



doi: 10.4321/s0465-546x2026000100003

Artículo original

Registro de carga mental mediante EEG en interacción hombre máquina con procesamiento visual, toma de decisiones y control de movimiento

Mental load recording using EEG in human-machine interaction with visual processing, decision making and movement control

Alma Lilly Nava-Sedano¹ 0000-0002-2258-4161

Luis Muñiz-Rascado² 0000-0003-2941-2482

Gabriel Luna-Bueno³ 0009-0008-5661-6214

Carolina Osorio-Cano⁴ 0009-0002-0538-1378

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Zacatepec. Departamento de Ingeniería Industrial. Zacatepec, Morelos, México.

²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Zacatepec. Departamento de Sistemas y Computación. Zacatepec, Morelos, México.

³Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Zacatepec. Ingeniería en Sistemas Computaciones, Morelos, México.

⁴Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Zacatepec. Ingeniería Industrial. Zacatepec, Morelos, México.

Correspondencia

Alma Lilly Nava Sedano
alma.ns@zacatepec.tecnm.mx

Recibido: 31.12.2024

Aceptado: 20.01.2026

Publicado: 30.03.2026

Contribuciones de autoría

Las autoras y los autores de este trabajo han contribuido por igual al presente artículo.

Financiación

Ninguna.

Conflicto de intereses

Las autoras y los autores de este trabajo declaran la no existencia de conflicto de interés.

Cómo citar este trabajo

Nava-Sedano AL, Muñiz-Rascado L, Luna-Bueno G, Osorio-Cano C. Registro de carga mental mediante EEG en interacción hombre máquina con procesamiento visual, toma de decisiones y control de movimiento. *Med Segur Trab (Internet)*. 2026;72(282):-35. doi: 10.4321/s0465-546x2026000100003

© BY-NC-SA 4.0

Resumen

Introducción: El estudio de las interacciones entre un individuo y un equipo, sistema o máquina, desde un enfoque cognitivo, tiene como principal interés conocer el nivel de estrés o de carga mental que se presenta. El electroencefalograma (EEG) es un medio para observar dichos niveles a través del comportamiento de los ritmos neurológicos y con interfaces cerebro-computador (BCI), registrarlas para facilitar su análisis y posterior aplicación en tecnologías emergentes como la IA, la IoT y la ciencia de datos.

Método: Se ejecutó una tarea simple y de corta duración en 30 repeticiones, por parte de un voluntario, al cual se le colocaron electrodos utilizando el sistema 10-20, para registrar la carga mental en Pz, O1 y O2 de Alpha y Theta con la interfaz Aura de Mirai Innovation Research Institute y el software Jasp para determinar el coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados: Se registraron 30 bases de datos, las cuales fueron procesadas en Jasp para calcular la correlación entre los ritmos Alpha y Theta, en las ubicaciones Pz, O1 y O2.

Conclusiones: El procesamiento de información obtenida concluyó que existe una correlación positiva entre ambos ritmos, información coincidente con la establecida en la literatura disponible al respecto y por consecuencia, valida al resto de los datos para ser utilizados en la construcción de la base neurológica que interviene en tareas de procesamiento visual, toma de decisiones y control de movimiento, para futuros desarrollos de tecnología emergente.

Palabras clave: carga mental; EEG; Interacción hombre-máquina.

Abstract

Introduction: The main interest of the study of the interactions between a person with a team, system or machine, from a cognitive approach, is to know the level of stress or mental load that occurs. The electroencephalogram (EEG) is a way to observe these levels through the behavior of neurological rhythms and with brain-computer interfaces (BCI), record them to facilitate their analysis and future application in emerging technologies such as AI, IoT and science of data.

Method: A simple and short-duration task was performed in 30 repetitions by a volunteer, who was placed with electrodes using the 10-20 system to record the mental load in Pz, O1 and O2 of Alpha and Theta with the Aura interface of Mirai Innovation Research Institute and Jasp software to determine the Pearson correlation coefficient.

Results: 30 databases were registered, which were processed in Jasp to calculate the correlation between Alpha and Theta rhythms, at locations Pz, O1 and O2.

Conclusions: The processing of information obtained concluded that there is a positive correlation between both rhythms, information that coincides with that established in the available literature and validates the rest of the data to be used in the construction of the neurological basis that intervenes in visual processing tasks, taking decision making and motion control, for future emerging technology developments.

Keywords: mental load; EEG; human-machine interaction.

Introducción

Desde el punto de vista ergonómico, los órganos del cuerpo humano que permiten la recepción de información del entorno reciben el nombre de exteroceptores, término agrupa a la nariz, la boca, la piel, los oídos y, sobre todo, los ojos, ya que estos órganos son los principales receptores de la información proveniente del medio ⁽¹⁾.

En un contexto laboral, estos exteroceptores son parte de la dinámica de interacción entre los elementos del sitio de trabajo y el humano, es decir, son parte de un sistema que se denomina como hombre-máquina, un concepto cuyo origen data de la necesidad de mejorar la manipulación eficaz del equipamiento durante la Segunda Guerra Mundial mediante el estudio de las habilidades perceptivas y cognitivas, más allá de la capacidad física humana y su fuerza, y que actualmente sigue vigente e incluso, se ha adaptado para incluir la interactividad con los ordenadores⁽²⁾.

En este sistema, la información que recibe el humano (proceso perceptivo), proviene de diversas fuentes, como son: las comunicaciones interpersonales, del ambiente de trabajo, de los resultados obtenidos, de los materiales empleados y de las propias máquinas, herramientas y demás útiles (3), y tras un proceso de comprensión y evaluación (interpretación) donde se discrimina lo innecesario, el humano toma una decisión y activa el mecanismo por el que dará respuesta, es decir, los movimientos para instruir a la máquina que hacer, recibiendo una retroalimentación sobre el resultado de esa instrucción (4). La **Figura 1.**, muestra la iteración entre los elementos del Sistema hombre-máquina.

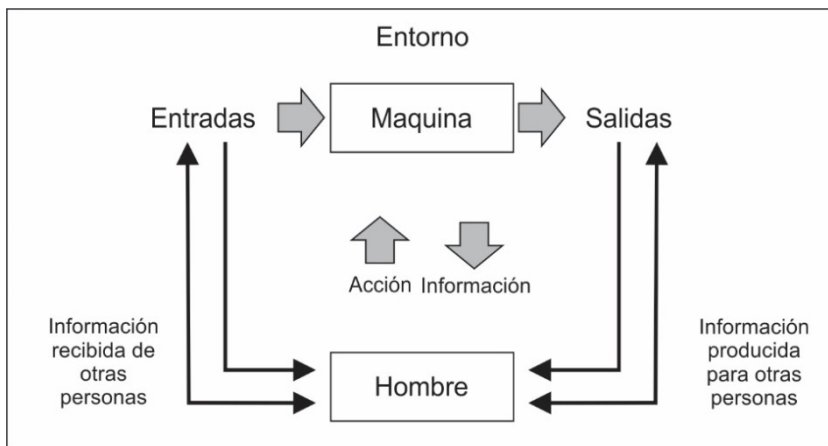


Figura 1: Dinámica del Sistema hombre-máquina desde el modelo desarrollado por Leplat y Cuny en 1977.

En este sentido, el manejo de la máquina, artefacto o cualquier objeto por parte del operario es un proceso recíproco donde el proceso de comunicación está condicionado a las capacidades perceptibles del hombre, teniendo como sistema de lenguaje los medios visuales, auditivos, táctiles u otros sensoriales por los cuales puede recibir información y que se estimulan de forma única o simultánea, activando también sistemas como el vestibular y el propioceptivo, que se describen en lo general a continuación.

- Sistema vestibular. Se ubica dentro del oído interno de cada oído y se integra por el utrículo y sáculo que detectan la posición de la cabeza y las aceleraciones de tipo lineal y los canales semicirculares que detectan las aceleraciones angulares que sigue la cabeza, permitiendo concluir cual es la posición de la cabeza⁽⁵⁾.
- Sistema propioceptivo. Opera desde los ganglios de la raíz dorsal de la médula espinal donde las neuronas sensoriales propioceptivas conectadas con los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi para llevar un registro continuo de cada músculo del cuerpo al estirarse y tensarse. La información recabada se transmite a las neuronas motoras que regulan el movimiento⁽⁶⁾. Por lo que define que la propiocepción es un sentido que informa sobre la posición de los músculos y su posición relativa respecto a otras partes del cuerpo. También regula la dirección y amplitud del movimiento, las reacciones automáticas, el desarrollo del esquema corporal en relación del espacio, el equilibrio y la coordinación⁽⁷⁾.

El accionamiento conjunto del sistema vestibular con la vista dotan de capacidad visoespacial a las personas permitiéndoles: analizar, comprender y manejar espacios bidimensionales y tridimensionales, reconocer imágenes, navegar mentalmente metal, percibir las distancias y la profundidad en cortas y largas distancias según el campo y límites visuales⁽⁸⁾. Los movimientos que realizan los ojos siguiendo la ruta de un objeto en movimiento se denominan movimientos suaves de prosecución⁽¹⁾, y es ejemplo de este accionamiento conjunto.

Mientras que, en combinación con el tacto y la propiocepción, se va creando una base neurológica para estabilizar y realizar movimientos de forma eficiente y en una dimensión espacial⁽⁸⁾, como por ejemplo, a través del tacto al sintonizar una estación en los radios usando una perilla, cuya exactitud y sensibilidad con que se manipula la acción circular, facilita o dificulta la tarea⁽¹⁾, o al interactuar con elementos que ejecutan funciones como: brindar información, arrancar (*On*), regular, detener (*Off o Stop*), verificar, ordenar, por ejemplo y que se conocen como mandos o controles, dividiéndose en dos tipos: instrumentos de lectura y mecanismos de acción, y que son comunes en el ámbito laboral. La **Figura 2**, ilustra ejemplos de cada tipo.

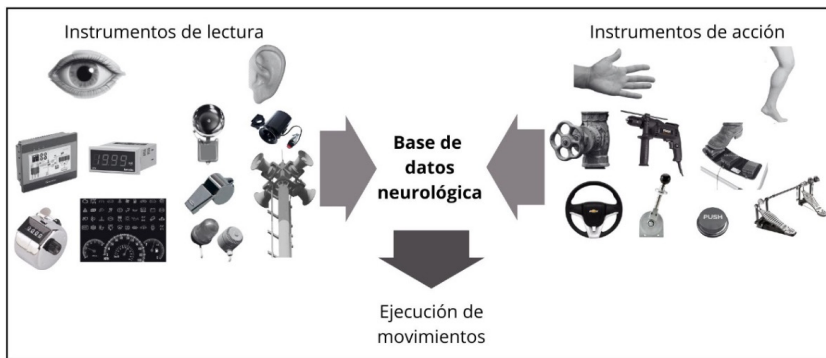


Figura 2: Tipos de mandos: Instrumentos de lectura y mecanismos de acción.

En otras palabras, la ejecución de una tarea al estimular los exteroceptores, conjuntamente con el sistema vestibular y el sistema propioceptivo, brinda información para la toma de decisiones y para el accionamiento de un sistema de controles de la máquina, teniendo como resultado un desempeño favorable o no favorable que dependerá de:

- La rapidez y veracidad con que recibe la información.
- Ajuste de los mandos a sus cualidades (ergonomía).
- La disponibilidad de ayudas como manuales, accesorios, auxiliares, entre otras.
- La transferencia de aprendizaje como el proceso de aprendizaje de ejecución de una tarea a partir del conocimiento previo de otra semejante.
- La destreza que es resultado del recuerdo de experiencias creadas en el entrenamiento, y
- El nivel de atención prestada para toma de decisiones rápidas y acertadas (carga mental).

Concluyéndose así, que una actividad bien desempeñada tiene como factores el entrenamiento y experiencia, la precisión, la prontitud y la satisfacción por los resultados obtenidos.

Si la carga de trabajo mental se define como la cantidad de recursos que posee un individuo y que aplica hacia la realización de una tarea y se condiciona por las características propias de ese individuo en cuanto a entrenamiento, edad, formación, experiencia previa, entre otras, se entiende por qué una misma tarea produce en diferentes individuos diversos niveles de carga mental⁽⁹⁾.

Algunos estudios, señalan que la carga mental desde el punto de vista neuronal, se manifiesta en la región occipital del cerebro, tal y como es el caso en teleoperadores con alta capacidad cognitiva espacial en quienes se registró actividad en señales eléctricas neuronales por electroencefalograma, en tareas asociada a la información visual, toma de decisiones y control de movimiento, concluyendo que las ondas cerebrales Alpha, Theta y Beta son sensibles al nivel de carga mental⁽¹⁰⁾. En el mismo sentido, utilizado también un equipo de electroencefalograma en conductores de camiones, se observó que mostró mayor actividad en las ondas alfa y theta, cuando los participantes manifestaron mayor somnolencia y menor rendimiento subjetivamente⁽¹¹⁾, pudiendo ser un síntoma de una carga mental elevada.

Por lo que considerando las aportaciones de estos dos estudios, se ha diseñado una investigación exploratoria para registrar la actividad cerebral en theta y alfa en la zona occipital, derivada de la ejecución de una tarea que involucra la recepción de información visual, la toma de decisiones y el control de movimiento y que por consecuencia, genere un incremento de la carga mental del sujeto voluntario.

Métodos

A continuación se describen los materiales y métodos empleados en la investigación.

Equipo y software para registro de señales neuronales. La interfaz empleada ha sido la desarrollada por Mirai Innovation Lab, denominado AURA 02, la cual cuenta con 8 canales configurables, en este caso, para electroencefalografía. Su convertidor es analógico digital con tecnología Delta- Sigma de alta precisión con capacidad de registro por canal de 250 muestras (250 Hz). La información registrada se almacena en formato CVS estándar.

Se utilizaron 8 electrodos de copa de oro y un electrodo bipolar para la oreja. Los conectores son estándar DIN42802-EEG para electrodos clínicos.

Método de colocación de electrodos y posición de acuerdo al sistema 10-20. Para la colocación de electrodos se ha preparado la piel limpiándola con alcohol isopropílico, procediendo al dimensionamiento según el sistema internacional 10-20. Se ha colocado cada electrodo utilizando pasta conductiva comercial para neurodiagnóstico. En la **Figura 3**, se aprecia la ubicación de los electrodos sobre una representación de la cabeza del voluntario generada por el software Aura.

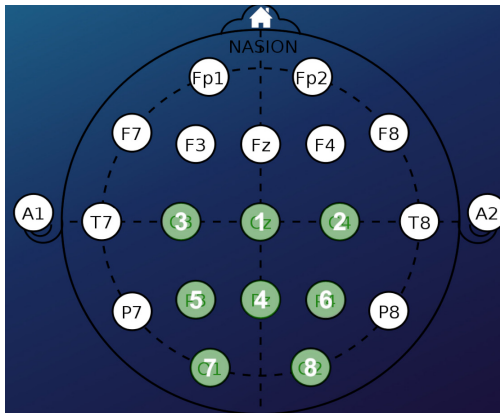


Figura 3: Tipos de mandos: Instrumentos de lectura y mecanismos de acción.

Las posiciones elegidas para el registro fueron: Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, O1 y O2, además del A2 para el electrodo bipolar, sin embargo en este artículo solo se mostrará el análisis correlacional de los ritmos Alpha y Theta en Pz, O1 y O2.

Sistema máquina con mecanismos de acción (controles). Para la observación de las pruebas de desempeño se hizo uso de un equipo consistente en un vehículo de radiocontrol operado por un dispositivo de controles de marca comercial, en el cual, las funciones requeridas para la tarea a ejecutar fueron:

- Neutral (parada o stop). N
- Palanca hacia adelante (arranque del vehículo). A
- Palanca hacia la derecha. D
- Palanca hacia la izquierda. I
- Palanca hacia atrás (reversa). R

Siendo el control sujetado por ambas manos para su estabilización y usando ambos pulgares para el accionamiento de las funciones. No se contaron con instrumentos de lectura como pantallas, teniendo únicamente como referencial el sonido que emite el equipo cuando empieza su marcha.

El equipo que representa a la máquina dentro del Sistema hombre-máquina fue seleccionado considerando que la investigación exploratoria debía realizarse en una sola sesión, continua, y con tareas a ejecutar breves que permitieran tener una retroalimentación inmediata sobre el desempeño para generar la regulación del esfuerzo y aprendizaje, implicando además, actividad visual, el manejo de mando y la toma de decisiones.

Tarea a ejecutar. La actividad elegida para realizar la observación y registro consistió en la manipulación del dispositivo de controles para conducir el vehículo de radiocontrol a través de una trayectoria de 10 metros, mostrada en la **Figura 4**.

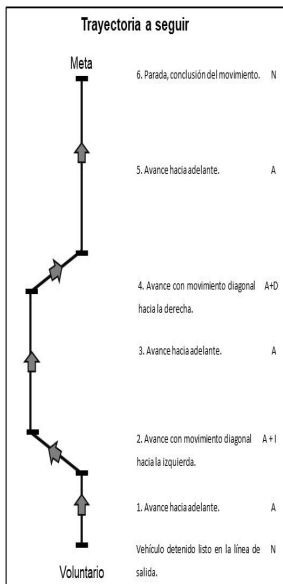


Figura 4: Trayectoria a seguir por el vehículo de radio control operado por el voluntario.

Esta trayectoria se trazó en el piso utilizando cinta de seguridad para una mayor visibilidad.

Las funciones a ejecutar (tareas) en cada observación, se muestran en orden en que se ejecutaron, en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Funciones requeridas para la ejecución de cada tarea.

Tareas	Funciones
Vehículo detenido listo en la línea de salida.	N
Avance hacia adelante.	A
Avance con movimiento diagonal hacia la izquierda.	A + I
Avance hacia adelante.	A
Avance con movimiento diagonal hacia la derecha.	A+D
Avance hacia adelante.	A
Parada, conclusión del movimiento.	N

El seguimiento de su desempeño lo realiza el voluntario de forma visual, para regular el movimiento de las palancas en la ejecución la tarea de la mejor manera y en el menor tiempo posible. Cabe mencionar que en los tramos 4 y 6 se establecieron restricciones colocando dos barreras físicas entre los cuales debía pasar el vehículo, requiriendo mayor precisión en el manejo, de la misma forma, se estableció que la tarea 7, debía concluir en el sitio señalado como final de la trayectoria.

Caracterización del sujeto voluntario ejecutor de las tareas. Individuo masculino de 25 años, diestro, estudiante de ingeniería con habilidades promedio en el uso de controles y mandos. No jugador de videojuegos frecuente, con capacidad de atención a la tarea. Sin antecedentes en el manejo de un dispositivo control de la marca, pero si similares con más de un año de anterioridad, por lo que sí existe una transferencia de aprendizaje.

Total de observaciones. 30 ejecuciones continuas observándose el tiempo de ejecución y el logro de operación demandada siguiendo la trayectoria señalada en el piso, es decir una evaluación cuantitativa y una cualitativa, registrando los valores de tiempo de ejecución en segundos y el logro o no logro de la tarea. De cada una de las pruebas se registraron los datos encefalográficos utilizando el equipo Aura conectado a un ordenador portátil.

Software de procesamiento de datos. Para el procesamiento de los datos de origen neuronal registrados y determinar los coeficientes de correlación entre los ritmos cerebrales, se utilizó el software informático JASP, versión 0.19.2, de código abierto.

Resultados

Primeramente, para una mayor comprensión del proceso iterativo entre el sujeto voluntario (hombre) y el vehículo de radiocontrol (máquina), el proceso se graficó desde la perspectiva del Sistema hombre-máquina de Leplat y Cuny, el cual se muestra en la **Figura 5**.

Es de notar que no se emplearon instrumentos de lectura como pantallas, si bien, el equipo emite el sonido característico de marcha, la retroalimentación hacia el individuo fue mediante el sentido de la vista y su capacidad visoespacial para manipular el dispositivo de controles usando el tacto y activando su sistema propioceptivo.

Una vez colocado el equipo de registro de señales neuronales Aura, se dio inicio a las 30 ejecuciones de forma continua, conformándose los archivos con valores separados por comas (cvs) que contienen los datos captados por cada electrodo con la actividad aislada para cada ritmo cerebral mediante la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Como se ha descrito, el interés de este ejercicio radica en la observación de los ritmos Alpha y Theta en Pz, O1 y O2, en el desempeño correcto de la tarea asignada, por lo que una vez obtenidos los datos en cvs, se analizaron en Jasp, para obtener el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables Alpha y Theta, de tal forma que en los reportes se identifican las variables de interés bajo la siguiente nomenclatura:

- Alpha_21 como Alpha en Pz.
- Theta_13 como Theta en Pz.

- Alpha_24 como Alpha en O1.
- Theta_16 como Theta en O1.
- Alpha_25 como Alpha en O2
- Theta_17 como Theta en O2.

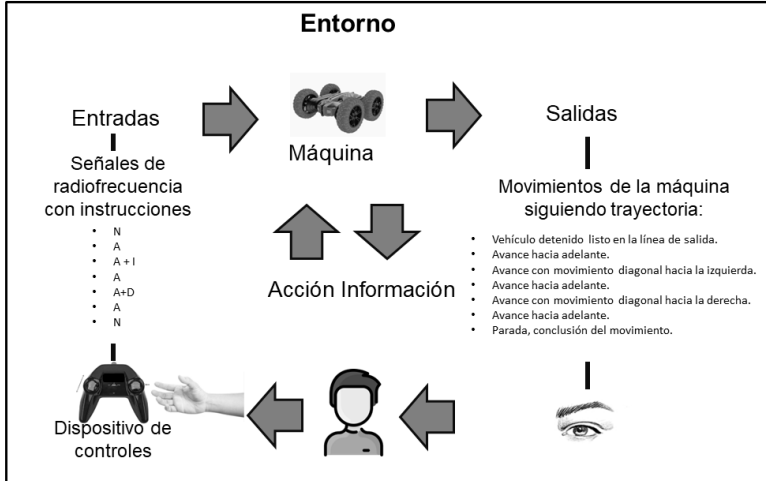


Figura 5: Trayectoria a seguir por el vehículo de radio control operado por el voluntario.

En la **Figura 6**, se muestra la tabla de correlación del ejercicio 6, a manera de ejemplo de la generación de los treinta reportes.

Correlation Table

			Pearson	
			r	p
Alpha_21	-	Theta_13	0.971***	< .001
Alpha_21	-	Alpha_24	0.997***	< .001
Alpha_21	-	Theta_16	0.948***	< .001
Alpha_21	-	Alpha_25	0.989***	< .001
Alpha_21	-	Theta_17	0.948***	< .001
Theta_13	-	Alpha_24	0.977***	< .001
Theta_13	-	Theta_16	0.985***	< .001
Theta_13	-	Alpha_25	0.972***	< .001
Theta_13	-	Theta_17	0.975***	< .001
Alpha_24	-	Theta_16	0.965***	< .001
Alpha_24	-	Alpha_25	0.991***	< .001
Alpha_24	-	Theta_17	0.962***	< .001
Theta_16	-	Alpha_25	0.962***	< .001
Theta_16	-	Theta_17	0.994***	< .001
Alpha_25	-	Theta_17	0.966***	< .001

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Figura 6: Reporte de índice de correlación de Pearson, generado en Jasp.

Las correlaciones obtenidas en los reportes se tabularon de acuerdo al número de ejercicio y los ritmos correlacionados, obteniéndose la información mostrada en la siguiente **Tabla 2**.

Tabla 2: Coeficientes de correlación entre los pares de ritmos Alpha y Theta.

Ritmo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Alpha_21/Theta_13	0.278	0.506	0.496	0.733	0.905	0.971	0.971	-0.108	0.730	0.730	0.543	0.543	0.743	0.979	0.979	0.979	0.979	0.926	0.235	0.944	0.513	0.795	0.925	0.738	0.450	0.991	0.515	0.262	-0.129		
Alpha_21/Alpha_24	0.993	0.993	0.994	0.972	0.958	0.997	1.000	0.916	0.929	0.929	0.961	0.960	0.960	0.954	0.938	0.971	0.950	0.747	0.621	0.739	0.761	0.996	0.872	0.717	0.999	0.849	0.856	0.703			
Alpha_21/Theta_16	0.724	0.722	0.419	0.666	0.888	0.888	0.888	0.888	0.211	0.211	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666			
Alpha_21/Alpha_25	0.138	0.174	0.452	0.159	0.113	0.288	0.288	-0.182	0.414	0.414	0.588	0.588	0.141	0.525	0.525	0.428	0.024	0.174	0.405	0.428	0.976	0.848	0.724	0.976	0.848	0.881	-0.084	-0.066			
Alpha_21/Theta_17	-0.099	0.052	-0.054	0.438	0.113	0.448	0.448	0.448	0.448	-0.136	0.213	0.182	0.113	0.112	0.320	0.360	0.321	0.307	0.170	0.072	0.170	0.793	0.183	0.183	0.979	0.478	0.270	-0.140			
Theta_13/Alpha_24	0.933	0.939	0.936	0.915	0.938	0.972	0.972	-0.245	0.707	0.707	0.211	0.444	0.211	0.999	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979		
Theta_13/Theta_16	0.934	0.935	0.936	0.916	0.939	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983		
Theta_13/Theta_17	0.014	0.024	-0.164	0.124	0.219	0.613	0.613	0.613	0.739	0.739	0.119	0.449	0.029	0.147	0.119	0.041	0.650	0.110	0.200	0.620	0.824	0.820	0.854	0.366	-0.116	0.961	0.326	0.949	0.189		
Alpha_24/Theta_16	0.682	0.281	0.431	0.142	0.905	0.905	0.905	-0.360	0.744	0.744	0.123	0.688	0.388	0.541	0.320	0.154	0.987	0.487	0.780	0.120	0.043	0.172	0.894	0.263	0.972	0.986	0.456	0.382	0.508		
Alpha_24/Alpha_25	0.931	0.939	0.934	0.928	0.971	0.968	0.968	0.968	0.336	0.334	0.541	0.541	0.449	0.449	0.655	0.443	0.245	0.011	0.331	0.245	0.926	0.846	0.446	0.416	0.982	0.759	0.769	0.607			
Alpha_24/Theta_17	-0.048	0.082	-0.198	0.505	0.260	0.882	0.881	0.260	0.520	0.520	0.347	0.381	-0.407	0.228	0.074	-0.274	0.442	0.656	0.688	0.688	0.676	0.110	0.791	0.243	0.933	0.978	0.824	0.313	-0.241		
Theta_16/Alpha_24	0.774	0.688	0.656	0.231	0.277	0.882	0.880	0.011	0.182	0.182	0.113	0.371	0.162	0.122	0.140	0.212	0.220	0.825	0.810	0.007	0.124	0.996	0.845	0.311	0.250	0.963	0.364	0.114	0.059		
Theta_16/Theta_17	0.977	0.988	0.989	0.975	0.971	0.966	0.963	0.931	0.714	0.714	0.140	0.450	0.160	0.273	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900		
Alpha_25/Theta_17	0.137	-0.204	0.484	0.204	0.316	0.608	0.601	-0.303	0.103	0.103	0.072	0.107	0.302	0.289	0.428	0.051	0.000	0.141	0.673	0.178	0.020	0.084	0.774	0.054	0.064	0.963	0.031	-0.147	0.445		
TIEMPO EN SEUNDOS	21.868	16.105	18.200	16.115	16.938	14.982	22.582	12.410	12.234	18.129	14.157	12.247	12.604	10.996	13.311	13.478	15.553	-	-	-	12.294	10.626	12.166	17.693	11.214	30.647	10.413	11.259	10.998	9.129	6.555
ERRORES	1	2	1	1	1	0	1	4	1	0	2	0	1	2	1	1	1	0	0	3	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	

Las ejecuciones 6, 7 y 27, señalan una correlación alta en todas las combinaciones entre Alpha y Theta, presentando solo 1 error en la ejecución 7. Mientras que después de la ejecución 27, es de notar que, a pesar de disminuir la correlación entre ambas variables, el tiempo de ejecución es bajo y con cero errores. Cabe mencionar que la ejecución 19, presentó errores en el registro, generando un reporte sin valores, por lo que se refleja en la tabla con celdas vacías.

La **Figura 7**, muestra gráficamente el comportamiento de la correlaciones entre los pares de ritmos, notándose que los ejercicios 6,7 y 27, tal como lo indica numéricamente, se mantienen en la parte superior por los altos valores reportados, mientras que en el resto, se observan dos tendencias hacia una alta correlación entre los ritmos Alpha_21/Alpha_24 y Theta_13 y Theta_16.

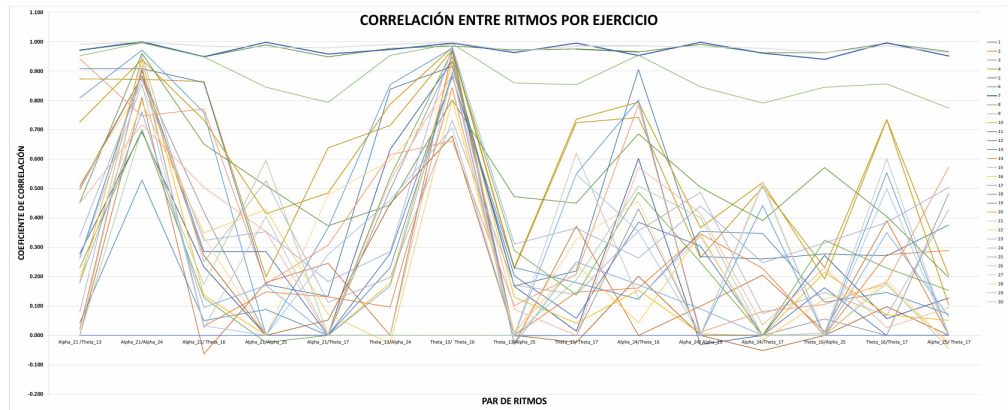


Figura 7: Gráfica de índices de correlación de las 30 observaciones por par de ritmo.

Para visualizar los valores que asume el coeficiente de correlación, por cada par de ritmos, en cada uno de los 30 ejercicios, se definieron rangos tal y como se muestran en la **Tabla 3**.

Proyectándose de esa forma, un heatmap, en la **Figura 8**, que ilustra en color verde los momentos en que se presenta una alta correlación, positiva o negativa, en color amarillo una correlación media positiva o negativa y en color rojo, una baja correlación.

En el heatmap, a los ejercicios 6,7 y 27, se suma el ejercicio 24 que destaca por presentar coeficientes de correlación positivos altos, mientras que en los en los ejercicios 9 y 10, se observan valores identificados en color verde y amarillo que denotan una correlación positiva alta y media, por lo que se infiere que la en su ejecución se prestó una mayor atención y por ende, carga mental, hacia las tareas, presentándose también ejecuciones bien desempeñadas con máximo, un error.

Tabla 3: Rangos aplicados a los coeficientes de correlación para proyección en heatmap.

Rangos		Color	Interpretación
1.0000	0.7000		Alta correlación positiva.
0.6999	0.3000		Media correlación positiva.
0.2999	-0.2999		Baja correlación.
-0.6999	-0.3000		Media correlación negativa.
-1.0000	-0.7000		Alta correlación negativa.

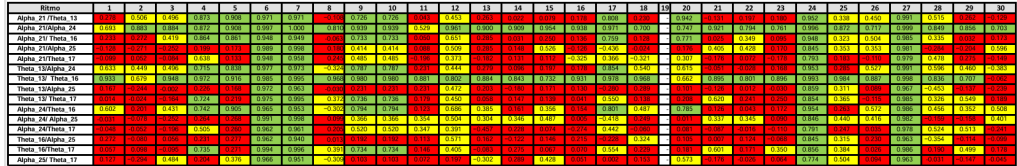


Figura 8: Heatmap de alta, medio y bajo de coeficiente de correlación entre ritmos.

En contraste, en el resto de las ejercicios, la correlación entre los ritmos asume valores que indican una baja o media correlación.

Considérese que de los seis factores que influyen en el desempeño de una actividad, la rapidez y veracidad con que recibe la información, el ajuste de los mandos a sus cualidades (ergonomía) y la disponibilidad de ayudas como manuales, accesorios, auxiliares, entre otras, permanecen constantes, sin variación durante los treinta ejercicios, mientras que la transferencia de aprendizaje a partir del conocimiento previo de otra tarea semejante y la destreza como resultado del recuerdo de experiencias creadas en el entrenamiento, van en incremento conforme se realiza cada ejercicio para llegar al total de los treinta. Siendo entonces, el nivel de atención prestado para toma de decisiones rápidas y acertadas (carga mental), el que pudiese variar según los estados de individuo y que es el objetivo registrar en esta investigación.

Los resultados de los ejercicios 28,29 y 30, donde no se reportaron errores y el tiempo de ejecución no es significativamente alto, puede interpretarse como indicios de un aprendizaje y dominio de las tareas, por lo que al no representar ya un reto, genera una disminución de la atención prestada hacia ellas, disminuyendo así, la carga mental.

Discusión

De forma general se concluye que si existe una correlación positiva entre los ritmos Alpha y Theta en la ejecución de tareas que impliquen el seguimiento visual, toma de decisiones y control de movimientos. Esta correlación se mantiene al disminuir la correlación entre el resto, en los ritmos Alpha_21/Alpha_24 y Theta_13 y Theta_16, generados en las posiciones de los electrodos Pz y O1, posición 4 y 7 en el software Aura, que se muestran en la **Figura 9**.

Es de notar, que las correlaciones entre los ritmos asociados al electrodo en O2, en este caso Alpha_25 y Theta_17, en los tres ejercicios identificados con mayor carga mental, si mostraron una correlación positiva, mientras que en el resto de ellos, asume valores diversos. Esta observación es congruente con el hecho de que las representaciones en secuencias y su planificación, están asociadas al hemisferio izquierdo, de forma independiente a la mano, derecha o izquierda, que haya ejecutado la tarea⁽¹²⁾, por lo que una mayor actividad en el electrodo en la posición O1 es indicio de una mayor planificación de los movimientos a ejecutar.

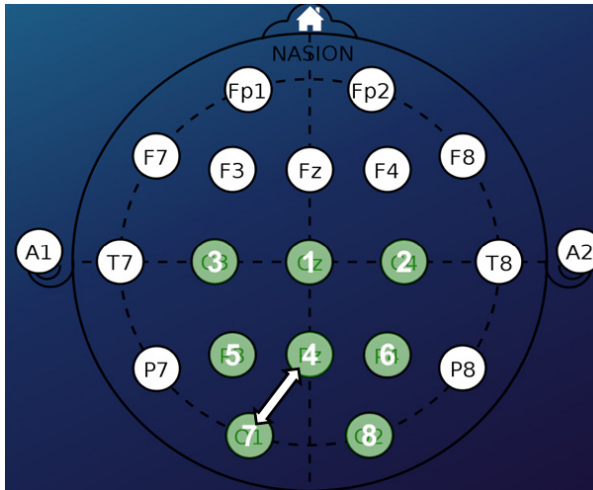


Figura 9: Ubicación de los electrodos Pz y O1.

El análisis hecho específicamente entre Pz, O1 y O2, proporciona resultados acordes a las investigaciones previas, por lo que el análisis del resto de los ritmos y de los electrodos con esta misma metodología, debe continuarse para establecer el comportamiento de la red neurológica en la zona occipital, al ejecutar tareas que impliquen la interacción hombre-máquina con procesamiento visual, toma de decisiones y control de movimiento, con certidumbre en el uso de la interfaz Aura y Software Jasp como herramientas en el registro, observación y análisis de los ritmos, para el desarrollo de futuras aplicaciones.

Bibliografía

1. Garnica A, Cruz A. Ergonomía Aplicada. 4 ed. Colombia: Ecoe Ediciones; 2011.
2. Leirós LI. Historia de la Ergonomía, o de cómo la Ciencia del Trabajo se basa en verdades tomadas de la Psicología. Revista de Historia de la Psicología. 2009;30.
3. de Frutos MO. NTP 241: Mandos y señales: ergonomía de percepción. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), OA, MP. 1990;7.
4. Cuixart CN. NTP 226: Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), OA, MP. 1990;7.
5. Binetti AC. Fisiología vestibular. FASO. 2015;1:14–21.
6. Rodríguez H. National Geographic España. [citado el 28 de noviembre de 2024]. Algunas personas tienen un sexto sentido: la propiocepción. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/algunas-personas-tienen-sexto-sentido-propiocepcion_19391
7. Plachesi P. Lesiones laborales. [Argentina]: Universidad FASTA; 2015.
8. Cruz M. Zona Abierta [Internet]. [citado el 28 de noviembre de 2024]. Disponible en: Facebook Page
9. Ferrer R, Dalmau Pons I. Ergonomía cognitiva y carga mental. En: Manual de psicología aplicada al trabajo y a la prevención de los riesgos laborales. España: Pirámide; 2014. p. 159–90.
10. Shao S, Zhou Q, Liu Z. Mental workload characteristics of manipulator teleoperators with different spatial cognitive abilities. International Journal of Advanced Robotic Systems. el 1 de noviembre de 2019;16(6):1729881419888042.

11. Kecklund G, Åkerstedt T. Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. *Ergonomics*. septiembre de 1993;36(9):1007–17.

12. Machado S, Arias-Carrión O, Orellana Castillo AV, Lattari E, Cardoso Silva A, Egídio Nardi A. La especialización hemisférica y la regulación de la conducta motora desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva. *Salud Ment*. el 1 de enero de 2013;36(6):513.