

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS AUTÓNOMA ACCIONADA MEDIANTE ONDAS CEREBRALES, PARA LA ASOCIACIÓN DE LIMITADOS PLÉJICOS DE TUNGURAHUA (ASOPLEJICAT)”

Damián Lasluisa¹, Mauricio Cruz², Marco Singaña³

*Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Latacunga, Ecuador*

damilas10@hotmail.com¹

gmcruz@espe.edu.ec²

masingania@espe.edu.ec³

Resumen– El presente proyecto muestra el diseño y construcción de una silla de ruedas autónoma, accionada mediante ondas cerebrales, para personas con tetraplejía. El dispositivo desarrollado es una máquina mecatrónica, ya que involucra el aspecto mecánico en la fabricación de la estructura metálica y la selección de elementos de movilidad y soporte; el aspecto electrónico en la selección e implementación de sensores y dispositivos de control; y el aspecto informático en la programación de software. El control de la silla de ruedas se realiza mediante las señales adquiridas por un electroencefalograma comercial llamado Emotiv Epoc, el cual se comunica inalámbricamente con una PC portátil. Se realiza una comunicación vía USB entre Labview y el microcontrolador de Arduino, mediante el cual se envían señales PWM a una tarjeta de control, para la activación de los motores. Gracias a las funcionalidades del Emotiv Epoc, la silla de ruedas se controla mediante 3 modos: modo expresivo, modo cognitivo/expresivo y modo giroscopio.

Abstract– This project shows the design and construction of an autonomous wheelchair, driven by brain waves, for people with quadriplegia. The developed device is a mechatronics machine because it involves the mechanical aspect in the manufacture of the metal structure and the selection of elements of mobility and support; electronic aspect in the selection and implementation of sensors and control devices; aspect computer and software programming. The control of the wheelchair is performed by the signals acquired by a commercial electroencephalogram called Emotiv Epoc, which communicates wirelessly with a portable PC. Labview and the Arduino microcontroller are communicated via USB; the last one sends PWM signals to a control board, to activate the motors. Thanks to the features of Emotiv Epoc, the wheelchair is controlled by 3 modes: expressive way, cognitive / expressive way and gyroscope way.

I. INTRODUCCIÓN

Las diversas necesidades del ser humano lo han llevado a crear dispositivos para facilitar sus actividades cotidianas, en el caso de la Tetraplejía, existen sillas de ruedas controladas

mediante comandos de voz, mediante navegadores satelitales, mediante soplidos/absorciones, etc. En la actualidad se están desarrollando y comercializando dispositivos que miden la actividad cerebral, los cuales se pueden adaptar a mecanismos para controlarlos mediante ondas captadas a nivel cerebral.

El presente proyecto tuvo como finalidad, construir una silla de ruedas e implementar un control cerebral en la misma, la cual permita el desplazamiento autónomo de personas tetrapléjicas, así como incursionar en el ámbito de las ondas cerebrales, cuya investigación se encuentra en desarrollo.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

El funcionamiento del dispositivo desarrollado se basa en tres etapas, las cuales se detallan a continuación.

A. Adquisición de la señal

Las señales cerebrales son adquiridas mediante un electroencefalograma (EEG) comercial llamado Emotiv Epoc (Fig. 1), el cual consta de 14 electrodos activos y 2 de referencia [1]. Dichas señales son filtradas y amplificadas en el EEG, y enviadas inalámbricamente hacia una PC portátil.



Fig. 1 Electroencefalograma Emotiv Epoc

El EEG Emotiv Epoc es capaz de detectar gesticulaciones faciales, estados emocionales y permite entrenar diversos comandos mentales. Además incorpora el software Emotiv Control Panel, mediante el cual se puede visualizar el estado total del sensor (nivel de señal, nivel de batería, estado de los electrodos, etc.), verificar las gesticulaciones faciales a través de un avatar Fig. 2 y entrenar los comandos mentales mediante un cubo 3D como se muestra en la Fig. 3.

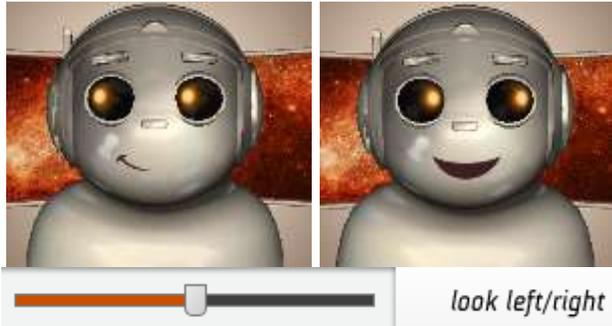


Fig. 2 Gesticulación ‘mirar a izquierda y derecha’ detectada por el EEG



Fig. 3 Entrenamiento del comando mental ‘Ascender’

B. Programación de funciones

En esta etapa se establecen los parámetros mediante los cuales va a desplazarse la silla de ruedas. Para la programación de funciones se utiliza el software Labview y Arduino IDE.

1) *Labview*: Mediante Labview se establece comunicación con el software Emotiv Control Panel, para acceder a las señales provenientes de gesticulaciones faciales y comandos mentales entrenados, y elaborar programas que permitan accionar la silla de ruedas con estas opciones.

Además de lo enunciado, Labview se utiliza como interfaz gráfica para el usuario, mediante la cual se puede visualizar el estado de la silla de ruedas, como se indica en la Fig. 4.



Fig. 4 Interfaz del estado de la silla de ruedas en Labview

También a través de este software, se habilita la comunicación con el microcontrolador de Arduino, utilizando la aplicación LIFA (Labview Interfaz for Arduino).

2) *Arduino IDE* [2]: Mediante este software se programa el microcontrolador de la placa Arduino Mega, a través del cual se adquieren las señales provenientes de los sensores de obstáculos, del nivel de carga de las baterías y se envían señales PWM a la tarjeta de control los motores.

C. Accionamiento del dispositivo

Para accionar la silla de ruedas, se utilizaron gesticulaciones faciales (Modo Expresivo), comandos mentales (Modo Cognitivo) y el Giroscopio, este último no tiene relación con ondas captadas en el cerebro, pero gracias a su ubicación en el EEG Emotiv Epoc, brinda una opción adicional para controlar la silla de ruedas de manera sencilla.

- 1) *Control en Modo Expresivo*: El control mediante Modo Expresivo funciona según lo enunciado:
 - Accionamiento hacia adelante: Parpadear dos veces, Fig. 5.
 - Accionamiento hacia la derecha: Mirar hacia la derecha.
 - Accionamiento hacia la izquierda: Mirar hacia la izquierda.
 - Freno: Fruncir el ceño.



Fig. 5 Control en Modo Expresivo, accionamiento hacia adelante

2) *Control en Modo Cognitivo/Expresivo*: El control mediante este método consta de lo siguiente:

- Accionamiento hacia adelante: Pensar en el comando mental entrenado y registrado previamente.
- Accionamiento hacia la derecha: Mirar hacia la derecha.
- Accionamiento hacia la izquierda: Mirar hacia la izquierda.
- Freno: Fruncir el ceño.

3) *Control en Modo Giroscopio*: El control mediante el Modo Giroscopio tiene las siguientes características:

- Accionamiento hacia adelante: Levantar la cabeza y retornar a la posición central, Fig. 6.
- Accionamiento hacia la derecha: Girar la cabeza a la derecha y retornar a la posición central.
- Accionamiento hacia la izquierda: Girar la cabeza a la izquierda y retornar a la posición central.
- Freno: Bajar la cabeza y retornar a la posición central.



Fig. 6 Control en Modo Giroscopio, accionamiento hacia adelante

III. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico del proyecto, brinda el soporte necesario en el desplazamiento del usuario a bordo de la silla de ruedas.

Además, el sistema mecánico permite la colocación y ensamble de los diversos dispositivos como: asiento, baterías, motores, llantas y demás accesorios que conforman la silla de ruedas.

Para obtener ciertas propiedades físicas y diagramar esfuerzos se utilizó el software MDSolids. Para el modelado de la estructura mecánica se utilizó el software Solidworks (Fig. 6), en el cual también se simularon las cargas y se verificaron los factores de seguridad de los diversos elementos que conforman el chasis de la silla de ruedas.

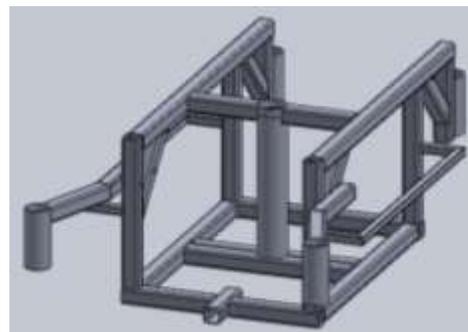


Fig. 6 Chasis de la silla de ruedas en Solidworks

El material utilizado para la construcción del chasis es el Acero ASTM A500 grado A, en sus diversos tubos cuadrados y redondos [3], [4]. En la Fig. 7 se observa el cálculo del factor de seguridad del elemento del chasis que más carga soporta, a partir del cual se estableció el material base para la fabricación de la estructura metálica.

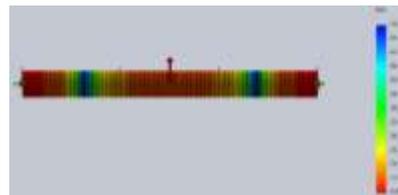


Fig. 7 Cálculo del factor de seguridad en Solidworks

IV. PRUEBAS

A. Pruebas de adquisición de las señales cerebrales

Se procedió a realizar la adquisición de las señales cerebrales por medio del EEG Mindwave de Neurosky, cuyas formas de onda se visualizaron en Labview.

El sensor Mindwave no se utiliza para controlar la silla de ruedas de este proyecto, sólo se lo utiliza para visualizar las formas de onda de las señales cerebrales ante diversas circunstancias, opción no disponible en el EEG Emotiv Eloc.

En la Fig. 8 se observa la forma de onda generada ante un parpadeo. En la Fig. 9 se observa la forma de onda generada al mirar hacia la izquierda. En la Fig. 10 se observa la forma de onda generada al fruncir el ceño.



Fig. 8 Forma de onda al parpadear en Labview



Fig. 9 Forma de onda al mirar hacia la izquierda en Labview

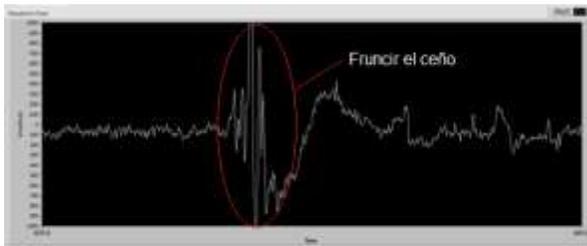


Fig. 10 Forma de onda al fruncir el ceño en Labview

B. Pruebas del EEG Emotiv Epoc

- 1) *Prueba del Modo Expresivo:* Esta prueba consiste en verificar los gestos faciales del usuario que pueden ser detectables por el sensor, como se indica en la Tabla 1.

TABLA 1
PRUEBA DEL SENSOR EMOTIV EN MODO EXPRESIVO

Acción	Sensibilidad	Resultado
Mirar a la izquierda	Media	Acción detectada
Mirar a la derecha	Media	Acción detectada
Papadear	Media	Acción detectada
Elevar las cejas	Media	Acción detectada

2) Prueba del Modo Cognitivo

Esta prueba consiste en entrenar al usuario, para que pueda dirigir mentalmente un cubo 3D del software, hacia 3 diferentes posiciones (arriba, izquierda y derecha) Tabla 2, las cuales han sido seleccionadas de un total de 13 disponibles.

TABLA 2
PRUEBA DEL SENSOR EMOTIV EN MODO COGNITIVO

Acción entrenada	# de intentos	Resultados individuales
Neutral	100	Acción detectada
Lift / Arriba	100	Acción detectada
Left / Izquierda	100	Acción detectada
Right / Derecha	100	Acción detectada

3) Prueba del Modo Giroscopio

Mediante esta prueba se observan los movimientos detectados por el giroscopio del sensor Tabla 3.

TABLA 3
PRUEBA DEL GIROSCOPIO DEL SENSOR EMOTIV

Movimiento de la cabeza	Resultado
Hacia arriba	Acción detectada
Hacia abajo	Acción detectada
Hacia la izquierda	Acción detectada
Hacia la derecha	Acción detectada
Rotacional	Acción detectada

V. ALCANCES Y LIMITACIONES

Finalizado el proyecto, se detallan los alcances y limitaciones encontradas, con lo cual se posibilita un posterior desarrollo y mejora de la silla de ruedas.

A. Alcances

En el presente proyecto se alcanzó lo siguiente:

Se pudo diseñar y construir el sistema mecatrónico.

Se realizó la adquisición en Labview y Opnenvibe de las señales cerebrales detectadas por el sensor Mindwave de Neurosky.

Se pudo controlar la silla de ruedas con las señales captadas en el cuero cabelludo por el sensor Emotiv Epoc, no se necesitó otro accesorio o sistema para realizar dicha tarea.

Se pudo accionar la silla de ruedas hacia adelante, mediante ondas cerebrales y hacia las demás direcciones mediante gesticulaciones y movimientos oculares.

Se pudo controlar totalmente la silla de ruedas mediante gesticulaciones correspondientes a parpadeos y movimientos oculares.

Se pudo controlar totalmente la silla de ruedas con movimientos de la cabeza, gracias al giroscopio del sensor Emotiv Epoc.

Se pudieron implementar sensores ultrasónicos para detener la silla de ruedas ante la presencia de obstáculos.

B. Limitaciones

En el presente proyecto se tuvieron las siguientes limitaciones:

No se pudo controlar totalmente la silla de ruedas mediante ondas cerebrales. Se adquirieron dos sensores de ondas cerebrales (Mindwave y Emotiv Eloc), pero no se logró aquel objetivo.

Por cuestiones de presupuesto no se pudo acceder a sensores de ondas cerebrales más sofisticados, o a su vez adquirir licencias que permitan acceder y manipular las señales cerebrales captadas por el sensor Emotiv Eloc.

Fue necesaria la utilización de una PC portátil como interfaz de usuario, lo cual reduce la robustez del dispositivo ante diversas situaciones climáticas o aspectos de seguridad del usuario.

La investigación con relación a ondas cerebrales no se ha extendido debido a su complejidad, por lo que no existe suficiente información acerca de estas señales y dispositivos que puedan obtener mediciones fiables.

Los sensores de actividad cerebral no se comercializan en el país, por lo que no se pueden realizar pruebas o conocerlos físicamente antes de comprarlos. Además la adquisición del producto elegido demora muchos días.

Es necesaria la supervisión y presencia constante de un ayudante, mientras el usuario con limitación pléjica acciona la máquina.

VI. CONCLUSIONES

La silla de ruedas puede ser accionada en una sola dirección mediante ondas cerebrales (modo cognitivo). Existen limitaciones en cuanto al control total de la silla de ruedas mediante pensamientos.

Se puede controlar la silla de ruedas sin dificultad mediante las señales provenientes de gesticulaciones faciales y movimientos oculares (parpadeo, mirar a izquierda, mirar a derecha y levantamiento de cejas).

Las ondas provenientes de parpadeos, movimientos oculares y movimientos de los electrodos tienen un patrón definido, se distinguen fácilmente y son de mayor amplitud que las ondas generadas por los pensamientos y actividades puramente mentales (atención, relajación, meditación, etc.).

El Emotiv Eloc no detecta pensamientos una vez colocado, está diseñado para seleccionar movimientos a través del software, asociar un pensamiento específico para cada movimiento y registrarlo mediante un entrenamiento de 8 segundos que puede ser repetido varias veces.

La silla de ruedas se puede controlar fácilmente mediante los movimientos de cabeza hacia arriba, abajo, derecha e izquierda, detectados por el giroscopio incorporado al sensor de actividad cerebral.

El análisis estructural del chasis simulado mediante software, facilita su respectivo diseño y construcción.

VII. REFERENCIAS

- [1] Emotiv. (2012) Emotive eStore. [En línea]. Disponible: <https://emotiv.com/store/compare/>
- [2] Arduino. (2013) Download the Arduino Software. [En línea]. Disponible: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [3] NTE INEN 2415, (2008). *Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales*. 1ra edición. Quito, Ecuador.
- [4] NTE INEN 1623, (2009). *Aceros. Perfiles estructurales conformados en frío. Requisitos e inspección*. 1ra edición. 2da revisión. Quito, Ecuador.

BIOGRAFÍA



Damián Lasluisa. Nació en Ambato provincia del Tungurahua, Ecuador. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga en el año 2015.

Áreas de Interés: Automatización de procesos, Control automático, Biónica.



Mauricio Cruz. Nació en Latacunga, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, cuenta con un Diplomado en Autotrónica, un Diplomado en Gestión del Aprendizaje Universitario. Es docente Tiempo Parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga desde 2009. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica básica y

manejo de software CAD.



Marco A. Singaña. Nació en Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero en Electrónica y Control, cuenta con un Diplomado Superior en Redes Digitales Industriales, un Masterado en Redes y Telecomunicaciones, está cursando un Masterado en Diseño, Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional. Es Director del

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.