

Modelo virtual de una plataforma de movilidad ortesis-silla para entornos domésticos

Minguella-Canela, J.^{a,*}, Iturbe, E.^a, Muñoz, L.M., Casals, A.^b

^aGrup de Recerca en Tecnologies de Fabricació (TECNOFAB), Departament D'Enginyeria Mecànica (DEM), Escola Tècnica Superior D'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Campus Sud, Edif. PF, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, España.

^bCentre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), C/ Jordi Girona, n°1-3, 08034, Barcelona, España.

To cite this article: Minguella-Canela, J., Iturbe, E., Muñoz, L.M., Casals, A. 2023. **Virtual model of an orthosis-chair mobility platform for domestic environments.** XLIV Jornadas de Automática , 673-678 <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.673>

Resumen

Dada una plataforma híbrida silla-ortesis que permita gestionar movilidad, postura y actuación, es necesario controlar numerosos grados de libertad. Para que la plataforma sea funcional, es necesario asegurar que el comportamiento cinemático y dinámico de dichos grados de libertad haga posible realizar tareas habituales. El presente artículo estudia mediante simulación un caso de uso correspondiente a la realización de una tarea (preparar una taza de té) en un entorno doméstico (cocina) por parte de una persona usuaria de una plataforma silla-ortesis con arquitectura POSMOFYA. Dicho caso de uso comienza con un modelado en un entorno virtual 3D, del cual se extrae la evolución de la cinemática de la plataforma híbrida y su contexto. A continuación, se realiza un estudio dinámico inverso para obtener los valores necesarios de fuerzas y pares de los actuadores. La resolución del caso de estudio permite validar el funcionamiento de la arquitectura propuesta y también dimensionar la motorización necesaria para la plataforma ortesis-silla.

Palabras clave: Mecatrónica para sistemas de movilidad, Sensores, Interacción entre persona y vehículo, Control de movimiento, Sistemas de fabricación flexibles y reconfigurables.

Virtual model of an orthosis-chair mobility platform for domestic environments

Abstract

Given a hybrid orthosis-chair platform that allows managing mobility, posture, and actuation, it is necessary to control a large number of degrees of freedom. For the platform to be functional, it is necessary to ensure that the kinematic and dynamic behavior of these degrees of freedom makes it possible to perform common tasks. This article studies by simulation a case study consisting of performing a task (preparing a cup of tea) in a domestic environment (kitchen) by a user of an orthosis-chair platform with POSMOFYA architecture. This use case begins with a 3D virtual environment modeling, from which the evolution of the kinematics of the hybrid platform and its context are extracted. Then, a reverse dynamic study is performed to obtain the necessary values of forces and torques of the actuators. The resolution of the case study allows to validate the operation of the proposed architecture and to dimension the necessary motorization for the orthosis-chair platform.

Keywords: Mechatronics for Mobility Systems, Sensing, Human-vehicle interaction, Motion control, Flexible and reconfigurable manufacturing systems.

*Autor para correspondencia: joaquin.minguella@upc.edu
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. Introducción

Hoy en día, se estima que 1.300 millones de personas (o el 16% de la población) en el mundo experimentan una discapacidad significativa, cifra que está creciendo debido a un aumento de las enfermedades no transmisibles y esperanza de vida (WHO, 2011).

En España hay más de 4,3 millones de personas con algún tipo de discapacidad (INE, 2020). Los resultados de una encuesta muestran un incremento del 11,8% entre los hombres y del 5,4% entre las mujeres en comparación con los resultados obtenidos en 2008. El número de personas con discapacidad aumenta a partir de los 45 años, afectando la movilidad y la actividad de la vida diaria y por tanto su autonomía personal.

1.1 Plataformas de movilidad para personas con necesidades especiales

Las ayudas a la movilidad, como las sillas de ruedas y los exoesqueletos, sirven como medios esenciales de asistencia para los pacientes con trastornos motores graves que dificultan su capacidad para caminar, mantenerse en pie o participar en las actividades de la vida diaria. Sin embargo, estas opciones aún no brindan una asistencia a las personas con discapacidad severa que combine la movilidad que aporta una silla de ruedas, con la asistencia a la actividad a realizar con las extremidades superiores para poder interactuar con el entorno aportando un mayor alcance y fuerza.

En este contexto, se han investigado diversas estrategias para mejorar las capacidades de las sillas de ruedas convencionales transformándolas en plataformas versátiles con múltiples funciones (Leaman and La, 2017, Lobo-Prat et al., 2019). Estas estrategias van desde la implementación de funcionalidades similares a simples exoesqueletos hasta la integración de inteligencia artificial.

La integración de las funcionalidades del exoesqueleto en las sillas de ruedas ha marcado una diferencia significativa para ayudar a los usuarios a ponerse de pie y apoyar los movimientos de los brazos.

El proyecto POSMOFYA se focaliza en la investigación sobre el diseño e implementación de una plataforma de movilidad capaz de responder a las diversas necesidades de las personas usuarias de sillas de ruedas (Casals et al., 2023). Esta plataforma híbrida, silla-exoesqueleto, ofrece una gama de funcionalidades, incluida la capacidad de sentarse, ponerse de pie, acostarse, navegar e incluso extender sus brazos para la manipulación de objetos (Fig. 1).

Para lograr las posiciones y posturas descritas y poder ampliar las funcionalidades, es necesario incorporar en el diseño de una silla convencional grados de libertad adicionales. Esto implica hacer que ciertos componentes sean activos y controlables por la persona usuaria, en lugar de ser pasivos o simplemente ajustables. Sin embargo, a medida que se integran más grados de libertad en la plataforma de movilidad, es necesario dotarla de una interfaz adecuada para un control efectivo de sus múltiples funcionalidades. Esta interfaz requiere disponer de dispositivos de mando que pueden ir desde mecanismos de actuación física como interruptores, dispositivos de conmutación o medida como pulseras, bandas, pulsadores o joysticks u otros *wearables*, hasta sistemas más avanzados como sistemas de visión y en

general interfaces multimodales que comprenden dispositivos que se complementen, para facilitar un control por parte del usuario amigable y seguro (Barea et al., 2002), (Al-Qaysi et al., 2018), (Zavala et al., 2021).



Figura 1 Prototipo virtual de la plataforma de movilidad

Además de la movilidad, se considera también la posibilidad de recibir asistencia desde el entorno, por ejemplo, por parte de dispositivos como brazos robóticos externos, a través de acciones basadas en el contexto.

El presente artículo proporciona una visión general del modelo (cinemático y dinámico) de una plataforma de movilidad, silla-ortosis, que tiene como objetivo combinar movilidad, funcionalidad y aceptabilidad para su uso en entornos domésticos. Dados los mecanismos contenidos en la plataforma, se realiza un estudio para determinar los rangos de actuación y los niveles de fuerzas y pares que deberán implementarse en los pares a controlar.

Para conseguir determinar la evolución de la cinemática del sistema a lo largo del caso de estudio, se utilizan técnicas de modelado y simulación en 3D (CoppeliaSim) que permiten estudiar aspectos relacionados con la cinemática y la ergonomía del sistema. A partir de la cinemática de los actuadores, se determina el dimensionado de los actuadores necesarios mediante estudios dinámicos inversos (GIM).

1.2 Estudio de un caso de uso para evaluar los requisitos de la plataforma.

Diseñar una solución que aborde todos los movimientos de los usuarios no es trivial. Numerosos factores prácticos entran en juego, incluidos los ajustes de la silla para adaptarse a las características físicas individuales, consideraciones prácticas como el peso y la facilidad de plegado, la adaptabilidad al entorno o incluso aspectos estéticos y de aceptación social que hacen que sea complicado encontrar la solución óptima.

En el presente estudio se propone realizar el análisis de una situación que se podría dar en un entorno de tipo hogar suponiendo que la persona usuaria mantiene cierta movilidad remanente en brazos y manos que le permite realizar acciones de tipo agarre con un cierto control voluntario, pero no suficiente para soportar el propio peso para elevar el brazo. En concreto, se trata de simular de forma virtual la secuencia de acciones para entrar en una cocina, preparar una taza de té, y desplazarse a una ubicación en la cual reclinarsse.

El acto de preparar una taza de té sirve como ejemplo ilustrativo para analizar un amplio rango de movimientos. Esta tarea aparentemente simple abarca la movilidad, la coordinación y la interacción con el entorno. La manipulación de objetos en posición sentada o erguida, cada paso puede plantear dificultades a estas personas con limitada movilidad.

El modelo desarrollado incorpora la tarea de un brazo robótico externo capaz de proporcionar cierta asistencia a las acciones a realizar, que facilite el desarrollo y/o complemente cierta movilidad para facilitar el superar posibles limitaciones de alcance y/o manipulación (Vinagre et al. 2020).

El proceso comienza con la persona desplazándose en la plataforma de movilidad por una cocina hasta llegar a la encimera. Actuando como asistente, el brazo robótico ayuda en la primera tarea de llenar el hervidor con agua. Reconociendo el alcance limitado del usuario, el robot agarra el hervidor desde el lugar en el que está guardado y lo coloca junto al usuario, asegurando una mayor facilidad y accesibilidad para el individuo. Una vez que el hervidor está colocado, el usuario utiliza la movilidad restante, alcanza el grifo y llena el hervidor con agua. Después de completar con éxito esta tarea, devuelve cuidadosamente el hervidor al lugar designado, que ha sido organizado por el robot. A medida que el agua comienza a hervir, el robot recoge un tazón de un estante cercano y se lo entrega al usuario, asegurando su comodidad y accesibilidad durante todo el proceso. Con el tazón en la mano, el usuario introduce el sobre de té y vierte agua caliente en él. Finalmente, la persona usuaria se desplaza hasta llegar frente la ventana y se reclina.

La Tabla 1 resume las acciones de los movimientos posturales en cada paso.

Tabla 1 Especificación de los movimientos a realizar

Paso	Descripción de la situación	Movimientos en la plataforma (desde una posición neutral)
1	Desplazarse por la cocina, posición en modo sentado de desplazamiento.	Avance de la silla hacia su destino
2	Acceso a la encimera, posición en modo sentado elevado.	Elevación del asiento, movimientos de los brazos para alcanzar objetos
3	Acceso al fregadero, posición en modo de persona erguida.	Elevación, avance y flexión del asiento, adaptando la elevación de la espalda y el brazo
4	Verter agua del hervidor a la taza, posición en modo de persona erguida.	Elevación y flexión del asiento, giro de la espalda y elevación del brazo
5	Desplazarse hasta la ventana con la taza	Avance de la silla hasta el nuevo destino y elevación del brazo
6	En posición delante de la ventana. Reclinar hasta la posición de descanso.	Elevación del asiento a una posición media, reclinado de la espalda y extensión de reposabrazos

En el caso de que el usuario dejara caer algo al suelo o necesitara recoger un artículo del suelo, la silla debería bajar de su posición sentada normal a una inferior para permitir un mejor alcance y accesibilidad al objeto.

2. Especificaciones de la plataforma de movilidad

Siguiendo los requisitos de uso discutidos anteriormente, la arquitectura propuesta para la plataforma silla-exoesqueleto, debe cumplir con las especificaciones de movilidad, cambios de postura y manipulación de objetos. La silla de ruedas se instala sobre una plataforma móvil comercial con dos ruedas motrices. Hay tres configuraciones principales disponibles: sentado, reclinado y erguido. La configuración de sentado proporciona alturas de asiento estándar y bajas para acomodar diversas tareas y alcanzar objetos en el suelo o a bajas alturas.

La configuración acostada permite descansar, con una posición casi horizontal y extensión de piernas. La configuración de pie permite al usuario alcanzar objetos a una mayor altura. El detalle de las posturas se muestra en la Figura 2.

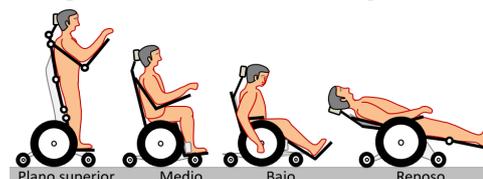


Figura 2 Capacidad postural de la plataforma POSMOFYA. De izquierda a derecha: Configuración de pie, Sentado estándar, Sentado bajo y Acostado.

Los 12 grados de libertad de la plataforma de movilidad se ubican en 5 módulos: 1) 1GdL Elevación cabeza, 2) 4 GdL (2 x 2) elevación de brazo y antebrazo, 3) 3 GdL asiento posición alta y baja y orientación, 4) 2 GdL flexión/extensión piernas, y 5) 2 GdL avance y orientación silla. (Minguella et al, 2023).

La Figura 3 proporciona una visión general del diseño de la silla y los grados específicos de libertad asociados con ella para determinar la postura. Para ampliar las posibilidades, se pueden incorporar funcionalidades adicionales como brazos robóticos para controlar objetos funcionales dentro del entorno, lo cual requiere la incorporación de GdL adicionales.

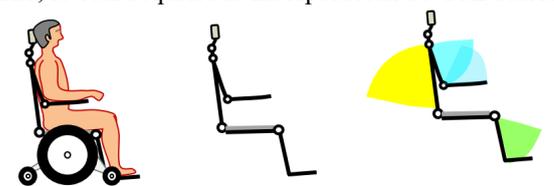


Figura 3. Representación del rango de los ángulos que pueden alcanzar los diferentes elementos articulados del respaldo, reposabrazos y reposapiernas.

3. Modelado plataforma - entorno: elementos activos desarrollados e integrados en el estudio de caso de uso

3.1 Elementos contenidos en la plataforma de movilidad

La plataforma comercial cuenta con cuatro ruedas auxiliares de tipo caster, lo que garantiza su estabilidad. Esto permite un control cinemático en configuración diferencial (ver Fig. 4).

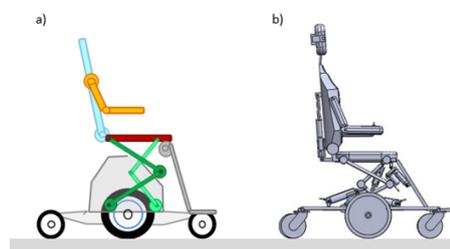


Figura 4. a) Diseño esquemático del mecanismo, b) Diseño modelado en 3D de la silla POSMOFYA.

Un mecanismo de elevación es el encargado de levantar el conjunto silla desde la plataforma inferior. Dicho mecanismo está formado por una estructura paralela asimétrica con un tipo de mecanismo de ballesta de 2 enlaces. El diseño incorpora el mismo mecanismo a ambos lados de la silla, permitiendo los movimientos deseados y proporcionando 3 GdL. El asiento es una base cuadrada unida con articulaciones angulares a los reposapiernas y espalda, lo que permite su movimiento

relativo. El respaldo incluye dos reposabrazos motorizados en su brazo y antebrazo, uno a cada lado, y un soporte para la cabeza en la parte superior.

3.2 Elementos activos para el control integrados en la plataforma de movilidad

Para mejorar las capacidades de la plataforma, se implementa un joystick en el reposabrazos derecho que permite al usuario controlar varias funcionalidades de la silla, como la orientación del movimiento. una pulsera que permite al usuario interactuar con un robot que puede estar ubicado en la escena.

La silla de ruedas está equipada con una cámara frontal que se extiende desde el soporte de la cabeza, proporcionando una perspectiva visual del entorno. Esta cámara está conectada a las gafas que lleva el usuario, que también incorporan cámaras adicionales. Dos cámaras ubicadas también en las gafas capturan los movimientos oculares, lo que permite enviar comandos a la silla basados en el seguimiento ocular. Esto permite el cumplimiento de otras funciones.

Estos activos complementarios se presentan integrados en la escena en la Figura 5 y amplían las capacidades de la plataforma de movilidad, proporcionando un mejor control e interacción para el usuario de silla de ruedas.



Figura 5 Escena en la simulación del caso de estudio donde un usuario está sentado en la plataforma de movilidad, que incorpora la pulsera en el brazo derecho, las gafas, la cámara y su soporte.

3.3 Otros elementos activos adicionales del entorno

Para crear un espacio más interactivo y realista se han modelado activos adicionales dentro del entorno. En particular, el modelo virtual de la cocina ha sido diseñado para replicar un contexto similar al de un entorno doméstico, y se han agregado varios objetos para mejorar su apariencia visual y realista. Estos objetos incluyen artículos como vasos, un fregadero, un tazón y un hervidor de agua, que contribuyen a una experiencia más inmersiva y permiten una mejor comprensión del rendimiento de la silla de ruedas en un entorno de cocina.

La implementación de una puerta automática mejora significativamente la accesibilidad, agilizando el proceso de entrada y salida, proporcionando comodidad y ahorrando tiempo y esfuerzo para los usuarios de sillas de ruedas. También se ha incorporado un brazo robótico, en concreto, un brazo Mico (Kinova) (Campeau-Lecours, 2018) que permite ampliar la accesibilidad y realizar tareas complementarias, Figura 6. Dicho brazo facilitaría el movimiento y manipulación de objetos como el tazón o el hervidero, acercándolos de un lugar a otro. Integrar activos adicionales da al usuario un mayor control e interacción con su entorno, contribuyendo a dotar al usuario de mayor independencia y autonomía



Figura 6. Izquierda: Distribución de la escena de la cocina; Derecha: Brazo robot Mico agarrando un tazón del estante.

4. Experimentación y evaluación de la funcionalidad de la plataforma

La evaluación de la plataforma tiene como objetivo analizar su movilidad y ergonomía, así como analizar las fuerzas y los pares involucrados en la operación de la plataforma para poder prescribir potencias y pares para su adecuada motorización.

4.1 Movilidad y ergonomía

Dentro de la evaluación del rendimiento de la plataforma, un aspecto clave que se evalúa es su movilidad y ergonomía, particularmente en posiciones extremas. Al evaluar la capacidad de la plataforma para desplazarse y maniobrar en escenarios complejos, como espacios reducidos o terrenos irregulares, se puede medir su movilidad general.

Los aspectos ergonómicos de la plataforma también se examinan para garantizar la comodidad y seguridad del usuario. Esto incluye evaluar la posición del asiento, la capacidad de ajuste y el soporte proporcionado por la silla, así como considerar la accesibilidad y la facilidad de uso de los controles y funcionalidades.

La altura de la silla está determinada por el mecanismo de actuación. El rango de movimiento depende de la configuración de cada uno de los sólidos del mecanismo para conseguir diferentes alturas. La solución propuesta implica cinco actuadores. Tres de ellos controlan el mecanismo de elevación del asiento y de posición de persona erguida, (a-b-c), y los dos restantes la rotación del respaldo (d) y la elevación de los reposa piernas (e). Cada actuador se ha posicionado teniendo en cuenta factores como el rango de movimiento, el tamaño y el espacio disponible en cada caso (ver Fig. 7).

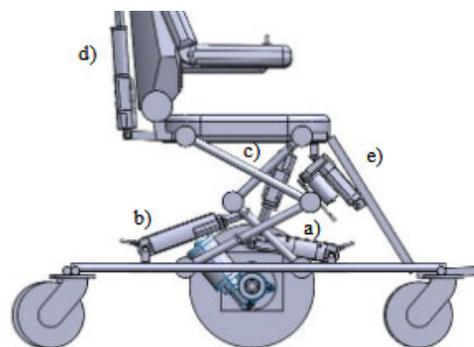


Figura 7. Detalle de la silla de ruedas con los actuadores integrados en los pares cinemáticos controlados. a), b), c) Actuadores relevantes para el movimiento del asiento, d) Actuador para la reclinación del respaldo, e) actuador para la elevación del reposa piernas

La posición neutra de la silla se coloca a una altura de 570 mm desde la superficie más alta del colchón hasta del suelo. Cuando la silla desciende a su posición más baja, los actuadores quedan dispuestos para garantizar una distancia mínima de 514 mm del suelo. Lograr esto requiere la retracción completa simultánea de todos los actuadores. En cambio, en la posición de silla levantada, los actuadores se extienden, ejerciendo fuerza para elevarla. La altura máxima alcanzable es de 630 mm sobre el suelo (ver Fig. 8).

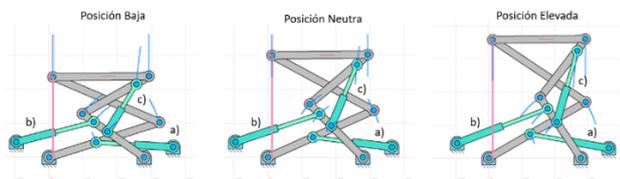


Figura 8 Diferentes posiciones de elevación de la silla. (Baja, neutra y elevada)

Para permitir la inclinación del respaldo, y para facilitar la posición de persona erguida, los actuadores funcionan de manera diferente. Los actuadores inferiores se extienden completamente, alcanzando una longitud entre 250-260 mm, para levantar el mecanismo. El tercer actuador (c), colocado entre la plataforma y el asiento, se extiende hasta 190 mm para permitir la inclinación de la base superior.

Lograr una posición reclinada requiere el accionamiento de los componentes del respaldo y el reposa piernas. Se ha integrado un actuador lineal para permitir una reclinación de casi 90 grados para el respaldo (ver Fig. 9). Cuando está completamente reclinado, el actuador se retrae y se extiende hasta 420 mm para volver a la posición sentada.



Figura 9. Modelo 3D en la posición de persona reclinada.

Del mismo modo, el reposa piernas funciona utilizando un principio similar. Cuando el usuario levanta los pies, el actuador se retrae para proporcionar una postura reclinada cómoda. Cuando se baja el reposapiés, el actuador alcanza una longitud de 200 mm, ofreciendo un soporte óptimo para las piernas y los pies del usuario. En esta situación, el asiento se encuentra a una altura 497 mm sobre el suelo. Esta altura puede ser ajustable manteniendo la posición de tumbado.

Tal y como se ha mencionado previamente, en este caso el actuador del reposa piernas está totalmente elongado y el del respaldo totalmente retraído. En esta situación, el mecanismo se encuentra tal como se describe en Figura 10.

Se ha llevado a cabo un análisis cinemático de los actuadores, con el objetivo de estudiar su comportamiento a lo largo de todo el recorrido. Se ha identificado que la operación más extrema se presenta al elevar la parte posterior del asiento para permitir que el usuario adopte una posición de pie.

El gráfico de elongación de la Figura 11 revela que el actuador (c) debe realizar un recorrido menor en comparación con los otros dos actuadores. En cuanto a la aceleración, se observa que el actuador de menor altura (a) muestra una mayor

dificultad para iniciar el recorrido. Estas observaciones indican diferencias significativas en la respuesta de los actuadores durante el proceso de elevación de la parte trasera del asiento, lo cual es relevante para comprender y optimizar el funcionamiento del sistema en su conjunto.

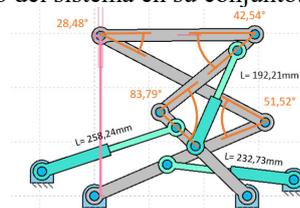


Figura 10 Configuración del mecanismo en el caso de persona reclinada.

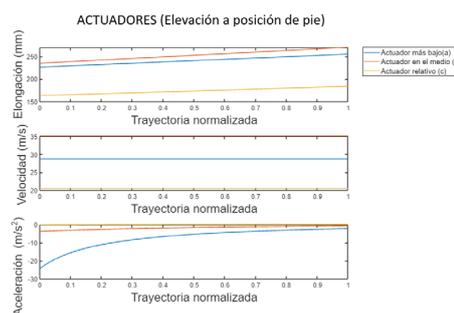


Figura 11 Funcionamiento de los actuadores para elevar el asiento y lograr la posición de pie.

4.2 Fuerzas y actuadores (potencias y pares)

Al medir las fuerzas y los pares ejercidos por los actuadores, como las ruedas motorizadas o el mecanismo de elevación, se pueden determinar las capacidades y limitaciones de la plataforma.

Para calcular las fuerzas requeridas, se deben considerar cuidadosamente factores como el peso de la silla y el peso promedio considerado para los europeos, 70 kg (Walpole, 2012) y su distribución en la silla. Según los estudios de los autores (Charney, Malone y American Dietetic Association. 2009), cada zona del cuerpo tiene una contribución porcentual distinta a la masa total. Como resultado, cada elemento de la silla soportará una proporción diferente del peso dependiendo de la posición específica. Para abordar esto, se han analizado las posiciones más críticas.

Uno de los movimientos más críticos para el mecanismo ocurre al levantar la sección trasera de la silla para permitir que el usuario se ponga de pie. Durante esta acción, el mecanismo debe soportar aproximadamente el 88,2% del peso total del usuario. El mecanismo diseñado consta de dos partes, cada una con tres actuadores. En consecuencia, el peso que el mecanismo necesita soportar se divide entre estas dos secciones. Cada actuador dentro de una pieza dada ejerce una fuerza distinta, debido a su posicionamiento específico y movimiento requerido.

La Figura 12 representa la fuerza ejercida por cada actuador para lograr el movimiento deseado hasta la posición de pie. Los gráficos proporcionados en la Figura 13 resumen la fuerza ejercida por cada actuador durante todo el rango de movimiento. El actuador con mayor requisito de fuerza es el (a), el cual tiene una diferencia significativa en la fuerza ejercida por este actuador en particular en comparación con los demás. En la posición reclinada, la distribución de fuerzas

juega un papel crucial, con aproximadamente el 68% y el 11,8% del peso total soportado por el respaldo y el reposapiés, respectivamente. Cada uno de estos componentes requiere un solo actuador para lograr el movimiento deseado

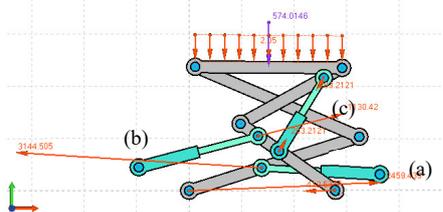


Figura 12 Resultados de las fuerzas ejercidas por los actuadores a), b) y c)

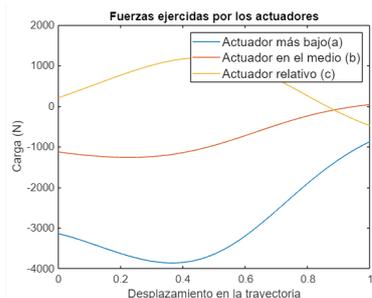


Figura 13. Fuerzas ejercidas por los actuadores sobre el mecanismo para la posición de pie.

Las fuerzas y el par para cada rueda se han obtenido de la simulación de la trayectoria. La simulación replicó la ruta del usuario mientras preparaba el té, lo que permitió la recopilación de valores de par para cada rueda a lo largo de toda la ruta (ver Fig 14).

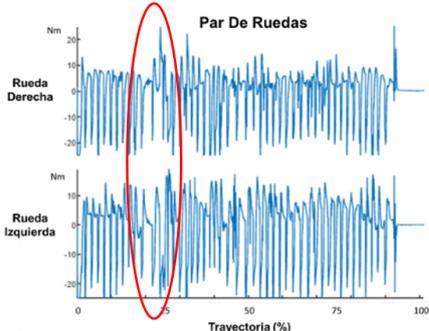


Figura 14. Par necesario para cada rueda durante la trayectoria. Se marcan en rojo valores procedentes a un giro en la trayectoria.

Para el cálculo de la potencia necesaria para el motor se ha establecido una velocidad máxima de 4 km/h. Sin embargo, en el caso de un peso de persona usuaria más elevado, o bien en un entorno con pendientes, se requeriría una mayor potencia para que las ruedas pudieran mover la plataforma. Utilizando el par máximo que deben ejercer las ruedas (25 Nm) y la velocidad, se ha determinado que una potencia de 35 W sería suficiente para mover al usuario.

5. Discusión y conclusiones

La estructura diseñada alcanza con éxito las posiciones deseadas. Los cálculos de fuerzas permiten seleccionar los actuadores más adecuados. Sin embargo, sería posible una mayor optimización del mecanismo con una distribución más equilibrada de las fuerzas. Actualmente, debido al pequeño

ángulo entre el mecanismo y el actuador de posición inferior, se requiere mayor potencia. Al redistribuir la fuerza de manera más uniforme, la estructura general se puede optimizar para mejorar la eficiencia y el rendimiento.

El siguiente paso consistirá en añadir los requisitos ergonómicos posturales y de movimiento, algunos de ellos recogidos en estándares de ergonomía, para adecuar las trayectorias y transiciones de pose de la silla, pudiéndose simular gracias a este estudio inicial.

Agradecimientos

Investigación parcialmente financiada por el proyecto PID2020-116091RB-I00 "Orthosis-Chair Hybrid Platform to make compatible Mobility, Functionality and Acceptability for application in domestic environments" (POSMOFYA) del Ministerio de Ciencia e Innovación. El autor Joaquim Minguella-Canela es profesor Lector Serra Hünter.

Referencias

Al-qaysi, Z. T., B. B. Zaidan, A. A. Zaidan, and M. S. Suzani. 2018. "A Review of Disability EEG Based Wheelchair Control System: Coherent Taxonomy, Open Challenges and Recommendations." *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 164: 221–37. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.06.012>.

Barea, Rafael, Luciano Boquete, Manuel Mazo, and Elena López. 2002. "System for Assisted Mobility Using Eye Movements Based on Electrooculography." *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 10(4): 209–18.

Campeau-Lecours, Alexandre et al. 2018. "Kinova Modular Robot Arms for Service Robotics Applications." *International Journal of Robotics Applications and Technologies* 5(2): 49–71.

Casals, Alicia et al. 2023. "A Preliminary Approach to a Wheelchair with Embedded Exoskeleton Capabilities." *Lecture Notes in Networks and Systems* 590 LNNS: 252–63.

Charney, Pamela, Ainsley. Malone, and American Dietetic Association. 2009. "ADA Pocket Guide to Nutrition Assessment." 214. <https://www.worldcat.org/title/228114860> (June 1, 2023).

Instituto Nacional de Estadística, 2020. "Encuesta de Discapacidad, Autonomía personal y situaciones de Dependencia". https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INESeccion_C&cid=1259926668516&p=%5C&pagenam=ProductosYServicios%2FPYSLayout¶m1=PYSDetalle¶m3=1259924822888

Leaman, Jesse, and Hung Manh La. 2017. "A Comprehensive Review of Smart Wheelchairs: Past, Present, and Future." *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 47(4): 486–89.

Lobo-Prat, Joan et al. 2019. "Development and Evaluation of MOVit: An Exercise-Enabling Interface for Driving a Powered Wheelchair." *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 27(9): 1770–79.

Minguella et al, 2023. "Multi-material 3D printing, alternative for designing components in robotic systems" *Jornadas de Robótica y Bioingeniería* 2023.

"Población Con Discapacidad En España, En Gráficos." <https://www.epdata.es/datos/poblacion-discapacidad-espana-graficos/631?accion=1> (May 31, 2023).

Vinagre, Manuel, Aranda, Joan, Casals, Alicia . 2019 "Suitable task allocation in intelligent systems for assistive environments", *Fourth Iberian Robotics Conference: Advances in Robotics, volume 2*". Springer, 2020

Walpole, Sarah Catherine et al. 2012. "The Weight of Nations: An Estimation of Adult Human Biomass." *BMC Public Health* 12(1): 1–6. <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-12-439> (June 7, 2023).

WHO. 2011. "Assistance and Support." *WORLD REPORT ON DISABILITY*: 135–65.

Zavala, Sebastián Poveda, Sang Guun Yoo, and David Edmigio Valdivieso Tituana. 2021. "Controlling a Wheelchair Using a Brain Computer Interface Based on User Controlled Eye Blinks." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 12(6): 49–55.