

Interfaz Cerebro-Máquina para el Desplazamiento Autónomo en Sillas de Ruedas. Brain-Machine Interface for Autonomous Wheelchair Movement.

Javier Norberto Gutiérrez Villegas¹, Israel Isaac Gutiérrez Villegas², Víctor Hugo Martínez Flores³, Esiquio Martín Gutiérrez Armentas⁴, Marco Antonio Gutiérrez Villegas⁵, Liliana Niño Monroy⁶

¹ División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tese - Tecnm, México. ² División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tese - Tecnm, México
³ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México, ⁴ Departamento de Sistemas, Área de Sistemas Computacionales, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, México, ⁵ Departamento Académico de Programación, cetis119-DGETI, México⁶

Resumen

Este proyecto aborda la necesidad de mejorar la movilidad de personas con discapacidad parapléjica mediante el desarrollo de un prototipo tecnológico innovador que utiliza ondas cerebrales para controlar una silla de ruedas. La propuesta integra una diadema NeuroSky con un sistema basado en Arduino UNO, representando una solución de vanguardia para superar las limitaciones de las sillas de ruedas convencionales. El sistema funciona mediante una interfaz cerebro-máquina que captura las señales neuronales del usuario a través de la diadema NeuroSky. Estas señales se transmiten vía Bluetooth HC-05, configurado como maestro mediante comandos AT, hacia la placa Arduino que procesa la información y controla los motores eléctricos de la silla. El nivel de concentración del usuario determina la dirección del movimiento: adelante, derecha, izquierda o reversa. Esta investigación busca facilitar las actividades diarias y promover la autonomía de personas con discapacidades físicas severas, mejorando su integración social y laboral. La ausencia de prototipos similares en el mercado actual resalta el carácter innovador del proyecto, que combina conocimientos científicos y tecnológicos para resolver problemas reales de movilidad y ofrecer una solución práctica que mejore significativamente la calidad de vida de los usuarios.

Palabras clave: Arduino, Bluetooth, Silla de rueda, NeuroSky, parapléjico, modulo puente H, motorreductor

Abstract

This project addresses the need to improve mobility for people with paraplegic disabilities through the development of an innovative technological prototype that uses brain waves to control a wheelchair. The proposal integrates a NeuroSky headband with an Arduino UNO-based system, representing a cutting-edge solution to overcome conventional wheelchair limitations. The system operates through a brain-machine interface that captures the user's neural signals via the NeuroSky headband. These signals are transmitted through Bluetooth HC-05, configured as master using AT commands, to the Arduino board that processes the information and controls the wheelchair's electric motors. The user's concentration level determines movement direction: forward, right, left, or reverse. This research aims to facilitate daily activities and promote autonomy for people with severe physical disabilities, improving their social and workplace integration. The absence of similar prototypes in the current market highlights the project's innovative nature, combining scientific and technological knowledge to solve real mobility problems and offer a practical solution that significantly improves users' quality of life. The prototype represents a breakthrough in assistive technology, enabling independent movement for individuals who would otherwise face substantial mobility challenges, thus fostering their integration into everyday life activities.

Keywords: Arduino, Bluetooth, wheelchair, NeuroSky, paraplegic, H-bridge module, gear motor Arduino, Bluetooth, Wheelchair.

1. Introducción

En México, de acuerdo con el censo de 2020, se registraron 2 millones 939 mil personas con dificultades

para trasladarse. Según el censo de 2022 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el país cuenta con 20 millones 838 mil 108 personas que presentan alguna discapacidad o limitación, lo que equivale al 16.5% de la población. Este sector enfrenta importantes desafíos,

*Autor para la correspondencia: victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx

Correo electrónico: victorhugo.martinez.ce119@dgeti.sems.gob.mx (Victor Hugo Martínez Flores), jgutierrez@tese.edu.mx (Javier Norberto Gutiérrez Villegas), magv@correo.azc.uam.mx (Marco Antonio Gutiérrez Villegas), emga@azc.uam.mx (Esiquio Martín Gutiérrez Armenta), israelVillegas@tese.edu.mx (Israel Isaac Gutiérrez Villegas)

Historial del manuscrito: recibido el 02/04/2025, última versión-revisada recibida el 14/05/2025, aceptado el 18/05/2025, publicado el 04/11/2025. **DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.17527727>



particularmente en lo relacionado con sus traslados tanto dentro como fuera de sus hogares [4].

Con el propósito de contribuir a mejorar la calidad de vida de este 16,5% de la población, se ha desarrollado un prototipo tecnológico diseñado para facilitar la realización de sus actividades diarias. En esta investigación se propone una solución innovadora, "una silla de ruedas" que no requiere ayuda externa para su uso. El diseño incorpora un sistema avanzado de programación que funciona mediante una diadema de Neurosky Mindwave Headset capaz de captar las ondas cerebrales del usuario permitiendo que el desplazamiento de la silla de ruedas sea más sencilla.

El ser humano se desenvuelve en un entorno de continuo aprendizaje, desde el momento en que hace uso de su actividad sensorio-motriz, toda la información recolectada es almacenada en forma de memoria de corto y largo plazo. Así los datos son guardados en las redes preexistentes (memoria de corto plazo) o en forma de cambios estructurales y funcionales de las redes neuronales (memoria de largo plazo) en respuesta a los estímulos captados por distintos órganos receptores [18].

La cuadriplejía (o tetraiplejía) puede ser de origen traumático o no traumático. En el caso de la patología no traumática, generalmente existe una enfermedad subyacente: infecciones, tumores, enfermedades musculoesqueléticas como la osteoartritis, o problemas congénitos [19].

Una de las formas de conservar la energía física de las personas y proveerlos de una mayor maniobrabilidad fue la invención de sillas eléctricas controladas mediante las señales cerebrales. El uso de este tipo de sillas de ruedas en personas con discapacidad ha generado una gran atención, debido a su flexibilidad, comodidad, costo relativamente bajo, alta movilidad y fácil configuración [20].

El desplazamiento autónomo de personas con discapacidad físicas es una necesidad prioritaria para mejorar su calidad de vida. Las sillas de ruedas convencionales presentan limitaciones para quienes tienen discapacidades motoras severas, lo que dificulta su integración en el entorno cotidiano.

La investigación se centra en el desarrollo de un prototipo tecnológico que integra tecnología neuronal en una estructura ergonómica de una silla de ruedas, facilitando actividades diarias y promoviendo la independencia de los usuarios. Está dirigido a personas con discapacidades motoras (paraplejía) que no pueden operar sillas de ruedas convencionales.

2. Materiales y Método

Método

Se realizó una investigación de innovación tecnológica, en el Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios (CETIS) 119 "Gertrudis Bocanegra Lazo De La Vega". La cual cuenta con cuatro fases: 1) Análisis. En esta fase se recopiló información para saber cuáles son las necesidades de información para resolver la problemática, la delimitación de la problemática y los objetivos generales y específicos; 2) diseño. En esta fase se desarrolló el prototipo del circuito

electrónico que se utilizará para resolver la problemática para controlar una silla de ruedas utilizando señales cerebrales; 3) construcción. En esta fase se llevará a cabo el armado del prototipo tecnológico con sus componentes correspondientes 4) pruebas de funcionamiento del prototipo tecnológico al intentar mover el prototipo de silla de ruedas mediante las señales cerebrales.

Se sometieron a tres pacientes a sesiones de entrenamiento tres veces por semana a lo largo de dos meses, y usaban la diadema Neurosky Mindwave Headset.

La diadema NeuroSky utiliza el algoritmo eSense para interpretar y categorizar la actividad cerebral, como la atención y la meditación, en una escala de 0 a 100. Este algoritmo, desarrollado por NeuroSky, permite identificar diferentes estados mentales y cognitivos.

Es un terminal que detecta las señales encefalográficas evitando el ruido ambiental por medio de un algoritmo denominado "eSense" implementado en el chip Thinkgear.

El dispositivo mide los espectros de frecuencia EEG (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gamma) y luego utiliza eSense para determinar los niveles de atención y meditación.

Dependiendo del nivel de concentración o relajación el paciente podía mover el prototipo tecnológico de silla de ruedas hacia la izquierda, a la derecha, de frente o atrás.

En la primera sesión de entrenamiento, los tres voluntarios pudieron mover el prototipo de silla de ruedas.

A lo largo del entrenamiento, dos participantes lograron conducir el prototipo de silla de ruedas. Esto se debió a mejoras en la capacidad para concentrarse.

Las lecturas de EEG (es una prueba que mide la actividad eléctrica del cerebro) de la concentración y relajación mostraron cambios claros en los patrones de ondas cerebrales de los pacientes a medida que guiaban mejor.

Materiales

Se seleccionaron los materiales, los cuales presentan un funcionamiento al momento de realizarles las pruebas de funcionamiento a cada uno de estos. Se utilizaron los siguientes materiales: Arduino Uno, módulo de puente H, dos motores para Arduino, dos llantas para Arduino, porta pilas, protoboard, cables jumper, diadema Neurosky, seis pilas recargables y Bluetooth.

La aplicación software del IDE de Arduino se utilizará para realizar el desarrollo de la aplicación para poder realizar la conectividad entre la diadema Neurosky Mindwave Headset y la placa de arduino.

Un módulo HC-05 permitió la comunicación entre Arduino y Neurosky Mindwave Headset, lo que garantizó que la silla pudiera moverse sin obstrucción de cables.

Los parámetros de configuración fueron: el puerto de comunicación, tipo de conexión, tipo de tarjeta Arduino, Baud Rate y el número de bytes por paquete.

La tarjeta Arduino y un puente H (L293D) controlaron la tarjeta electrónica de potencia, la misma que proporcionó energía para los dos motores de las llantas de la silla de ruedas.

Para que los enlaces se generasen, las librerías del IDE de arduino debieron contener una ruta específica, y la tarjeta Arduino un firmware que permitiese la comunicación.

La tarjeta electrónica de potencia integró el módulo HC-05, la bornera de alimentación, el integrado L293D, la salida de corriente hacia los motores y la incorporación con la tarjeta

En la figura 1 se muestra el diseño inicial de prototipo tecnológico donde se puede observar: protoboard, cables jumper, puente H, motor para arduino, placa de arduino uno y bluetooth HC-05

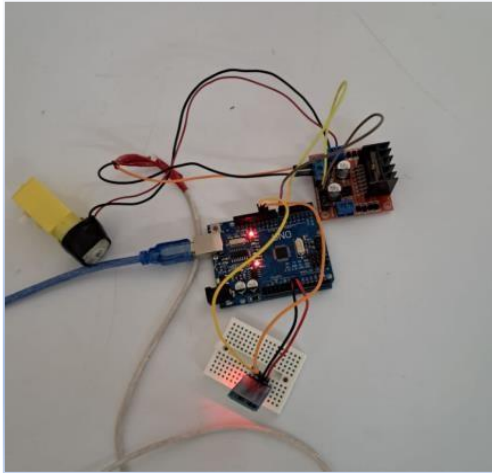


figura1. Diseño inicial del prototipo tecnológico

En la figura 2 se muestra la instalación y configuración del bluetooth HC-05 utilizando comandos AT para configurarlo como maestro, que se utilizará para la silla de ruedas.

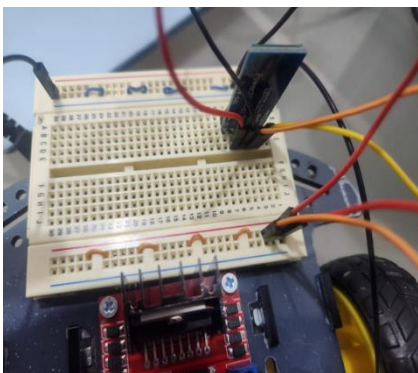


figura 2. Configuración del bluetooth HC-05

En la figura 3 se muestra el prototipo de silla de ruedas inteligente concluido y funcionando.

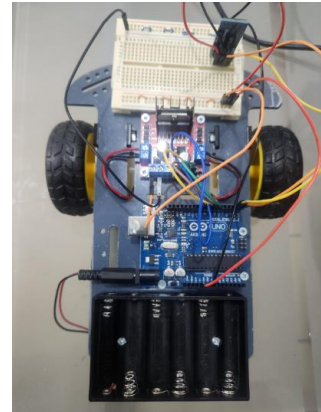


figura 3. Prototipo tecnológico a escala silla de rueda.

En la figura 4 se muestra se muestra la diadema de Neurosky Mindwave Headset que se utilizará para capturar las señales cerebrales y enviarlas a la placa de arduino.



Figura 4. Diadema Neurosky Mindwave Headset

3. Resultados

La diadema de Neurosky Mindwave Headset captura las señales cerebrales de una persona, que se traducen en movimientos de la silla de ruedas mediante un programa de computadora.

El paciente solo tiene que concentrarse, o relajarse para poder mover la silla de ruedas. Esta intención se traduce en comandos reales para los motores de la silla de ruedas, que harán que las ruedas se muevan a la derecha, izquierda, de frente y hacia atrás.

El usuario que utilizó el prototipo tecnológico necesitó de un solo intento para mover la silla de ruedas.

4. Discusión

El propósito de la investigación es crear un prototipo tecnológico innovador que puede ser utilizado por cualquier persona con discapacidad o sin discapacidad física. Su

funcionamiento es intuitivo y fácil de usar, lo que lo hace ideal para personas que necesitan una solución sencilla y eficaz para mejorar su calidad de vida.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas, este puede ser manejado tanto por personas sanas como por aquellas con paraplejía o con discapacidad para poder mover sus miembros brazos, piernas, manos.

El principal reto es entrenar a las personas durante suficiente tiempo, para que pueden alcanzar cierto nivel de concentración y de control sobre un dispositivo sofisticado, como estas sillas de rueda controladas con la mente. Esto sugiere que modificar el programa de computadora creado en el IDE de arduino probablemente no será suficiente para maniobrar con éxito el prototipo de silla de ruedas controlada con la mente. Los pacientes mismos tendrán que implicarse para encontrar la manera de conducirla.

5. Conclusiones

El propósito de esta investigación es dar una alternativa para ayudar a las personas que tengan alguna dificultad física para poder moverse (paraplégicos), apoyándolos a que tengan una vida con mayor actividad al momento de desplazarse y no necesiten de una persona externa para apoyararlos.

De acuerdo con la investigación realizada, se pudo concluir que se obtuvieron los resultados esperados, la comunicación del sensor neuronal Neurosky Mindwave Headset y la placa de desarrollo arduino obteniendo el funcionamiento de la silla. Así mismo, se observó que para cada usuario se debe de llevar acabo un entrenamiento para que este pueda conseguir el nivel de respuesta deseado.

El desarrollo de esta investigación nos permitirá aportar a la sociedad un prototipo tecnológico que ayude al desplazamiento de personas con un alto grado de discapacidad motriz.

6. Agradecimientos

Agradecimiento a los miembros de la Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación por las orientaciones y asesoría técnica.

7. Referencias

[1] Arduino AG. (2017). Arduino. Obtenido de <http://www.arduino.org/learning/gettingstarted/what-is-arduino>

[2] Biomedresearches. (5 de Enero de 2014). Middle East Medical Information Center and Directory. Obtenido de <http://www.biomedresearches.com/root/pages/researches/epilepsy/eeeg.html>

[3] Comunidad de Madrid. (2007). Comunidad de Madrid. Obtenido de http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Publicaciones_FA&cid=1142355949828&idConsejeria=1109266187242&idListConsej=1109265444710&idOrganismo=1109266227096&idPagina=1343068184421&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&pid=1331802501637&site=Comun

[4] CONADIS. (02 de Febrero de 2016). Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades. Obtenido de http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2016/02/estadisticas_discapacidad.pdf

[5] Ehow. (2017). Ehowenespanol. Obtenido de <http://www.ehowenespanol.com/funcionandiodos-detectores-infrarrojos-sobre-134099/>

[6] Goilav, N. (2016). Arduino. Aprende a desarrollar para crear objetos inteligentes. Barcelona: Ediciones ENI.

[7] Martín, J. (2015). Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78057/Juan%20Ignacio%20Mart%C3%ADn%20Barraza%20-%20TFG.pdf>

[8] Naylamp Mechatronics. (2016). Naylamp Mechatronics. Obtenido de http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html

[9] NeuroSky. (2017). NeuroSky. Obtenido de <http://neurosky.com/>

[10] Nicolas, L. (29 de Enero de 2011). Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3304110/>

[11] OptimusTronic. (2016). Proyectoselectronics. Obtenido de <http://proyectoselectronics.blogspot.com/>

[12] Patrone, D. (2016). Ilustrados. Obtenido de <http://www.ilustrados.com/tema/469/Neurologiasistema-nervioso.html#CEREBRO>

[13] Romo, A. (01 de Noviembre de 2012). Recibe. Obtenido de <http://recibe.cucei.udg.mx/revista/en/vol1-no1/biomedica01.html>

[14] Schalock RL, K. (1990). Habilitation planning for adults with disabilities. New York: SpringerVerlag.

[15] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013-2017). Buen Vivir Plan Nacional. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional>

[16] Sidereo, M. (1990). Ondas Cerebrales. Barcelona: Bruguera. Sonidosbinaurales. (2016). Sonidosbinaurales. Obtenido de <http://www.sonidosbinaurales.com/>

[17] Torrente, O. (2013). Arduino. Curso práctico de formación. Madrid: Grupo RC

[18] Bisaz R, Travaglia A, Alberini CM. The neurobiological bases of memory formation: from physiological conditions to psychopathology. Psychopathology. 2014;47(6):347-56.

[19] World Health Organization. International Perspectives on Spinal Cord Injury [Internet]. Washington, D.C: OPS; 2013 [citado 15/03/2019]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/94190/9789241564663_eng.pdf?sequence=1

[20] Al-qaysi ZT, Zaidan BB, Zaidan AA, Suzani MS. A review of disability EEG based wheelchair control system: Coherent taxonomy, open challenges and recommendations. Comput Methods Programs Biomed. 2018;164:221-37

[21] Metodología de conexión utilizando NeuroSKY Mindwave MW003 con MATLAB EPISTEMUS. (s. f.). <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/110/139>