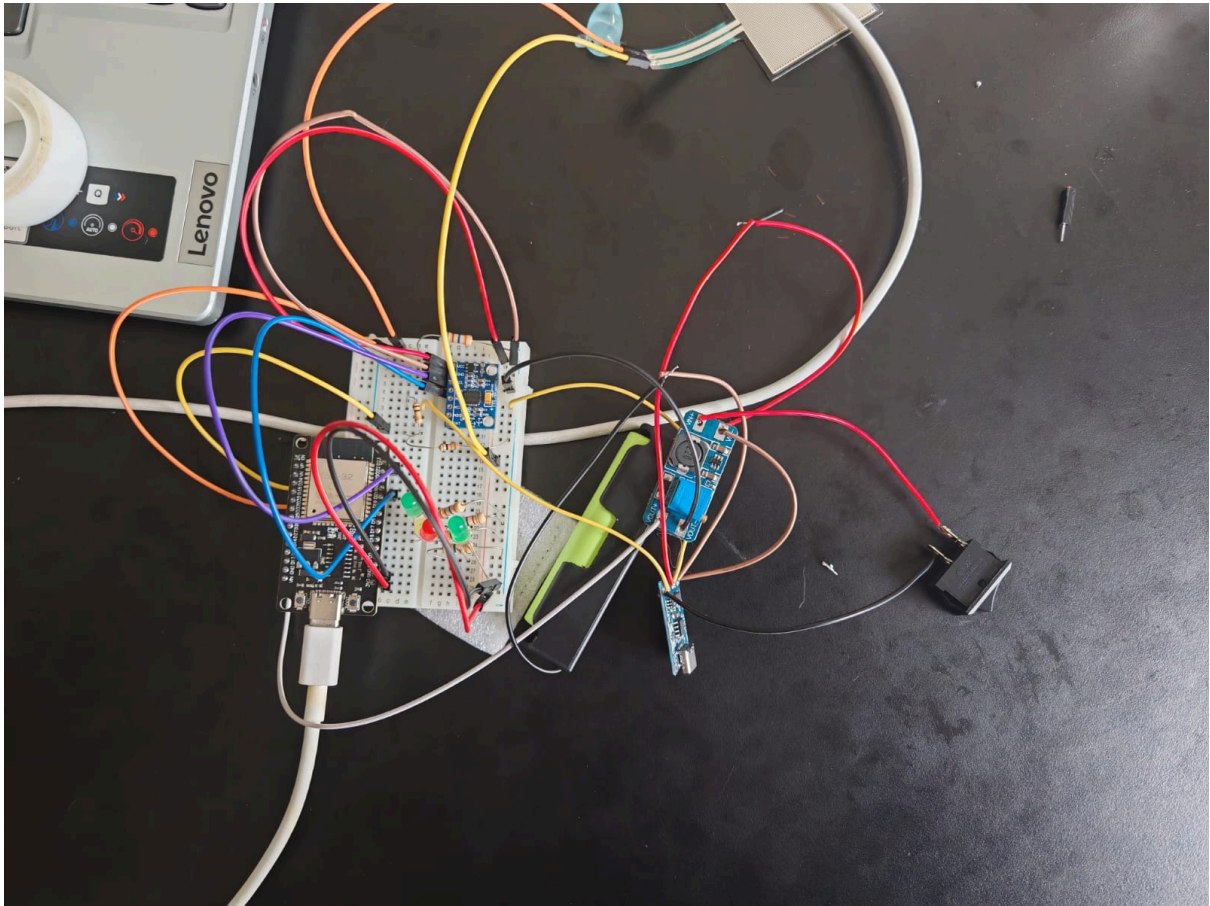


Entregable N°10 - Grupo 11

Prototipado electrónico:



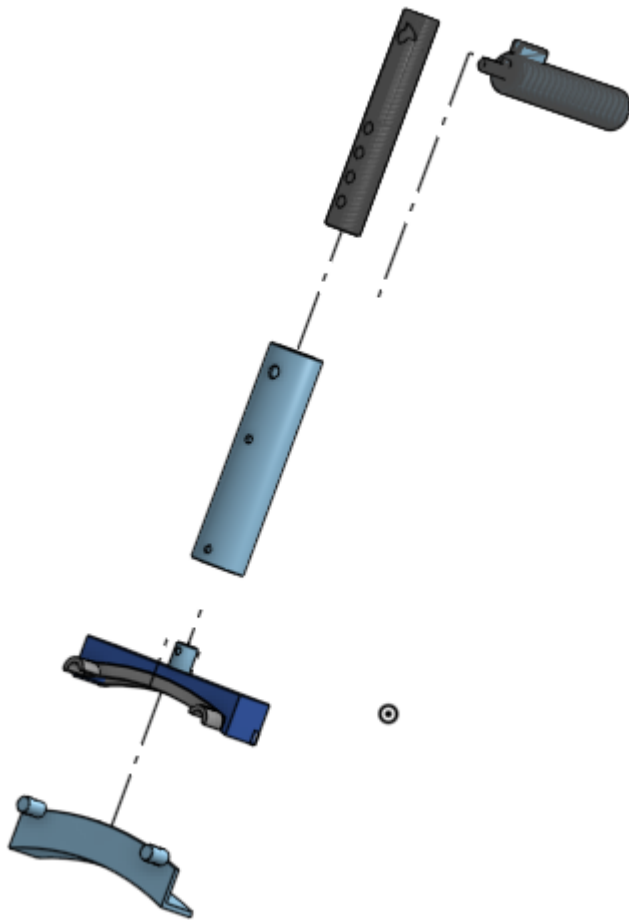
Videos de funcionamiento:

<https://github.com/Gabylvc/Proyecto/tree/main/Entregables/Entregable%2010/Videos%20del%20prototipado%20electronico>

Animación 3D:

https://drive.google.com/file/d/1b3KnyuPQWc3HMOV8ianJPKPj2rIHMH49K/view?usp=drive_link

Despiece 3D:



Plan de usabilidad:

a. Contexto de uso

¿Quién es el usuario?

El dispositivo está dirigido a pacientes con lesiones medulares graves que conservan movilidad parcial en las extremidades superiores; además, se cuenta con funciones de monitoreo dirigidas al cuidador y al terapeuta.

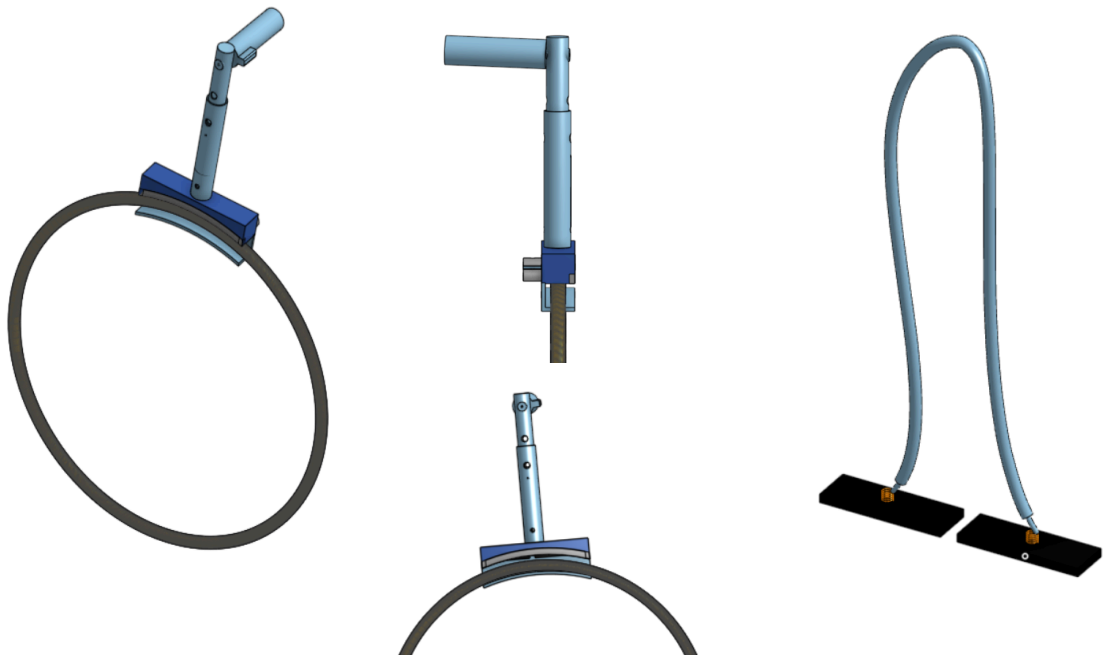
¿Cómo se utiliza el dispositivo?

El dispositivo debe acoplarse al sobre aro de la silla de ruedas y ajustarse a ella; después, la altura de la palanca debe ajustarse a la altura óptima para el agarre del usuario. Una vez realizados estos pasos, la electrónica del dispositivo se enciende mediante un switch ubicado en la caja electrónica. El movimiento de la silla de ruedas se logra mediante el movimiento de los brazos del usuario en forma de remo hacia adelante y hacia atrás, de esta manera se logra hacer fricción con el sobre aro y propulsar la silla hacia adelante; para realizar el cambio de adelante hacia atrás, se utiliza un cable bowden, el cual cambia el sentido con un movimiento de giro del mango del usuario.

La aplicación se conecta mediante bluetooth al sistema electrónico del dispositivo; una vez conectado, la información en forma de gráficas de la presión ejercida y el ángulo de movimiento se presentarán en la pantalla.

¿Dónde se utilizará el dispositivo?

El dispositivo está diseñado para que el paciente pueda utilizarlo en cualquier lugar donde se encuentre, ya sea en su hogar, en el hospital o en la calle. Por lo tanto, su frecuencia de uso también es elevada, ya que cubre todos los momentos en los cuales el paciente utiliza su silla de ruedas.



b. Perfil del usuario

–Qué es:

El usuario es un hombre de 30 años con una lesión medular cervical C3–C4 (AIS C) provocada por un accidente de tránsito. Desde entonces, presenta parálisis total en las piernas y fuerza muy limitada en los brazos. Su movilidad activa está reducida en las cuatro extremidades, aunque conserva sensibilidad hasta el nivel C4. En los brazos apenas logra fuerza entre 4/5 y 1/5, lo que le dificulta propulsar una silla de ruedas convencional. Aun así, mantiene plena conciencia, comprensión y orientación, lo que le permite participar activamente en su proceso de rehabilitación

– Qué hacer:

El paciente necesita un sistema que le permita desplazarse con menor esfuerzo y mayor seguridad. Para ello se propone una palanca de asistencia basada en la patente *Wheelchair Propulsion Assist Device* (US11590039B1), que se instala sobre el aro de la rueda para reducir el torque necesario y aprovechar la fuerza residual de los brazos. Además, se integra electrónica al diseño: un sensor de fuerza para medir el esfuerzo

de propulsión, un giroscopio para registrar la estabilidad del movimiento y una alerta automática conectada a una aplicación móvil que avisa si el usuario sufre una caída o pierde el equilibrio. Este sistema busca facilitar la movilidad, prevenir lesiones en los hombros y aumentar la independencia en sus actividades diarias. [1]

– Qué evidencia debe incluir:

El caso clínico proporciona la información principal sobre el estado físico, diagnóstico y metas de rehabilitación del paciente, que sirven de base para el diseño del dispositivo. La patente US11590039B1 respalda el principio mecánico del sistema de palanca y demuestra su aplicabilidad en sillas de ruedas. Asimismo, estudios científicos como el de Requejo muestran que los mecanismos de palanca reducen la carga muscular en los hombros de personas con lesión medular. [2]

En conjunto, la información clínica, la evidencia técnica y el soporte científico justifican el desarrollo de una palanca asistida con monitoreo electrónico, adaptada a un usuario con severas limitaciones motoras pero con plena capacidad cognitiva, que busca recuperar autonomía y seguridad en su vida cotidiana.

c. Análisis de tareas

Tareas	¿Crítica?	Riesgos / Consecuencias en caso de error	Justificación
Montar y fijar el dispositivo a la silla de ruedas	Sí	Un desacople mediante el uso de la silla, puede generar una pérdida de control, caída e incluso lesión	Necesidad de un retrofit seguro y puntos de fijación fiables, puesto que un montaje inadecuado compromete la estabilidad y seguridad del usuario [1] [3]
Ajustar y asegurar el agarre (mango)	Sí	Si la mano resbala o se suelta conlleva una pérdida de propulsión y control	Necesario para usuarios con espasticidad o bajo rango de movimiento para transferir fuerza y movimiento a la silla (uso de agarre ergonómico) [3]
Selección de modo (avance / retroceso)	Sí	Movimiento inesperado en el mango o selector mal posicionado ocasionaría colisiones o pérdida de control	Necesidad de definir posiciones de manejo de la silla para evitar movimientos indeseados [1] [4]
Activar freno antes de sentarse / desmontar	Sí	Rodado involuntario provocaría una posible caída del usuario o daños en el dispositivo	Necesidad de mecanismos de bloqueo o freno para evitar rollaway [1] [3] [4]

Realizar gesto de propulsión (remada)	No/ Algunos casos	Mala técnica ocasionaría espasticidad, fatiga, dolor en hombro e incluso riesgo de lesión por sobreuso	Necesidad de un diseño ergonómico para evitar daños por repetición con técnica inadecuada [1] [4]
Monitorear señales / sensores (encender sistema, mantener registro y vigilar alertas)	Sí	Si no hay registro de eventos o alertas, no existe un seguimiento del movimiento de la silla y posibles fallas	Necesidad de detectar situaciones de peligro y un seguimiento del movimiento de la silla para la seguridad del usuario [4]
Desmontaje y almacenamiento	No/ Algunos casos	Un almacenamiento incorrecto provocaría daños en piezas, por lo que el próximo uso sería inseguro	Buenas prácticas de mantenimiento reducen fallas en uso posterior [1] [4]

d. Criterios de éxito:

Criterio	Alcance de objetivo	Método de evaluación
Eficacia	$EI \geq 95\%$ de tareas completadas sin error.	Se completó el prototipado electrónico y el modelado en 3D con un correcto indicador de rendimiento. [5]
Eficiencia	< 1 minuto en la inicialización y detección de parámetros.	Cronometrado en las pruebas de desarrollo con un tiempo adecuado para un correcto desarrollo intuitivo. [5]
Satisfacción	Por definir en pruebas con el usuario.	Serie de preguntas durante el uso del dispositivo y evaluado con una métrica SUS [6].
Seguridad	0 colisiones y fallos críticos	No hubo incidentes durante las pruebas del dispositivo.
Accesibilidad	Contraste $\geq 80\%$, íconos $> 1\text{cm}$	Se verificó un contraste del 80% y una manipulación sencilla en la aplicación móvil.

Referencias

- [1] J. W. Britz, “Wheelchair propulsion assist device,” U.S. Patent 11,590,039 B1, Feb. 28, 2023. [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/US11590039B1/en>
- [2] P. S. Requejo *et al.*, “Shoulder muscular demand during lever-activated vs. pushrim wheelchair propulsion in persons with spinal cord injury,” *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 89, no. 8, pp. 1380–1387, 2008. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19086715/>
- [3] D. Zondervan, D. Reinkensmeyer y B. Smith, “Lever-operated wheelchair,” U.S. Patent 9,597,241 B2, 21 de marzo de 2017. [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/US9597241B2/en>
- [4] P. Bitzer, B. Stumpp, “Dispositivo de asistencia para desplazamiento de silla de ruedas,” Patente Española ES 2 438 816 T3, 2014. [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/ES2438816T3/es?q=ES2438816T3>
- [5] J. Nielsen, Usability Engineering. San Francisco: Academic Press, 1994.
- [6] J. Brooke, “SUS: A quick and dirty usability scale,” in Usability Evaluation in Industry, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, and I. L. https://www.researchgate.net/publication/228593520_SUS_A_quick_and_dirty_usability_scale