



## **Desarrollo de Controlador Alámbrico Para Silla de Ruedas Eléctrica a Bajo Costo**

### **Autores:**

**Emanuel David Acosta Fuentes.**

**Janes Antonio Bello Acendra.**

**Leonard Jesús Muñoz Padilla.**

**Trabajo de grado como pre-requisito para la obtención del título de:**

**Tecnólogo en Electromedicina.**

### **Director:**

**Ing. José Navarro – Ing. Javier Burgos.**

**Facultad de ingeniería.**

**Programa de Ingeniería Biomédica.**

**Barranquilla**

**2025.**

**Desarrollo de Controlador Alámbrico Para Silla de Ruedas Eléctrica a Bajo Costo**

**Emanuel David Acosta Fuentes.**

**Janes Antonio Bello Acendra.**

**Leonard Jesús Muñoz Padilla.**

**Director:**

**Ing. José Navarro – Ing. Javier Burgos.**

**Facultad de ingeniería.**

**Programa de Ingeniería Biomédica.**

**Barranquilla**

**2025.**

## ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	2
3. MARCO TEÓRICO.....	3
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	36
5. VARIABLES .....	37
5.1 Definición de variables .....	37
6. CONTROL DE VARIABLES .....	39
7. OBJETIVOS .....	41
7.1 Objetivo General .....	41
7.2 Objetivos Específicos.....	41
8. HIPÓTESIS.....	42
9. METODOLOGÍA .....	43
9.1 Diseño .....	43
9.2 Instrumentos y técnicas .....	43
9.3 Procedimiento .....	44
10. RESULTADOS.....	45
11. DISCUSIÓN .....	46
12. RECOMENDACIONES .....	47
13. REFERENCIAS.....	48

## Listado de Tablas

---

<b>Tabla 1.</b> Comparación de tipos de interfaces de control.....	16
<b>Tabla 2.</b> Componentes electrónicos de la tarjeta de control .....	21
<b>Tabla 3.</b> Componentes mecánicos y de alimentación .....	22
<b>Tabla 4.</b> Ventajas y desventajas comparativas .....	23
<b>Tabla 5.</b> Comparativo de costos.....	34

## Listado de Figuras

---

<b>Figura 1.</b> Porcentaje de personas con discapacidad para caminar.....	5
<b>Figura 2.</b> Lesión Medular.....	8
<b>Figura 3.</b> Estructura de la silla de ruedas.....	13
<b>Figura 4.</b> Porcentajes de los daños que produce el mal posicionamiento en los sistemas del cuerpo.....	20
<b>Figura 5.</b> Diseño de la placa de circuito para control de movimiento.....	24
<b>Figura 6.</b> Diseño de la máscara de cobre para la fabricación de una placa.....	27
<b>Figura 7.</b> Diseño de placa de circuito para transferencia y fabricación.....	28
<b>Figura 8.</b> Silla de ruedas.....	30
<b>Figura 9.</b> Tarjeta reguladora de velocidad PWM.....	30
<b>Figura 10.</b> Motores de 250W 24VDC.....	31
<b>Figura 11.</b> Controlador alámbrico.....	31
<b>Figura 12.</b> Baterías de 12V 36A.....	32
<b>Figura 13.</b> Tarjeta de comando.....	32
<b>Figura 14.</b> Plano esquemático.....	33
<b>Figura 15.</b> Silla de ruedas comercial.....	34

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se desarrolló un controlador alámbrico para silla de ruedas eléctrica a bajo costo, con el objetivo de proporcionar una solución accesible y eficiente para mejorar el manejo de estos dispositivos. La población objetivo fueron los usuarios de sillas de ruedas eléctricas, aunque las pruebas se realizaron de manera piloto sin la participación directa de los usuarios. El método empleado incluyó el diseño y construcción de prototipos funcionales, utilizando microcontroladores y una conexión alámbrica para la transmisión de señales, seguido de una serie de pruebas técnicas para evaluar su desempeño en términos de fiabilidad, precisión y costos. Los resultados demostraron que el dispositivo funcionó correctamente en las pruebas de control y respuesta, cumpliendo con los requisitos planteados. Las conclusiones sugieren que el controlador alámbrico es una solución viable y de bajo costo para mejorar la accesibilidad, seguridad y autonomía en la conducción de las sillas de ruedas eléctricas.

**Palabras clave:** controlador alámbrico, sillas de ruedas eléctricas, bajo costo, accesibilidad, seguridad, autonomía, prototipos.

## **ABSTRACT**

In this thesis, a low-cost wired controller for electric wheelchairs was developed, aiming to provide an accessible and efficient solution to improve the handling of these devices. The target population was electric wheelchair users, although the tests were conducted on a pilot basis without direct user participation. The method employed included the design and construction of functional prototypes, using microcontrollers and a wired connection for signal transmission, followed by a series of technical tests to evaluate its performance in terms of reliability, accuracy, and cost. The results demonstrated that the device performed correctly in the control and response tests, meeting the stated requirements. The conclusions suggest that the wired controller is a viable and low-cost solution to improve accessibility, safety, and driving autonomy of electric wheelchairs.

**Keywords:** wired controller, electric wheelchairs, low cost, accessibility, safety, autonomy, prototypes.

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo de un controlador alámbrico para sillas de ruedas eléctricas, con el fin de ofrecer una solución económica, funcional y accesible para personas con movilidad reducida. Este tipo de dispositivo permite dirigir y controlar la silla mediante una interfaz cableada que garantiza una respuesta inmediata y estable, ideal para entornos donde la precisión y la fiabilidad son prioritarias. Se aborda especialmente la variable de costos, priorizando el diseño de un sistema que favorezca la autonomía del usuario y facilite el uso sin comprometer la calidad ni el rendimiento del control. El enfoque metodológico se basa en el diseño, construcción y validación de un prototipo funcional que pueda integrarse fácilmente en sistemas existentes, utilizando microcontroladores, electrónica básica y materiales de bajo costo, promoviendo así su replicabilidad y escalabilidad en contextos de bajos recursos.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El avance tecnológico en la asistencia para personas con discapacidad es crucial para promover la igualdad de oportunidades y mejorar su calidad de vida. En este contexto, la creación de un controlador alámbrico para sillas de ruedas eléctricas constituye un aporte significativo, al facilitar un medio de control funcional, accesible y adaptable a las condiciones particulares de los usuarios.

La falta de soluciones personalizadas y adaptadas a las necesidades individuales de las personas con discapacidad motriz o cognitiva limita su capacidad para interactuar con su entorno y realizar actividades cotidianas de manera autónoma; es por eso, que la investigación y desarrollo de tecnologías asistidas innovadoras, como el controlador alámbrico, pueden ayudar a superar estas barreras y promover la inclusión social.

Además, al aumentar la independencia de los usuarios, se potencia su participación activa en la vida cotidiana, incluyendo el ámbito educativo y laboral, lo que puede generar un impacto positivo tanto a nivel personal como económico. En consecuencia, este proyecto responde a la necesidad de impulsar tecnologías funcionales y de bajo costo que contribuyan directamente a la autonomía y dignidad de las personas con discapacidad.

### 3. MARCO TEÓRICO

Las dificultades que enfrentan los seres humanos siempre se han reflejado en su vida diaria. Es por esto que tenemos una particularidad: la capacidad de superar los retos y obstáculos. Este es un rasgo propio de nuestra naturaleza, ya que, cuando se presentan estas dificultades, las personas tienden a interesarse por encontrar soluciones. Una de las soluciones históricas que se ha desarrollado es la movilidad y el desplazamiento. Los seres humanos, en su conciencia, llevan grabada la exploración y la emigración en su ADN. La movilidad de un lugar a otro se ha convertido en una parte fundamental del desarrollo humano, permitiendo a las personas avanzar como seres funcionales (Fundación Avina, 2020).

La historia nos enseña que el desplazamiento de las personas ha existido desde las primeras civilizaciones. Ejemplo de esto son los carruajes de los faraones, quienes, cargando plataformas, desplazaban personas. Posteriormente, con la aparición de la rueda de palo y, con el tiempo, la evolución hacia las ruedas de hierro, el desplazamiento mejoró considerablemente, superando dificultades en el proceso. Dentro de estas civilizaciones, hubo personas que, debido a enfermedades o accidentes, tuvieron que enfrentar la reducción de su movilidad. Su independencia se vio afectada, y quedaron postradas en camas o dependieron de sillas para ser trasladadas. Ya en el siglo XVI, comenzaron a aparecer estructuras para transportar personas. Sin embargo, fue en 1595 cuando se presentó la primera estructura con reposapiés y ruedas acopladas a la base de un sillón. Este prototipo de silla de ruedas fue utilizado por el rey español Felipe II, quien, debido a una enfermedad llamada artrosis, usó este invento durante más de una década (Patiño, 2019).

En los años siguientes a su fallecimiento, muchos científicos e inventores se dedicaron al desarrollo de dispositivos y equipos que facilitarían la movilidad de las personas. La movilidad es

un aspecto fundamental para la independencia y calidad de vida de las personas, especialmente para aquellas con discapacidad. Las sillas de ruedas eléctricas han revolucionado la manera en que las personas con movilidad reducida interactúan con su entorno, brindándoles mayor autonomía y libertad de movimiento (Arnaufreixas, 2023).

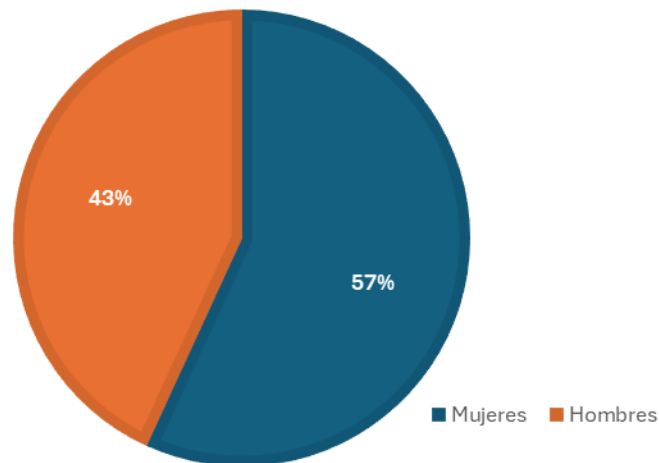
En este contexto, el desarrollo de tecnologías de control alámbrico para sillas de ruedas eléctricas emerge como una solución innovadora y prometedora. Un controlador alámbrico, a bajo costo, podría transformar la manera en que las personas con discapacidad interactúan con su silla de ruedas, otorgándoles mayor libertad y autonomía. No obstante, el desarrollo de un controlador alámbrico económico presenta desafíos técnicos y económicos significativos. La necesidad de equilibrar calidad, fiabilidad y costo representa un reto importante que debe ser abordado.

En los últimos años, se han desarrollado diversas soluciones tecnológicas para mejorar la movilidad de personas con discapacidad, especialmente a través de sillas de ruedas eléctricas. Los sistemas de control de estas sillas, comúnmente basados en controladores, han avanzado desde mecanismos tradicionales hasta opciones electrónicas y, más recientemente, inalámbricas, utilizando tecnologías como Bluetooth y RF para mejorar la autonomía y la comodidad del usuario (Menéndez, 2023). Sin embargo, muchas de estas soluciones son costosas y no siempre accesibles para todas las personas que las necesitan. Diversos estudios han propuesto alternativas de bajo costo, explorando el uso de materiales más económicos y tecnologías de comunicación inalámbrica accesibles. No obstante, persiste una falta de propuestas que integren un controlador alámbrico económico, ergonómico y funcional, especialmente diseñado para sillas de ruedas eléctricas, lo que justifica la necesidad de investigar y desarrollar un dispositivo que ofrezca una solución accesible y eficiente para usuarios con limitaciones económicas.

Las personas con limitaciones en la movilidad que utilizan sillas de ruedas suelen tener menos oportunidades para explorar su entorno, lo que aumenta el riesgo de desarrollar deficiencias en habilidades vitales tanto en el hogar como en la vida laboral o externa. Esto se debe a que los entornos comunitarios y sociales no suelen ser accesibles para ellos. Lamentablemente, en Latinoamérica hay millones de personas con discapacidades que han experimentado exclusión o discriminación en entornos educativos, sociales y culturales. (Hernández & López, 2023).

La discapacidad se puede conceptualizar como una limitación física, mental, sensorial o intelectual que afecta la participación plena y efectiva de una persona en la sociedad en igualdad de condiciones con las demás. (ONU, 2010).

En Colombia, el 56,8% de las personas con discapacidad para caminar, mover el cuerpo o subir y bajar escaleras son mujeres, mientras que el 43,1% son hombres. (DANE, 2020).



**Figura 1.** Porcentaje de personas con discapacidad para caminar. *Elaboración propia.*

Según las proyecciones del Departamento Nacional de Estadística (DANE) en Colombia, alrededor del 12% de la población presenta algún tipo de discapacidad física, sensorial o cognitiva, lo que se estima en 5.435.394 personas. Este número sigue aumentando debido a factores como la accidentalidad, enfermedades crónico-degenerativas, la violencia intrafamiliar, el conflicto armado interno, entre otros. Además, estudios comunitarios reportan que alrededor del 13% de la discapacidad física está relacionada con malestares musculoesqueléticos. (Londoño et al., 2018).

En estudios comunitarios, se ha observado que alrededor del 13% de las personas con malestares musculoesqueléticos presentan discapacidad física. En el caso específico de la artritis reumatoide (AR), se ha reportado que el 35,3% de las personas afectadas experimentan discapacidad, en comparación con el 8% de la población general. Asimismo, para la espondilitis anquilosante (EA), se ha observado una disminución de 30 puntos en la capacidad funcional en comparación con la población sin esta enfermedad (Herrera et al, 2013).

Es por eso, que se desarrollará un controlador alámbrico, lo cual es un instrumento que se emplea para controlar un sistema o un dispositivo. Por lo general, un controlador es un dispositivo o sistema que regula y gestiona el funcionamiento de otro aparato, permitiendo enviar comandos; esto a su vez permitirá una mayor libertad de movimiento y facilidad de controlar la silla de rueda de manera más intuitiva y cómoda, reduciendo así el agotamiento físico y mental.

Ahora bien, El marco legal en Colombia en el desarrollo de un controlador alámbrico para sillas de ruedas eléctricas se encuentra principalmente bajo el ámbito de la Ley 1618 de 2013, que promueve la igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad, asegurando su inclusión en todos los aspectos de la vida, incluyendo la movilidad y la accesibilidad a tecnologías asistidas. Esta ley establece que las personas con discapacidad deben tener acceso a

productos y servicios que les permitan disfrutar de sus derechos sin discriminación. Además, la ISO 9241-20 establece principios de diseño ergonómico para sistemas interactivos, asegurando que el controlador sea fácil de manejar para usuarios con movilidad reducida. Por otro lado, la IEC 60601-1 establece los requisitos generales de seguridad y desempeño para equipos electromédicos, incluyendo dispositivos de asistencia como controles de sillas de ruedas.

Estos marcos legales son fundamentales para garantizar que el dispositivo desarrollado no solo sea accesible y funcional, sino que también cumpla con las normativas colombianas en términos de seguridad, inclusión y estándares técnicos.

### **Contexto global de la discapacidad y movilidad en silla de ruedas**

Se estima que más de mil millones de personas en el mundo viven con algún tipo de discapacidad, lo que representa aproximadamente el 15% de la población global, es decir, una de cada siete personas. Entre 110 y 190 millones de personas mayores de 15 años enfrentan dificultades importantes en su funcionamiento diario, y alrededor de 93 millones de niños (uno de cada 20 menores de 15 años) tienen una discapacidad moderada o grave. Además, las tasas de discapacidad están aumentando, en parte, debido al envejecimiento de la población y al aumento de enfermedades crónicas (WHO, 2023). Los patrones de discapacidad varían según los países, y están influenciados por factores como enfermedades, accidentes de tráfico, caídas, violencia, desastres naturales, conflictos, dietas poco saludables y el abuso de sustancias. Las mujeres, las personas mayores y los pobres son los grupos más afectados, especialmente los niños de familias con menos recursos. También, las poblaciones indígenas y los grupos étnicos minoritarios tienen un riesgo más alto de sufrir discapacidad. Es importante destacar que la prevalencia de la discapacidad es mayor en los países de ingresos bajos que en los de ingresos altos, y se estima que el 80% de las personas con discapacidad viven en países en desarrollo (Departamento de

Desarrollo Internacional, 2015) La discapacidad es un fenómeno muy diverso, ya que algunas condiciones relacionadas con ella requieren atención médica constante, mientras que otras no generan grandes necesidades de salud.

A nivel mundial, más de 75 millones de personas necesitan una silla de ruedas apropiada, sin embargo, alrededor del 85-95% de las personas que las necesitan no tienen acceso a ellas (ATscale, 2019).

### **Impacto de la Lesión Medular en la Movilidad y Calidad de Vida**

La lesión medular (LM) es una de las discapacidades más complejas y limitantes, ya que afecta múltiples aspectos de la vida de una persona. Su impacto no se limita únicamente a la movilidad, sino que también puede provocar alteraciones en la sensibilidad, el control vesical e intestinal, la función sexual, y generar dificultades a nivel social, psicológico, económico y laboral.

La médula espinal es una estructura fundamental del sistema nervioso central, encargada de transmitir impulsos nerviosos entre el cerebro y el resto del cuerpo. Cuando esta sufre una lesión, se interrumpe parcial o totalmente la comunicación neuronal, lo que puede derivar en una pérdida de función motora, sensitiva y/o autonómica. Estas alteraciones pueden ser temporales o permanentes, y conllevan déficits neurológicos que afectan la calidad de vida tanto a corto como a largo plazo (Giménez et al, 2021).



**Figura 2.** Lesión Medular. Tomado de *¿Qué tipos de lesiones medulares hay?* <https://clunicauner.es/que-tipos-de-lesiones-medulares-hay/>

A nivel mundial, la lesión medular es un problema de salud pública con una incidencia significativa. En España, se estima que la prevalencia se sitúa entre 350 y 380 casos por cada millón de habitantes. Entre las causas más comunes de estas lesiones, las de origen traumático son las predominantes, siendo los accidentes de tráfico el principal factor desencadenante, representando un 38,5% de los casos.

Las estadísticas reflejan que la LM afecta en mayor medida a los hombres, especialmente en edades inferiores a 30 años. En cuanto a la localización de la lesión, las más frecuentes se presentan en los niveles C5 y C6 de la médula espinal. Esto tiene una repercusión directa en la independencia del individuo, con un 96,9% de los casos presentando discapacidad en la movilidad, un 81,1% con dificultades en el autocuidado y un 84,3% con limitaciones en las tareas domésticas. Además, aproximadamente un 10% de los pacientes con LM permanecen en cama de forma permanente, lo que agrava aún más las complicaciones asociadas.

El impacto de la lesión medular en la calidad de vida de los afectados es considerable. Diversos estudios han demostrado que la participación en actividades domésticas, sociales y de ocio tiene un efecto positivo en su bienestar. Sin embargo, hay múltiples factores que influyen negativamente en la percepción de calidad de vida de estas personas. Entre ellos se encuentran:

✓ **Altura de la lesión:** A mayor afectación en la médula, mayor será la pérdida de movilidad y autonomía.

✓ **Edad biológica del individuo:** Cuanto mayor sea la persona al momento de la lesión, más difícil puede ser su adaptación y recuperación.

✓ **Situación social y económica:** La falta de recursos económicos o de una red de apoyo sólida puede agravar las dificultades.

✓ **Tiempo transcurrido desde la lesión:** La adaptación a la nueva realidad varía según la persona y las herramientas de rehabilitación disponibles.

✓ **Factores psicológicos y emocionales:** La depresión, la ansiedad y la falta de motivación pueden impactar significativamente en la calidad de vida.

✓ **Factores culturales y ambientales:** Aspectos como el acceso a la atención médica, la calidad de la educación, la adecuación de la vivienda y las oportunidades laborales son determinantes en el proceso de reinserción social.

Uno de los aspectos más críticos para las personas con LM es su capacidad de movimiento y autonomía, ya que la movilidad limitada puede afectar su independencia en las actividades diarias. En este sentido, el desarrollo de sillas de ruedas eléctricas con interfaces de control avanzadas ha permitido mejorar significativamente la calidad de vida de los usuarios.

El controlador ha sido históricamente un dispositivo útil y común para controlar sillas de ruedas eléctricas, ya que permite maniobrar con facilidad. Sin embargo, muchos de estos sistemas son costosos y presentan limitaciones de accesibilidad, lo que impide que una gran parte de la población con discapacidad pueda beneficiarse de ellos. Aquí es donde cobra relevancia el desarrollo de un controlador alámbrico de bajo costo, como el que se propone en este proyecto. (Giménez et al, 2021).

### **Importancia de la accesibilidad y autonomía para usuarios de sillas de ruedas**

La accesibilidad y autonomía son fundamentales para las personas que usan sillas de ruedas, ya que les permiten moverse con independencia y participar plenamente en la sociedad. Contar con espacios adaptados, como rampas, puertas anchas y caminos libres de obstáculos, facilita su desplazamiento y les otorga mayor libertad. Además, tener acceso a lugares públicos, servicios y actividades sin barreras físicas o arquitectónicas mejora su calidad de vida y promueve la

inclusión social. La autonomía en estos usuarios no solo mejora su bienestar físico, sino que también contribuye a su bienestar emocional y psicológico, al sentirse menos dependientes de los demás para realizar sus tareas diarias (Brodowicz, 2024).

### **Impacto de la tecnología en la calidad de vida**

Las tecnologías han transformado significativamente la vida de las personas que utilizan sillas de ruedas, mejorando su independencia, participación social y calidad de vida, con especial énfasis en el controlador alámbrico. Este dispositivo, al ser sencillo y fácil de usar, permite a los usuarios mover la silla con mayor autonomía, superando obstáculos y recorriendo distancias largas sin esfuerzo. Además, al contar con una conexión alámbrica, se evita la posibilidad de interferencias o pérdida en la señal, asegurando un control estable y confiable en todo momento. Los sistemas de control avanzados, como el controlador hacen que la navegación sea mucho más intuitiva, lo cual es crucial para aquellos con movilidad limitada. En cuanto a los costos, los controladores alámbricos son una opción accesible y económica en comparación con otras tecnologías más complejas, lo que los convierte en una solución ideal para mejorar la calidad de vida de muchas personas sin que impliquen una carga económica significativa. Esta tecnología no solo mejora la movilidad, sino que también se adapta a las necesidades individuales, permitiendo que cada usuario ajuste el controlador según sus requerimientos de sensibilidad y control.

### **Impacto ambiental de las sillas de ruedas eléctricas**

El impacto medioambiental de las sillas de ruedas eléctricas es un tema complejo, con tanto aspectos positivos como negativos. Entre los aspectos positivos, se destaca la reducción de emisiones, ya que, a diferencia de los vehículos de combustión interna, las sillas de ruedas eléctricas no generan gases contaminantes ni emisiones de escape, lo que contribuye a mejorar la

calidad del aire y reducir la huella de carbono, especialmente en entornos urbanos con alta contaminación. Además, estas sillas generan menos contaminación acústica, ya que son mucho más silenciosas que los vehículos convencionales, creando un ambiente más tranquilo tanto para los usuarios como para quienes los rodean. Sin embargo, también existen aspectos negativos, como el impacto ambiental de la producción y eliminación de baterías, especialmente las de iones de litio, que requieren la extracción de minerales y procesos de fabricación que pueden tener efectos negativos en el medio ambiente, además de que su eliminación inadecuada puede contaminar el suelo y el agua. Otro desafío es el consumo de energía, ya que, aunque las sillas no emiten contaminantes directamente, la electricidad que utilizan puede provenir de fuentes que generan emisiones, como las plantas de combustibles fósiles. También, los materiales utilizados en su fabricación, como metales y plásticos, tienen un impacto ambiental en su extracción y producción. Sin embargo, existen soluciones para reducir estos efectos negativos, como el desarrollo de baterías más sostenibles y procesos de reciclaje más eficientes, el uso de energía renovable para cargar las sillas, y el diseño de sillas más duraderas y fáciles de reparar, lo que podría prolongar su vida útil y disminuir la necesidad de reemplazos frecuentes (Wheelchair, 2024).

## Estructura de la silla de ruedas y funcionalidades



**Figura 3.** Estructura de la silla de ruedas. Tomado de *Silla de ruedas eléctricas* <https://www.ayudasdinamicas.com/p/sillas-de-ruedas-electricas/silla-de-ruedas-electrica-rueba>

- La **basculación manual** en la silla de ruedas eléctrica permite ajustar la inclinación del respaldo o la posición del asiento para mejorar la comodidad y funcionalidad del usuario. Este sistema permite que el usuario cambie su posición, ayudando a aliviar la presión en ciertas áreas del cuerpo, lo que es fundamental para evitar úlceras por presión y mejorar la postura.

Ahora bien, se incorpora un sistema de controlador alámbrico con el fin de que la basculación manual pueda ser automatizada o complementada con un control electrónico para que el usuario ajuste el ángulo del respaldo o asiento sin esfuerzo físico adicional, proporcionando mayor autonomía y comodidad. Además, puede facilitar el acceso a otras funciones de la silla, como reclinarse, lo cual sería particularmente útil para personas con movilidad reducida o que necesiten realizar ajustes frecuentes durante su uso.

- **Respaldo regulable en inclinación:** al poder inclinar el respaldo, el usuario puede cambiar su postura para aliviar la presión sobre áreas críticas del cuerpo, como la zona lumbar, la espalda y el coxis. Esto ayuda a prevenir úlceras por presión y mejora el confort durante largos períodos de uso. Ajustar la inclinación del respaldo también permite mantener una postura más ergonómica y saludable, lo que puede reducir dolores musculares y articulares, especialmente en personas con limitaciones de movilidad. Igualmente, el respaldo al ser regulable de manera electrónica (mediante el controlador alámbrico), el usuario puede hacer ajustes sin necesidad de ayuda externa, lo que incrementa la independencia y autonomía.

- **Reposabrazos extraíbles y regulables en profundidad y altura:** esta función permite ajustar la altura de los reposabrazos según la estatura del usuario, lo que favorece una postura más cómoda. Un reposabrazos bien ajustado puede reducir la tensión en los hombros y los brazos, evitando dolores y mejorando la ergonomía durante el uso.

También, Permiten ajustar la distancia entre el reposabrazos y el usuario, lo que es útil para aquellos con diferentes longitudes de brazos o para aquellos que necesitan más espacio para acomodar otras partes del cuerpo. Esto también ayuda a mejorar la postura, ya que los reposabrazos pueden alinearse mejor con la posición natural de los brazos.

- **Joystick escamoteable de serie:** al ser escamoteable, el joystick puede ocultarse o retraerse de manera que no interfiera con el espacio alrededor del usuario. Esto facilita las transferencias, es decir, el proceso de moverse de la silla de ruedas a otro lugar (por ejemplo, a una cama o a un vehículo), ya que el joystick no estará en el camino. Cuando el joystick no está en uso, al ser escamoteable, se puede retraer y dejar libre el espacio alrededor del usuario. Cabe resaltar que el joystick escamoteable original se encuentra dañado, por lo que fue reemplazado por un nuevo controlador alámbrico desarrollado como parte de este proyecto.

- **Asiento regulable en anchura de 45 a 55 cm y profundidad de 40 a 50 cm:** permite una personalización completa del asiento según las necesidades físicas y de confort del usuario. Este ajuste no solo mejora la comodidad, sino que también contribuye a la salud postural, previene problemas relacionados con la presión, y aumenta la seguridad y la adaptabilidad de la silla de ruedas. Estas características son fundamentales para ofrecer una experiencia de uso más cómoda y funcional.

- **Reposapiés abatibles y extraíbles:** son una característica que proporciona comodidad, flexibilidad y facilidad de uso. Permiten una mejor accesibilidad, mejoran el proceso de transferencia, optimizan el espacio en entornos reducidos y mejoran el soporte postural y la seguridad del usuario. Además, la opción de extraerlos facilita el almacenaje y transporte de la silla, lo que aumenta la funcionalidad general de la silla de ruedas eléctrica.

- **Ruedas de gran tamaño (delanteras de 230 × 50 mm, traseras de 355 × 50 mm):** las ruedas traseras (355 × 50 mm) proporcionan una mayor estabilidad en la silla de ruedas, ya que permiten una mejor distribución del peso y un mayor contacto con el suelo. Esto es fundamental para prevenir caídas o deslizamientos inesperados, especialmente al atravesar terrenos irregulares o superficies inestables. Además, las ruedas delanteras (230 × 50 mm) también contribuyen a mejorar la estabilidad y evitan que la silla se vuelque hacia adelante con facilidad.

### **Interfaces de control de sillas de ruedas eléctricas**

Las interfaces de control para sillas de ruedas eléctricas son esenciales para facilitar la movilidad y mejorar la autonomía de los usuarios. Existen diversas opciones, como los controles manuales, botones, palancas, joysticks, sensores y sistemas de control por voz. Entre todas estas, el controlador alámbrico se destaca como una de las opciones más ventajosas debido a su facilidad de uso, precisión y confiabilidad. Al estar conectado por cable, garantiza una comunicación

estable y sin interferencias, eliminando posibles fallos de conexión que podrían afectar el control de la silla. Además, su diseño permite un manejo suave e intuitivo, lo que facilita la conducción y mejora la experiencia del usuario. Su integración con sistemas de control adicionales, como sensores y comandos por voz, lo convierte en una solución adaptable a diferentes necesidades. Por otro lado, aunque los sensores y el control por voz representan avances significativos en accesibilidad, el controlador alámbrico sigue siendo una opción muy atractiva por su bajo costo, facilidad de mantenimiento y alta precisión, lo que lo convierte en una alternativa confiable y accesible para una amplia variedad de usuarios (Valle, 2013).

Tipo de interfaz	Ventajas	Desventajas	Costos aproximados	Aplicaciones comunes
Controlador	Control preciso y fácil de usar	Puede ser difícil para usuarios con movilidad limitada	Bajo	Sillas de ruedas eléctricas
Sensor	Sin contacto físico, más accesible	Puede ser impreciso en ciertas condiciones	Medio	Dispositivos alternativos de control
Control de voz	Comodidad para usuarios con movilidad reducida	Requiere tecnología avanzada	Alto	Dispositivos con control de voz

**Tabla 1.** Comparación de tipos de interfaces de control. *Elaboración propia.*

### **La ergonomía y la usabilidad del controlador alámbrico**

Son fundamentales en el diseño de sillas de ruedas eléctricas, ya que un mal diseño puede ocasionar diversos problemas físicos, especialmente en usuarios con movilidad limitada. Entre los problemas más comunes se encuentran trastornos musculoesqueléticos como el síndrome del túnel carpiano, que se produce por movimientos repetitivos o posturas forzadas de la muñeca, provocando dolor y hormigueo; tendinitis, debido a la presión excesiva o movimientos continuos, lo que genera dolor y limitación de movimiento en la mano y muñeca; dolor en el

cuello y hombros, como resultado de posturas incómodas causadas por un mal posicionamiento del controlador; y problemas de postura que pueden derivar en dolores de espalda. Además, los problemas neurológicos incluyen el empeoramiento de la espasticidad en personas con espasmos musculares y fatiga física y mental por un controlador que requiere mucha concentración o esfuerzo. Por otro lado, los problemas de piel, como las úlceras por presión, pueden aumentar si el mal diseño impide que el usuario cambie de posición con facilidad. Para evitar estos inconvenientes, es clave que el diseño del controlador sea personalizable en altura, posición y sensibilidad, y esté fabricado con materiales suaves y antideslizantes. Además, debe ofrecer retroalimentación clara para facilitar el control y adaptarse a las necesidades de personas con temblores o poca fuerza. Todo esto debe desarrollarse en colaboración con terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas para garantizar que el controlador cumpla con principios de ergonomía y usabilidad, minimizando los riesgos físicos para el usuario.

### **Daños colaterales del sistema digestivo, óseo, muscular y nervioso por el mal posicionamiento**

El mal posicionamiento en personas que utilizan sillas de ruedas o dispositivos de asistencia puede ocasionar una serie de daños colaterales en varios sistemas del cuerpo, afectando directamente la salud y calidad de vida del usuario. A continuación, se detallan los efectos que pueden producirse en los sistemas digestivo, óseo, muscular y nervioso debido a una postura inadecuada, subrayando la importancia de desarrollar soluciones como el controlador alámbrico propuesto en este proyecto, que buscan mejorar la postura y la autonomía de las personas con discapacidad motora.

## **Sistema Digestivo**

El mal posicionamiento puede generar serios problemas en el sistema digestivo. Una postura incorrecta, como estar inclinado hacia adelante o estar en una posición fija durante un largo período, puede presionar el abdomen y dificultar la función normal del tracto digestivo. Esta presión puede interrumpir el proceso de digestión, causando malestar, estreñimiento, o incluso reflujo gastroesofágico. Las personas en esta situación pueden tener dificultades para evacuar correctamente, lo que lleva a un malestar constante y a problemas gastrointestinales crónicos. Es fundamental que los dispositivos de asistencia, como sillas de ruedas, ofrezcan un diseño ergonómico que permita a los usuarios mantener una postura que favorezca la circulación y la función digestiva. Este proyecto de controlador alámbrico tiene la capacidad de facilitar un control más fácil y accesible, lo cual podría contribuir a una mejor postura y, por ende, a una reducción de los riesgos digestivos asociados al mal posicionamiento.

## **Sistema Óseo**

El mal posicionamiento también afecta gravemente el sistema óseo. Cuando una persona permanece mucho tiempo en una postura incorrecta, las articulaciones y los huesos sufren presión continua, lo que puede llevar a la deformidad de las articulaciones, dolor en los huesos, o incluso el desarrollo de úlceras por presión. Además, el mal alineamiento de la columna vertebral puede causar dolor crónico y aumentar el riesgo de desarrollar contracturas en las articulaciones. La falta de movimiento adecuado también puede generar una pérdida de densidad ósea, aumentando el riesgo de fracturas. Un controlador alámbrico diseñado específicamente para mejorar la comodidad y control de la silla de ruedas puede ser crucial para corregir el posicionamiento de los usuarios, ayudando a prevenir estos

problemas óseos. La capacidad de controlar la silla de ruedas de manera más eficiente, y de forma alámbrica, reduce la necesidad de una postura estática prolongada, favoreciendo una mayor movilidad y flexibilidad, lo que a su vez previene daños en el sistema óseo.

### **Sistema Muscular**

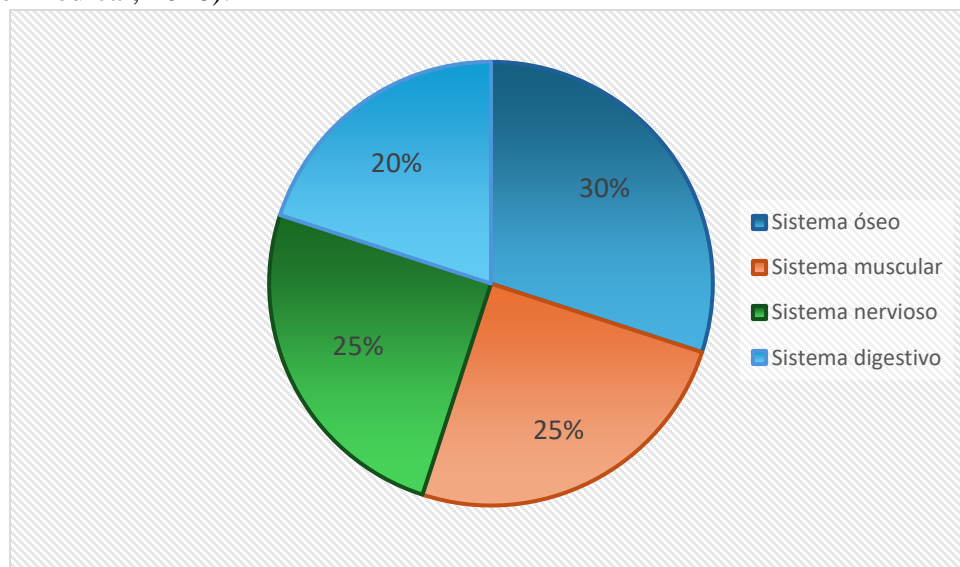
El sistema muscular también se ve gravemente afectado por el mal posicionamiento. Cuando el cuerpo está en una posición inadecuada, los músculos de ciertas áreas están en tensión constante, lo que puede generar contracturas, dolor crónico y debilidad muscular. Además, si el usuario de una silla de ruedas no puede moverse con facilidad para cambiar de posición, los músculos de ciertas zonas pueden atrofiarse debido a la falta de uso. El mal posicionamiento también puede provocar dolor en la zona lumbar, cuello y hombros, lo que impacta directamente la calidad de vida del usuario. Es esencial que el controlador alámbrico propuesto permita una mayor flexibilidad para cambiar de posición y ajuste, ayudando a aliviar la presión sobre los músculos y promoviendo una postura más saludable. Este tipo de tecnología no solo mejora la autonomía del usuario, sino que también contribuye al bienestar físico general al minimizar la tensión muscular y promover el movimiento.

### **Sistema Nervioso**

Los efectos del mal posicionamiento sobre el sistema nervioso pueden ser particularmente graves, ya que la presión prolongada sobre ciertos nervios puede resultar en dolor neuropático, pérdida de sensibilidad o incluso parálisis en casos extremos. Por ejemplo, una postura incorrecta puede comprimir los nervios en la zona lumbar o en los glúteos, lo que puede generar dolor en las extremidades, hormigueo, o debilidad muscular. A largo plazo, este tipo de presión constante puede dañar los nervios de forma irreversible. Además, la falta de movilidad puede contribuir a la fatiga y al estrés, afectando también la

salud mental. El diseño de un controlador alámbrico ergonómico y accesible para personas con movilidad reducida puede contribuir significativamente a la prevención de estos problemas. Al mejorar la capacidad de los usuarios para controlar su silla de ruedas de manera eficiente y sin esfuerzo físico excesivo, se pueden reducir los riesgos asociados con la compresión nerviosa, promoviendo tanto la salud física como el bienestar general del usuario.

En conclusión, el mal posicionamiento en personas que usan sillas de ruedas afecta gravemente a los diferentes sistemas del cuerpo. El sistema óseo es uno de los más impactados, representando un 30% de los daños. El sistema muscular sigue con un 25% al igual que el sistema nervioso. Finalmente, el sistema digestivo representa el 20% de los efectos (lohmedical, 2018).



**Figura 4.** Porcentajes de los daños que produce el mal posicionamiento en los sistemas del cuerpo. *Elaboración propia.*

### **Listado de Materiales para el Sistema de Control de la Silla de Ruedas Eléctrica**

El sistema de control está diseñado para gestionar los movimientos de la silla de ruedas eléctrica mediante un controlador alámbrico, permitiendo desplazamientos en las cuatro direcciones principales: adelante, atrás, izquierda y derecha.

El sistema opera a través de un circuito de control que procesa las señales generadas por el controlador y activa los motores en función del desplazamiento deseado. Este circuito está compuesto por relés, diodos y resistencias, que permiten direccionar el sentido de giro de los motores. La alimentación eléctrica y la distribución de señales se gestionan mediante bornes de conexión atornillados, asegurando una fijación robusta de los cables de alimentación.

El sistema también cuenta con un puente de diodos, que convierte la corriente alterna en corriente continua para garantizar un suministro estable a los relés y otros componentes electrónicos.

<b>COMPONENTES ELECTRÓNICOS DE LA TARJETA DE CONTROL</b>	
1. Conectores de tornillo	Permiten una conexión segura y firme de los cables de alimentación y señal.
2. Puente de diodos	Convierte la corriente alterna en corriente continua para el correcto funcionamiento del sistema.
3. Portafusibles y fusibles	Protección contra sobrecargas eléctricas.
4. Conector de 8 pines	Punto de conexión para la interconexión de los componentes electrónicos.
5. Regulador de voltaje 7805	Estabiliza el voltaje de alimentación del circuito.
6. Filtros electrolíticos	Reducen el ruido y estabilizan la señal de corriente continua.
7. Pines de conexión	Facilitan la interconexión entre los distintos elementos del circuito.
8. Condensadores cerámicos monolíticos	Filtran y estabilizan señales electrónicas.
9. Diodos	Protegen el circuito de inversiones de polaridad y permiten la correcta conducción de la corriente.
10. Resistencias	Controlan la intensidad de corriente en el sistema.
11. Relés	Actúan como interruptores electromecánicos para gestionar el encendido y apagado de los motores.

**Tabla 2.** Componentes electrónicos de la tarjeta de control. *Elaboración propia.*

COMPONENTES MECÁNICOS Y DE ALIMENTACIÓN	
1. Estructura de aluminio	Proporciona soporte resistente y liviano para la silla de ruedas.
2. Motores eléctricos	Responsables del desplazamiento de la silla.
3. Soporte para la silla	Base estructural donde se instala el sistema de control y los motores.
4. Cables de conexión	Facilitan la transmisión de energía y señales entre los componentes.
5. Baterías recargables	Fuente de alimentación principal del sistema.

**Tabla 3.** Componentes mecánicos y de alimentación. *Elaboración propia.*

### **Innovaciones y Comparaciones Tecnológicas**

La evolución de la tecnología aplicada a sillas de ruedas eléctricas ha permitido el desarrollo de diversas interfaces de control que mejoran la movilidad y la autonomía de los usuarios. En este apartado se comparará el controlador alámbrico de bajo costo con los controladores comerciales y se explorarán otras tecnologías de asistencia complementaria.

#### **Comparación entre controladores comerciales y el controlador alámbrico**

Los controladores comerciales utilizados en sillas de ruedas eléctricas suelen estar diseñados con tecnología avanzada, incluyendo sensores de precisión, comunicación inalámbrica y múltiples niveles de sensibilidad. Sin embargo, su alto costo y la falta de accesibilidad para ciertos usuarios han impulsado la búsqueda de alternativas más económicas sin comprometer la funcionalidad.

#### **Características de los controladores comerciales**

**Sensores de alta precisión:** utilizan potenciómetros, sensores Hall o sistemas ópticos para detectar movimientos con alta sensibilidad.

**Conectividad avanzada:** pueden incluir comunicación Bluetooth o infrarroja para integración con otros dispositivos.

**Sistemas programables:** permiten personalizar la respuesta del controlador según las necesidades del usuario.

**Alto costo:** su precio elevado dificulta el acceso para muchos usuarios.

### **Características del controlador alámbrico de bajo costo**

**Sistema basado en potenciómetros mecánicos:** reduce costos sin comprometer la precisión básica del control.

**Conexión alámbrica:** elimina problemas de latencia o interferencia, asegurando una respuesta inmediata.

**Circuito electrónico simplificado:** uso de relés y diodos en lugar de microprocesadores avanzados para reducir costos.

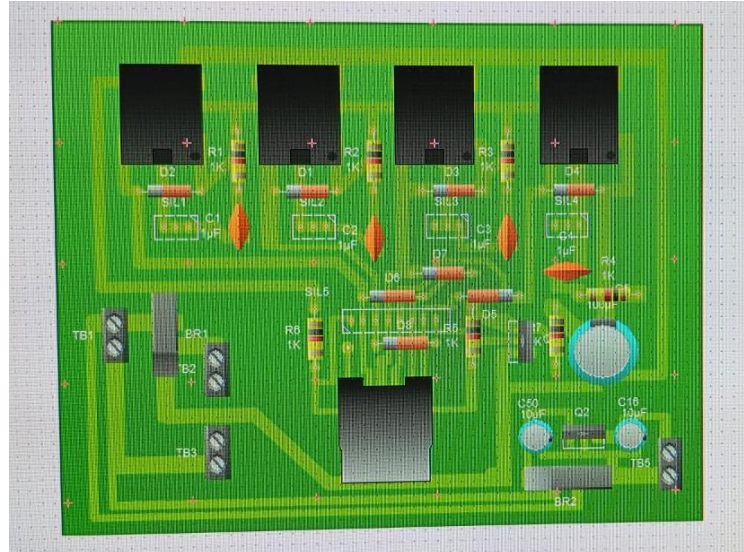
**Accesibilidad y mantenimiento sencillo:** fácil de reparar y modificar sin necesidad de equipos especializados.

<b>Característica</b>	<b>Controlador comercial</b>	<b>Controlador alámbrico</b>
<b>Precisión del control</b>	Alta	Media-alta
<b>Costo</b>	Elevado	Bajo
<b>Facilidad de reparación</b>	Baja	Alta
<b>Personalización</b>	Alta	Media
<b>Conectividad</b>	Inalámbrica o híbrida	Alámbrica
<b>Interferencia electromagnética</b>	Posible	Nula
<b>Tiempo de respuesta</b>	Rápido	Inmediata

**Tabla 4.** Ventajas y desventajas comparativas. *Elaboración propia.*

## Esquemáticos del diseño

### Análisis del diseño de la placa de circuito para el sistema de control de la silla de ruedas eléctrica



**Figura 5.** Diseño de la placa de circuito para control de movimiento. *Elaboración propia.*

La imagen muestra el diseño en software de una placa de circuito utilizada en el sistema de control de una silla de ruedas eléctrica. Este circuito se basa en componentes como relés, diodos, resistencias, condensadores, reguladores de voltaje y conectores, todos esenciales para la conmutación y el manejo eficiente de los motores de la silla de ruedas mediante un controlador alámbrico.

#### Identificación de componentes claves:

\* **Relés (cuatro unidades en la parte superior de la placa):** estos componentes de potencia permiten la conmutación de la corriente que alimenta los motores. Cada relé probablemente controla una dirección del movimiento de la silla de ruedas: adelante, atrás, izquierda y derecha. Están acompañados de diodos de protección para evitar picos de voltaje generados por la inductancia de las bobinas.

\* **Resistencias y capacitores (ubicados en la parte central y lateral de la placa):** las resistencias se utilizan para el control de señal y limitación de corriente en distintos puntos del circuito. Los condensadores de 10 $\mu$ F y 4 $\mu$ F sirven como filtros para estabilizar la alimentación y reducir ruidos eléctricos en el circuito.

\* **Puente rectificador (BR1 y BR2 en la parte izquierda e inferior de la placa):** convierte la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC), permitiendo la alimentación estable de los relés y otros componentes electrónicos.

\* **Regulador de voltaje 7805:** se encarga de reducir y estabilizar el voltaje de entrada para alimentar los componentes de control y lógica.

\* **Conectores de tornillo (TB1, TB3 y TB5):** facilitan la conexión de alimentación de la batería y los motores. Permiten una instalación segura y sin soldaduras para la integración del circuito en la silla de ruedas.

\* **Microcontrolador o circuito de control (SL5, ubicado en la parte central):** este componente recibe las señales del controlador y determina qué relé debe activarse para generar el movimiento deseado.

### **Interpretación del funcionamiento del circuito**

Este sistema de control está diseñado para operar los motores de la silla de ruedas con base en las señales enviadas por un controlador alámbrico. Su funcionamiento puede explicarse en los siguientes pasos:

✓ **Recepción de señales del controlador:** el usuario manipula el controlador, que genera señales de control para indicar la dirección deseada. Estas señales son enviadas al microcontrolador o circuito de control.

✓ **Procesamiento y activación de Relés:** el circuito analiza la señal y activa los relés correspondientes para permitir el paso de corriente a los motores. Dependiendo de la combinación de relés activados, los motores giran en una dirección específica.

✓ **Alimentación y protección del sistema:** la alimentación del sistema proviene de una batería conectada a los terminales TB1 y TB3.

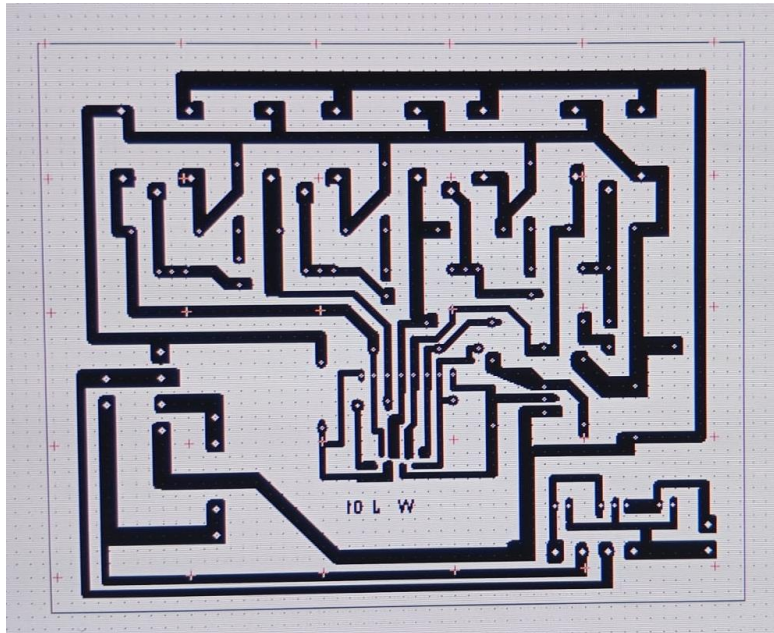
El puente rectificador convierte la corriente, y el regulador de voltaje asegura que los componentes electrónicos reciban una tensión adecuada. Los condensadores ayudan a evitar fluctuaciones de voltaje que podrían dañar el sistema.

✓ **Desplazamiento de la silla de ruedas:** una vez activados los relés, la corriente fluye hacia los motores, que responden con el movimiento deseado. Cuando el usuario suelta el controlador, los relés se desactivan y la silla detiene su movimiento.

### **Evaluación del diseño**

El diseño del sistema de control para la silla de ruedas eléctrica presenta una distribución clara de componentes en la placa, con un enfoque en la integración de relés para el manejo de los motores. Se observa una correcta disposición de resistencias, condensadores y diodos, esenciales para la estabilidad del circuito. El regulador de voltaje 7805 asegura una alimentación estable para los circuitos de control, mientras que los relés permiten la conmutación de corriente hacia los motores. Además, el puente rectificador convierte la corriente alterna en corriente continua para el correcto funcionamiento del sistema. La presencia de bornes de conexión facilita la integración con otros componentes, asegurando una estructura modular y funcional.

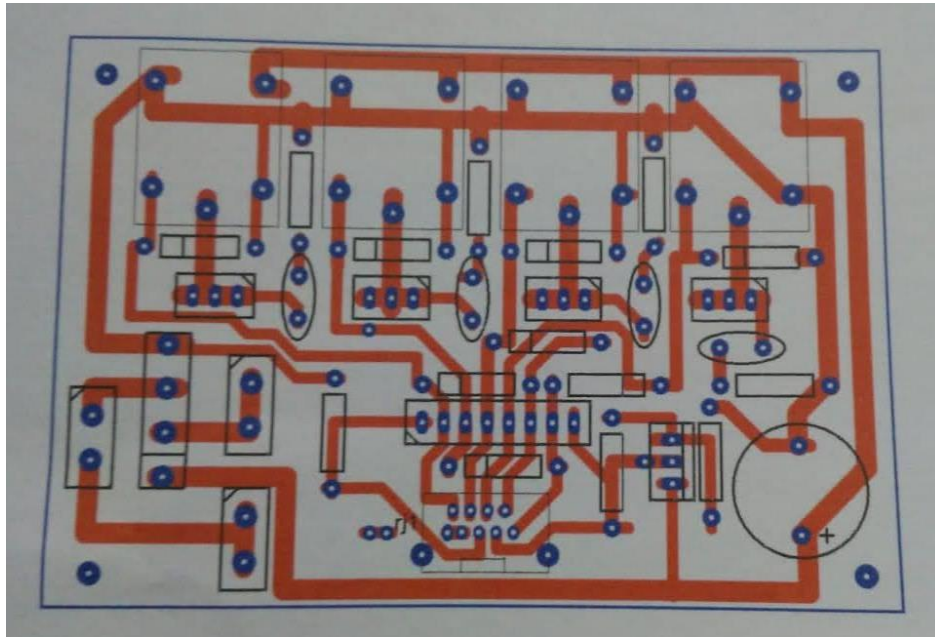
## Diseño de la máscara de cobre para la fabricación de una placa de circuito



**Figura 6.** Diseño de la máscara de cobre para la fabricación de una placa de circuito. *Elaboración propia.*

La imagen muestra el diseño de la máscara de cobre para la fabricación de una placa de circuito, donde se pueden observar las pistas encargadas de conectar los diferentes componentes electrónicos de manera eficiente, optimizando la distribución de la corriente y minimizando interferencias. El grosor de las pistas sugiere la conducción de corrientes moderadas, probablemente destinadas al control de relés o actuadores de la silla de ruedas eléctrica. Además, la disposición de las conexiones indica un diseño pensado para evitar cruces innecesarios y facilitar la fabricación por métodos como el grabado químico.

## Diseño de placa de circuito para transferencia y fabricación



**Figura 7.** Diseño de placa de circuito para transferencia y fabricación. *Elaboración propia.*

La imagen muestra un diseño de placa de circuito listo para su transferencia y fabricación. Se observa una distribución bien organizada de las pistas, con trazos gruesos para líneas de alta corriente y trazos más delgados para señales de control, asegurando una correcta conducción y minimizando interferencias. Los pads y orificios están perfectamente alineados con los componentes, lo que garantiza un ensamblaje eficiente y preciso. En la parte inferior derecha destaca la ubicación de un capacitor electrolítico de gran tamaño, crucial para el filtrado y estabilidad del circuito. El centro del diseño alberga un circuito integrado, lo que indica que el sistema cuenta con un controlador principal encargado de gestionar las señales. La presencia de múltiples puntos de conexión evidencia la interacción con otros módulos, posiblemente para el control de motores o relés. Este diseño está optimizado para una fabricación artesanal mediante transferencia térmica, facilitando la creación de prototipos funcionales. La disposición

estratégica de los componentes y el trazado de las pistas reflejan un diseño robusto, eficiente y bien pensado, asegurando un correcto desempeño eléctrico y mecánico.

El análisis de los diferentes esquemáticos y diseños de placas revela un circuito bien estructurado, optimizado para su fabricación y ensamblaje en un entorno de bajo costo. Se observa una distribución eficiente de las pistas, con una clara diferenciación entre las líneas de señal y las de potencia, asegurando una correcta conducción de corriente sin interferencias ni riesgos de sobrecalentamiento. La integración de componentes estratégicos, como transistores, resistencias, capacitores y un circuito integrado central, sugiere un sistema de control robusto, posiblemente destinado a la regulación de motores o actuadores en la silla de ruedas eléctrica. La evolución del diseño a través de las imágenes muestra un refinamiento progresivo, con mejoras en la organización de los componentes y la optimización del espacio en la placa. La presencia de conectores y terminales bien posicionados indica una fácil interconexión con otros módulos, garantizando una instalación sencilla y una buena mantenibilidad. En conjunto, el diseño demuestra un equilibrio entre funcionalidad, manufacturabilidad y confiabilidad, lo que lo convierte en una solución viable para el controlador alámbrico de bajo costo en desarrollo.

A lo largo de este marco teórico, se han abordado los fundamentos esenciales para el diseño y desarrollo del controlador alámbrico de bajo costo para sillas de ruedas eléctricas. Se exploraron los principios de electrónica y control de motores, detallando el funcionamiento de transistores, microcontroladores y circuitos de potencia, los cuales son la base de este sistema. Asimismo, se analizaron las características de diseño de la placa de circuito, enfatizando la optimización de trazos, la distribución de componentes y la eficiencia en la conducción de señales y corriente. Además, se revisaron los aspectos ergonómicos y de accesibilidad,

garantizando que la solución propuesta no solo sea funcional y económica, sino también intuitiva y fácil de usar para los usuarios.

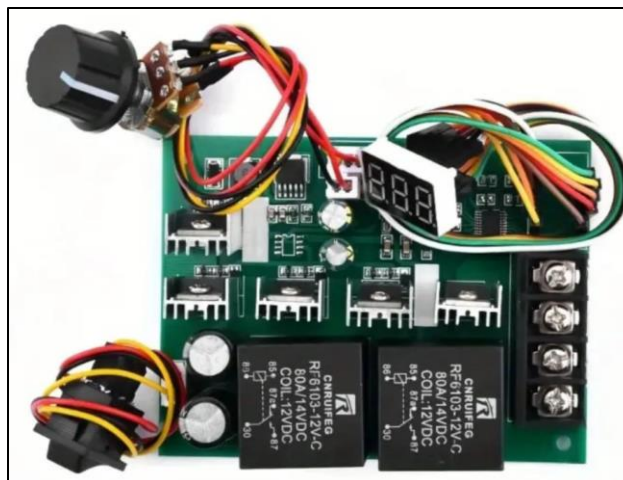
## Componentes del sistema de control de la silla de ruedas

**1. Silla de ruedas:** estructura base adaptada para integración eléctrica, diseñada para soportar el peso de los componentes y del usuario. Permite el montaje seguro de motores, baterías y sistema de control.



**Figura 8.** Silla de ruedas. *Elaboración propia.*

**2. Tarjeta reguladora de velocidad PWM:** módulo electrónico que controla la velocidad de los motores mediante modulación por ancho de pulso (PWM), permitiendo una aceleración progresiva y mayor eficiencia energética.



**Figura 9.** Tarjeta reguladora de velocidad PWM. *Elaboración propia.*

**3. Motores de 250W 24VDC:** motores de corriente continua de 250 vatios y 24 voltios, responsables del movimiento de la silla. Proporcionan la potencia necesaria para tracción y maniobrabilidad sobre diversas superficies.



**Figura 10.** Motores de 250W 24VDC. *Elaboración propia.*

**4. Controlador alámbrico:** dispositivo manual que utiliza potenciómetros mecánicos para generar señales analógicas que controlan la dirección y velocidad. Su conexión alámbrica asegura respuesta inmediata y evita interferencias.



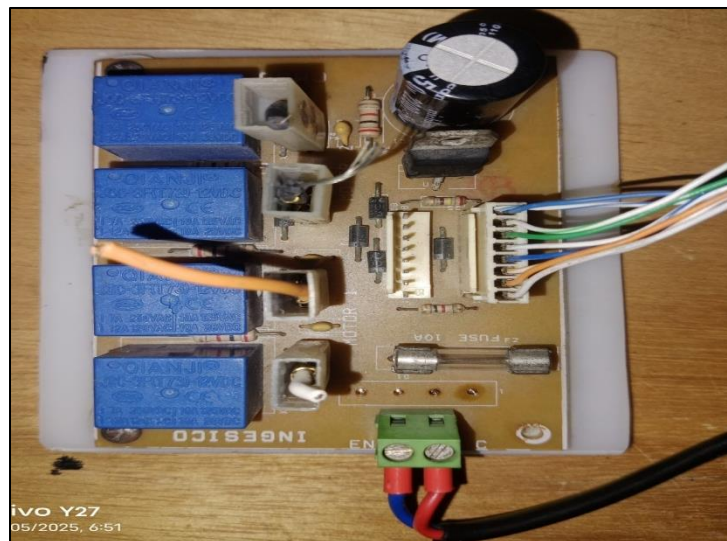
**Figura 11.** Controlador alámbrico. *Elaboración propia.*

**5. Baterías de 12V 36A:** baterías conectadas en serie para alcanzar 36V nominales, suministrando la energía necesaria para el funcionamiento del sistema durante varias horas, con buena capacidad de reserva.



**Figura 12.** Baterías de 12V 36A. *Elaboración propia.*

**6. Tarjeta de comando:** circuito central que interpreta las señales del controlador alámbrico y activa los relés para controlar los motores. Diseñada con lógica simplificada para facilitar la reparación y reducir costos.



**Figura 13.** Tarjeta de comando. *Elaboración propia.*

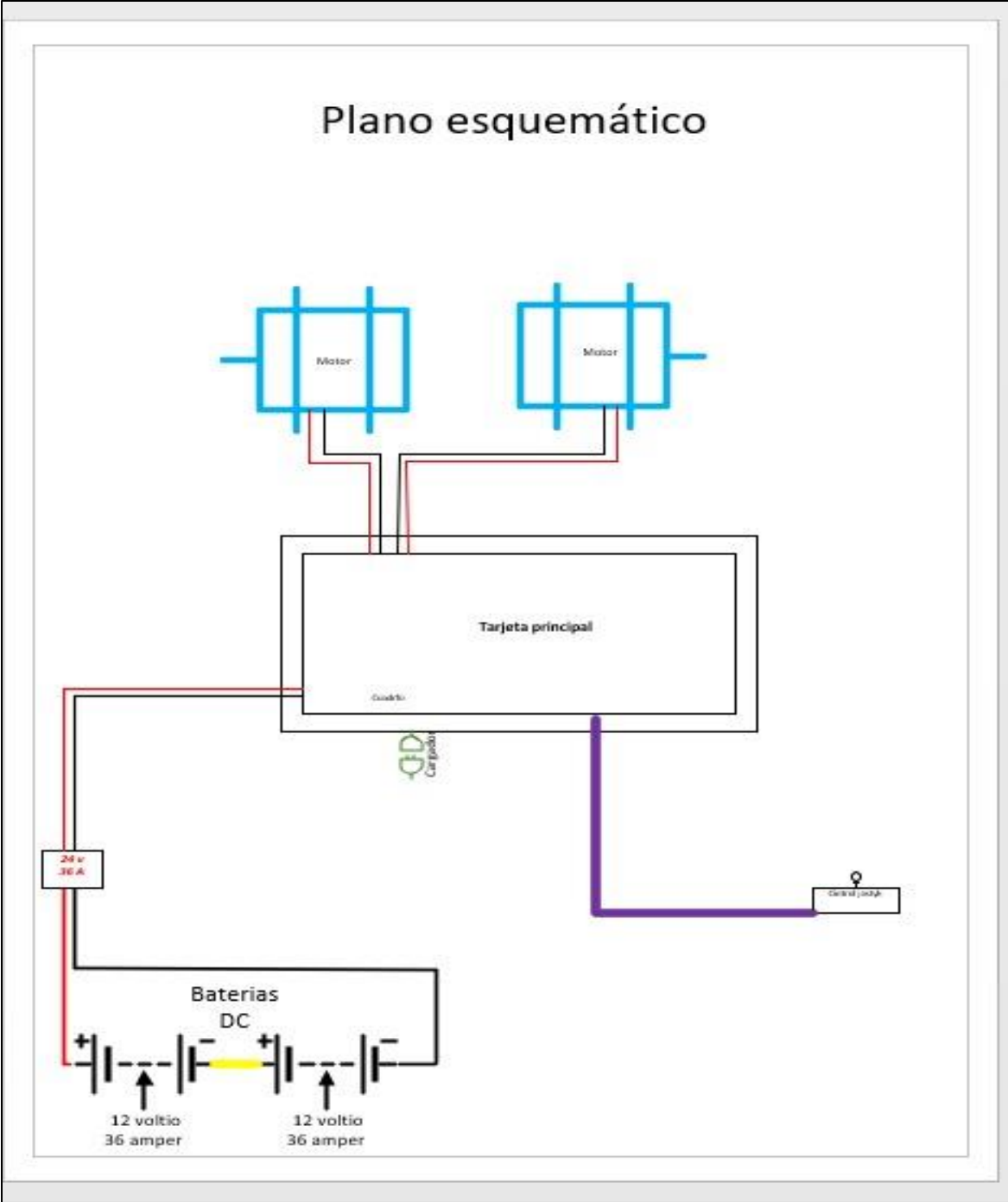


Figura 14. Plano esquemático. *Elaboración propia.*

**Comparativo de costos: proyecto de bajo costo vs silla de ruedas comercial (solo silla)**

En el siguiente apartado se muestra un comparativo del proyecto de la silla de ruedas con su controlador alámbrico frente a una silla de ruedas en el mercado. A continuación, se anexa la imagen de la silla de ruedas promocionada en una revista comercial:



**Figura 15.** Silla de ruedas comercial. Tomado de la revista *Ortopédicos y Droguerías Futuro* [www.ortopedicosfuturo.com](http://www.ortopedicosfuturo.com)

Concepto	Proyecto de bajo costo	Silla comercial (sin electrónica)
Motores 250W 24VDC (×2)	\$1.248.000	-
Baterías 12V 36A (×2)	\$658.000	-
Silla de ruedas base	\$460.000	\$10.451.300
Tarjetas electrónicas (×2)	\$100.000	-
Total estimado (sin mano de obra)	\$2.466.000	\$10.451.300
Costo con descuento del 50%	\$1.233.000	\$5.225.650

**Tabla 5.** Comparativo de costos. *Elaboración propia.*

### **Análisis comparativo**

- El proyecto de bajo costo cuesta solo el 23.6% del precio de una silla comercial básica sin componentes electrónicos, y 47.2% incluso si esta tiene un 50% de descuento.
- Además de ser más económico, el proyecto ya incluye motores, baterías, sistema de control y electrónica funcional, lo que convierte a una silla pasiva en una silla de ruedas eléctrica operativa.
- Esto demuestra que, con un diseño inteligente y componentes accesibles, es posible construir una solución funcional, adaptable y reparable a una fracción del costo del mercado, incluso cuando la referencia comercial no incluye funciones electrónicas.

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cómo diseñar un sistema de control para sillas de ruedas eléctricas que sea más accesible, fácil de usar y que brinde mayor libertad de movimiento a las personas con discapacidad, superando las limitaciones de los sistemas de control tradicionales?

La necesidad de un sistema de control más accesible y fácil de usar para sillas de ruedas eléctricas ha sido ampliamente reconocida en la literatura científica. Los sistemas de control tradicionales, que suelen incluir joysticks fijos y configuraciones poco adaptables, presentan limitaciones significativas para las personas con discapacidad, restringiendo su libertad de movimiento y autonomía (Smith, 2018).

Según estudios previos, los usuarios de sillas de ruedas eléctricas enfrentan dificultades para realizar actividades cotidianas debido a la falta de accesibilidad y usabilidad de los sistemas de control. Además, algunos sistemas de control requieren mantenimiento frecuente, lo que puede ser costoso y poco práctico. (Lee, 2018).

Por lo tanto, es necesario desarrollar una solución innovadora que mejore la movilidad y la autonomía de las personas con discapacidad. Un controlador alámbrico de bajo costo podría ser una alternativa efectiva para garantizar un control más preciso y estable, reduciendo al mismo tiempo la complejidad técnica y los costos asociados a los sistemas convencionales.

## 5. VARIABLES

### 5.1 Definición de variables:

Las principales variables que se abordan en este estudio para desarrollar un controlador alámbrico funcional, económico y accesible, que realmente mejore la experiencia de los usuarios de sillas de ruedas eléctricas son las siguientes:

- **Costo de fabricación:** esta variable se centra en la reducción de los costos asociados a la fabricación del controlador alámbrico, utilizando materiales económicos, componentes de bajo precio y procesos de producción simplificados. El objetivo es crear una solución accesible para un público amplio, sin que el costo sea una barrera para la implementación en sillas de ruedas eléctricas.
- **Usabilidad y accesibilidad:** esta variable se refiere a la facilidad con la que el controlador alámbrico puede ser utilizado por personas con movilidad reducida. Se busca que el diseño sea intuitivo, ergonómico y adaptado a las necesidades de los usuarios, permitiendo un control preciso y sencillo de la silla de ruedas. Además, se considera la posibilidad de personalizar el dispositivo para diferentes tipos de usuarios.
- **Rendimiento y fiabilidad del sistema alámbrico:** en esta variable se estudia la eficiencia y estabilidad de la conexión por cable entre el controlador y la silla de ruedas eléctrica. Se evalúan aspectos como la latencia en la transmisión de señales, la respuesta en tiempo real y la robustez de la conexión, asegurando que el sistema funcione de manera confiable y sin interferencias externas.
- **Compatibilidad con sillas de ruedas eléctricas:** esta variable se enfoca en la integración del controlador alámbrico con distintos modelos de sillas de ruedas eléctricas. Se analiza la flexibilidad del dispositivo para adaptarse a diferentes sistemas de control de las sillas, de modo

que pueda ser utilizado en una amplia variedad de equipos sin necesidad de modificaciones complejas.

- **Durabilidad y resistencia del dispositivo:** se evalúa la capacidad del controlador para resistir el uso frecuente y las condiciones adversas, como golpes, vibraciones y exposición a factores ambientales (por ejemplo, humedad o temperatura). Esto garantiza que el dispositivo sea confiable y tenga una larga vida útil, incluso en condiciones de uso exigentes.

## 6. CONTROL DE VARIABLES

Las variables extrañas o contaminantes que podrían afectar la medición de las variables de estudio son las siguientes:

❖ **Condiciones ambientales:** factores como la temperatura, humedad o presencia de polvo pueden afectar el funcionamiento de los componentes electrónicos del controlador, así como la calidad y durabilidad de las conexiones alámbricas.

Para controlar esto, se debe realizar las pruebas en un entorno controlado con condiciones ambientales constantes y registrar cualquier fluctuación que pueda influir en los resultados.

❖ **Variabilidad en el suministro de energía:** las fluctuaciones en el voltaje de la fuente de alimentación pueden afectar el rendimiento del controlador, influyendo en la precisión del control y la estabilidad de la señal.

Para controlar esto, se debe asegurar una fuente de alimentación estable, utilizar reguladores de voltaje si es necesario y realizar pruebas bajo distintas condiciones de suministro eléctrico.

❖ **Errores en el proceso de medición:** la medición de variables como la precisión del control y la respuesta del sistema podría verse influida por errores humanos o de equipo, como el uso incorrecto de los instrumentos de medición.

Para controlar esto, se debe usar equipos de medición calibrados y realizar múltiples mediciones para garantizar que los datos sean consistentes y precisos.

❖ **Posibles fallos en el prototipo:** durante las pruebas piloto sin usuarios, pueden surgir aspectos no detectados en el prototipo que afectan su funcionamiento, como componentes defectuosos, fallas en las conexiones alámbricas o errores de programación.

Para controlar esto, se debe realizar pruebas repetidas y pruebas de estrés en los prototipos para detectar posibles fallos y corregirlos antes de continuar con pruebas en usuarios.

❖ **Comportamiento del dispositivo sin la interacción de un usuario:** al no contar con un usuario real, el comportamiento del controlador podría diferir al simularse la interacción de una persona. Esto podría influir en la forma en que se miden variables como la precisión del control o la ergonomía.

Para controlar esto, es importante realizar una validación previa con simuladores u otros métodos para aproximar las condiciones de uso reales, además de contemplar cómo estas variaciones se corregirán durante las pruebas con usuarios reales.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo General**

Desarrollar un prototipo de controlador alámbrico de bajo costo para sillas de ruedas eléctricas, que ayude a mejorar la postura y la movilidad de las personas con discapacidad.

### **7.2 Objetivos Específicos**

1. Investigar y seleccionar tecnologías alámbricas accesibles y económicas para el control de la silla de ruedas.
2. Diseñar un sistema de control ergonómico que promueva una postura adecuada y cómoda para el usuario durante el uso de la silla de ruedas.
3. Realizar pruebas piloto sin usuarios para evaluar la efectividad del diseño del controlador alámbrico en cuanto a la mejora de la postura y la experiencia general del usuario.

## **8. HIPÓTESIS**

Se plantea que el desarrollo de un controlador alámbrico de bajo costo para sillas de ruedas eléctricas permitirá mejorar significativamente la accesibilidad, el control y la autonomía de los usuarios, al ofrecer una alternativa más económica, confiable y funcional en comparación con los sistemas de control convencionales, que suelen ser costosos, complejos o poco adaptables. Este dispositivo no solo optimizará la facilidad de uso y la ergonomía del sistema de control, sino que también garantizará una conexión estable, segura y con mínima latencia, asegurando que los usuarios puedan manejar sus sillas de ruedas de manera precisa, fluida y cómoda. Asimismo, el uso de tecnologías accesibles y componentes duraderos contribuirá a extender la vida útil del sistema, reduciendo los requerimientos de mantenimiento y aumentando su viabilidad para una implementación a mayor escala.

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1 Diseño:**

El estudio realizado adoptó un enfoque experimental y de desarrollo tecnológico, orientado a la creación de un prototipo funcional de un controlador alámbrico de bajo costo para sillas de ruedas eléctricas. Se empleó un diseño no experimental con pruebas piloto en las que se evaluaron distintas características del dispositivo, como la precisión en el control, la estabilidad de la conexión alámbrica y la respuesta en tiempo real. Se utilizó un enfoque cuantitativo para medir y analizar las variables de desempeño del prototipo, con el fin de determinar su efectividad en condiciones controladas, sin la participación de usuarios reales en esta etapa inicial. La metodología de esta investigación abarcó el desarrollo del sistema analógico y electrónico esquemático a partir de la necesidad de poder controlar la silla con un sistema de control al mando de 2 motores de 24V 250W en corriente directa.

### **9.2 Instrumentos y técnicas:**

Para la recolección de datos y la evaluación del prototipo, se utilizaron diversos instrumentos y técnicas. Se emplearon dispositivos de medición de precisión para analizar la exactitud del controlador alámbrico, así como herramientas de monitoreo para evaluar la estabilidad y respuesta del sistema alámbrico. Además, se utilizaron herramientas de software y equipos de medición para monitorizar el consumo de energía del dispositivo y la eficiencia de la transmisión de señales. Las pruebas de funcionamiento se realizaron en un entorno controlado, simulando las condiciones reales de uso, y se aplicaron pruebas repetitivas para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Para la recolección de datos y la evaluación del prototipo, se utilizaron diversos instrumentos y técnicas que permitieron garantizar la precisión y funcionalidad del sistema. Entre ellos se

incluyó el multímetro digital, utilizado para medir voltajes, corrientes y verificar la continuidad eléctrica en los distintos puntos del circuito; el cautín y la soldadura, empleados para ensamblar y fijar correctamente los componentes electrónicos en la placa de circuito, asegurando conexiones firmes y duraderas; y el software WBP Services, utilizado para el diseño de los esquemáticos y circuitos electrónicos, facilitando la planificación y visualización del sistema antes de su construcción. Estos instrumentos resultaron fundamentales para garantizar tanto la calidad del montaje como la fiabilidad del sistema de control alámbrico desarrollado.

### **9.3 Procedimiento:**

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis de las necesidades de los usuarios con discapacidad que utilizan sillas de ruedas eléctricas, para identificar los requerimientos de accesibilidad, ergonomía y facilidad de uso del controlador. Posteriormente, se diseñó el controlador alámbrico, seleccionando los componentes electrónicos adecuados y utilizando software de diseño asistido por computadora para crear los planos y modelos de los componentes del controlador. A continuación, se construyó el prototipo físico del controlador, ensamblando los componentes electrónicos en una estructura ergonómica adaptada a la silla de ruedas eléctrica. Este prototipo se integró físicamente con una silla de ruedas eléctrica real para probar su funcionalidad y compatibilidad. En la fase de pruebas, se evaluó el rendimiento del controlador en cuanto a precisión, estabilidad de la conexión alámbrica, facilidad de uso y comodidad. Finalmente, se realizaron pruebas de seguridad y durabilidad del sistema, asegurando que cumpla con los estándares necesarios para su uso en un entorno cotidiano.

## 10. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del desarrollo y pruebas del prototipo del controlador alámbrico mostraron que el dispositivo alcanzó un rendimiento óptimo en cuanto a precisión en el control, con una desviación mínima en la traducción de movimientos. La conexión alámbrica proporcionó una transmisión de señales estable y sin latencias, asegurando una respuesta inmediata a los comandos del usuario. Aunque depende de baterías para su funcionamiento, el consumo energético fue eficiente y no se evidenciaron interrupciones durante las pruebas, lo que indica una buena gestión de energía y autonomía aceptable para un uso prolongado. Las pruebas también revelaron que el dispositivo mantuvo una estabilidad adecuada durante el uso repetido y en condiciones controladas, sin presentar fallas en las conexiones ni en la interpretación de señales. Asimismo, el controlador demostró ser resistente a manipulaciones prolongadas y a variaciones leves en el entorno, lo que indica su robustez y confiabilidad como solución tecnológica de bajo costo. Estos hallazgos fueron consistentes a lo largo de las diferentes pruebas realizadas, reafirmando su viabilidad como sistema de control eficiente y accesible para sillas de ruedas eléctricas.

## 11. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el desarrollo del controlador alámbrico de bajo costo respaldan en gran medida la hipótesis planteada, ya que demostraron que el dispositivo cumple con los objetivos establecidos en cuanto a precisión, estabilidad de la conexión y funcionamiento confiable. La precisión en el control fue adecuada, lo que confirma que el controlador puede ofrecer un manejo funcional para los usuarios de sillas de ruedas eléctricas, tal como se había previsto. Además, la conexión alámbrica proporcionó una transmisión de señales estable y sin interrupciones, asegurando una respuesta inmediata a los comandos del usuario en entornos diversos sin comprometer su rendimiento. Si bien el sistema depende de baterías, estas no representaron una limitación crítica durante las pruebas, ya que el consumo energético del controlador fue eficiente, permitiendo un funcionamiento continuo en condiciones controladas. Este comportamiento respalda la hipótesis de que el dispositivo sería funcional, accesible y confiable para el uso diario. Sin embargo, los resultados también evidencian áreas para mejorar, como la necesidad de optimizar aún más la ergonomía del diseño, que no fue evaluada completamente durante las pruebas iniciales, pero que es crucial para el confort de los usuarios finales. En general, los hallazgos refuerzan la viabilidad del prototipo como una opción accesible y eficaz, aunque algunos aspectos, como la interacción directa con los usuarios, deberán ser profundizados en futuras fases del proyecto.

## **12. RECOMENDACIONES**

### 13. REFERENCIAS

World Health Organization: WHO. (s.f.). (2023, 7 marzo). Disability.

Vista de Calidad de vida y autonomía en las actividades de la vida diaria en personas con lesión medular | Revista Terapia Ocupacional Galicia. (s.f.). (s. f.).

UNE-EN ISO 9241-20:2022 Ergonomía de la interacción persona-si. (s.f.). . . (s. f.).

Tomás, T. C. J., Bibiana, F. J., & Automática, G. E. I. E. I. Y. (2023). Sistema de control para una silla de ruedas eléctrica. Universidad de la Laguna.

Posición de RESNA sobre el uso de Sillas de Ruedas Manuales Ultraligeras | Loh Medical. (s.f.). (2018, 11 septiembre).

Patiño, A. (2019). Diseño de los mecanismos de accionamiento de una silla de ruedas conhandbike. Escuela técnica superior de ingenieros industriales.

Organización de las Naciones Unidas. (2010). Perspectivas sobre la discapacidad: un enfoque de derechos. Naciones Unidas. Recuperado de

Noticias- Jiangsu Xiaoyuan Medical Devices Co., Ltd. (s.f.). (2024, 14 agosto).

Morera, D. (s.f.). B. (2023, 2 diciembre). ¿Qué es la discapacidad? Definiciones y buenas prácticas para una región más inclusiva. ¿Y Si Hablamos de Igualdad?

Innovaciones tecnológicas en sillas de ruedas | Loh Medical. (s.f.). (2024, 12 junio).

IEC 60601: Normas para la Seguridad de Productos Médicos. (s.f.). (s. f.).

Hurtado, L., Agudelo, M. (2014). Inclusión educativa de las personas con discapacidad en Colombia. CES Movimiento y Salud. 2014; 2(1): 45-55.

[http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/4889/Inclusion\\_educativa\\_de\\_las\\_personas\\_con\\_discapacidad\\_en\\_Colombia.pdf?sequence=1](http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/4889/Inclusion_educativa_de_las_personas_con_discapacidad_en_Colombia.pdf?sequence=1)

Herrera-Saray, P., Peláez-Ballestas, I., Ramos-Lira, L., Sánchez-Monroy, D., & Burgos-Vargas, R. (2013). Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas que las utilizan. Estudio cualitativo desde la perspectiva de la ergonomía en personas discapacitadas por enfermedades reumáticas y otras condiciones. *Reumatología Clínica*, 9(1), 24-30.

Hernández, S, López, H. (2023). Sillas de ruedas, accesibilidad y Odontología Pediátrica: Perspectivas en Latinoamérica. *Revista de Odontopediatría Latinoamericana*, 13. Disponible en:

Dicianno, B. E., Spaeth, D. M., Cooper, R. A., Fitzgerald, S. G., & Boninger, M. L. (2006). Advancements in Power Wheelchair Joystick Technology: Effects of Isometric Joysticks and Signal Conditioning on Driving Performance. *American Journal Of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(8), 631-639.

Department for International Development. (s.f.). (2015, 15 diciembre). «80% of people with disabilities live in developing countries. And the barriers that people face aren't just physical». GOV.UK.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2020). Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2020. Recuperado de

Contexto global de la discapacidad y movilidad en silla de ruedas – *Physiopedia Multilingual*. (2021). *Physio-Pedia.com*.

Blasco, M., Carretero, E., Pérez, D. (2021). Calidad de vida y autonomía en las actividades de la vida diaria en personas con lesión medular. *TOG (A Coruña)* 18(1), 30 – 38.

Boletines Poblacionales: Personas con Discapacidad -PCD1 Oficina de Promoción Social I-2020. (2020). Minsalud.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/boletines-poblacionales-personas-discapacidadI-2020.pdf>

Avina, F. (s.f.). (2020, 19 febrero). La movilidad humana como movilidad social ascendente. Fundación Avina.

Arnaufreixas. (s.f.). (2023, 9 agosto). Los avances tecnológicos en las sillas de ruedas eléctricas. Teyder.

Análisis de la situación de las personas con discapacidad en Colombia 2021. (s.f.). (s. f.). UN Women – Colombia.

Apellido, A. (s.f.). (2024, 8 julio). La importancia de la accesibilidad en espacios públicos para personas con discapacidad. aithor.com.

Apellido, A. (s.f.). (2024, 14 diciembre). Sillas de Ruedas Eléctricas y el Impacto en la Calidad de Vida de los Usuarios. Prosillas.

Aithor. (2024, 8 julio). *La importancia de la accesibilidad en espacios públicos para personas con discapacidad*. aithor.com. [https://aithor.com/essay-examples/la-importancia-de-la-accesibilidad-en-espacios-publicos-para-personas-con-discapacidad?utm\\_source](https://aithor.com/essay-examples/la-importancia-de-la-accesibilidad-en-espacios-publicos-para-personas-con-discapacidad?utm_source)

*Análisis de la situación de las personas con discapacidad en Colombia 2021*. (s. f.). UN Women – Colombia. <https://colombia.unwomen.org/es/digital-library/publications/2022/05/analisis-de-la-situacion-de-las-personas-con-discapacidad-en-colombia-2021>

Arnaufreixas. (2023, 9 agosto). Los avances tecnológicos en las sillas de ruedas eléctricas. Teyder. <https://teyder.com/los-avances-tecnologicos-en-las-sillas-de-ruedas-electricas/>

Avina, F. (2020, 19 febrero). La movilidad humana como movilidad social ascendente. *Fundación Avina*. <https://www.avina.net/la-movilidad-humana-como-movilidad-social-ascendente/>

Boletines Poblacionales: Personas con Discapacidad -PCD1 Oficina de Promoción Social I-2020. (2020). Minsalud. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/boletines-poblacionales-personas-discapacidadI-2020.pdf>

Blasco, M., Carretero, E., Pérez, D. (2021). *Calidad de vida y autonomía en las actividades de la vida diaria en personas con lesión medular*. *TOG (A Coruña)* 18(1), 30 – 38. <https://revistatog.es/ojs/index.php/tog/article/view/106>

*Contexto global de la discapacidad y movilidad en silla de ruedas – Physiopedia Multilingual*. (2021). Physio-Pedia.com. <https://langs.physio-pedia.com/es/global-disability-context-and-wheelchair-mobility-es/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2020). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2020*. Recuperado de <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/718/pdf-documentation>

Department for International Development. (2015, 15 diciembre). «80% of people with disabilities live in developing countries. And the barriers that people face aren't just physical». *GOV.UK*. <https://www.gov.uk/government/speeches/80-of-people-with-disabilities-live-in-developing-countries-and-the-barriers-that-people-face-arent-just-physical>

Dicianno, B. E., Spaeth, D. M., Cooper, R. A., Fitzgerald, S. G., & Boninger, M. L. (2006). *Advancements in Power Wheelchair Joystick Technology: Effects of Isometric Joysticks and*

Signal Conditioning on Driving Performance. *American Journal Of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(8), 631-639. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000228519.54763.b4>

Hernández, S, López, H. (2023). Sillas de ruedas, accesibilidad y Odontología Pediátrica: Perspectivas en Latinoamérica. *Revista de Odontopediatría Latinoamericana*, 13. Disponible en: <https://doi.org/10.47990/alop.v13i.566>

Herrera-Saray, P., Peláez-Ballestas, I., Ramos-Lira, L., Sánchez-Monroy, D., & Burgos-Vargas, R. (2013). Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas que las utilizan. Estudio cualitativo desde la perspectiva de la ergonomía en personas discapacitadas por enfermedades reumáticas y otras condiciones. *Reumatología Clínica*, 9(1), 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.reuma.2012.05.010>

Hurtado, L., Agudelo, M. (2014). Inclusión educativa de las personas con discapacidad en Colombia. *CES Movimiento y Salud*. 2014; 2(1): 45-55.

[http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/4889/Inclusion educativa de las personas con discapacidad en Colombia.pdf?sequence=1](http://riberdis.cedid.es/bitstream/handle/11181/4889/Inclusion_educativa_de_las_personas_con_discapacidad_en_Colombia.pdf?sequence=1)

*IEC 60601: Normas para la Seguridad de Productos Médicos.* (s. f.).

<https://www.intertek.es/equipos-medicos/seguridad-iec-60601/>

*Innovaciones tecnológicas en sillas de ruedas | Loh Medical.* (2024, 12 junio).

<https://www.lohmedical.com/es/blog/innovaciones-tecnologicas-en-sillas-de-ruedas>

Morera, D. B. (2023, 2 diciembre). *¿Qué es la discapacidad? Definiciones y buenas prácticas para una región más inclusiva.* ¿Y Si Hablamos de Igualdad?

<https://blogs.iadb.org/igualdad/es/que-es-la-discapacidad-tipos-de-discapacidad/>

Noticias- Jiangsu Xiaoyuan Medical Devices Co., Ltd. (2024, 14 agosto).

<https://es.xiaoyuanmedical.com/news/what-are-the-environmental-considerations-in-the-production-and-disposal-of-portable-electric-wheelchairs>

Organización de las Naciones Unidas. (2010). *Perspectivas sobre la discapacidad: un enfoque de derechos*. Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.un.org/disabilities/>

Patiño, A. (2019). Diseño de los mecanismos de accionamiento de una silla de ruedas con handbike. *Escuela técnica superior de ingenieros industriales*. [https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2019/10/TFM\\_alvaro\\_pati%C3%B1o.pdf](https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2019/10/TFM_alvaro_pati%C3%B1o.pdf)

*Posición de RESNA sobre el uso de Sillas de Ruedas Manuales Ultraligeras* | Loh Medical. (2018, 11 septiembre). <https://www.lohmedical.com/es/blog/posicion-de-resna-sobre-el-uso-de-sillas-de-ruedas-manuales-ultraligeras>

Tomás, T. C. J., Bibiana, F. J., & Automática, G. E. I. E. I. Y. (2023). *Sistema de control para una silla de ruedas eléctrica*. Universidad de la Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/34052>

UNE-EN ISO 9241-20:2022 *Ergonomía de la interacción persona-si. . .* (s. f.). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0069953>

*Vista de Calidad de vida y autonomía en las actividades de la vida diaria en personas con lesión medular* / *Revista Terapia Ocupacional Galicia*. (s. f.). <https://www.revistatog.es/ojs/index.php/tog/article/view/106/86>

World Health Organization: WHO. (2023, 7 marzo). *Disability*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>