

Análisis de señales EEG mediante las características de Potencias Espectrales

Aldoradin A., Flores D., Palma D., Salazar M.
Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC, Lima, Perú

Resumen— En este estudio se analizó las señales de un EEG para dos tareas cognitivas, multiplicación (tarea 1) y composición mental de una carta (tarea 2), a través de un análisis espectral. La base de datos utilizada para este análisis fue proporcionada por el laboratorio de interfaces cerebro-computadora de la Universidad del Estado de Colorado (BCI Laboratory Colorado State University). Las características de las Potencias Espectrales que se utilizaron para dicho análisis fueron la Potencia Espectral Absoluta (ASP) y la Relación de Potencia Espectral (SPR) en la banda de frecuencia alfa. Los resultados mostraron que para la mayoría de sujetos, la tarea 1 requirió de una mayor carga cognitiva que la tarea 2. No obstante, no fue posible determinar que actividad es más compleja que otra debido al número limitado de sujetos analizados y la heterogeneidad presente en el grupo.

Palabras clave— electroencefalograma, tareas cognitivas, Potencia Espectral Absoluta, Relación de Potencia Espectral

Abstract—In this study, the EEG signals for two cognitive tasks, multiplication (task 1) and mental letter composite (task 2), were analyzed through spectral analysis. The database used for this analysis was provided by the Colorado State University Brain-Computer Interface Laboratory (BCI Laboratory Colorado State University). The characteristics of the Spectral Powers that were used for said analysis were the Absolute Spectral Power (ASP) and the Spectral Power Ratio (SPR) in the alpha frequency band. The results showed that for the majority of participants, task 1 required a higher cognitive load than task 2. However, it is not possible to determine which activity was more complicated due to the limited number of subjects analyzed and the heterogeneity in the group.

Index Terms—electroencephalogram, cognitive tasks, Absolute Spectral Power, Spectral Power Ratio

I. INTRODUCTION

Los problemas cognitivos han desarrollado la investigación de los fenómenos cerebrales y neuronales. A través de estas investigaciones se descubrió que, al realizar una tarea cognitiva el cerebro emite señales que pueden ser analizadas y relacionadas por medio de un electroencefalograma (EEG). Con el electroencefalograma se puede evaluar los índices de compromiso cerebral sobre una función particular de una manera no invasiva de actividad eléctrica de alta frecuencia [1]. Con el uso de esta tecnología se realiza el desarrollo de una Interfaz Cerebro computadora o Brain-computer interface (BCI) donde

se crea un canal entre el sujeto y el entorno. Estas interfaces captan las señales asociadas a procesos mentales y ayudan a interpretar el comportamiento fisiológico del cerebro [2]. Un BCI puede aplicarse en un campo clínico como tecnologías de asistencia y neuro-rehabilitación [2] donde incluye las áreas de comunicación y locomoción. En la presente investigación se evaluará y comparará dos tipos de actividades cognitivas mediante las características de las potencias espectrales

II. OBJETIVOS

A. Generales

- Procesar y analizar las señales de un EEG para dos actividades cognitivas, multiplicación y composición mental de una carta, a partir de la Potencia Espectral Absoluta y la Relación de Potencia Espectral.

B. Específicos

- Representar la potencia de señales estocásticas registradas por los electrodos, mediante la Potencia Espectral Absoluta
- Implementar un algoritmo de cálculo para la Potencia Espectral Absoluta y la Relación Espectral de Potencia

III. MARCO TEÓRICO

Para esclarecer el procedimiento realizado en la metodología, comprender mejor los resultados y establecer conclusiones es necesario realizar algunas definiciones importantes que se mencionan a lo largo del reporte.

A. Actividad bioeléctrica cerebral

En el cerebro, las neuronas se comunican mediante impulsos eléctricos que permiten al cerebro coordinar el comportamiento, las sensaciones, emociones y pensamientos [3]. Estos impulsos eléctricos corresponden a ser parte de la actividad bioeléctrica del cerebro.

B. Electroencefalograma

La electroencefalografía es una técnica de imagen cerebral que permite recolectar información tangible de la actividad bioeléctrica cerebral [4]. En este sentido, un electroencefalograma (EEG), nos permite visualizar las variaciones en el campo eléctrico producidas por la actividad cerebral e incluso identificar el tipo de actividad mental que se realiza.

C. Tareas cognitivas

Las tareas cognitivas (*Cognitive Tasks*) son un grupo de actividades mentales que implican la atención visual, la conciencia visual, la resolución de problemas y la toma de decisiones [5]. Cuando el sujeto realiza diferentes tipos de tareas cognitivas, distintas regiones del cerebro se activan de acuerdo con la demanda de estas. En este proyecto nos enfocaremos en 2 tareas cognitivas: Multiplicación y Componer mentalmente una carta.

Por un lado, para evaluar la primera tarea cognitiva, los sujetos recibieron problemas de multiplicación no triviales, como 49 multiplicado por 78 y, además, tuvieron que resolverlos sin visualizar ni hacer ningún otro movimiento físico. Por otro lado, para evaluar la segunda tarea cognitiva, los sujetos fueron instruidos para componer mentalmente una carta a un amigo o pariente sin visualizar

D. Espectro de densidad de potencia

El Espectro de densidad de potencia (*Power Spectral Density - PSD*) calcula el total de potencia contenida en cada componente espectral de cierta señal [7]. Esta nos permite determinar la o las frecuencias que predominan en la señal analizada y en el caso del electroencefalograma analizar una banda en particular. En este proyecto, nos enfocaremos en analizar solo la banda alfa (8-13 Hz).

E. Potencia Espectral Absoluta

La Potencia Espectral Absoluta (*Absolute Spectral Power - ASP*) es una característica propia de una banda de frecuencia, la cual representa el poder que tiene una señal en dicha banda [7].

Para calcular matemáticamente el ASP en una cierta banda de frecuencia se requiere estimar la PSD de la señal de entrada. Como se mencionó anteriormente, la banda α es nuestra banda de interés. De acuerdo con [7], la ecuación matemática que calcula el ASP en la banda de frecuencia α (P_α) es:

$$P_\alpha = \log \sum_{\omega \in \text{banda } \alpha} PSD_s(\omega) \quad (1)$$

En nuestro caso, se realiza un procesamiento de señales segmentadas y se requiere calcular el ASP para cada segmento sl. Para este caso, la ecuación matemática se expresa como sigue:

$$P_\alpha(l) = \log \sum_{\omega \in \text{banda } \alpha} PSD_{s_l}(\omega) \quad (2)$$

Donde $P_\alpha(l)$ es una serie temporal cuyo elemento l -ésimo representa el ASP del l -ésimo segmento de la señal de entrada en la banda α .

F. Relación de Potencia Espectral

De acuerdo con [7], la ecuación (II) representa la Relación de Potencia Espectral o Spectral Power Ratio (SPR) de la Potencia espectral en la banda i sobre la banda j en el l -ésimo segmento:

$$R_{i,j}(l) = P_i(l) - P_j(l) \quad (3)$$

En este proyecto, utilizaremos dicha definición para determinar la relación de potencia espectral entre dos tareas cognitivas realizadas por un mismo sujeto. Donde el $P_i(l)$ representa la tarea cognitiva de multiplicación y $P_j(l)$ representa a la composición mental de una carta.

IV. METODOLOGÍA

A. Recolección e identificación de datos

La base de datos (data) utilizada fue proporcionada por el laboratorio de interfaces cerebro-computadora de la Universidad del Estado de Colorado (BCI Laboratory Colorado State University) [8]. Esta base de datos contiene los datos de los EEG de 7 personas, registrados como sujetos, que realizaron, en 10 intentos, las siguientes tareas cognitivas: multiplicación y la composición de una carta. Para ello, se recopiló la señal de siete electrodos ubicados en las regiones c3, c4, p3, p4, o1, o2, y EOG (Fig. 1), donde los números pares identifican el hemisferio cerebral derecho; los números impares, el izquierdo; y las letras la región craneal (central, parietal u occipital). Sin embargo, el presente análisis no tomará en cuenta la señal recopilada del electrooculograma (EOG), pues se requiere un electroretinograma (ERG) para su interpretación. Es decir, solo se analizaron los datos de los primeros 6 electrodos para cada tarea cognitiva.

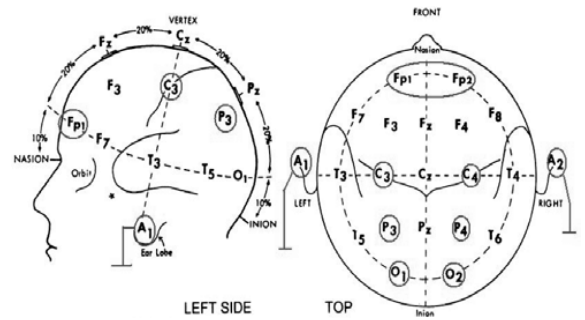


Fig. 1. Ubicación de los electrodos c3, c4, p3, p4, o1, o2, y EOG en el cerebro

Además, para los propósitos de nuestro proyecto, solo se analizaron los datos de los sujetos 1, 2, 4 y 5. Con respecto a sus características, el sujeto 1 era un empleado de la universidad, zurdo y tenía 48 años; el sujeto 2, diestro y tenía 39 años; y los sujetos 4 y 5, estudiantes universitarios diestros entre 20 y 30 años.

B. Selección de Datos

Para la selección y manipulación de la data se utilizó el software MATLAB. La data adquirida está compuesta por una celda que almacena todos los datos obtenidos experimentalmente en las EEG. El tipo de datos a analizar y la estructura de la base de datos se muestran en la Tabla. I.

TABLE I
ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

	Tipo de datos	Tamaño (size)
Data de celdas	cell double	1x325
Celdas	cell String	1x4
Sujeto	String	-
Tarea cognitiva (acción)	String	-
Intento	String	-
EEG	array double	7x2500
Canal (electrodo)	array double	1x2500

Como se mencionó anteriormente, solo se seleccionaron los datos de los primeros 6 canales (electrodos) de los sujetos 1, 2, 3 y 4, y que realizaron las tareas cognitivas de multiplicación (multiplication) y composición de una carta (letter-composing). Para ello, se creó una función en MATLAB (*Matriz_sa.m*), la cual admitía como parámetros el número del sujeto, la tarea cognitiva (acción) y la data a analizar. De esta manera, se automatiza la selección de los datos con el fin de facilitar el acceso y su lectura. Cabe mencionar que esta función se puede visualizar en el archivo adjunto al paper.

C. Cálculo de la densidad espectral de potencia

Para calcular la PSD se utilizó el comando *periodogram()* de MATLAB, cuyos parámetros fueron la data a analizar, la banda de frecuencias y la frecuencia de muestreo. En este proyecto, nuestra banda de interés es la banda de frecuencia alpha (8-13 Hz). Por otro lado, la frecuencia de muestreo es un dato obtenido a partir de la base de datos, cuyo valor es de 250 Hz.

D. Cálculo de la Potencia Espectral Absoluta

En primer lugar, se realizó el cálculo del ASP en los 6 canales para cada una de los intentos realizados por cada sujeto. Luego, dado que cada sujeto realizó 10 intentos en cada tarea cognitiva, se realizó un promedio de estas para obtener un ASP promedio (ASP_mean) en cada canal. De esta manera, se podrá realizar de una manera más sencilla el cálculo del SPR entre dos tareas cognitivas realizadas por un mismo sujeto. Para el cálculo del ASP, se utilizó una segmentación del 10% y un "overlap" del 30% del valor de la segmentación. Para ello, se creó una función (ASP_action.m) que admitía como parámetros el número del sujeto, la data a analizar, la tarea cognitiva (acción), la banda y la frecuencia de muestreo. Esta función implementa la ecuación (2) y, además, incluye el uso del comando *periodogram()*. Con respecto al cálculo del ASP promedio, se creó una función (ASP_medio_canal.m) que admitía como parámetro solo los valores del ASP en cada canal. Cabe mencionar que ambas funciones realizaban los

cálculos de manera masiva para cada sujeto y la tarea cognitiva especificada. De este modo, se reducía en gran medida la cantidad de líneas de código.

E. Cálculo del Spectral Power Ratio

Para calcular el SPR se creó una función (SPR.m) que implementa la ecuación (3) y grafica los valores del SPR. Para ello, la función recibe como parámetros el número de sujeto y las dos tareas cognitivas a comparar. De este modo, se obtenían las gráficas que se analizaran para comparar la demanda cognitiva entre dos tareas realizadas por un mismo sujeto.

V. RESULTADOS

A partir de la selección de los datos y el procesamiento de las señales, se realizaron las gráficas del ASP promedio correspondientes a cada tarea cognitiva. Como se ha mencionado, este ASP promedio fue calculado en la banda alfa para cada segmento correspondiente a los 6 canales (electrodos) de cada sujeto. Cabe recalcar que debido a los valores escogidos de segmentación y overlap se obtuvo un total de 14 puntos en el ASP promedio. La Fig. 2 muestra el gráfico correspondiente al sujeto 1. Del mismo modo, se realizaron gráficas análogas para los demás sujetos para su posterior análisis, las cuales se encuentran en la sección de anexos.

Además de ello, se realizaron los gráficos del SPR entre las dos tareas cognitivas para cada uno de los sujetos. La Fig. 3 muestra dichos gráficos para cada canal analizado. Al igual que con los valores del ASP promedio, se realizaron gráficas análogas para los demás sujetos, las cuales se encuentran en la sección de anexos.

VI. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha mencionado, el Absolute Spectral Power permite medir la potencia de una señal en una banda determinada. Esta supone una forma de representar la cantidad de actividad cerebral que se realiza al ejecutar cierta actividad. En cuanto a los resultados obtenidos en los gráficos de ASP se puede observar que para cada sujeto los valores de ASP oscilaban entre 2.85 y 4.5, y obteniendo una media muy cercana entre los canales del sujeto respectivo. Esto sugiere que las actividades analizadas registran una actividad cerebral distribuida de forma semiuniforme en los canales utilizados.

La actividad cerebral en la banda alfa (8-13 Hz) es particularmente interesante porque es el único dominio de frecuencia, con la excepción de beta lenta (13-20 Hz), que responde a un estímulo y/o demanda de tareas a través de una disminución o un aumento de la magnitud de su ASP. En [9], se encontró que el valor del ASP en la banda alfa varía sistemáticamente con el grado de complejidad de las decisiones cognitivas o cantidad de recursos cognitivos requeridos por la tarea desarrollada. Dado que los valores identificados de SPR corresponden a una diferencia entre el

Sujeto 1 : ASP promedio de multiplicación y composición de una carta

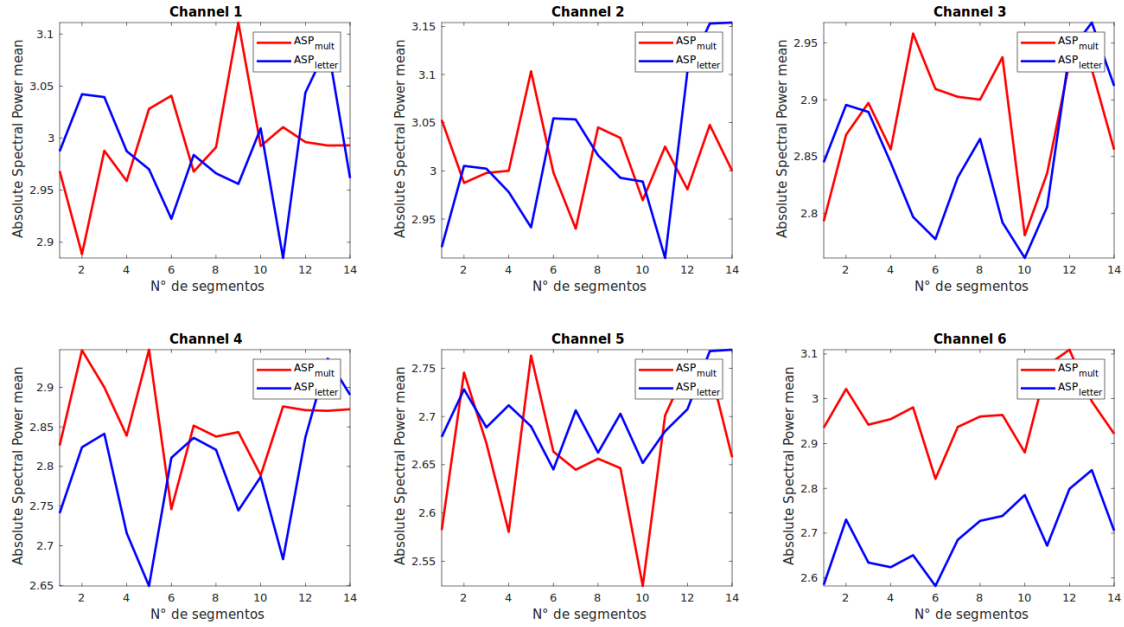


Fig. 2. ASP promedio del Sujeto 1

Sujeto 1 : SPR entre multiplicación y composición de una carta

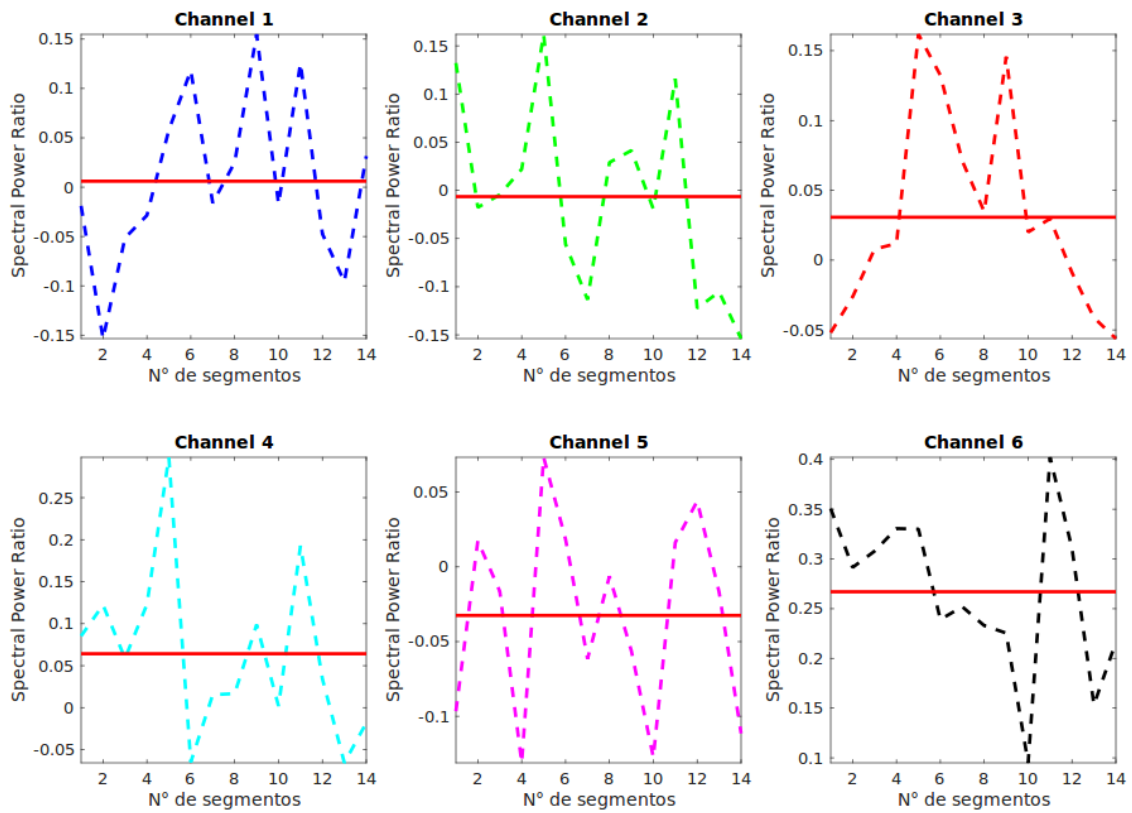


Fig. 3. ASP promedio del Sujeto 1

ASP de la multiplicación y de la redacción de una carta, un valor positivo del SPR indica una mayor actividad cerebral del sujeto en la multiplicación en comparación a la actividad de componer una carta y un valor negativo indica lo contrario.

En ese sentido, se obtuvo el promedio de los SPR en el periodo analizado para los cuatro sujetos en todos los canales y se logró identificar que la mayoría de estos individuos presentan un promedio negativo, lo cual sugiere que la redacción de una carta requiere de una mayor carga cognitiva que la tarea de multiplicar para los sujetos en cuestión. Sin embargo, en el caso del sujeto 1 no se cumplió esta predicción debido a una mayor presencia de promedios positivos de SPR; además, es necesario indicar que para el sujeto 5 no todos los canales brindaron un promedio negativo, al igual que para el sujeto 1 no todos brindaron un promedio positivo y esto supone que la predicción depende mucho de las características del sujeto que se analice.

En el desarrollo del proyecto se han presentado limitaciones sobre la información recolectada. En primer lugar, el grupo de personas que fueron parte del experimento no tuvieron características uniformes como la edad y profesión; además, solo se han evaluado 4 diferentes sujetos y dos actividades. En segundo lugar, la complejidad de una tarea no puede ser determinada debido a que depende de estos factores externos, las habilidades y capacidades de cada sujeto. Esto se ve reflejado en las variables a evaluar como los niveles de carga cognitiva del EEG. Estas limitaciones impiden la generalización de los datos y obtener una conclusión de la complejidad de las tareas sobre las demás. Por lo tanto, se resalta la importancia de considerar grupos homogéneos de participantes con respecto al desempeño de diferentes tareas cognitivas.

VII. CONCLUSIONES

En conclusión, el análisis de los ASP permitió determinar que tanto la actividad de multiplicación como la de composición mental de una carta registran la actividad en los distintos canales analizados para los cuatro sujetos. Asimismo, a partir del ASP se puede deducir que, a mayor aptitud por parte de un participante para realizar la actividad cognitiva, menor será el valor de la potencia espectral absoluta presente en la banda alfa.

Posteriormente, con el análisis del SPR entre ambas actividades cognitivas se intentó buscar un patrón en cuanto a la demanda de carga mental que requiere una actividad con respecto a otra; sin embargo, se ha concluido que este no es posible debido al número limitado de sujetos analizados y por las características que varían de sujeto a sujeto, tales como la edad, oficio, etc. Por lo tanto, se recomienda considerar grupos homogéneos de participantes para un estudio del desempeño de diferentes tareas cognitivas.

REFERENCES

- [1] S. Puma, N. Matton, P. Paubel, É. Raufaste and R. El-Yagoubi, "Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments", *International Journal of Psychophysiology*, vol. 123, pp. 111-120, 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167876016307930>.
- [2] I. Moreno et al., "Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones", *I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. 13-26, 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334861781_Los_sistemas_de_interfaz_cerebro-computadora_basado_en_EEG_caracteristicas_y_aplicaciones.
- [3] "Seeing the brain's electrical activity", MIT News, 2020. [Online]. Available: <http://news.mit.edu/2018/seeing-brains-electrical-activity-0226#:~:text=Neurons%20in%20the%20brain%20communicate,sensation%2C%20thoughts%2C%20and%20emotion>.
- [4] K. Brigham and B. V. K. V. Kumar, "Subject identification from electroencephalogram (EEG) signals during imagined speech," 2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS), Washington, DC, 2010, pp. 1-8, doi: 10.1109/BTAS.2010.5634515.
- [5] B. Sanjeevirayar, "Analysis of spectral features of EEG during four different cognitive tasks," 2014 *International Journal of Engineering and Technology*. 6. 725-734.
- [6] J. Saini and R. Mehra, "Power Spectral Density Analysis of Speech Signal using Window Techniques", *International Journal of Computer Applications*, vol. 131, no. 14, pp. 33-36, 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/291042344_Power_Spectral_Density_Analysis_of_Speech_Signal_using_Window_Techniques.
- [7] Z. Zhang and K. K. Parhi, "Low-Complexity Seizure Prediction From iEEG/sEEG Using Spectral Power and Ratios of Spectral Power," in *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 693-706, June 2016, doi: 10.1109/TBCAS.2015.2477264.
- [8] "1989 Keirn and Aunon — Brain-Computer Interfaces Laboratory", Cs.colostate.edu, 2020. [Online]. Disponible en: https://www.cs.colostate.edu/ee/main/data/1989_Keirn_and_Aunon.
- [8] "1989 Keirn and Aunon — Brain-Computer Interfaces Laboratory", Cs.colostate.edu, 2020. [Online]. Disponible en: https://www.cs.colostate.edu/ee/main/data/1989_Keirn_and_Aunon.
- [9] S. Puma, N. Matton, P. Paubel, É. Raufaste and R. El-Yagoubi, "Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments", *International Journal of Psychophysiology*, vol. 123, pp. 111-120, 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167876016307930>

VIII. ANEXOS

En esta sección se muestran las gráficas de ASP promedio y SPR de los sujetos 2, 3 y 4. Las Fig. 4, Fig. 5 y Fig. 6 corresponden al ASP promedio de cada uno de los sujetos. Además, las Fig. 7, Fig. 8 y Fig. 9 corresponden a los valores de SPR.

Sujeto 3 : ASP promedio de multiplicación y composición de una carta

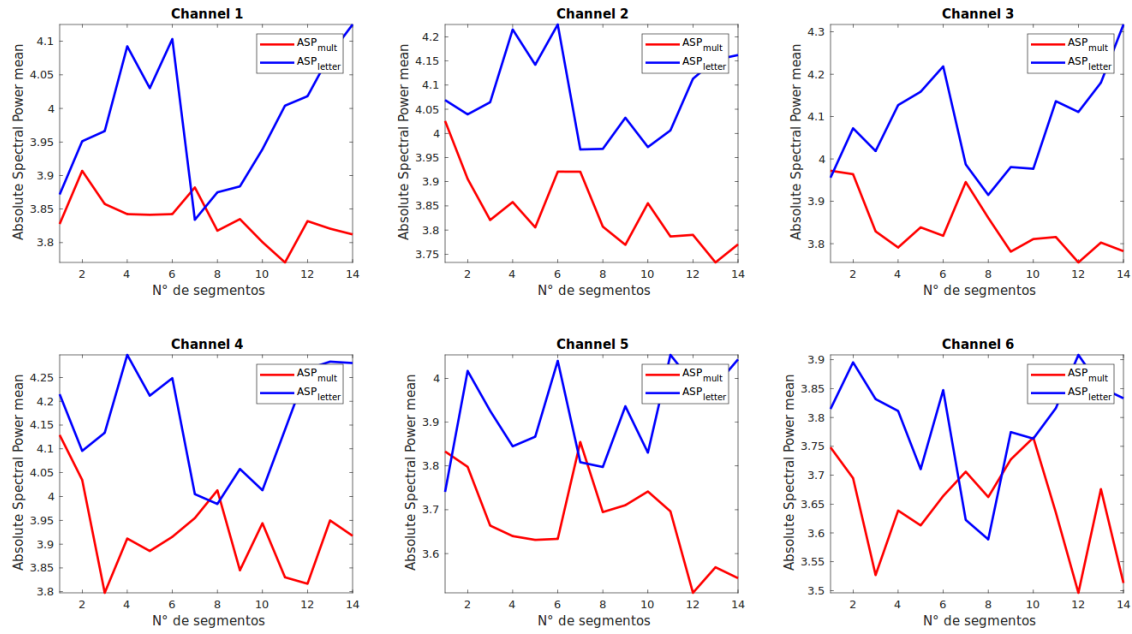


Fig. 4. ASP promedio del Sujeto 3

Sujeto 4 : ASP promedio de multiplicación y composición de una carta

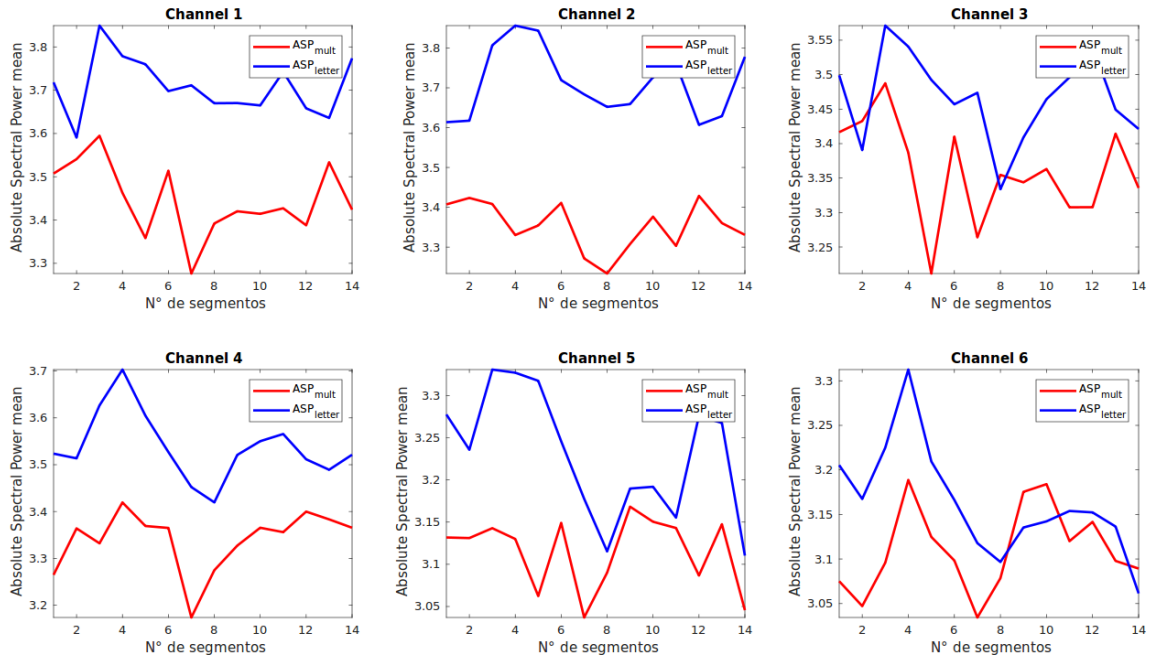


Fig. 5. ASP promedio del Sujeto 4

Sujeto 5 : ASP promedio de multiplicación y composición de una carta

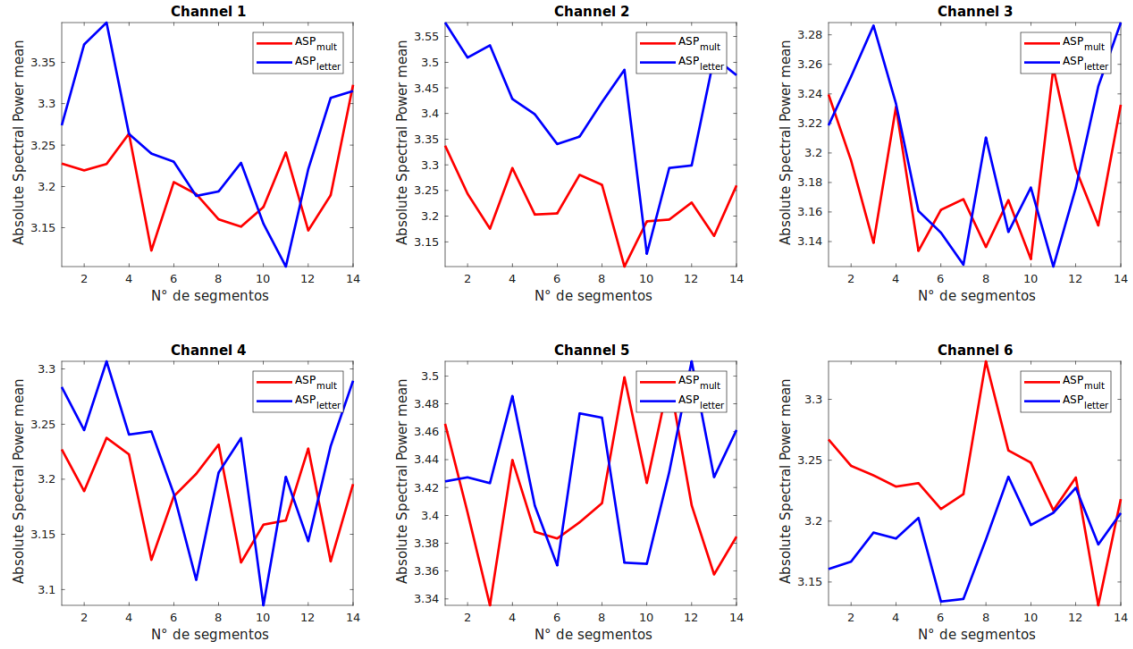


Fig. 6. ASP promedio del Sujeto 5

Sujeto 3 : SPR entre multiplicación y composición de una carta

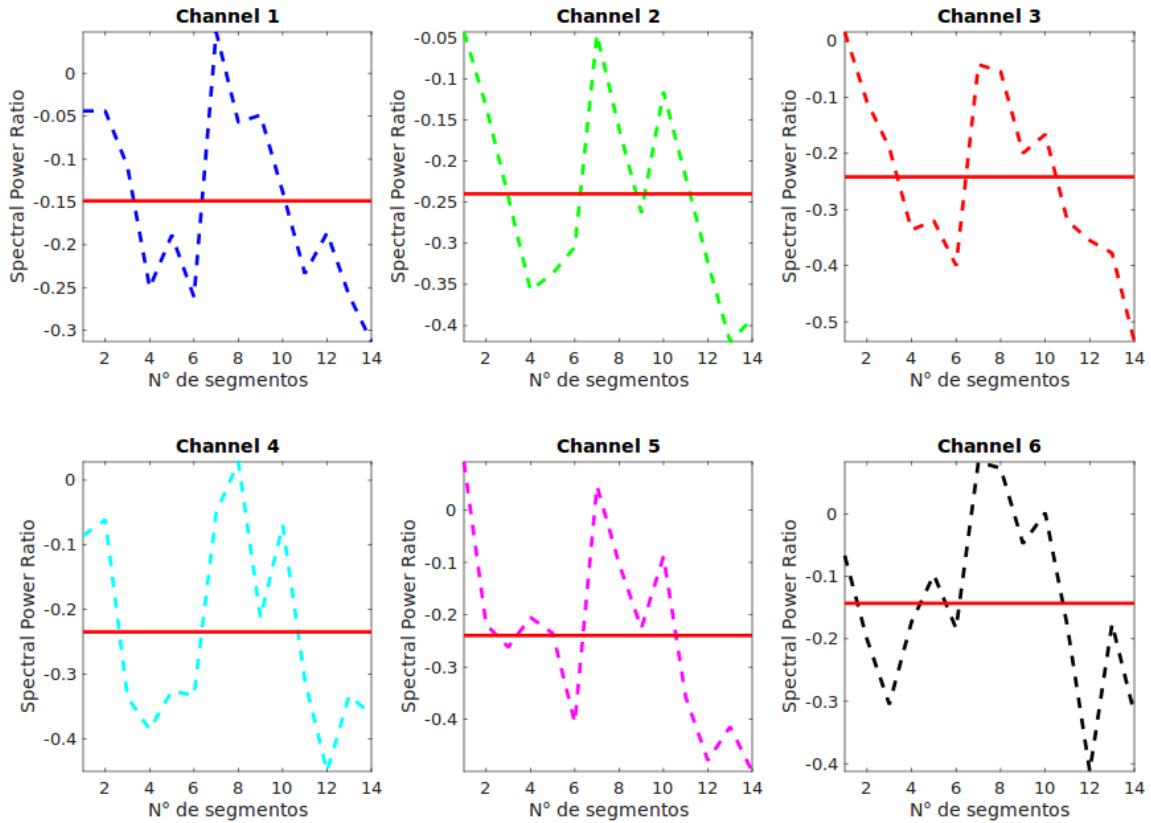


Fig. 7. SPR del Sujeto 3

Sujeto 4 : SPR entre multiplicación y composición de una carta

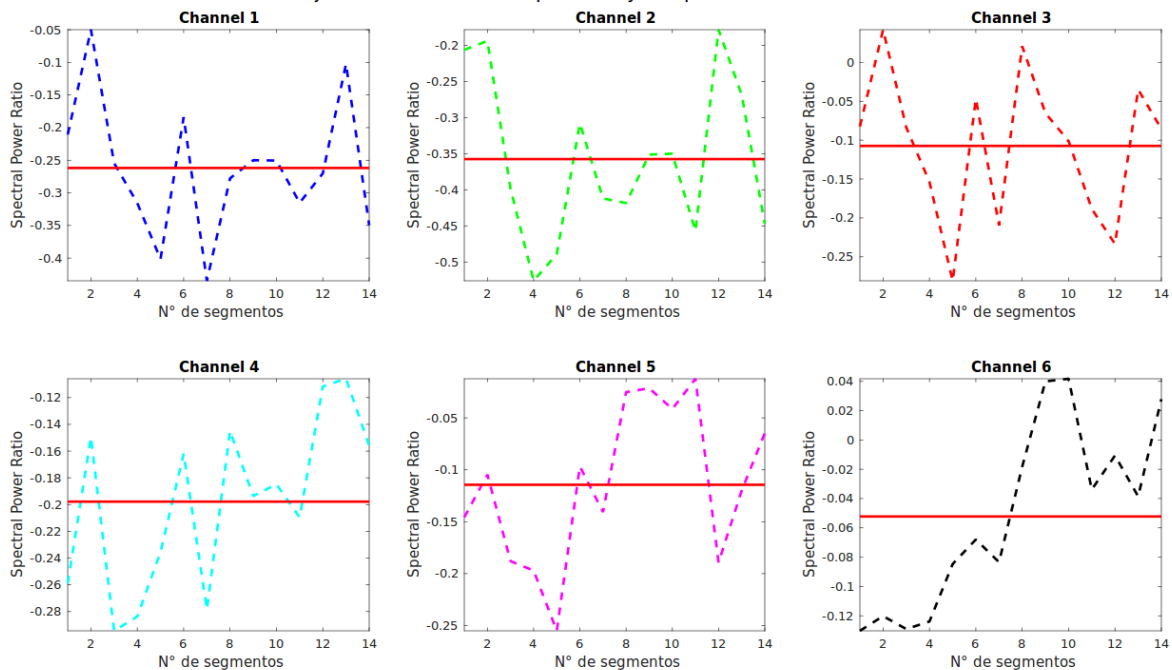


Fig. 8. SPR del Sujeto 4

Sujeto 5 : SPR entre multiplicación y composición de una carta

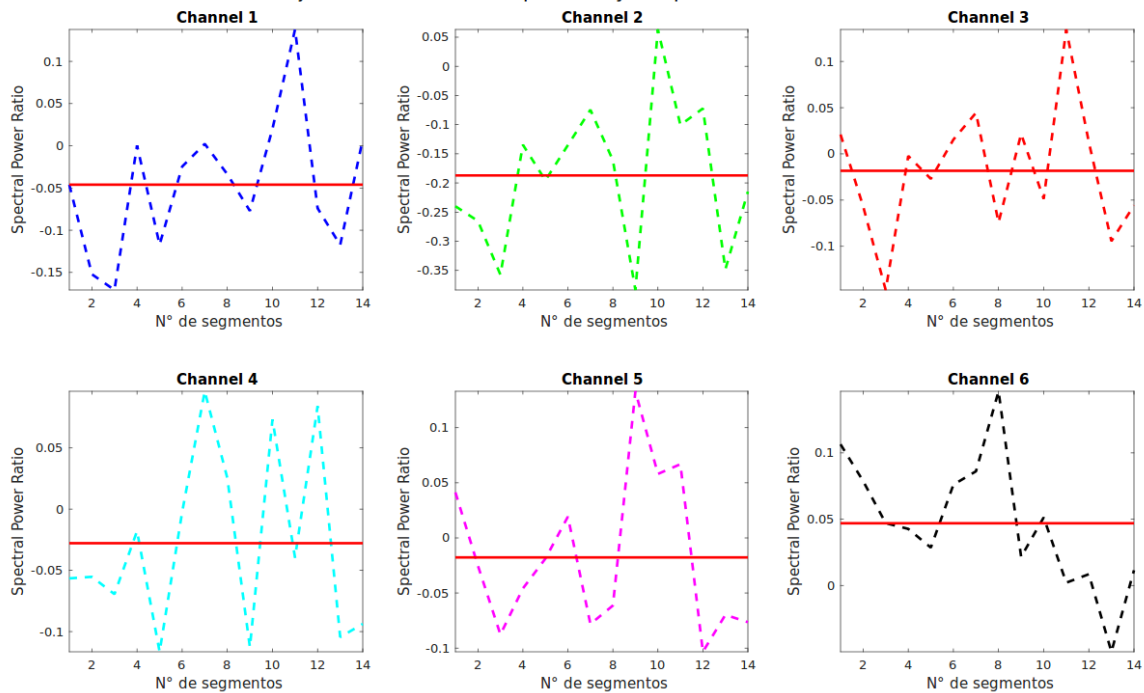


Fig. 9. SPR del Sujeto 5