

Diseño e implementación de una BCI Speller con P300 en estudiantes universitarios

Fidel Mauricio Bonilla, PhD.¹ Juan José Peña Martín, Ps.²
Armando Quiñones Quiñones, Ing.³ Oscar Mauricio Arias, Ing.⁴
Andrés Parra Rodríguez, Ing.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este trabajo fue aplicar la tecnología de la interfaz cerebro-computador con el paradigma P300 en el entrenamiento en deletreo de palabras en estudiantes universitarios.

Método: Se ha usado un diseño cuasi-experimental de grupos asignados que se dividió en dos: un grupo de diez participantes universitarios que fue entrenado en deletreo con un montaje de 16 canales y un grupo con cinco participantes que fue entrenado con un montaje de cuatro canales. Los instrumentos usados para ambos grupos fueron: el test de atención d2 de Rolf Brickenkamp (2012) para medir la atención y los sistemas Openvibe V-amp 16 canales y Open Ganglion BCI 4 canales.

Resultados: Los protocolos usados en la presente investigación muestran la funcionalidad para entrenar el deletreo con la onda P300 mediante el uso del Openvibe V-amp 16 y Open Ganglion BCI. Los resultados obtenidos por los 15 participantes demuestran la utilidad del entrenamiento y posterior deletreo de caracteres y palabras específicas. Los participantes en promedio lograron un porcentaje de clasificación superior al 90%.

Conclusión: La aplicación de la interfaz cerebro computador con el paradigma P300 y los programas OpenVibe y GUI mostraron su eficacia en deletrear palabras.

Palabras clave:

BCI, P300, Atención, Deletreo.

¹ Universidad El Bosque, Facultad de Psicología

² Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería

³ Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería

⁴ Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería

INTRODUCCIÓN

Las interfaces cerebro computador (BCI) son un medio de comunicación entre la actividad cerebral y el entorno¹ por medio de señales cerebrales², dichas señales pueden ser amplificadas, filtradas, interpretadas y clasificadas³. Comúnmente las BCI hacen uso del electroencefalograma como técnica para captar la señal cerebral, ya que cuenta con una amplia resolución temporal⁴. Actualmente existen gran variedad de prototipos de BCI, Moreno, I. et al.⁵ que son usados en investigación y rehabilitación de funciones cognitivas en pacientes con limitaciones motrices o enfermedades neurodegenerativas³. Con el objetivo de familiarizarse con el potencial P300, se hará un breve referencia a este potencial.

El potencial evocado P300 es un pico de voltaje positivo ocurrido a los 300 milisegundos posteriores a la aparición de un estímulo infrecuente e inesperado y por lo tanto saliente en términos atencionales⁴. El paradigma de deletreo con P300 es una aplicación del paradigma original⁶ y consiste en observar una matriz de letras que destellan aleatoriamente, el usuario debe prestar atención y contar las veces en que aparezca una letra, la interfaz BCI podrá registrar y clasificar los potenciales P300 derivados de la tarea.

La tarea de deletreo con el paradigma P300 ha sido usado en diversos estudios⁷. Los autores evaluaron la precisión en el deletreo comparando dos tipos de tareas, en la primera se presentaron los caracteres en una matriz de filas y columnas (FC) de 6 x 6, en el segundo se presentaron las letras de manera individual (SC), el estudio contó con una muestra de 100 participantes sanos, de los cuales el 72,8% logró deletrear 5 caracteres con una exactitud del 100% en un lapso de 5 minutos con el paradigma FC, mientras que con el SC solo se obtuvo un 53,3% de exactitud en el deletreo⁸ proponen añadir a los paradigmas convencionales un sistema de retroalimentación inmediata sobre el carácter que está siendo traducido por el software dentro de la matriz, argumentando que puede mejorar la exactitud de la tarea del 80 al 90%.

La tarea de deletreo con el paradigma P300 ha sido aplicada a casos clínicos como en este estudio⁹ los autores utilizaron la tarea de deletreo en dos

adolescentes con daño cerebral y problemas de tono muscular, los autores comprobaron una efectividad del uso de BCI Speller del 85 al 90% con una velocidad de deletreo de 1,67 palabras por minuto. Otro estudio en la misma línea es el de Corralejo, R. et al.¹⁰, los autores diseñaron y probaron en una matriz de 3x4 con símbolos de necesidades básicas en 9 pacientes de los cuales 5 alcanzaron un porcentaje de precisión en cuanto a la selección correcta de símbolos del 65% y 3 del 85%. En la misma línea¹¹ implementaron la tarea de deletreo con P300 como una herramienta de rehabilitación en pacientes con afasia por derrame cerebral, su estudio contó con una muestra de 5 pacientes que recibieron 6 sesiones de entrenamiento y que obtuvieron como porcentaje máximo de exactitud en el deletreo de 85,2% después de la tercera sesión de entrenamiento.

En el estudio¹² compararon la tarea de deletreo entre adultos sanos y adultos con discapacidad motora, los autores tomaron una muestra de 30 participantes divididos en dos grupos, sanos y con discapacidad, y evaluaron su desempeño en una tarea de deletreo obteniendo como resultado que los adultos sanos alcanzaran una exactitud del 91% en contraste con los adultos con discapacidad que alcanzaron un 70% luego de una sesión de entrenamiento de cinco minutos, otro estudio similar realizado¹³, los autores compararon el desempeño en deletreo con P300 en 14 pacientes con Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) y 14 participantes sanos con las mismas edades, los pacientes con ELA alcanzaron un porcentaje máximo de exactitud del 95,7% con una velocidad de deletreo de 2,1 Caracteres/Segundo (C/S) en contraste con los participantes sanos que obtuvieron un máximo de 98,8%, 2,6 C/S).

Paulatinamente se han diseñado prototipos de BCI, en diversos lenguajes de programación, con el fin de flexibilizar su uso, los autores¹⁴ hacen uso del sistema de programación MATLAB para comprobar su funcionalidad con 5 participantes sanos, en sus resultados se comprueba que la aplicabilidad del prototipo muestra un desempeño en la tarea siempre por encima del 50%.⁸ han desarrollado dispositivos de asistencia para personas con discapacidad motora, reanudando así su interacción con el mundo exterior, los autores contaron con la

información de 8 pacientes 5 hombres y 3 mujeres mayores de 50 años, dentro de los resultados obtuvo una tasa de clasificación del 99,5 %.

El presente trabajo pretende probar en estudiantes universitarios el funcionamiento de la interfaz cerebro-computador de deletreo con el potencial P300 con los programas informáticos de acceso libre OpenVibe con 16 canales y GUI con 4 canales.

METODOLOGÍA

Participantes

El grupo estuvo compuesto por 15 participantes universitarios, con una edad promedio de 25 S (3,3), 11 de los cuales fueron mujeres. Los participantes tuvieron visión normal o corregida, como criterios de exclusión, los participantes no debían padecer ninguna enfermedad neurológica o psiquiátrica, consumir medicamentos ni sustancias psicoactivas y no haber consumido café o alcohol horas previas a la toma de datos.

Instrumentos

Para la obtención de medidas de atención se utilizó el test de atención de Rolf Brickenkamp (2012) que mide la concentración y atención selectiva de los participantes. El test también evalúa la velocidad y cantidad de estímulos que se han procesado en un determinado tiempo, con el fin de medir la intensidad de la atención. Según los resultados de la prueba D2, los participantes en promedio obtuvieron 267,4 puntos en el índice de concentración de aciertos (TA)- Comisiones, y se ubicaron en percentiles entre 83 y 97.

En relación con los registros electrofisiológicos, se utilizaron los cinco escenarios del programa OpenVibe de la siguiente manera, el escenario o registra la actividad en tiempo real del cerebro por medio de 16 electrodos (Fz, FC1, FC2, C3, Cz, C4, CP5, CP1, CP2, CP6, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2) (figura 1) y con el amplificador V-Amp. Con la tarjeta Open Ganglion BCI se registra la actividad cortical con 4

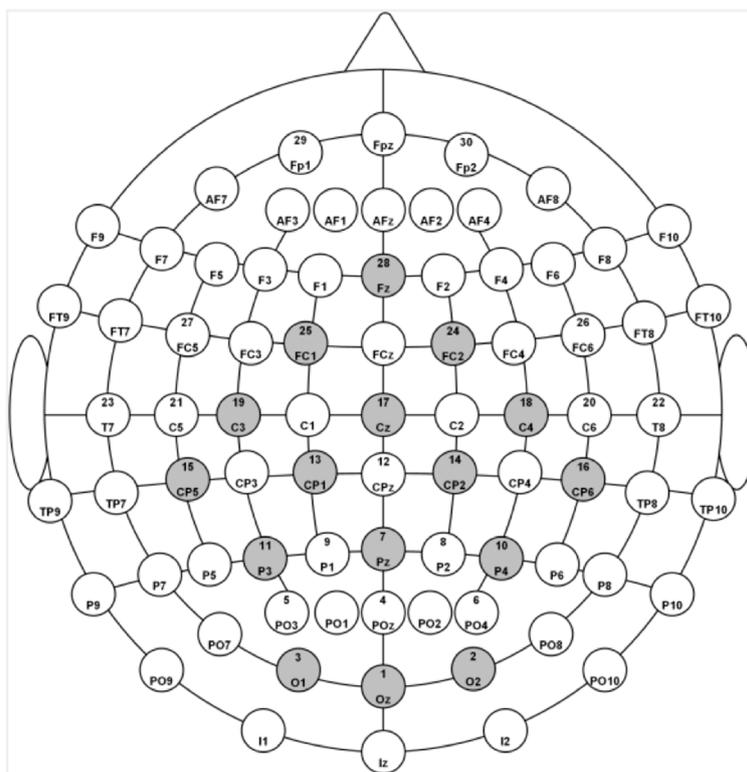


Figura 1. Montaje de los 16 electrodos en el sistema V-AMP 16 y montaje de los 6 electrodos (color rojo) en el sistema Open Ganglion BCI.

electrodos ubicados en cuero cabelludo (Fz, Cz, Pz y Oz) un electrodo de referencia y otro de tierra.

El escenario 1 se utiliza para entrenamiento, el participante debe llevar su atención a la letra resaltada en azul que ha determinado el programa y contar el número de veces que esta aparezca. El escenario 2 se utiliza para filtrar los datos con el filtro X Dawn, y el escenario 3 para entrenar el clasificador el cual va a ordenar los potenciales en P300 y no P300. Se iniciará el deletreo si el participante alcanza un 90% de precisión en la clasificación, de lo contrario se utilizará el escenario 4 para reentrenar. Una vez el participante alcance el porcentaje de clasificación exigido, se le pedirá que deletree de manera libre con el mismo escenario 4.

Procedimiento

Se obtuvo el consentimiento informado de los participantes y el proyecto fue aprobado por el comité de ética de la Facultad. Los participantes recibieron las indicaciones para la presentación del test de Atención D2 en el cual debía cancelar las letras d que tenía dos puntos arriba y dos puntos abajo. (‘‘d, d ..) y no cancelar las letras que tuvieran un apóstrofe arriba o abajo o una letra diferente a la letra d. Para la segunda sesión los participantes debieron realizar una tarea de deletreo en una habitación insonorizada y con luz atenuada. En cada ensayo, el participante veía en el monitor una matriz de 6 filas y 6 columnas con el alfabeto y números. Se realizaba un ensayo donde las letras eran presentadas de manera aleatoria; después de esto, se daba inicio a un segundo ensayo donde el participante debía esco-

ger una frase de 10 letras. El paradigma consistía en estar atento al destello de la letra marcada o escogida como objetivo, la ejecución de la tarea tardaba 10 minutos, mostrándose un total de 240 estímulos al participante; al finalizar, el programa hacía una retroalimentación de la letra que había registrado mostrándola en color verde (figura 2). Si el participante no lograba deletrear todas las letras presentadas, debía realizar de nuevo el ensayo hasta lograr un resultado del 100%. Por cada sesión el participante podía hacer dos ensayos en la misma sesión.

Cuando el participante ya había logrado entrenar su capacidad de deletreo con el equipo OPEN-VIBE-V-AMP, se procedía el entrenamiento con el equipo GANGLION, con un montaje de 4 canales Fz, Cz, Pz, y Oz.

En este sistema se registraron los datos de la misma forma que con V-AMP 16. De igual forma, se acomodaba al participante, al que se le mostraba una matriz de 6 filas y 6 columnas, El sistema mostraba la letra objetivo en color azul antes de iniciar el ensayo, cada letra tenía que aparecer 24 veces durante un minuto, llevando en total de 10 minutos la ejecución de la tarea; al finalizar el registro de cada letra, el sistema hacía una retroalimentación de la letra registrada mostrándola en color verde.

Resultados

A continuación, en la tabla 1 se describen los aspectos demográficos de los participantes, así como sus respectivos puntajes en la prueba D2. En la tabla 2 se presentan los principales resultados obtenidos me-

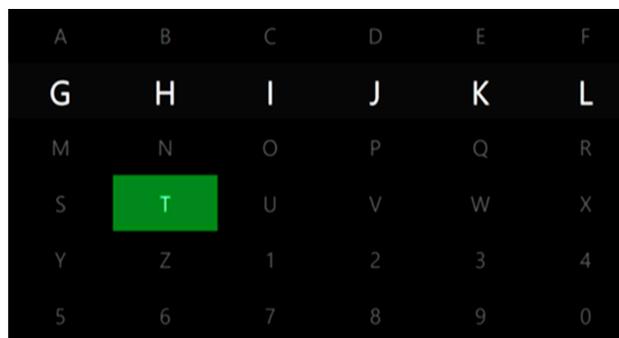
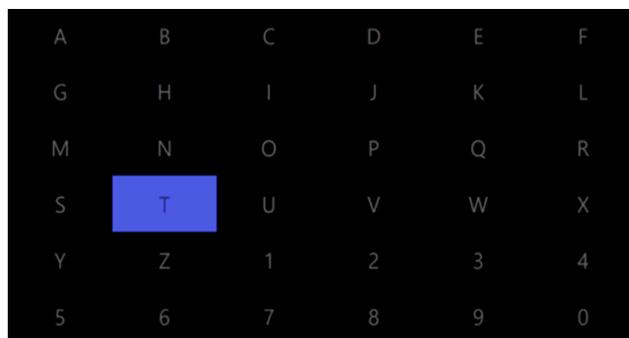


Figura 2. Visualización de la matriz y el carácter objetivo antes del ensayo (azul) y retroalimentación del sistema después del ensayo (verde).

Tabla 1. Resultados de la evaluación D2 en perfil de capacidad atencional para la tarea.

Participante	Sexo	Edad	Protocolo	Índice de concentración (d2) Aciertos (TA) - Comisiones (C)	Percentil
1	hombre	30	1	252	85
2	Mujer	24	1	249	83
3	hombre	35	1	249	83
4	Mujer	25	1	286	97
5	Mujer	23	1	267	91
6	Mujer	23	1	258	87
7	Mujer	24	1	254	85
8	Mujer	25	1	293	97
9	Mujer	26	1	282	97
10	Mujer	24	1	290	97
11	hombre	24	2	262	91
12	Mujer	22	2	288	97
13	Mujer	22	2	279	97
14	hombre	24	2	251	85
15	Mujer	25	2	251	85

diante el uso del programa OpenVibe para deletreo con 16 canales. Todos los participantes que recibieron entrenamiento para el deletreo mediante el uso del V-AMP 16 lograron un porcentaje de clasificación en el entrenamiento igual o superior al 90%. Este porcentaje es el resultado de la suma entre el número de aciertos target (letra objetivo) y el número de aciertos no target (letra no objetivo) en relación con los 1440 estímulos que tenía el entrenamiento ($100/1440 * (\text{target} + \text{no target})$). Este resultado es un indicativo de la precisión que tuvo cada uno de los participantes al deletrear en las 4 sesiones promedio que cada uno tuvo de entrenamiento. Como se observa en la misma tabla, los participantes lograron atender en promedio al 495 de los estímulos target frente a los cuales tenían que mantener la atención sostenida, siendo el promedio máximo de aciertos de todos los participantes de 127 estímulos sobre los 240 posibles. Respecto a los estímulos no target, los participantes lograron acertar en promedio el 99,3% de estos, siendo el promedio máximo de aciertos 1194 sobre los 1200 posibles.

En promedio los participantes lograron deletrear entre 6 y 10 caracteres, siendo el participante

8 el único que no logró deletrear una palabra completa pese a su porcentaje en la clasificación. Respecto al total de caracteres deletreados en la totalidad de ensayos, en promedio los participantes deletrearán entre 11 y 27, siendo el participante 3, quien logró mayor número de deletreos (31)

A continuación se presenta la tabla 2

En la tabla 3, se describen los principales resultados obtenidos de los 5 participantes entrenados con la tarjeta Ganglion BCI.

Todos los participantes que recibieron entrenamiento para el deletreo mediante el uso de la tarjeta Ganglion lograron una clasificación promedio en el entrenamiento igual o superior al 90%. Este resultado es un indicativo de la precisión que tuvo cada uno de los participantes al deletrear en las 3 sesiones promedio que cada uno tuvo de entrenamiento.

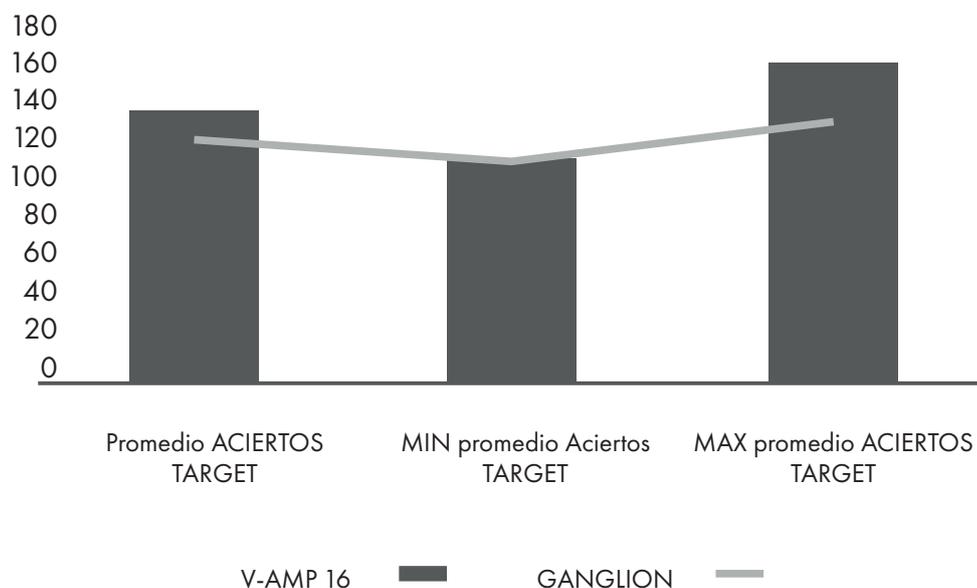
En promedio los participantes lograron deletrear entre 8 y 10 caracteres. Respecto al total de caracteres deletreados en la totalidad de ensayos, en promedio los participantes deletrean entre 13 y

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos con 10 participantes entrenados con V-AMP 16.

Part.	Número de ensayos	Promedio de aciertos TARGET/ 240	Máximo de aciertos TARGET/ 240	Promedio aciertos NO TARGET/ 1200	Porcentaje de clasificación promedio en el entrenamiento	Palabra deletreada	Total caracteres deletreados
1	4	126	184	1193	92%	TENGOVACIO	11
2	5	145	171	1196	93%	TENGOHAMBR	30
3	5	118	140	1193	91%	TENGOSUENO	31
4	3	140	168	1195	93%	COMPUTADOR	19
5	4	104	142	1188	90%	TENGORABIA	20
6	3	129	136	1194	92%	TENGORABIA	19
7	2	136	140	1199	93%	TENGOSAENO	17
8	4	143	161	1197	93%	-	3
9	3	133	145	1194	92%	TENGORABIA	20
10	3	140	160	1197	93%	TENGOCALOR	18

Tabla 3. Resumen de resultados obtenidos con 5 participantes entrenados con tarjeta Ganglion con 4 electrodos

Part.	Número de ensayos	Promedio de aciertos TARGET / 240	Máximo de aciertos TARGET / 240	Promedio aciertos NO TARGET / 1200	Porcentaje de clasificación promedio en el entrenamiento	Palabra deletreada	Total caracteres deletreados
1	3	107	87	1186	90%	TENGORABIA	17
2	3	124	122	1191	91%	TENGORABIA	20
3	2	116	110	1190	91%	TENGORABIA	20
4	2	125	117	1196	92%	TENGORABIA	10
5	4	117	98	1197	91%	TENGORABIA	25

**Figura 3.** Comparación de aciertos TARGET entre V-AMP 16 y Tarjeta Ganglion

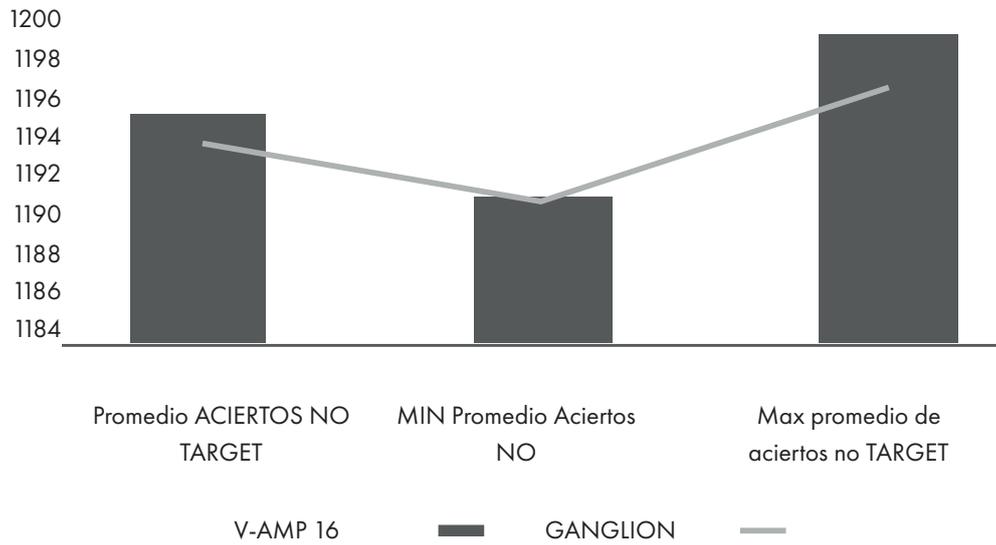


Figura 4. Comparación de aciertos NO TARGET entre V-AMP 16 y Tarjeta Ganglion

24, siendo el participante 4, quien logró mayor número de caracteres deletreados

Al comparar los resultados obtenidos por los participantes entrenados con el sistema VAMP y la Tarjeta Ganglion, respecto al promedio de aciertos se evidencia que no hay diferencias marcadas entre los dos sistemas (ver figura 3)

Tampoco se observan diferencias (ver figura 4) al comparar los aciertos no target entre el V-AMP 16 y la tarjeta Ganglion. Sin embargo, la tendencia muestra que el promedio de aciertos no target es mayor en el grupo de participantes entrenados con el V-AMP.

Al comparar el promedio y total de caracteres deletreados por los dos grupos, se evidencia una tendencia de mayor promedio de caracteres deletreados en los participantes entrenados con la tarjeta Ganglion (ver figura 5)

Respecto al mantenimiento del aprendizaje obtenido en cada entrenamiento, como se observa en la figura 6 el promedio de aciertos de cada participante se mantuvo durante las diferentes sesiones de entrenamiento.

Con el fin de identificar la aparición de la onda P300 durante el entrenamiento de los participantes

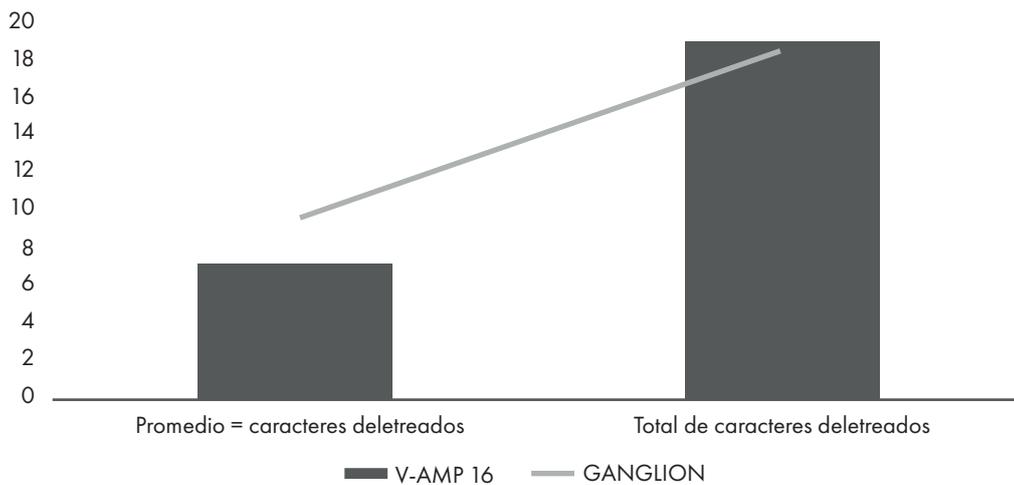


Figura 5. Comparación entre V-AMP 16 y Tarjeta Ganglión en relación con el deletreo de caracteres

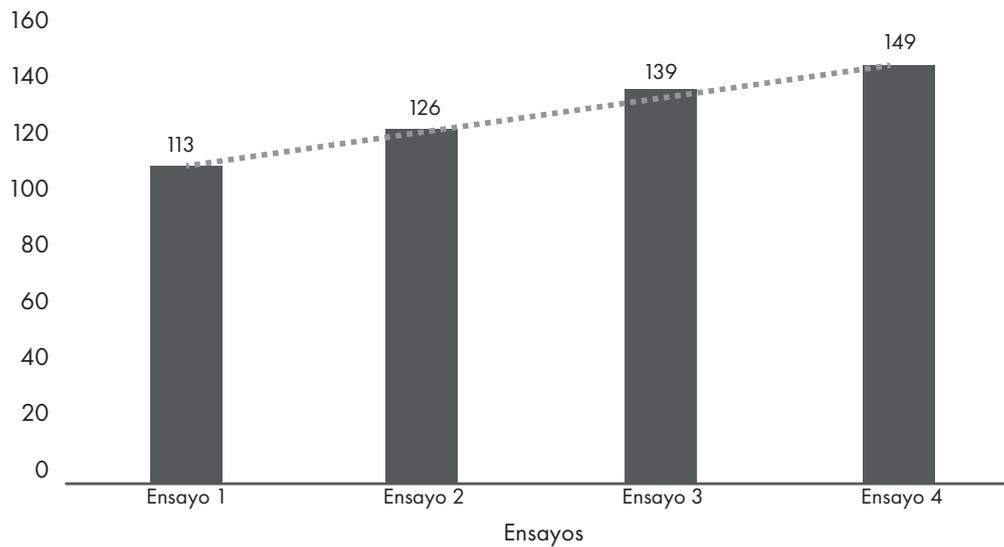


Figura 6. Promedio de aciertos de los 15 participantes en relación con los ensayos

y descartar la aparición o mediación de artefactos, se analizó la información obtenida mediante el programa OpenVibe y el programa Brain Vision Analyzer. En la figura 7 se puede evidenciar la aparición de onda P300 en diferentes canales en donde se registró la señal durante la ejecución de la tarea. Esta onda aparece usualmente 300 ms después de la estimulación visual, hecho que se evidencia en

diferentes canales analizados y promediados en los estímulos target, frente a los cuales cada participante debía mantener la atención sostenida y focalizada ignorando la aparición de estímulos no target.

Los principales canales, donde se evidenció actividad P300 son FZ, CZ, FC1 y FC2 tal como se muestra en la figura 7. Los cuales corresponden

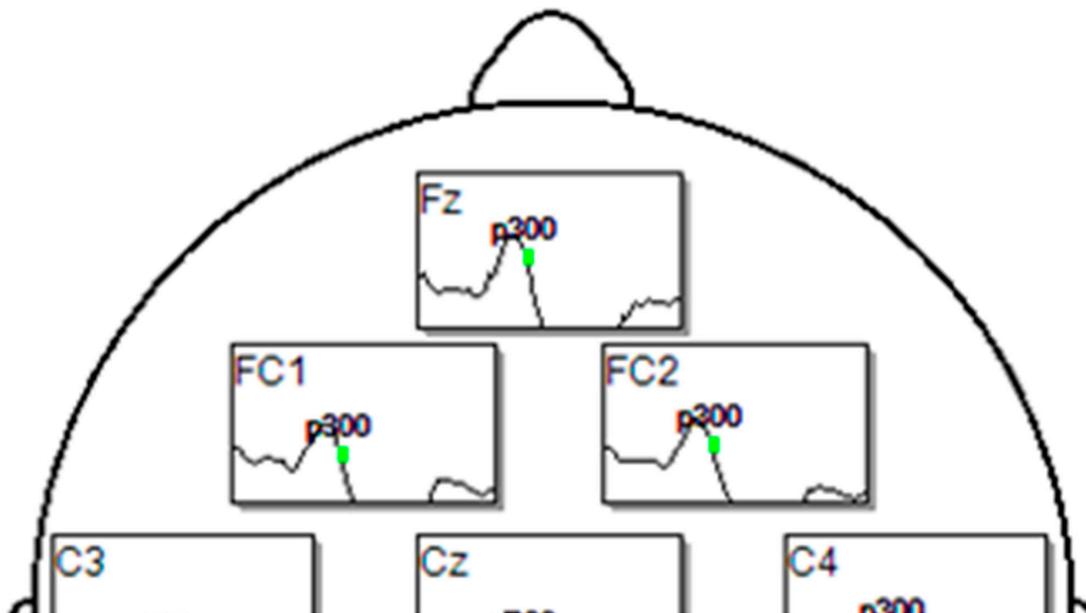


Figura 7. Ejemplo en la detección de picos P300 en el análisis de entrenamientos realizados con V-AMP 16 con un participante del estudio

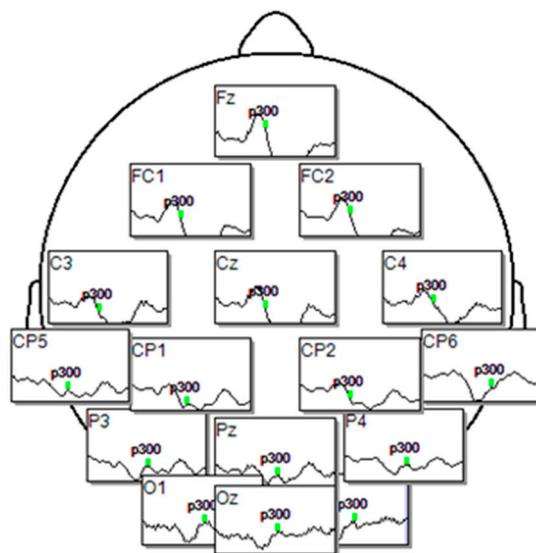


Figura 8. Resumen e identificación de canales donde se identificó presencia de onda P300 en la ejecución

en su mayoría a la línea central en donde se espera mayor actividad P300 en relación con las tareas ejecutadas durante los entrenamientos.

Los principales canales, donde se evidenció actividad P300 son FZ, CZ, FC1 y FC2 tal como se muestra en la figura 8. Los cuales corresponden en su mayoría a la línea central en donde se espera mayor actividad P300 en relación con las tareas ejecutadas durante los entrenamientos.

DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como objetivo comprobar la usabilidad de una interfaz cerebro computador con un montaje de 16 canales y el amplificador V-Amp y un montaje de 4 canales y una tarjeta Ganglion BCI, en una tarea de deletreo con P300 en un grupo de estudiantes universitarios. Los protocolos usados resultan ser efectivos para entrenar a participantes sanos en la tarea de deletreo, a través de un paradigma de señales Odball.

Estos hallazgos ya se han reportado en la literatura en estudios como el de García Cossio et al.⁹ que, aunque cuentan con protocolos diferentes hacen uso de paradigmas similares de captura de señales biológicas y análisis de las mismas para el montaje de 16 canales. En cuanto a la precisión

del software en ambos protocolos, y a pesar de la ausencia de diferencias significativas entre el desempeño en la tarea entre los montajes de 16 y 4 canales, se puede afirmar que tanto el hardware como el software vinculado al protocolo cuenta con el grado suficiente de precisión para desempeñarse de manera óptima en el deletreo.

Se considera que es posible probar el protocolo en otras poblaciones, para estimar su desempeño en pacientes con afasia tipo 1, síndrome de cautiverio, parálisis cerebral y esclerosis lateral amiotrofia. En este punto es importante destacar que los resultados también señalan la necesidad de que las condiciones cognitivas subyacentes al proceso de atención deben encontrarse en condiciones óptimas, como lo sugieren Ruchika Wasu, Deepak Kapgate⁸ la precisión de los resultados en el deletreo, dependen de la amplitud del potencial P300.

Como proyecciones futuras se propone recrear los resultados obtenidos en poblaciones con deterioro cognitivo de diferentes patologías, así como configurar el software para optimizar los tiempos de la tarea. Se propone igualmente realizar interfaces de comunicación entre un computador que registre la señal electroencefalográfica, permita entrenar, reentrenar y deletrear y enviar estos datos a teléfonos inteligentes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado con el contrato 234-2019 de la convocatoria convocatoria Jóvenes investigadores e innovadores MinCiencias.

REFERENCIAS

1. Singh, S. A., Meitei, T. G., Devi, N. D., & Majumder, S. (2021). A deep neural network approach for P300 detection-based BCI using single-channel EEG scalogram images. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 44(4), 1221-1230.
2. Kundu, S., & Ari, S. (2021). Brain-Computer interface speller system for alternative communication: a review. *IRBM*.
3. Lotte, F., Bougrain, L., Cichocki, A., Clerc, M., Congedo, M., Rakotomamonjy, A., & Yger, F. (2018). A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces: a 10 year update. *Journal of neural engineering*, 15(3), 031005.
4. Rezeika, A., Benda, M., Stawicki, P., Gemblar, F., Saboor, A., & Volosyak, I. (2018). Brain-computer interface spellers: A review. *Brain sciences*, 8(4), 57.
5. Moreno, I., Batista, E., Serracin, S., Moreno, R., Gómez, L., Serracin, J., ... & Boya, C. (2019). Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones. *I+ D Tecnológico*, 15(2), 13-26.
6. Farwell, L. A., and Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 70, 510-523. doi: 10.1016/0013-4694(88)90149-6
7. Guger, C., Daban, S., Sellers, E., Holzner, C., Krausz, G., Carabalona, R., ... & Edlinger, G. (2009). How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)? *Neuroscience letters*, 462(1), 94-98.
8. Ruchika W, Deepak K, (2015). P300 Speller with enhanced accuracy in brain computer interface. *International journal of advance research in science and engineering* 1 (4)
9. García Cossio, E., Fernandez, C., Gaviria, M. E., Palacio, C., Alvarán, L., & Torres Villa, R. A. (2011). Interfaz cerebro computador basada en P300 para la comunicación alternativa: estudio de caso en dos adolescentes en situación de discapacidad motora. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (60), 223-231.
10. Corralejo, R., Álvarez, D., & Hornero, R. (2015). Evaluación de un sistema BCI de control doméstico basado en potenciales P300 aplicado a usuarios con discapacidad grave.
11. Kleih, S. C., Gottschalt, L., Teichlein, E., & Weillbach, F. X. (2016). Toward a P300 based brain-computer interface for aphasia rehabilitation after stroke: presentation of theoretical considerations and a pilot feasibility study. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 547.
12. Ortner, R., Aloise, F., Prückl, R., Schettini, F., Putz, V., Scharinger, J., ... & Guger, C. (2011). Accuracy of a P300 speller for people with motor impairments: a comparison. *Clinical EEG and neuroscience*, 42(4), 214-218.
13. McCane, L. M., Heckman, S. M., McFarland, D. J., Townsend, G., Mak, J. N., Sellers, E. W., & Vaughan, T. M. (2015). P300-based brain-computer interface (BCI) event-related potentials (ERPs): People with amyotrophic lateral sclerosis (ALS) vs. age-matched controls. *Clinical Neurophysiology*, 126(11), 2124-2131.
14. Villa, R. A. T., Clavijo, C. A., Gutiérrez, A. P., & Cossio, E. G. (2009). Diseño y construcción de un prototipo de interfaz cerebrocomputador para facilitar la comunicación de personas con discapacidad motora.