engranaje mayor	Acero carbono	\$ 400.000,00
	Trinquete	Acero carbono	\$ 350.000,00
	Gatillo	Acero carbono	\$ 100.000,00
	Cremallera	Acero	\$ 200.000,00
	Manivela	Aluminio	\$ 150.000,00
	Manija	Acero	\$ 80.000,00
	Brazo boom	Acero	\$ 1.200.000,00
	Eslinga	Acero	\$ 500.000,00
	Soporte de eslinga	Rodamiento	\$ 150.000,00
	Costo de herramientas y equipos		
Transporte para adquisición de materiales			\$ 500.000,00
Gastos de oficina (alquiler, servicios)			\$ 6.000.000,00
Contingencias (10% del total de costos)			\$ 4.398.000,00
Costo Total			\$ 48.378.000,00

## Figuras

## Árbol de objetivos

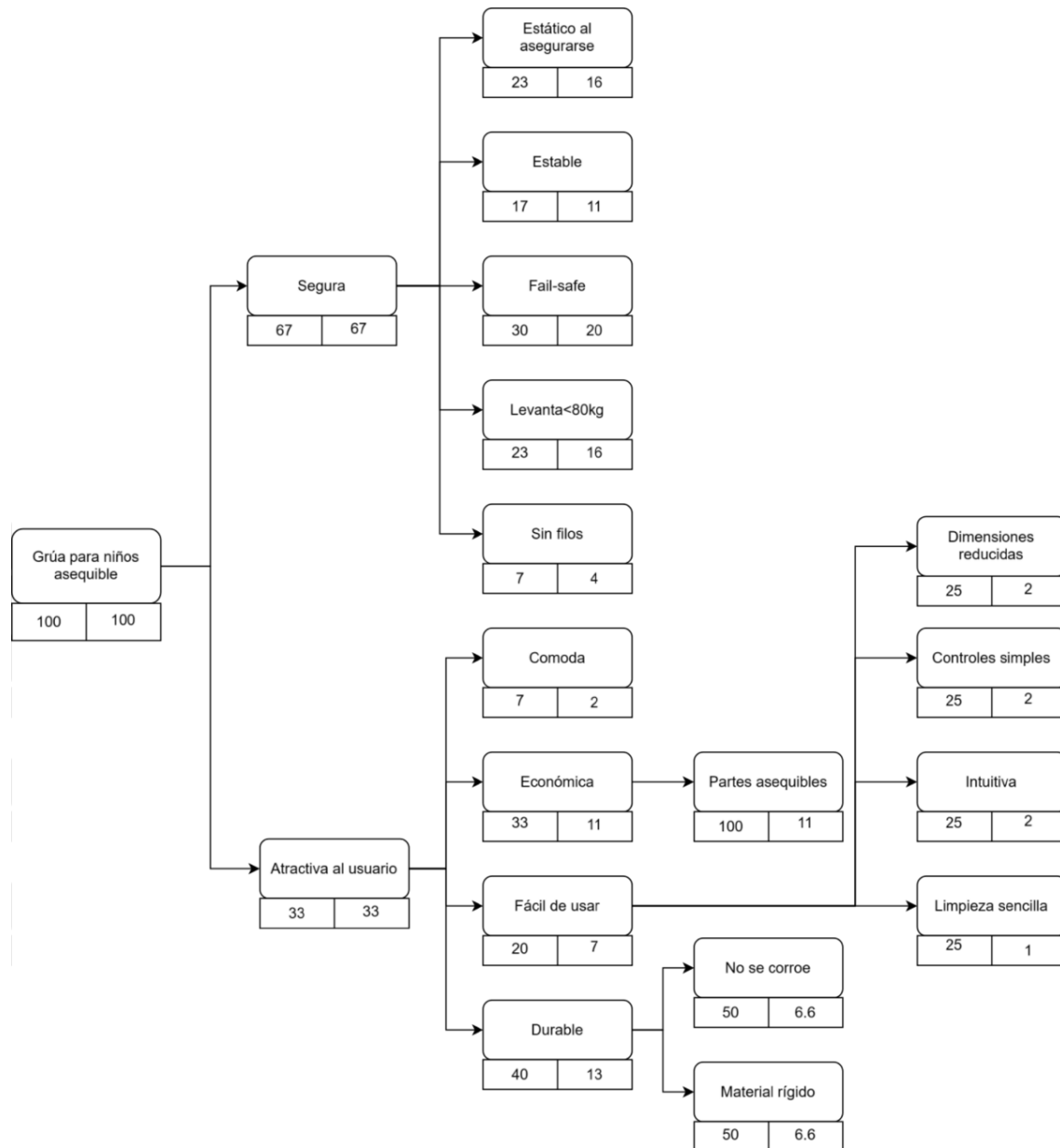


Figura 1.

## Árbol de funciones

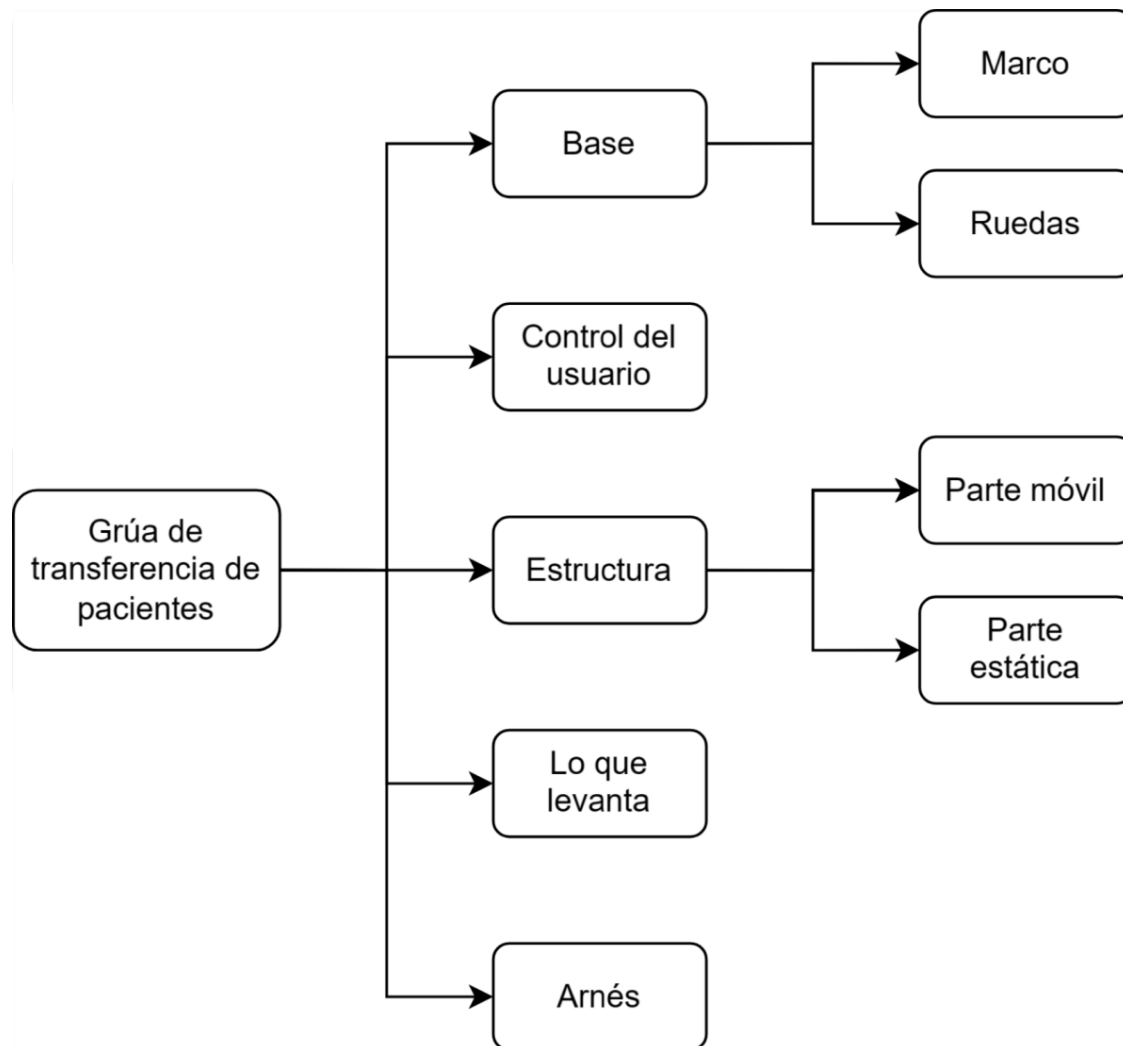


Figura 2.



Cajas de funciones, negra y transparente

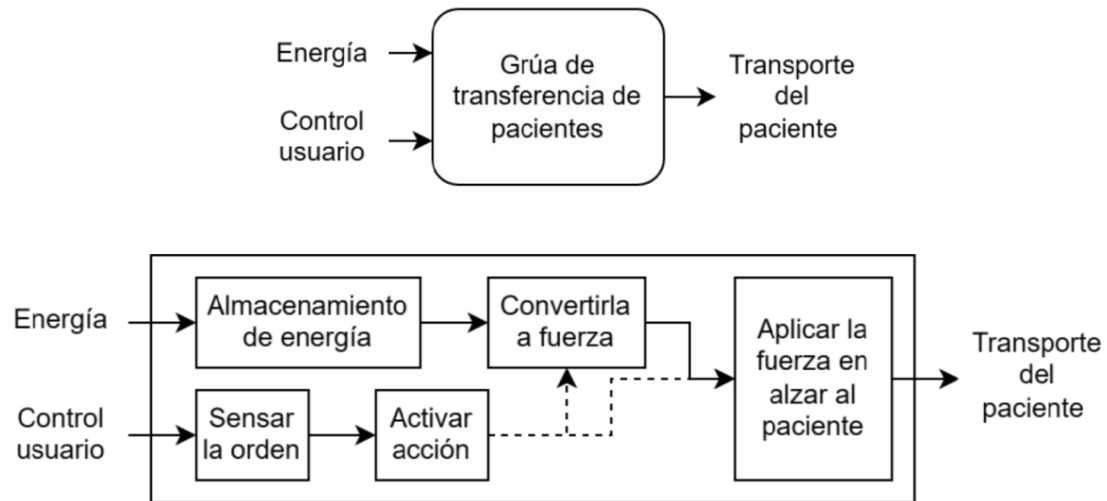


Figura 3.

## Árbol de conceptos

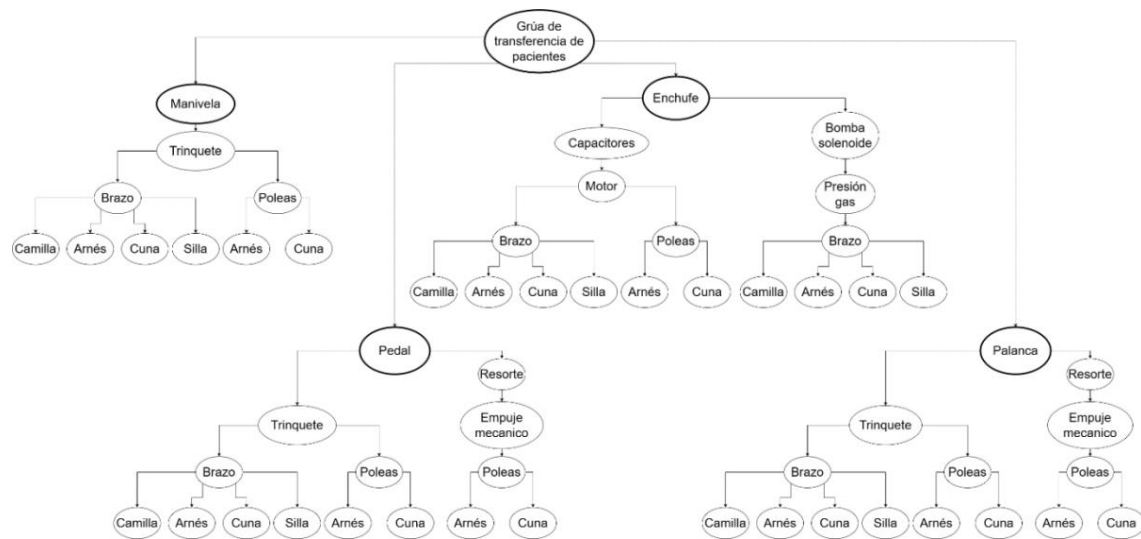


Figura 4.

Diagrama de relaciones funcionales

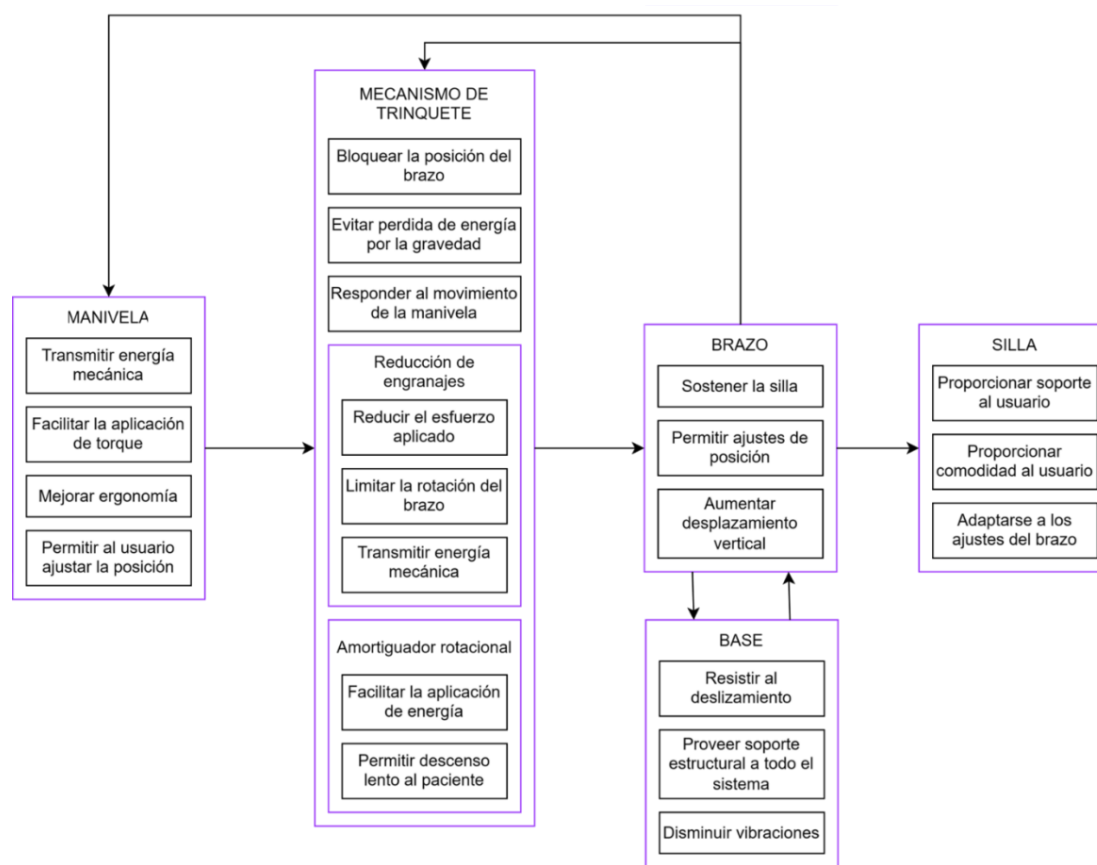
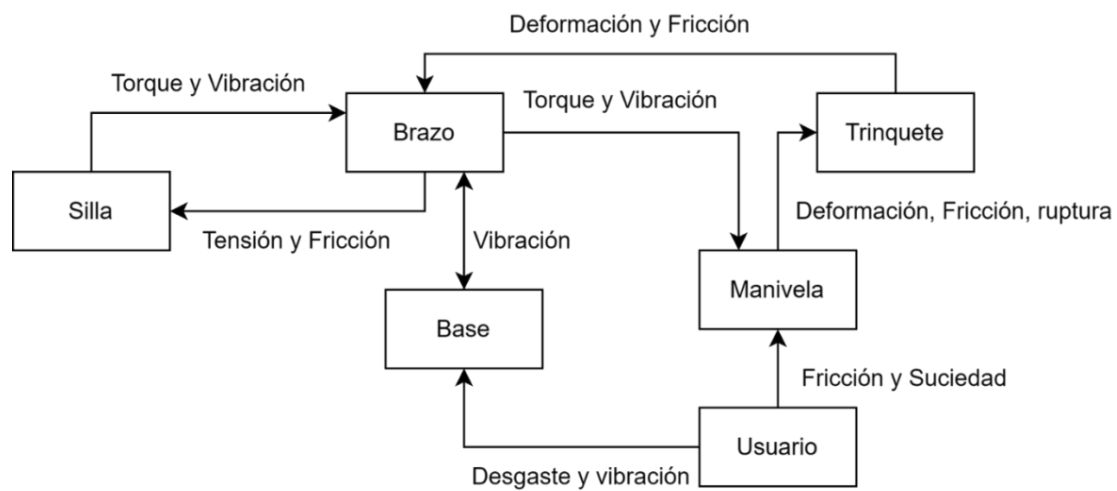


Figura 5.

Diagrama de relaciones incidentales

*Figura 6.*

Modelo detallado CAD



*Figura 7.* Este modelo fue realizado utilizando OnShape, con licencia educativa.