

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. JUÁREZ**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**“EVALUACIÓN NEUROERGONÓMICA EN AUTOMOVILISTAS  
EMPLEANDO UN SIMULADOR”**

**TESIS**

**QUE PRESENTA**

**LEONARDO ALBERTO ALANÍS CASTRO**

**DIRECTOR**

**DRA. ANA ISELA GARCÍA**

**COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO(A) EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**CD. JUÁREZ, CHIH.**

**JUNIO DE 2022**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Guillermo Alanís y Verónica Castro quienes con su esfuerzo y dedicación me han permitido cumplir con esta etapa. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo.

También a mis hermanos Alejandro y Adrik por su apoyo incondicional, y toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

A los docentes, maestros y doctores, que me apoyaron y alentaron a continuar durante el proceso.

Así mismo al Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Juárez, también conocido como IT CJ, por abrirme las puertas a una nueva etapa.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme en lo que he necesitado y por ofrecerme su ayuda en momentos difíciles.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las autoridades y personal del Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Juárez, por permitirme realizar todo el proceso de la maestría.

De igual manera, mis agradecimientos al departamento de Posgrado, a mis profesores en especial a la Dra. Ana Isela García Acosta, Dr. Jorge De La Riva Rodríguez, Dr. Marco Tulio Gallo Estrada, y al Dr. Eduardo Rafael Poblano Ojinaga quienes con sus valiosos conocimientos lograron direccionarme durante mi maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología le agradezco por el auxilio brindado durante mis estudios en la Maestría en Ingeniería Industrial, ya que sin ello no hubiera sido posible realizar el posgrado.

Finalmente quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra. Ana García, mi directora de tesis, quien con su dirección, conocimiento y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Gracias a cada uno por su dedicación, apoyo y amistad.

## CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2.1. Antecedentes .....	2
2.2. Definición del Problema .....	1
2.3. Objetivo .....	2
2.3.1. Objetivo General .....	2
2.4. Preguntas de Investigación .....	2
2.5. Hipótesis .....	2
2.6. Justificación .....	2
2.7. Delimitación .....	3
3. MARCO TEÓRICO .....	1
3.1. Ergonomía .....	1
3.1.1. Definición .....	1
3.1.2. Tipos de Ergonomía .....	1
3.1.3. Neuro Ergonomía .....	2
3.1.4. Estrés .....	2
3.2. Electroencefalograma .....	3
3.2.1. Definición .....	3
3.2.2. Medición de EEG .....	3
3.2.3. Analysis RG (Relative Gamma Power) .....	4
3.3. Equipo de Electroencefalograma (EEG) .....	5
3.3.1. Definición .....	5
3.3.2. Tipos de Equipos .....	5
3.3.3. Emotiv Epoc .....	6
3.3.4. Sistema de Posicionamiento 10-20 .....	7

3.3.5.	Emotiv Insight.....	8
3.4.	Software de Simulación.....	9
3.4.1.	Definición .....	9
3.4.2.	Función del Software de Simulación.....	10
3.4.3.	Tipos de Software.....	10
3.4.4.	Software de Simulación de Conducción de Vehículos.....	11
3.4.5.	Tipos de Simulador de Conducción de Vehículos .....	11
3.4.6.	Ventajas de los Simuladores .....	11
3.4.7.	Limitantes de los Simuladores .....	12
3.5.	Software de Electroencefalograma (EEG) .....	12
3.5.1.	Definición .....	12
3.5.2.	Software Emotiv Pro .....	13
3.6.	Software MATLAB .....	13
3.6.1.	Definición .....	13
3.6.2.	Software EEGLAB.....	14
3.6.3.	Análisis de Señales .....	14
3.6.4.	Análisis de Componentes Independientes (ICA) .....	17
3.6.5.	Limpieza de Ruido .....	17
3.6.6.	Técnica de Eliminación de Artefactos en el Electroencefalograma (“Artifact Subspace Reconstruction ASR”) .....	18
3.7.	Tráfico .....	18
3.7.1.	Definición .....	18
3.7.2.	Tipos de Tráfico Vial.....	19
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
4.1.	Tipo de Investigación .....	20
4.2.	Materiales .....	21
4.2.1.	Dispositivo Emotiv Insight .....	21
4.2.2.	Software Emotiv Pro .....	21
4.2.3.	Estructura de Simulador de Manejo de Vehículos.....	22

4.2.4.	Controladores para Simulador .....	23
4.2.5.	Pantallas Atvio 32” Pulgadas LED .....	23
4.2.6.	Computadora Dell Precision M4800.....	23
4.2.7.	Simulador City Car Driving.....	24
4.3.	Metodología.....	26
4.3.1.	Preparación del Estudio .....	27
4.3.2.	Desarrollo de la Investigación.....	27
4.3.3.	Verificación del Estudio .....	29
5.	DESARROLLO.....	31
5.1.	Diseño de Experimentos.....	31
5.1.1.	Preparación del Estudio .....	31
5.1.2.	Desarrollo de la Investigación.....	35
6.	RESULTADOS .....	41
6.1.	Análisis de Resultados.....	41
6.1.1.	Verificación del Estudio .....	41
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	87
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	90
	ANEXO 1 [FORMATO DATOS DE ALUMNOS].....	95
	ANEXO 2 [FORMATO CONSENTIMIENTO INFORMADO].....	99
	ANEXO 3 [RESUMEN DE PRACTICAS].....	101

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Identificación del Electrodo Según su Posición (Figueroa, 2016).....	7
Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Equipo de Cómputo Dell Precision M4800 .....	24
Tabla 3. Requisitos del Sistema Simulador City Car Driving. (City Car Driving, 2019) .	25
Tabla 4. Ejemplo de Formato Para Recolección de Datos de Participantes .....	35
Tabla 5. Formato Para Evaluar Simulación .....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Casco Emotiv Epoc (EMOTIV, 2022, <a href="https://www.Emotiv.com/epoc/">https://www.Emotiv.com/epoc/</a> ) .....	6
Figura 3.2 Posición de los Electrodoes en el Sistema 10-20 Extendido (Figueroa, 2016) ...	8
Figura 3.3 Casco Emotiv Insight (EMOTIV, 2022).....	9
Figura 3.4 Grabación Emotiv Pro (Emotiv, 2019) .....	13
Figura 3.5 Señales Neuronales Correspondientes al EEG (Kolb y Whishaw, 2009).....	15
Figura 4.1 Casco Emotiv Insight (EMOTIV, 2022).....	21
Figura 4.2 Software Emotiv Pro (EMOTIV, 2019).....	22
Figura 4.3 Estructura de Simulador de Manejo (Guzo, 2019) .....	22
Figura 4.4 Kit Logitech G29 (Guzo, 2019).....	23
Figura 4.5 Simulador de Manejo City Car Driving para PC. (City Car Driving, 2019) ...	24
Figura 4.6 Diagrama de la Metodología .....	26
Figura 5.1 Pantalla de Selección de Nivel de Tráfico Pesado .....	32
Figura 5.2 Pantalla de Selección Meteorológica Tráfico Pesado.....	32
Figura 5.3 Pantalla de Selección de Características de Tráfico Vial.....	33
Figura 5.4 Pantalla de Selección de Nivel de Tráfico Ligero .....	34
Figura 5.5 Pantalla de selección meteorológica Tráfico Ligero .....	34
Figura 5.6 Ayuda Visual de los Controladores del Volante .....	36
Figura 5.7 Ayuda Visual de los Controladores de Pedales.....	36
Figura 5.8 Ayuda Visual de los Pasos de Encendido .....	37
Figura 5.9 Entrenamiento en el Uso del Simulador Para Seleccionar Participantes .....	37
Figura 5.10 Formato de Seguimiento de Simulación Identificando Sucesos .....	39
Figura 6.1 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en estado de Reposo Inicial .....	42
Figura 6.2 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en un evento donde ocurre un Frenado Brusco. ....	43
Figura 6.3 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 en un evento donde ocurre un Frenado Brusco. ....	44
Figura 6.4 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 en un evento donde se sube a la banqueta.....	44
Figura 6.5 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en un evento donde sube a la banqueta. ....	45



Figura 6.6 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en un evento donde ocurre un choque.....	46
Figura 6.7 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 en un evento donde ocurre un choque.....	47
Figura 6.8 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 al finalizar la simulación.....	47
Figura 6.9 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 al finalizar la simulación.....	48
Figura 6.10 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde sube a la banqueta. ....	49
Figura 6.11 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde sube a la banqueta. ....	50
Figura 6.12 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde se sube a la banqueta.....	51
Figura 6.13 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde ocurre una invasión de carril. ....	51
Figura 6.14 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde invadió carril.....	52
Figura 6.15 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde ocurre un choque.....	53
Figura 6.16 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde ocurre un choque.....	54
Figura 6.17 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde conduce fuera de la carretera.....	54
Figura 6.18 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento conduce fuera de la carretera.....	55
Figura 6.19 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 al finalizar la simulación.....	56
Figura 6.20 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 al finalizar la simulación.....	57

Figura 6.21 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en estado de Reposo Inicial .....	58
Figura 6.22 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en un evento donde el tráfico se encuentra detenido .....	59
Figura 6.23 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento donde se sube a la banqueta.....	60
Figura 6.24 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento donde ocurre un cambio de carril.....	60
Figura 6.25 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en un evento donde ocurre un cambio de carril.....	61
Figura 6.26 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en un evento donde ocurre un choque.....	62
Figura 6.27 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento donde ocurre un choque.....	63
Figura 6.28 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento al finalizar la simulación. ....	63
Figura 6.29 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 al finalizar la simulación.	64
Figura 6.30 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en estado de Reposo Inicial .....	65
Figura 6.31 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en un evento donde ocurre una conducción fuera de calle.....	66
Figura 6.32 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 en un evento donde ocurre una conducción fuera de calle.....	67
Figura 6.33 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 en un evento donde se sube a la banqueta.....	67
Figura 6.34 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en un evento donde sube a la banqueta.....	68
Figura 6.35 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en un evento donde ocurre un choque.....	69

Figura 6.36 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 en un evento donde ocurre un choque.....	70
Figura 6.37 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 al finalizar la simulación.....	70
Figura 6.38 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 al finalizar la simulación.....	71
Figura 6.39 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero al iniciar la simulación .....	72
Figura 6.40 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Pesado al iniciar la simulación.....	73
Figura 6.41 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero en un evento donde ocurre un choque.....	74
Figura 6.42 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde ocurre un choque .....	75
Figura 6.43 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero en un evento donde ocurre un choque. ....	76
Figura 6.44 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde ocurre un choque.....	76
Figura 6.45 Gráficos de desempeño de estado cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero en un evento donde invade el carril. ....	77
Figura 6.46 Gráficos de desempeño de estado cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde invade el carril. ....	77
Figura 6.47 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero en un evento donde invade carril. ....	78
Figura 6.48 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde invade carril.....	79
Figura 6.49 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero en un evento donde invade carril.....	80
Figura 6.50 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde invade carril. ....	80

Figura 6.51 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero en un evento donde evita atropellar un peatón.....	81
Figura 6.52 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde evita atropellar un peatón. ....	82
Figura 6.53 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero al finalizar la simulación.....	83
Figura 6.54 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado al finalizar la simulación. ....	84
Figura 6.55 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero al finalizar la simulación.....	85
Figura 6.56 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado al finalizar la simulación. ....	85

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo identificar el comportamiento de las ondas cerebrales en los automovilistas, empleando el equipo Emotiv Insight (EMOTIV, 2022) para la medición de ondas cerebrales, en conjunto con el simulador de manejo City Car Driving (City Car Driving, 2019), con la finalidad de coadyuvar a la prevención y disminución de accidentes en la región.

El margen de beneficio proviene de una falta de información sobre el comportamiento cerebral del automovilista en un estado de fatiga, afectando las capacidades requeridas para manejar un vehículo y el posible estado cognitivo que presente la persona en el momento. Este proyecto muestra el comportamiento de las ondas cerebrales en el área de manejo, utilizando diversos tipos de tráfico urbano, basándonos en el tráfico vehicular mexicano, así como nos enfocamos en analizar el comportamiento de las ondas cerebrales al momento de que el conductor sufría algún percance como un choque o un frenado.

Al momento de la revisión de literatura se encontraron pocas investigaciones sobre la lectura de las ondas cerebrales en el área de transporte en México, nuestro país.

Por lo cual, la revisión de literatura en esta investigación tiene diversas implicaciones que refieren a trabajo realizados en otros lugares del mundo. Algunos autores, como Hu y Wang (2017), sugieren que el estudio del comportamiento de la fatiga tiene beneficio en el debate que surge sobre los accidentes vehiculares en referencia a la concientización internacional sobre las consecuencias de circular en vehículos estando en estado inconveniente.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. Antecedentes**

Se han desarrollado algunas investigaciones que evalúan el comportamiento de las ondas cerebrales en los conductores como lo presenta Vysata (2014), en su tesis denominada “Lag Synchronisation in the Human Brain: Evidence from 17,722 Healthy Subjects’ EEG Analyses”, estudio basado en el impacto del retraso de los niveles de sincronización de la actividad cerebral, dicho estudio fue realizado en la Republica Checa. La investigación se basó en los estudios sobre el conjunto de señales electromagnéticas del cerebro, evaluando los componentes de la corteza cerebral en un estado de relajación recostado sin dormir; donde se realizó un muestreo en una población de conductores de camiones que transportan material con un peso mayor a 3.5 toneladas, y que cuentan con un buen estado de salud, siendo que se excluyeron personas con problemas psicológicos, de salud o con algún vicio. Para el estudio se utilizó una máquina de EEG de 21 canales, con lo cual se consiguió concluir en el estudio, que se desconectaban algunas redes neuronales del cerebro cuando se presentaba el cansancio en las personas, siendo que se observó que la sincronización de retraso más representativa se presentaba en la región fronto-occipital del cerebro.

Xiaoli (2015), en el trabajo titulado “Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search”, establece una investigación realizada en Beijing, China; el estudio se realizó considerando a la fatiga mental como responsable de los accidentes de tráfico, al analizar el efecto sobre el rendimiento. La investigación se realizó a 10 estudiantes de entre 20 y 28 años de la universidad de Beihang, China, aplicándoles pruebas de búsqueda visual de 60 minutos para analizar con EEG los tiempos de reacción de los participantes. Los datos se recopilaron con el aparato NeuroScan 64 con el sistema internacional 10-20 para

grabar la señal EEG y un amplificador de Synamps2 / RT. En el estudio se obtuvieron resultados sobre la actividad cerebral, donde notaron un aumento significativo en las ondas Alpha del lóbulo frontal, central, posterior, temporal, parietal y occipital del cerebro, y una disminución en las ondas beta en el pre-frontal, frontal inferior, regiones temporales y occipital del cerebro, todo esto en un estado de fatiga.

Zhang (2016), describió en el estudio “A Vehicle Active Safety Model: Vehicle Speed Control Based on Driver Vigilance Detection Using Wearable EEG and Sparse Representation”, una investigación del uso de sistemas EEG, para analizar la condición de sueño en los operadores de vehículos y como vigilar su estado cognitivo para evitar accidentes de tráfico. Las señales fueron tomadas mediante un sistema BCI casero de 8 electrodos para analizar la señal EEG, durante un estado de alerta y somnolencia en el manejo. Como resultado se generó un programa de reducción de velocidad de los vehículos cuando el conductor presentaba un estado de somnolencia, esto en razón de reducir los riesgos viales y mejorando los niveles de vigilancia y seguimiento sobre las personas evaluadas, así mismo muestra que existe una correlación positiva del aumento de theta o Alpha durante un estado de somnolencia y una correlación negativa de beta para esta misma condición.

Wanzeng (2015), en el trabajo titulado “Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network”, desarrolla una investigación sobre los factores que afectan al conductor y pueden causar accidentes viales, los cuales se enfocaron en los estados de alerta por cansancio y de somnolencia, siendo evaluados con un sistema de EEG para conocer el comportamiento de las ondas cerebrales. Se evaluaron doce jóvenes sanos, con una simulación de manejo en base a video juego Need For Speed, la evaluación consistía en conducir con controles básicos de volante y pedales en un simulador estando atentos a una X que aparecía en una pantalla contigua, para lo cual al aparecer debían apretar unos botones que se les proporcionaba, siendo que el

nivel de velocidad de respuesta que presentaban nos muestra el estado de cansancio presente. Los resultados fueron evaluados con el método de causalidad de Granger, para conocer qué ocurre con las redes del cerebro en momentos de sueño. Los resultados que se obtuvieron mostraron que el cansancio reduce la capacidad del cerebro para manejar la información, reduciendo la eficiencia de la velocidad con que se transfieren las señales, ya que el porcentaje de nodos no conectados mostro un aumento en las bandas delta, theta y Alpha y se redujo en beta.

Shouhui (2018), realizó una investigación titulada “Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road Traffic System Considering Synchronization of Neural Activity”, tal trabajo busca conocer el impacto del tráfico de las ciudades y el cansancio por conducir durante cierto tiempo en una persona, la cual se estudió con un dispositivo de Emotiv de 14 canales para analizar las señales de EEG, estas pruebas se realizaron a conductores de entre 38 y 42 años, que debieron conducir de manera real en una ruta establecida de 165 km en las carreteras de China. Los resultados obtenidos mostraron que, al aumentar el tiempo de conducción, el espectro de potencia relativa de Theta aumento gradualmente, mientras que la de Beta disminuyó, siendo que el indicador de la fatiga de la red cerebral presenta un mayor nivel de carga por el cansancio adquirido al manejar.



## **2.2. Definición del Problema**

La fatiga es una condición del ser humano que reduce su habilidad de realizar una actividad con efectividad. La fatiga cognitiva también conocida como fatiga mental es una preocupación social debido a que ocasiona que las personas produzcan errores, así como, bajo desempeño en las actividades que tiene que realizar diariamente, que repercute en una baja eficiencia.

La fatiga cognitiva es producida en las personas por el trabajo monótono y producido en largos periodos de tiempo, lo que produce un deterioro en su rendimiento (Fithriyyah et al, 2019). Actualmente, en la revisión de literatura no se encontraron investigaciones sobre cómo detectar la fatiga a través de un EEG en los automovilistas en nuestro país (México).

La fatiga en los conductores ocasiona problemas como falta de cumplimiento de los reglamentos de tránsito, como consecuencia se generan accidentes viales, atropellos y en su defecto pérdidas humanas, económicas y materiales.

Por tal motivo, en esta investigación se realizará un análisis neuroergonómico para medir la actividad eléctrica que se produce durante una simulación de manejo, con el fin de encontrar que ondas cerebrales se activan durante un período de 30 minutos manejando en un área de tráfico ligero y pesado. De manera similar, se analizará el comportamiento de las ondas cerebrales al momento de producirse un accidente vial.

## **2.3. Objetivo**

### **2.3.1. Objetivo General**

Determinar el comportamiento de las ondas cerebrales Delta, Theta, Alpha, Beta y Gamma, en automovilistas mediante un simulador (City Car Driving) al manejar un automóvil bajo las condiciones de tráfico ligero y pesado.

## **2.4. Preguntas de Investigación**

1.- ¿Cómo determinar la presencia de fatiga a través de las ondas cerebrales en la prueba de manejo de tráfico ligero contra pesado?

2.- ¿Qué cambios existen en las ondas cerebrales al momento de producirse un accidente vial?

## **2.5. Hipótesis**

H<sub>1</sub>: Mediante las ondas cerebrales Theta, Alpha, Beta y Gamma se determinará la presencia de la fatiga de un automovilista en tráfico ligero y pesado.

H<sub>2</sub>: Mediante la conducción de un automóvil se identificarán los cambios en las ondas cerebrales Theta, Alpha, Beta y Gamma en un accidente vial.

## **2.6. Justificación**

El estudio está basado en conocer el comportamiento de las ondas cerebrales en los conductores o automovilistas, ya que en la revisión de literatura (Artículos y publicaciones) a nuestro alcance no se encontraron investigaciones mexicanas, por tal

razón tendrá un mayor impacto en nuestra entidad y coadyuvará en el área logística del transporte y automovilismo para la prevención de accidentes.

Así también el estudio puede ayudar a la innovación tecnológica en el sentido del transporte de cargas y personal, siendo que auxiliará a la integración de los nuevos vehículos inteligentes, donde se dará apertura al posible desarrollo de sistemas que evalúen la condición del conductor mediante un aparato EEG o similar, que permita medir el comportamiento de las ondas cerebrales de la persona.

## **2.7. Delimitación**

Dentro de las delimitaciones que se tiene para el estudio, se establece que se realizará simulaciones en periodos de 30 minutos, además de esto tendrá restricciones respecto al tráfico ligero, donde la programación de la simulación es con 40% de nivel de tráfico, conducta no-agresiva de los vehículos y nivel de flujo peatonal de 40%, correspondiente a un flujo libre sobre las vialidades, y conforme al tráfico pesado se establecen variables de 100% de nivel de tráfico, conducta agresiva de los vehículos y 100% de flujo peatonal, siendo una saturación de las vialidades.

Para el espacio del estudio se debe respetar la reglamentación de tránsito, así mismo se utiliza un mismo tipo de vehículo y condiciones climatológicas, para evitar la variabilidad de los resultados utilizando el simulador City Car Driving. El estudio se realizará utilizando el equipo Emotiv Insight (EMOTIV, 2022) y el software Emotiv Pro para detección de las ondas cerebrales.

Para seleccionar la muestra de los conductores para la investigación, se seleccionarán aquellos que cumplan con condiciones similares tanto de salud, de cansancio laboral y de capacidad de conducción, estableciéndose un rango de edad y sexo de los participantes.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1. Ergonomía**

#### **3.1.1. Definición**

Según Saravia (2006), la ergonomía es la comprensión de la interacción entre los seres vivos y los elementos de los sistemas respecto a su orientación y aplicación de hombre-máquina, modelo de trabajo, relación de los elementos participantes y el análisis correspondiente a la relación entre las partes, siendo así que se persiga un enfoque común que permita desarrollar los procesos de manera equilibrada y completa. Además de mencionar que permite establecer un sistema ergonómico compuesto por el elemento humano, máquina/objeto y espacio físico, relacionados estrechamente entre sí e interactuando para desarrollar tareas en un ambiente sensorial, racional o laboral.

Respecto a lo que nos puede comentar Mimeza (2009), se establece que son aquellos conocimientos que ayudan a adecuar los productos, sistemas, entornos y características de los empleados para ver sobre la seguridad, bienestar y eficacia del empleado, valorando las características de los trabajadores y productos, así como realizar los cambios necesarios para optimizar los procesos e incrementar la calidad de vida para mejorar la productividad.

#### **3.1.2. Tipos de Ergonomía**

Mimeza (2019) nos dice que existen cuatro tipos de ergonomía que se deben analizar principalmente dentro de los aspectos de persona, producto y entorno; el primer tipo de ergonomía que se menciona es la física, la cual adecua el entorno en razón del trabajador, su postura y los espacios de trabajo para facilitar el desempeño del trabajador; la segunda es la cognitiva, la cual muestra un enfoque en las capacidades y necesidades

psicológicas del personal, siendo así la gestión del estrés y la forma de reducirlos, en cuanto a las cargas laborales y el impacto emocional; la tercera es la organizacional la cual está enfocada a la relación entre el personal y su institución de trabajo, refiriendo a la gestión del recurso humano y la comunicación dentro de la empresa; y la cuarta es la ergonomía ambiental la cual analiza y asigna espacios de trabajo, donde el efecto del ruido, luminosidad y temperatura no afecten al trabajador.

### **3.1.3. Neuro Ergonomía**

Para Correa (2018), la neuro ergonomía es una rama de la ergonomía cognitiva, la cual trabaja sobre el impacto psicológico del trabajador, ya sean las emociones, percepción y nivel de atención; siendo uno de los principales enfoques, la vigilancia sobre la fatiga mental, el sueño, ritmo cardíaco, estrés, multitareas y carga mental en el trabajo, lo cual puede inducir al error humano; en la neuro ergonomía se busca registrar las diversas variables de la actividad del sistema nervioso central y la estimulación cerebral.

El desarrollo de esta ciencia, permite utilizar los conocimientos sobre el cerebro para mejorar la interacción del trabajador y el sistema en el que se desarrolla, permitiendo ser evaluado con aparatos de interface cerebro-computadora, para detectar y predecir estados psicológicos específicos que afecten el desempeño en las actividades del empleado.

### **3.1.4. Estrés**

Siendo así que en el caso de Correa (2018), se menciona al estrés como parte del funcionamiento neuronal de las personas, con un enfoque de percepción similar al cansancio, en el que sus efectos conllevan un impacto en el nivel de atención de la persona, sea en un ambiente social, laboral o personal, donde el desarrollo de sus actividades y procesos cognitivos se ven afectados, por un estado de deficiencia

psicológica y emocional, lo cual se puede expresar como un deterioro del nivel de reacción de la persona a un nivel mental y que dependiendo de las situaciones presenta un efecto sobre las capacidades físicas por defecto.

El estrés se considera como parte de la influencia del entorno en la persona, siendo así que las exigencias sobre pasan las capacidades establecidas y afectan la percepción del individuo; siendo así no se puede decir que sea una enfermedad, sino una vulnerabilidad del estado cognitivo asociado, esto es referido a la neuro ergonomía conforme a Llana (2007).

## **3.2. Electroencefalograma**

### **3.2.1. Definición**

Para algunos autores es complicado explicar que es un encefalograma, pero como parte de la interpretación de Correa (2018), en su descripción de la neuro ergonomía, también nos presenta el Electroencefalograma (EEG) como parte de una técnica que permite medir los cambios en la actividad eléctrica neuronal del cerebro.

En razón de complementar el conocimiento existente, Maureira (2017) nos menciona que el EEG es un sistema que nos permite registrar la actividad eléctrica de la corteza cerebral mediante electrodos, con lo cual se generaran señales de frecuencia que permiten analizar las ondas cerebrales y reconocer patrones de comportamiento o de características generadas por estímulos específicos. El EEG permite analizar gráficos de onda para estados de relajación, actividad, percepción o nivel de sueño.

### **3.2.2. Medición de EEG**

Mediante el uso de electrodos colocados en el cuero cabelludo de una manera no invasiva o de un método más complejo de colocación de electrodos directamente a la

corteza cerebral se evalúa el EEG, así como menciona Nogales (2005); de esta manera las ondas cerebrales generadas por la corriente de la actividad neuronal se muestra en gráficos que muestran la amplitud de onda en Hertz, en base a un tiempo y frecuencia establecida; respectivamente de los niveles medios reconocidos, cualquier cambio en el patrón de onda genera una evaluación con respecto a una característica o estimulación específica, generando de esta manera ondas perceptibles sea Alpha, Beta, Theta, Delta o Gamma.

Para Maureira (2017), reconoce la forma de medición del EEG como bandas de onda específicas, en las cuales se visualiza a Alpha como un estado de relajación con ojos cerrados, las ondas Beta corresponden a un estado de actividad intelectual, las Gamma a un estado de percepción psicológica, las Theta a un estado de sueño ligero y las Delta a un estado de sueño profundo, para tales fines se considera el estudio y conocimiento de la capacidad característica del cerebro humano.

### **3.2.3. Analysis RG (Relative Gamma Power)**

Para Minguillon (2016), el análisis de potencia relativa de la onda Gamma, es un modelo que puede representar la aparición del estrés en las ondas cerebrales de las personas en el área prefrontal del cerebro, siendo la representación de un valor de potencia que este por fuera de los valores normales de la onda, los cuales son de 25-45 Hz y que varían entre 4-13 Hz.

Así como de igual manera Lutz (2004), presenta que este modelo de potencia relativa de la onda Gamma, es una oscilación del ritmo de la onda prefrontales conforme a su línea base, bajo una comparativa del ritmo más alto encontrado dentro de la onda, el valor base de 25-45 Hz y el ritmo en un estado de meditación, dando a entender que el cambio de los valores es el punto de comparativa para la aparición de un estado de actividad anormal.

### **3.3. Equipo de Electroencefalograma (EEG)**

#### **3.3.1. Definición**

Define García (2017), que los equipos son máquinas dotadas de pequeños sensores que detectan la actividad cerebral cuando hay una actividad neuronal, mostrando el área que se activa y la intensidad con que se presenta, lo cual nos puede mostrar las reacciones de los participantes a las pruebas propuestas; así mismo el equipo de EEG consta de un casco, gorra o electrodos separados que se colocan en la cabeza, y que manda la señal a un aparato o sistema específico para resguardo de los resultados obtenidos, facilitando la presentación de estadísticos y gráficos.

#### **3.3.2. Tipos de Equipos**

Los equipos de EEG se dividen dependiendo del costo y calidad del servicio que pueden proporcionar, según González (2019) en el Portal de NeuroMarketing se presenta un listado de los equipos existentes, algunos de estos son:

- NeuroSky (1 Canal).- Es un biosensor que permite un análisis preciso, portátil y con filtro de ruidos, que recopila la información con biosensores que traducen las señales eléctricas en actividad cerebral. (González, 2019)
- Muse (2 canales).- Es un dispositivo que detecta la actividad cerebral en un estado pasivo, y lo traduce a sonidos que relajan la mente auxiliando a mantener la calma y concentración de la persona, es un dispositivo compatible con aparatos móviles (González, 2019).
- Emotiv (5 a 14 canales).- Equipo con grado de neuro tecnología, este facilita el uso en el ámbito de neurociencia y neuromarketing, permitiendo funciones de investigación del comportamiento neuronal y la posibilidad de control tecnológico por medio de la capacidad mental (González, 2019).



- OpenBCI (8 a 16 canales). - Equipo e interface de fuente abierta, que sirve como herramienta para probar la actividad eléctrica del cuerpo, mediante un sistema de biosensores para muestreo de actividad cerebral, muscular, frecuencia cardíaca y representación de los movimientos corporales, generando gráficos 3D y grabaciones de grado de investigación (González, 2019).

### 3.3.3. Emotiv Epoc

El Emotiv Epoc es un equipo que permite evaluar las ondas cerebrales de manera fácil y comprensible para cualquier persona, debido a su facilidad de programación personalizada hacia cada usuario, entregando resultados de grado profesional; permitiendo a quien lo utilice adquirir datos de manera que puedan analizar el flujo de información y su movimiento visualmente, para conocer los métricos, y la calidad de la información; además a lo ya mencionado, el aparato permite marcar eventos a un tiempo definido con antelación o después de realizar la prueba seleccionada a un evento preciso dentro de los datos obtenidos, para así permitir analizar los datos correspondientes a las especificaciones dadas por la persona que programa el análisis, delimitando los requerimientos necesarios y características específicas, así lo describe la presentación del producto en la página referente a Emotiv (2019).



Figura 3.1. Casco Emotiv Epoc (EMOTIV, 2022, <https://www.Emotiv.com/epoc/>)

### 3.3.4. Sistema de Posicionamiento 10-20

Para Figueroa (2016), presenta el sistema de posicionamiento 10-20, como un estándar internacional de la ubicación de los electrodos en el cráneo para las mediciones con Electroencefalograma, dicho sistema es normado por el FISE (Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía). Dicha disposición nos expresa que los electrodos deben estar separados entre sí, en una distancia de un 10 a 20% del total del área del cerebro, sea frontal, trasera y laterales; así bien se les asigna una letra para su identificación y un número al hemisferio en el que se encuentra.

Tabla 1. Identificación del Electrodo Según su Posición (Figueroa, 2016)

Identificador del Electrodo	Lóbulo
F	Frontal
T	Temporal
C	Central
P	Parietal
O	Occipital

Los electrodos se posicionan anatómicamente respecto a 4 puntos bases; el primero que es el nasion, correspondiente al área del hueso frontal y los huesos de la nariz, el segundo es inion, correspondiente al punto inferior trasero del cráneo en el área occipital, el tercero y cuarto están ubicados en los puntos pre auriculares detrás de los oídos. Con la evolución del tiempo paso de un diseño para 21 electrodos a un modelo de 300 localizaciones que paso a ser el nuevo modelo 10-20 extendido.

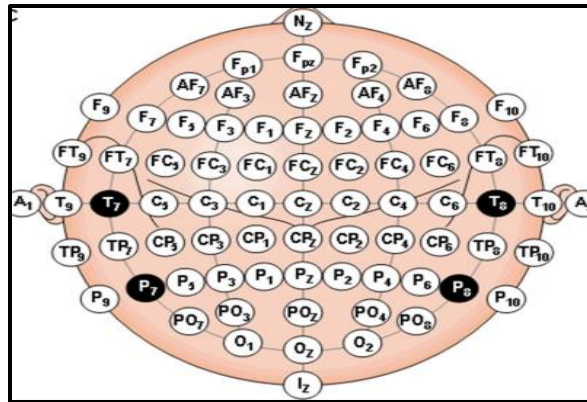


Figura 3.2 Posición de los Electrodo en el Sistema 10-20 Extendido (Figuroa, 2016)

### 3.3.5. Emotiv Insight

El dispositivo Insight, se compone de cinco canales para la evaluación de las ondas cerebrales (AF3, AF4, T7, T8, Pz), los cuales permiten medir el estrés, la excitación, el nivel de compromiso, relajación, interés y concentración de los participantes, en conjunto con la identificación de movimientos corporales como lo son el parpadear, guiñar, fruncir el ceño o sonreír.

A diferencia del dispositivo EPOC, el diseño del dispositivo INSIGHT es considerado más práctico, ligero y fácil de utilizar para obtener una señal más limpia y robusta que permita un análisis más simple de los datos.



Figura 3.3 Casco Emotiv Insight (EMOTIV, 2022)

## **3.4. Software de Simulación**

### **3.4.1. Definición**

Dentro de las necesidades de facilitar las evaluaciones de algunos aspectos o actividades se desarrollaron los software de simulación, los cuales permitieron a las personas, empresas y asociaciones poder evaluar y entrenar a las personas en ciertas actividades, esto de manera que ya no requerían llevarlos a un lugar específico o maquinaria específica para el proceso, con los sistemas de simulación les permitió reproducir esos procesos digitalmente y se evitaran problemas al momento de enseñar diversas tarea, tal sea el caso de simuladores de manejo de vehículos, aviones, camiones o si bien simuladores de operaciones de una línea de trabajo (Pinsach, 2006).

Según el portal del Instituto Tecnológico de Castilla y León (2019), el transporte es un área en donde la simulación se ha convertido en una herramienta importante, auxiliando en la funcionalidad del manejo de los vehículos y la aplicación en la formación de los conductores en situaciones complejas de manejo.

### **3.4.2. Función del Software de Simulación**

Los software de simulación permiten conocer el nivel de respuesta de las personas o procesos a determinadas situaciones, evitando poner en riesgo a los posibles participantes, siendo asociado al termino ensayo, ya que permite probar o ejemplificar tareas a desarrollar de manera específica en sistemas digitales e informáticos, aplicando programas que recreen procesos reales o hipotéticos para validar la capacidad del comportamiento humano, según el Pinsach (2006).

Para Ryan (2004) la función de un software de simulación es reproducir situaciones del entorno real conforme a reproducciones programadas, que se sustentan a sí mismas por un sistema virtual, que plantea imitar a la realidad para entrenar a la persona en aspectos diarios o bien crear un entretenimiento para la persona, permitiéndole realizar acciones que en la normalidad de su vida diaria no podrían realizar.

### **3.4.3. Tipos de Software**

Según describe el Instituto Tecnológico de Castilla y León (2019), los simuladores existentes se dividen en dos tipos, aquellos que ejemplifican un sistema real conforme a diversas variables que pueden simular, y el segundo tipo que son aquellos procesos simples basados únicamente en mostrar actividades básicas, siendo así que se mencionan sectores donde se da uso de estos, como lo son las áreas de aeronáutica, aeroespacial, medicina, transporte, industria y el ámbito militar. Así bien también nos menciona la realidad aumentada como la nueva tendencia de la simulación, enfocada a la Industria 4.0, y en la cual se plantea simular cada detalle de la vida real conforme a un proceso, tarea y operación en razón de facilitar el entrenamiento de las personas.

#### **3.4.4. Software de Simulación de Conducción de Vehículos**

En el portal de EuroTaller (2019), los simuladores de conducción permiten entrenar a los conductores mediante prácticas de manejo, para ejemplificar maniobras reales o si bien recrear alguna practica simple, esto permite la concientización del conductor a un nivel que les permita analizar las consecuencias de ciertos comportamientos al conducir, sea no acatar las reglamentaciones de tránsito o si bien incurrir en manejar siendo afectados por alguna sustancia nociva.

#### **3.4.5. Tipos de Simulador de Conducción de Vehículos**

Según Pinsach (2006), los simuladores se dividen en tres tipos, no inmersivos, parcialmente inmersivos e inmersivos. Para definir la simulación no inmersiva, se establece como una reproducción de características básicas de navegación dentro del entorno virtual con características digitales de bajo nivel de realismo, conforme a una representación en una sola pantalla, en un sentido de juego/simulador; en el caso de los simuladores parcialmente inmersivos, se plantea un simulador más complejo con respecto a un formato de digitalización con un mayor nivel de realismo y donde se pretende el uso de aditamentos o accesorios que complementen la experiencia del usuario; y por último se establece lo que es el simulador inmersivo, como un exponente de la realidad virtual, en la cual se considera que es la tecnología más cercana a la duplicación de la realidad basada en cascos y complementos estructurales similares al mundo real, esto reproduciendo factores de sonido y movimiento.

#### **3.4.6. Ventajas de los Simuladores**

Los simuladores mejoran el nivel de aprendizaje de los usuarios ya que les otorga tener una experiencia similar a la realidad, dependiendo del nivel de inmersión, siendo así que permite descubrir, explicar y ensayar situaciones nuevas que estimulan el aprendizaje

dentro de un ambiente sin riesgos y controlado, para un análisis más favorable de los estados cognitivos y las consecuencias asociadas a las decisiones de los participantes, esto según Pinsach (2006).

### **3.4.7. Limitantes de los Simuladores**

Para Ryan (2004), las limitantes de los simuladores se establecen con respecto a que tan realista es la representación de lo que se presenta, parte de dicha situación son aquellos aspectos visuales, auditivos, de tacto, de olor y de sabor que representan la realidad, en un aspecto de evolución se espera que en un futuro estos sistemas representen una realidad totalmente igual a lo que se siente en la vida real, pero tomando a cuenta que en la actualidad la limitante es que no se pueden imitar todas estas situaciones de manera concreta, siendo que la interpretación de lo que se puede reproducir es una mínima parte de lo que los sentidos pueden percibir de manera natural.

## **3.5. Software de Electroencefalograma (EEG)**

### **3.5.1. Definición**

El programa o software de EEG está basado al análisis de la actividad neuronal que se registra en la actividad eléctrica cerebral, este análisis se plasma en un electrocorticograma, el cual también permite establecer las regiones cerebrales que se identifican con las diversas señales; las señales que el EEG establece son Alpha asignada al sector occipital y temporal de la corteza, Beta en el área frontal y prerrolándica, Theta corresponde al área límbica y Delta corresponde al talamocortical, según la explicación dada del funcionamiento común de los software de EEG explica que toda la información obtenida está dada por un registro potencial sináptico y la actividad dendrítica; así como presenta Cardinali (2007).

### 3.5.2. Software Emotiv Pro

El software Emotiv Pro se considera como una herramienta para la neurociencia y la educación, esto debido a que permite ver y recolectar datos en tiempo real sobre los métricos de ondas cerebrales en pacientes, así como también permite la evaluación y limpieza de datos utilizados para estudios que requieren un alto grado de calidad, siendo esta la definición dada por Emotiv (2019).

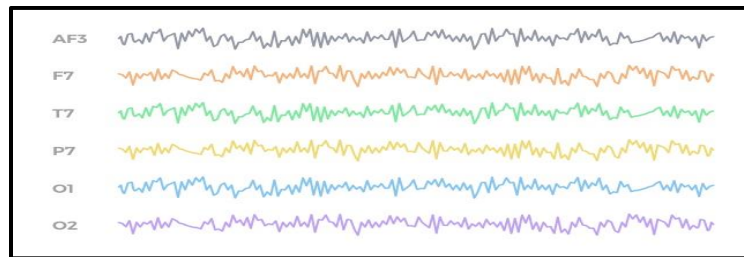


Figura 3.4 Grabación Emotiv Pro (Emotiv, 2019)

De similar manera; García (2019) nos muestra al Emotiv Pro como un sistema que permite recolectar datos sobre las ondas cerebrales de una manera más accesible para investigadores y el área de la neurociencia, es una herramienta de análisis que permite conocer las características de las diversas ondas cerebrales, de manera que se representen visualmente para una interpretación gráfica, que genere información visual y tangible para diversos estudios.

## 3.6. Software MATLAB

### 3.6.1. Definición

El MATLAB o Matrix Laboratory (MATLAB, 2022), es un software que permite el modelado, simulación, análisis, procesamiento, visualización y representación gráfica de datos, mediante un sistema matemático de algoritmos para aplicaciones en investigación, desarrollo y diseño de modelos. Es un programa computacional que



consiste de diversas aplicaciones, enfocadas en el cálculo numérico para las distintas investigaciones, también consta de matemáticas simbólicas descritas, esto según la descripción dada por Gilat (2006).

Otras aplicaciones del MATLAB es la generación de gráficos, además contiene diferentes módulos de herramientas disponibles, los cuales son una agrupación de programas desarrollados con un lenguaje específico para aplicaciones específicas como control, automatización, procesamiento de señales, etc., de acuerdo con Aranda y García (1999).

### **3.6.2. Software EEGLAB**

Para Delorme y Makeig (2003), el módulo de EEGLAB en el ambiente MATLAB, es una herramienta que dispone de diversas funciones de procesamiento de ondas cerebrales obtenidas mediante un electroencefalograma; Esta herramienta nos permite importar datos de los diversos canales y eventos obtenidos de un aparato de EEG, y de los cuales se puede reconocer información de visualización del desplazamiento de las ondas, nos permite reprocesar el rechazo de artefactos, filtrarlos, seleccionarlos y promediarlos para disipar el ruido, así como también nos permite analizar componente independiente (ICA), para de cierta forma descomponer los data en tiempo/frecuencia, con un respaldo estadístico de muestreo.

### **3.6.3. Análisis de Señales**

Para Kolb y Wishaw (2009) las señales eléctricas están relacionadas con los ritmos de las ondas cerebrales, los cuales se generan a partir del estado de la persona, sea un estado de relajación o actividad, y a cada situación está asignada una señal específica, la cual permite a los investigadores y analistas evaluar la condición específica de las ondas cerebrales, dichas ondas que son visualizadas en los análisis de EEG, nos permiten

reconocer patrones de las funciones cerebrales, ya que todas las actividades que realizamos generan señales eléctricas.

Se puede identificar las señales del EEG en cuanto a la actividad cerebral en patrones de ondas encefálicas, las cuales son: Beta se identifica como el estado de alerta y vigilia de las personas, el ritmo Alpha, está asociado con la relajación de las personas en un estado de sueño con los ojos cerrados, la onda Theta, se asocia con un estado de cansancio y somnolencia, la onda Delta se presenta en un estado de sueño o de cansancio severo, por último, la onda gamma se representa como un estado de inhibición del cerebro

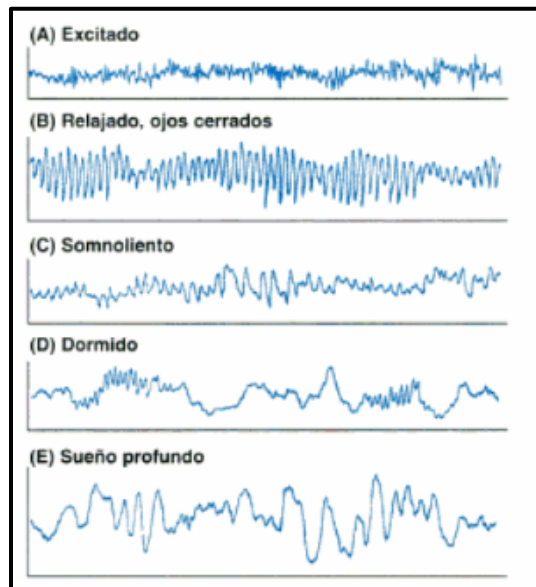


Figura 3.5 Señales Neuronales Correspondientes al EEG (Kolb y Whishaw, 2009)

También podemos encontrar que las señales, es la medición de la actividad eléctrica de las neuronas en la corteza cerebral, en las diversas regiones del cerebro, dependiendo de la actividad que se realice; para tales fines se generan diferentes tipos de onda, sea Alpha (8-12 Hertz) las señales dadas en un estado de relajación con ojos cerrados al estar despiertos, así también Beta (13-30 Hz) como un estado de análisis y percepción al estar despierto, siendo Gamma ( $\geq 30$  Hz) un estado consciente estando despierto, Theta (3.5-7.5 Hz) como una etapa de sueño ligero al estar despierto, Delta (1-

3 Hz) al estar en un estado de Sueño profundo. Es así que las diversas ondas son asignadas a diversas regiones del cerebro, donde presentan una mayor actividad y permiten su representación gráfica, esto según la interpretación de Cid (2008).

#### 3.6.3.1. Señal Delta

Para Figueroa (2016), la señal delta es conocida como la onda del sueño, ya que esta aparece cuando la persona se encuentra dormida, y su rango de oscilación se divide entre 0.5 y 3.5 Hz.

#### 3.6.3.2. Señal Theta

De similar manera Figueroa (2016), nos define a theta como una onda con un alto nivel de actividad, la cual puede representar el estrés en niños y adultos, siendo que se representa en el lóbulo temporal con valores entre 4 y 8 Hz.

#### 3.6.3.3. Señal Alpha

Figueroa (2016), nos describe Alpha como la onda en la cual se está en un estado de relajación, donde se tiene poca actividad mental, y se atenúa cuando se inicia alguna actividad mental; su frecuencia se distingue por estar entre los valores de 8 y 14 Hz, y se presenta en la región occipital del cerebro.

#### 3.6.3.4. Señal Beta

Esta onda se presenta con mayor intensidad, cuando se realizan movimientos musculares o bien cuando se presenta un estado de concentración, su frecuencia se encuentra en el rango de 14 a 26 Hz, y se puede presentar en el área frontal y central del cerebro, esto según la descripción de Figueroa (2016).

#### 3.6.3.5. Señal Gamma

Esta señal se presenta en un estado de actividad cerebral intensa, la cual presenta una frecuencia alta, siendo valores mayores a 30 Hz, y tiene una amplitud baja, la cual nos presenta Figueroa (2016).

### **3.6.4. Análisis de Componentes Independientes (ICA)**

El Análisis de Componentes Independientes (Independent Component Analysis por sus siglas en inglés ICA), según Carrión, Rieta y Ródenas (2007), es un método que permite dividir los datos en las diversas señales correspondientes a cada canal respecto a su potencia en Hertz (Hz), permitiendo de tal manera observar los datos por separado de manera independiente. Lo cual permitirá utilizar las propiedades estadísticas de la muestra para estudiar las muestras.

Benítez, Escudero, Kanaann y Rodó (2014), nos explican que el análisis ICA, es un método de análisis útil, debido a que toma una muestra y la descompone en los diversos componentes y valores estadísticos independientes, permitiendo encontrar tendencias en la información, que anteriormente no se podían visualizar por que las señales se encontraban mezcladas.

### **3.6.5. Limpieza de Ruido**

Definiendo según Figueroa (2016), se expresa que la limpieza del ruido se establece en base a los requerimientos y características del estudio, el presentarse un valor fuera del parámetro o rango, y esto consta de un pre procesamiento el cual nos ayuda a analizar los datos obtenidos, para seleccionar la información requerida y eliminar aquello que no es de relevancia o genera interferencia en los datos, para tales casos se busca que la limpieza de ruido nos elimine elementos de mala calidad, extremos o innecesarios para el caso de estudio.

La limpieza de ruido puede desarrollarse conforme a diversos softwares, que auxilian en el análisis de los datos, eliminándose información de mala calidad o dudosa, y obteniéndose una media del valor que pueda representar las características necesarias para analizar los datos y así poder obtener un resultado significativo.

### **3.6.6. Técnica de Eliminación de Artefactos en el Electroencefalograma (“Artifact Subspace Reconstruction ASR”)**

El ASR es un creador de algoritmos, el cual permite limpiar picos y perturbaciones mediante la comparación de una muestra, siendo que aquellos datos que se encuentran con una perturbación o ruido son eliminados y normalizados conforme a lo obtenido de la muestra completa; esto permite la reconstrucción de la señal, esto conforme a lo expresado por Cibrián (2018).

Así también se nos dice conforme a Longo y Chiara (2019), que el ASR es un sistema que nos permite limpiar las ondas o señales cerebrales obtenidas con el EEG, esto debido a que pueden encontrar los artefactos que generan ruido y los descompone, de manera que elimina la señal defectuosa, que puede ser generada por movimientos en los ojos, movimientos de la cabeza, movimientos musculares, el masticar o el simple hecho de hablar.

## **3.7. Tráfico**

### **3.7.1. Definición**

El autor Bull (2003), reconoce al tráfico vehicular como el nivel de saturación de las avenidas y calles de una zona con diversos tipos de transporte que se movilizan sobre las mismas, define al tráfico como la movilización de los autotransportes a diversas escalas generando una saturación o congestión en los pasos establecidos para los vehículos. También nos señala que la generación de tráfico se da por la necesidad que tiene el humano por moverse entre diversos puntos y que, por el crecimiento poblacional, más la saturación y expansión de las ciudades ha generado un aumento mayor a los niveles de tráfico.

### **3.7.2. Tipos de Tráfico Vial**

En tal caso Bull (2003), expresa que existe el tráfico como tal, y no diversos tipos, siendo que este se genera de manera natural en cuanto existe la presencia de vehículos en circulación, y es que el expresa como tráfico el inicio de una saturación de las calles, avenidas y espacio disponibles para la movilización de los transportes, no necesariamente es una definición de un grado o nivel de movimiento existente.

Para Aporte y Moreno (2017), los tipos de tráfico se traducen en dos modelos establecidos, los cuales son hora pico, que conste de un alto grado de congestionamiento en las avenidas donde circulan los vehículos en un lugar a cierta hora establecida del día; y la hora de flujo libre, que es aquella distinguida por su bajo nivel de tránsito vehicular, en el cual los viadores tienen total libertad de movilidad por las diversas avenidas.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Dentro de este capítulo se presenta la metodología y planeación establecida para la investigación, con la cual se obtendrán los datos referentes al nivel de fatiga generado en los conductores con diversos niveles de tráfico, así como el análisis al cual serán sometidos para comprobar la hipótesis de investigación establecida.

### **4.1. Tipo de Investigación**

Respecto a la clasificación establecida por Sampieri (2010), podemos establecer que la investigación se describe de la siguiente manera.

El estudio es considerado del tipo explicativo, debido a que se pretende responder al evento reconocido como estrés al volante, en relación de recolectar información y explicar las causas de esta situación, conforme a condiciones neuronales relacionadas con las ondas cerebrales presentes en el momento del suceso, relacionando dos variables a las que se somete la persona al conducir, las cuales son circular con tráfico pesado y tráfico ligero.

Así también se cuenta con un grado de estudio correlacional, al evaluar dos tipos de variable, las cuales se pretende establecer el nivel de asociación entre el estrés al conducir y los niveles de tráfico a los cuales se someterá a prueba a los individuos, en relación de cuantificar los valores obtenidos de las ondas cerebrales y vincularlos con el resultado esperado.

## 4.2. Materiales

Los materiales que se mencionaran a continuación, son aquellos que fueron seleccionados para ser utilizados en las diversas pruebas, así mismo se realiza una descripción breve de sus características y funcionalidad para el desarrollo del proyecto.

### 4.2.1. Dispositivo Emotiv Insight

Sistema de recolección de datos EEG, de menor rango de canales que un dispositivo EPOC, permite recolectar datos de ondas cerebrales con métricas de estrés, compromiso, interés, relajación, concentración y excitación, así como bandas de frecuencia, el cual se presenta en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Casco Emotiv Insight (EMOTIV, 2022)

### 4.2.2. Software Emotiv Pro

El software de recopilación de información, el cual se adquiere mediante la renta de programa, dicho software nos permite recolectar los datos obtenidos por el dispositivo Emotiv EPOC, para su análisis e interpretación, así como se muestra en la Figura 4.2.



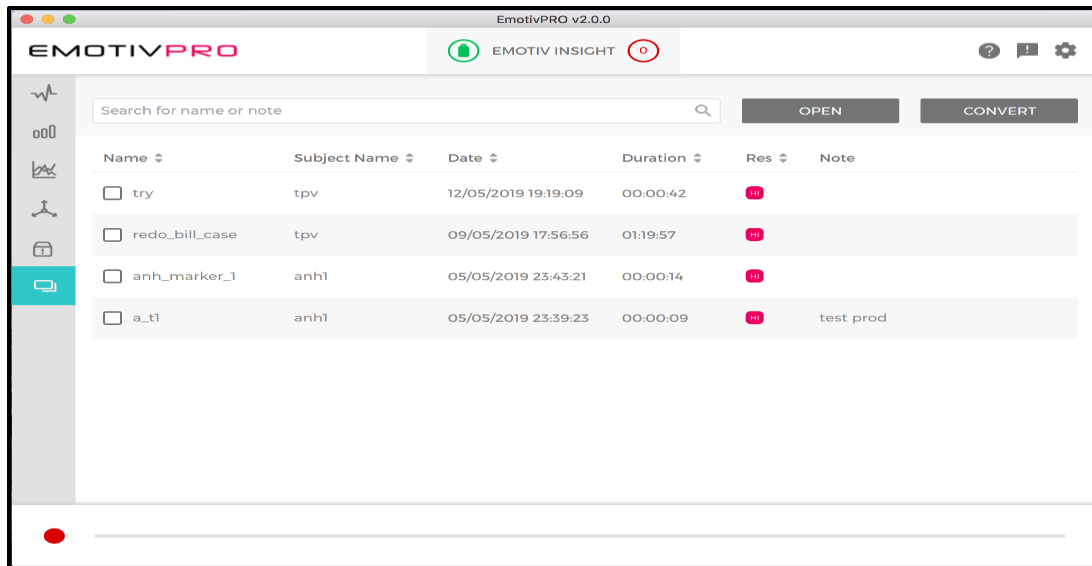


Figura 4.2 Software Emotiv Pro (EMOTIV, 2019)

### 4.2.3. Estructura de Simulador de Manejo de Vehículos

La estructura metálica que asemeja la cabina de un vehículo, la cual incluye un asiento, bases para colocar las pantallas y bases para los controladores que serán utilizados, así como se muestra en la Figura 4.3.



Figura 4.3 Estructura del Simulador de Manejo (Guzo, 2019)

#### **4.2.4. Controladores para Simulador**

El controlador se conforma por un kit que incluye un volante, los pedales y la palanca de cambios que asemejan a los de un vehículo, los cuales son compatibles con consola de video juegos o sistemas de PC, también se le conoce como kit Logitech G29, los cuales pueden observarse en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Kit Logitech G29 (Guzo, 2019)

#### **4.2.5. Pantallas Atvio 32” Pulgadas LED**

Las pantallas utilizadas son de 32” marca Atvio, debido a que crean un mayor nivel realismo por el nivel de resolución que puede generarse, se utilizaran tres pantallas en la simulación.

#### **4.2.6. Computadora Dell Precision M4800**

Para poder utilizar los softwares de simulación de manejo requeridos, se necesita una computadora con la suficiente capacidad para cumplir con los diversos requerimientos de sistema del simulador de manejo, para lo cual se utilizará una computadora Dell Precision M4800.

Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Equipo de Cómputo Dell Precision M4800

Sistema	Gráficos
Procesador: Intel ® Core ™ i7-4800MQ CPU @ 2.70GHz RAM: 8.00 GB Memoria: 8192MB Tipo de Sistema: Windows 10 Pro 64-bits Audio: DirectX 12	Intel ® HD Graphics 4600 – Memoria aproximada: 2160MB – Memoria pantalla: 112MB – Memoria Compartida: – Pantalla: 1920x1080 AMD Radeon R9 M200X Series – Memoria aproximada: 6076MB – Memoria pantalla: 2027MB – Memoria compartida: 4048MB

#### 4.2.7. Simulador de Manejo en Ciudad (City Car Driving)

El simulador digital de manejo permite reproducir las condiciones de manejo de un vehículo sea una ruta, el tipo de tráfico, el ambiente y el vehículo deseado; se puede observar en la Figura 4.5 la imagen de dicho software.

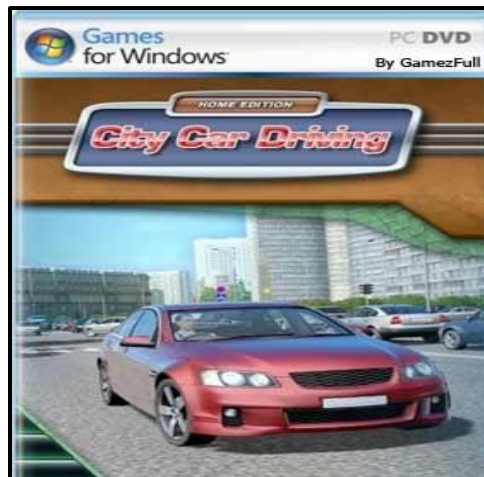


Figura 4.5 Simulador de Manejo City Car Driving para Computadora. (City Car Driving, 2019)

De similar forma debe presentar los requerimientos mínimos de Sistema que se puedan utilizar en la computadora disponible para reproducir el simulador.

Tabla 3. Requisitos del Sistema del Simulador de Manejo City Car Driving. (City Car Driving, 2019)

Mínimo	Recomendado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SO: Windows 7 SP1 / 8 / 8.1 / 10 (64 Bit)</li> <li>• Procesador: Intel Pentium Dual Core 3.2 GHz / AMD Athlon II X4 3.1 GHz</li> <li>• Memoria: 4 GB de RAM</li> <li>• Gráficos: AMD Radeon R7 240 / nVidia GeForce GT 740</li> <li>• DirectX: Versión 11</li> <li>• Almacenamiento: 10 GB de espacio disponible</li> <li>• Tarjeta de sonido: Cualquier carta acústica compatible con DirectX</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SO: Windows 7 SP1 / 8 / 8.1 / 10 (64 Bit)</li> <li>• Procesador: Intel Core i3 3.2 GHz / AMD FX 4xxx 3.6 GHz</li> <li>• Memoria: 8 GB de RAM</li> <li>• Gráficos: AMD Radeon R7 250X / nVidia GeForce GTX 750</li> <li>• DirectX: Versión 11</li> <li>• Almacenamiento: 10 GB de espacio disponible</li> <li>• Tarjeta de sonido: Cualquier carta acústica compatible con DirectX</li> </ul>

### 4.3. Metodología

Dentro de esta sección se establecerá como se desarrollará el muestreo y análisis de los datos de la investigación por medio de la medición de las ondas cerebrales en la simulación de manejo en los diversos participantes. Como se muestra el diagrama en la Figura 4.6.

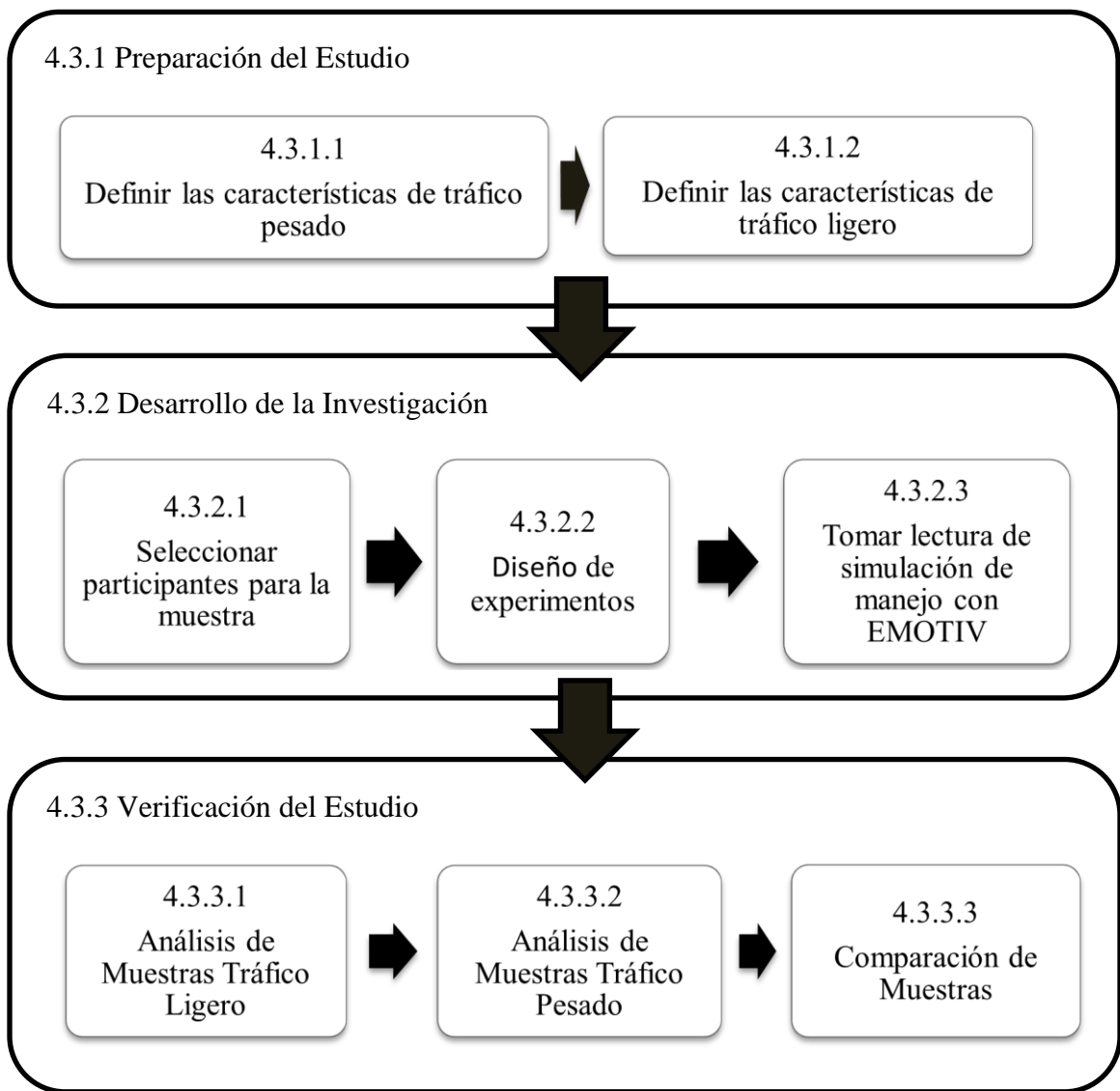


Figura 4.6 Diagrama de la Metodología

### **4.3.1. Preparación del Estudio**

Antes de dar comienzo con el estudio y la captura de datos, se deben establecer ciertos factores y criterios deseados para el experimento, ya sea el tipo de participantes a considerar, el tiempo deseado de estudio, las consideraciones de simulación y los requerimientos de equipo para el proceso de experimentación.

#### **4.3.1.1. Definir las características de tráfico pesado**

Respecto al desarrollo del proyecto, se deberá conocer el panorama existente las rutas de tráfico en horarios con alto nivel de tráfico, reconociendo los parámetros que definen la característica de movilidad, así también los factores claves de reproducción para establecer una simulación dentro de un software, en razón de poder reproducir los parámetros de estrés.

#### **4.3.1.2. Definir las características de tráfico ligero**

Para fines comparativos del proyecto, se debe definir de similar manera lo que es el tráfico ligero y como se identifica las características específicas, para poder establecer un punto de análisis que nos permita comparar valores para establecer algún cambio de comportamiento en los participantes.

### **4.3.2. Desarrollo de la Investigación**

Dentro del proceso de obtención de datos, se requiere de un desarrollo metodológico para la selección de los participantes del estudio, el desarrollo de la planeación y división de las actividades, para así desarrollar el estudio y generar valores resultantes del proceso de obtención de datos en base a un software especializado con herramientas para la interpretación de las ondas cerebrales.

#### **4.3.2.1. Seleccionar participantes para la muestra**

De la posible población de participantes se seleccionarán aquellos que cumplan con parámetros similares, siendo que tengan una edad entre los 19 y 25 años de edad

cumplidos, que no cuenten con adicciones frecuentes, como lo son el fumar, consumir de drogas o algún estupefaciente y contar con más de 48 horas sin el consumo de alcohol, además de estas se debe tener en cuenta que los participantes deben contar con licencia de conducir, así también de preferencia no tener problemas de vista y manejar vehículos automáticos, esto en razón de tener similares condiciones entre los participantes, reduciendo cualquier tipo de variabilidad en el estudio.

Se seleccionarán alrededor de seis participantes que cumplan con los requerimientos para la prueba; las personas de esta selección participarán en una etapa de adaptación y entrenamiento sobre el uso del simulador.

#### **4.3.2.2. Diseño de experimentos**

El experimento debe contar con repetibilidad, por lo cual las pruebas se realizarán tres veces a cada participante sorteados de manera aleatoria, para participar en horarios diversos correspondientes al tipo de prueba que les tocara, sea simulación con tráfico vehicular pesado o ligero, además de contar con tiempos similares preestablecidos para anticipar cualquier eventualidad en el experimento, sea algún fallo o problema técnico con los equipos de simulación establecidos.

El experimento se llevará a cabo en días laborales de la semana (lunes a viernes), correspondiente a la necesidad de avance y en la cual los participantes se deberán ir alternando conforme a la selección aleatoria establecida.

#### **4.3.2.3. Tomar lectura de simulación de manejo con EMOTIV**

Las lecturas sobre la simulación de manejo tomaran alrededor de treinta minutos, respectivamente al tiempo que se tarda aproximadamente una persona en circular de un punto A al punto B dentro de una ciudad, como media promedio; siendo así también que la persona solo soporta este tiempo con el aparato de Emotiv puesto, debido a que puede presentar dolor y lo que se traduce como ruido en los resultados dados por el software.

La lectura con el software Emotiv Pro y el dispositivo Emotiv Insight se tomará a partir que el participante inicie la conducción establecida en el simulador de manejo City

Car Driving, en el cual deberá de cumplir con los caracteres de una buena conducción según lo exigen las normas de tránsito locales, los resultados del comportamiento de las ondas cerebrales que presente la persona conforme ante ciertos retos de tráfico sea un nivel pesado o ligero nos generará los datos de variabilidad en las ondas cerebrales, los cuales se compararan y analizaran posteriormente.

### **4.3.3. Verificación del Estudio**

Para esta sección se estableció que se utilizarían métodos de validación para la información, conforme a los requerimientos establecidos en la hipótesis al inicio del presente proyecto, para tales fines se evaluará los datos obtenidos del software Emotiv Pro, conforme a los gráficos de cambio de potencia y los de estado cognitivo generados de los diversos participantes.

#### **4.3.3.1. Análisis de Muestras Tráfico Ligero**

Se analizarán de manera independiente los datos obtenidos de las simulaciones realizadas a los diversos participantes, donde se verificará el estado de las ondas theta, alpha, beta y gamma correspondiente a los cinco canales/electrodos (AF3, AF4, T7, T8 y PZ) que registro el software durante el muestreo con tráfico ligero, se hará énfasis en el estado inicial y final del conductor, así como eventos de interés dentro de la simulación, sea chocar, atropellar a alguien, pasarse una luz roja o subirse a la banqueta.

De similar manera se observará el comportamiento del estado cognitivo, el cual también se registró mediante el software Emotiv Pro, y el cual nos mostrara si hubo cambio en los estados cognitivos, sean: nivel de compromiso (en inglés, engagement), excitación (en inglés, excitement), enfoque (en inglés, focus), interés (en inglés, interest), relajación (en inglés, relaxation) y estrés (en inglés, stress).



#### **4.3.3.2. Análisis de Muestras Tráfico Pesado**

Para el análisis de la muestra de tráfico pesado, se realizará el mismo proceso de evaluación aplicada a la muestra de tráfico ligero, donde se observará que el comportamiento de las ondas cerebrales de manera individual en un estado inicial, final y en los puntos de interés, esto para identificar qué cambios existen en las ondas cerebrales.

Este análisis está enfocado a demostrar que el aumento en las dificultades del tráfico genera un cambio en el estado emocional de los conductores o en si tiene un comportamiento diferente.

#### **4.3.3.3. Comparación de Muestras**

Finalmente, se realizará la comparación del comportamiento de las ondas cerebrales al manejar en tráfico ligero vs tráfico pesado y se identificará que ondas están más activas en cada uno de ellos.

## **5. DESARROLLO**

### **5.1. Diseño de Experimentos**

En este apartado se presentarán los pasos que se realizaron durante la recopilación de información, cómo se analizó los datos y a que conclusiones se llegaron.

Inicialmente, se debe contemplar que el experimento se realizó conforme a una muestra de estudiantes, que se analizaron de manera controlada, en un ambiente reducido, conforme a una muestra desarrollada en el laboratorio de ergonomía del área de Posgrado del Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Juárez.

#### **5.1.1. Preparación del Estudio**

Al preparar el estudio se definieron los parámetros estándar que todos los participantes deberán alcanzar dentro de la simulación, se entrenó a los sujetos de prueba hasta que reconocieran los controladores, sensibilidad y reglamentos de tránsito dentro del software de simulación, así como también que conocieran el dispositivo Emotiv Insight que se utilizó para la grabación de las ondas cerebrales, se le tomó video para analizar cada uno de los movimientos que realizaron al manejar.

##### **5.1.1.1. Definir las características de tráfico pesado**

Para definir las características de tráfico pesado, se basó en el modelo de transporte vial en la zona de ciudad Juárez, Chihuahua, esto debido a que es el espacio que reconocen mayormente los participantes.

Dentro de las características representativas es el bajo nivel de flujo vehicular (Comportamiento del tráfico: Agresivo), el alto nivel de saturación en avenidas (Densidad de tráfico: 100%, Densidad Peatonal: 100%), además de los altos tiempos para llegar de un punto a otro, el cual se ve a continuación en la figura 5.1.

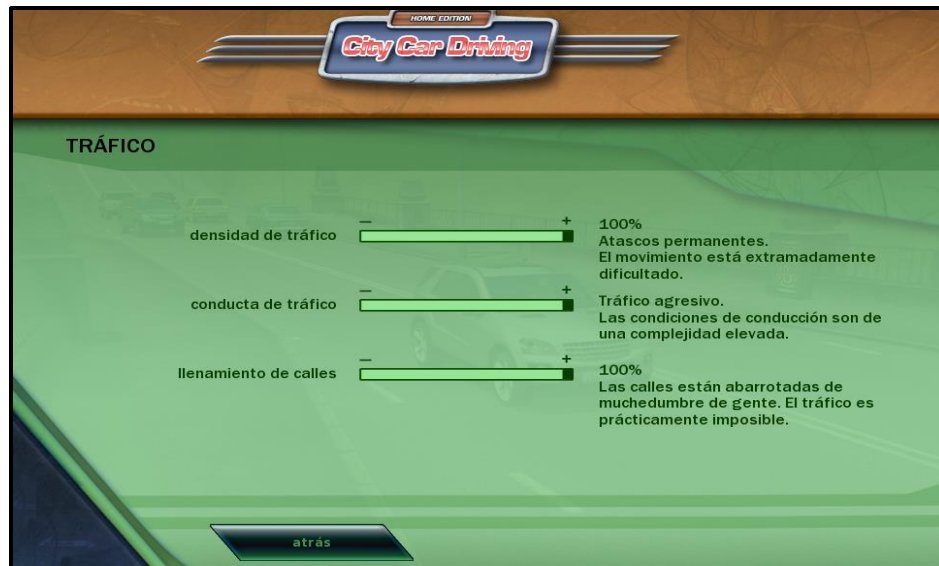


Figura 5.1 Pantalla de Selección de Nivel de Tráfico Pesado

Siendo así también el tiempo específico en el que se presentan estas características, como lo sería un horario de salida de los trabajadores (Hora del día: Tarde), y por último manteniendo un clima base como referencia (Condición meteorológica: Verano / Soleado), como se muestra en la figura 5.2.



Figura 5.2 Pantalla de Selección Meteorológica Tráfico Pesado

Como puntos anexos también se establecen características representativas a nivel vial, como lo es accidentes en los trayectos, gente que cruza fuera de zonas peatonales, vehículos que se cruzan en sentido contrario para sobrepasar a otros vehículos y los cambios de velocidad vehicular por la aparición de vehículos de seguridad vial, el cual se puede analizar en la figura 5.3.

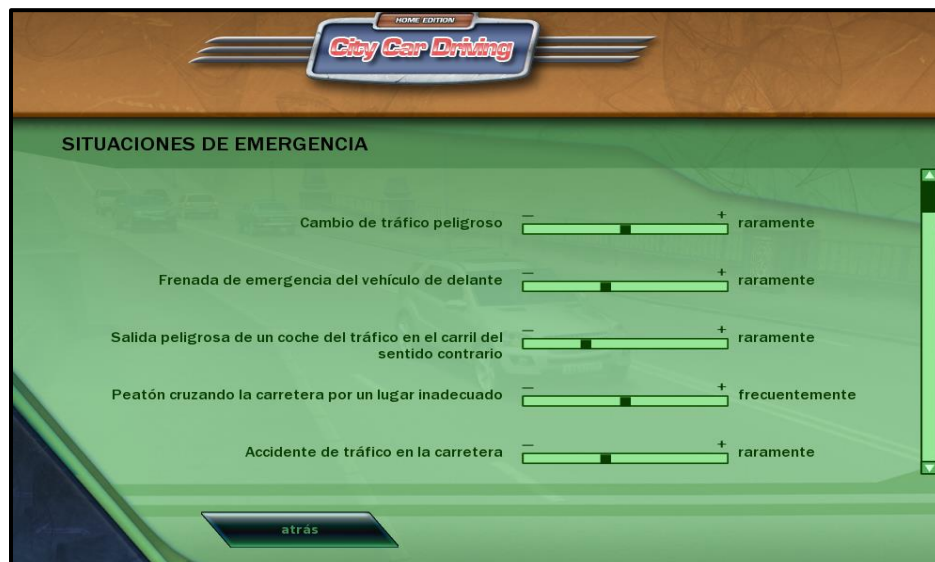


Figura 5.3 Pantalla de Selección de Características de Tráfico Vial

#### 5.1.1.2. Definir las características de tráfico ligero

Como contra parte, se define las características de tráfico ligero, conforme a características representativas como el anterior punto.

Dentro de las características representativas es el alto nivel de flujo vehicular (Comportamiento del tráfico: Normal o no-agresivo), el bajo nivel de saturación en avenidas (Densidad de tráfico: 40%, Densidad Peatonal: 40%), como se puede ver en la figura 5.4, además de los bajos tiempos para llegar de un punto a otro, en el cuál el tiempo específico sería un horario de mañana o mediodía (Hora del día: Mañana), esto se puede ver en la figura 5.5, y por ultimo manteniendo el clima base definido con

anterioridad (Condición meteorológica: Verano / Soleado). Además de mantienen los valores de los puntos anexos, ya que estos son genéricos de aparición común.

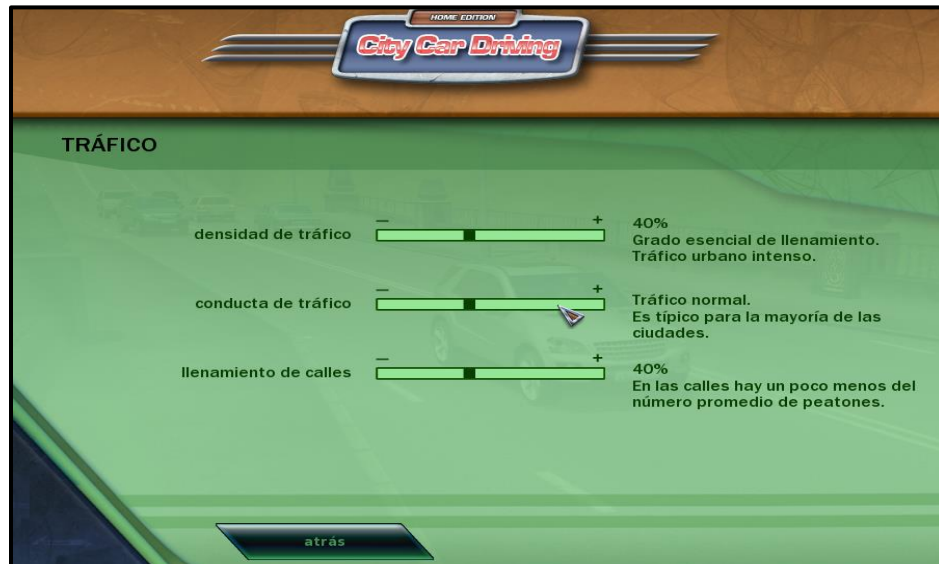


Figura 5.4 Pantalla de Selección de Nivel de Tráfico Ligero



Figura 5.5 Pantalla de selección meteorológica Tráfico Ligero

## 5.1.2. Desarrollo de la Investigación

Dentro de este apartado se muestra el desarrollo del uso del simulador, con respecto a los diversos participantes para la obtención de los datos de análisis.

### 5.1.2.1. Seleccionar participantes para la muestra

En la selección de las personas que participarían del experimento, se tomaron en cuenta seis sujetos de prueba, de los cuales tienen una edad que oscila entre los 19 y 28 años de edad, de los cuales se les pidió llenaran un cuestionario donde se le consultara sobre sus niveles de sueño, si cuenta con licencia de conducir, si fuman, si consumen alcohol, además de cuándo fue la última vez que lo consumió, si consumen algún medicamento o bien si usan lentes o algún aditamento para poder conducir, como se ve en la tabla 4.

Tabla 4. Ejemplo de Formato Para Recolección de Datos de Participantes

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre		
Edad:		
Teléfono de Contacto:		
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
¿Qué tipo de vehículo maneja?		
Trasmisión manual:	SI	NO
Trasmisión automática:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de tránsito:	SI	NO
Estas bajo algún tratamiento médico:	SI	NO

Después de la selección según sus características los sujetos de prueba comenzaron con el proceso de aprendizaje, siendo previamente guiados con una ayuda visual, la cual se muestra desde la figura 5.6 a la 5.8.



Figura 5.6 Ayuda Visual de los Controladores del Volante

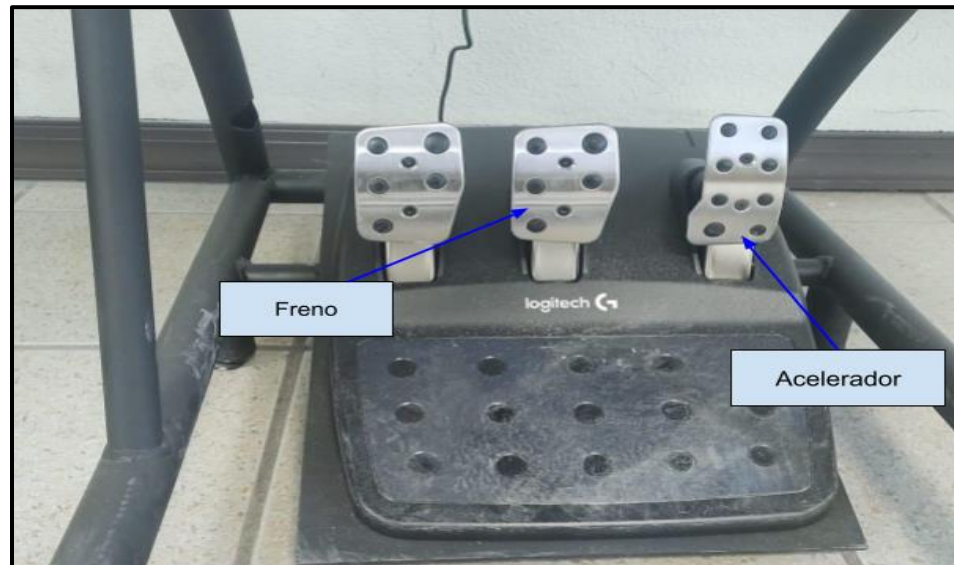


Figura 5.7 Ayuda Visual de los Controladores de Pedales

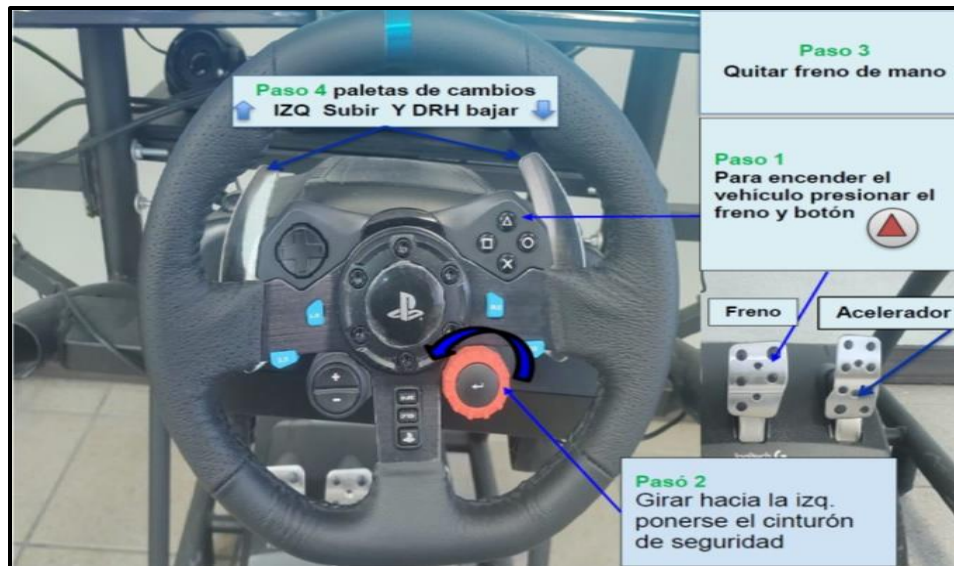


Figura 5.8 Ayuda Visual de los Pasos de Encendido

De similar manera, uno de los factores para la selección del personal, fue el entrenamiento en el simulador mediante la práctica, lo cual nos permitió conocer si tenía las aptitudes y habilidades para manejar el equipo, así como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.9 Entrenamiento en el Uso del Simulador Para Seleccionar Participantes



### 5.1.2.2. Diseño de experimentos

Después de la selección de los participantes, se procedió a iniciar con las simulaciones después de la etapa de entrenamiento, donde al inicio de cada muestreo se llenó otro formulario por parte de una persona revisora (Ver en la tabla 5), la cual tomo dato de sus latidos del corazón al inicio y cierre del entrenamiento, así como datos de que prueba se realizaba y los comentarios correspondientes a verificar su este cometía algún tipo de infracción de tránsito.

Tabla 5. Formato Para Evaluar Simulación

Reporte			Situaciones	Nomenclatura
Nombre			Atropellar	A
Supervisado			Subirse a la Banqueta	B
N. practica			Choque	C
Presión			Conducir Fuera de la Calle	F
Fecha	<b>Comentarios</b>		Invasión Carril	I
min 1			Pasarse alto	P
min 2			Luz Roja	R
min 3			Sentido Contrario	S
min 4				
min 5				
min 6				<b>Actividades que se pueden colocar en los comentarios</b>
min 7				Tuvo dificultades para encender el vehiculo
min 8				Retiro el freno de mano
min 9				Coloco el cinturón de seguridad
min 10				Utilizo las luces en caso de ser necesario
min 11				Utilizo las direccionales de manera indicada
min 12				Utilizo las intermitentes de forma correcta
min 13				
min 14				
min 15				
min 16				
min 17				
min 18				
min 19				
min 20				
min 21				
min 22				
min 23				
min 24				
min 25				
min 26				
min 27				
min 28				
min 29				
min 30				

Los alumnos debían de evitar cualquier tipo de incidente de tráfico, así como no eludir las leyes de tráfico vial, lo cual incluye desde lo más básico que es no pasarse una luz roja, hasta chocar o atropellar personas, todo esto buscando relacionar evento

representativos que podamos reconocer en las ondas cerebrales, así como se muestra en la figura 5.10, la cual muestra un ejemplo del llenado del formato.

Reporte	
Nombre	[Redacted]
Supervisado	[Redacted]
N. practica	#11 Tráfico ligero
Presión	70 - 80
Fecha	
	Comentarios
min 1	
min 2	Invasión carril
min 3	Hizo alto donde no era
min 4	NO marca direccion, exceso de velocidad 36 mph
min 5	
min 6	
min 7	Exceso de velocidad 40 mph
min 8	
min 9	
min 10	
min 11	
min 12	
min 13	Se paso luz roja, atropello
min 14	
min 15	
min 16	Dejo de grabar diadema / inicio de diadema
min 17	Frenado brusco
min 18	Choque
min 19	
min 20	
min 21	
min 22	Se subio a la banqueta.
min 23	
min 24	
min 25	Frenado brusco, invadieron su carril
min 26	Frenado brusco, se cruzo un peaton.
min 27	
min 28	Choque, invadieron su carril
min 29	
min 30	

Figura 5.10 Formato de Seguimiento de Simulación Identificando Sucesos

### 5.1.2.3. Tomar lectura de simulación de manejo con Emotiv

Los datos obtenidos del Casco Emotiv Insight se gravan en el software Emotiv Pro, de los cuales se obtendrán las señales de las ondas cerebrales, que se presentan en gráficos históricos de la sesión realizada conforme a lapsos de 30 minutos de grabación continua (Ver figura 5.11), los cuales podrán ser leídos durante la simulación y después de esta misma.

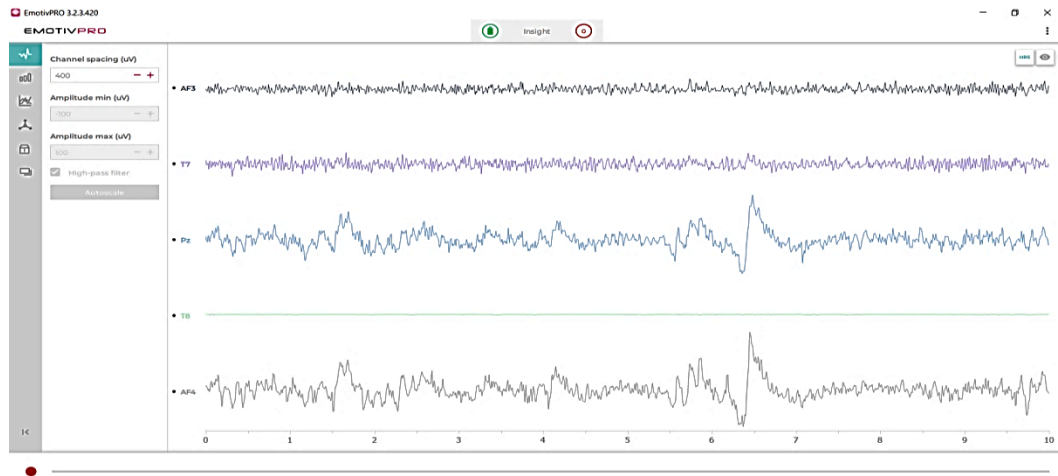


Figura 5.11 Pantalla de Emotiv Pro que muestra los valores de las señales del cerebro en función del tiempo

Cada una de las sesiones se grabará de manera independiente y de manera aleatoria, evitando cualquier manipulación de los datos, además de que la información será resguardada en el dispositivo donde esté instalado el software, siendo el único donde se puede reproducir los datos bajo la licencia adquirida.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Análisis de Resultados**

En esta sección se presentara la evaluación de los datos obtenidos durante la recopilación de información, así como su análisis y observaciones correspondientes a diversos participantes seleccionados aleatoriamente de la muestra.

Se debe contemplar que el experimento se realizó conforme a múltiples muestras en tráfico ligero y tráfico pesado, las cuales permitirán realizar una evaluación individual y colectiva para encontrar algunas características que nos permitan diferenciar si existe algún cambio en las ondas cerebrales de los participantes.

#### **6.1.1. Verificación del Estudio**

En esta sección se presenta el análisis de la información en relación a los cambios de comportamiento de los participantes, conforme a la observación de las ondas cerebrales y estados cognitivos recolectados por el software Emotiv Pro y el dispositivo Emotiv Insight.

##### **6.1.1.1. Análisis Neuroergonómico de los participantes en la modalidad de Tráfico Ligero**

Al obtener los datos recolectados con el software, se deberá analizar el comportamiento que mostró cada uno de los participantes, conforme a cada prueba, en este sentido se inicia con el análisis del muestreo en tráfico ligero siendo el que menos variables de impacto fueron visibles, siendo bajo nivel vehicular, bajo nivel de flujo peatonal y conductores con un estado normal de ánimo.

El primer participante nos muestra en la figura 6.1, su estado en reposo al inicio, antes de empezar a conducir, donde se puede visualizar que las ondas se encuentran casi

nulas con baja actividad; cabe resaltar que la persona tiene conocimientos de manejo y tiene licencia para conducir.

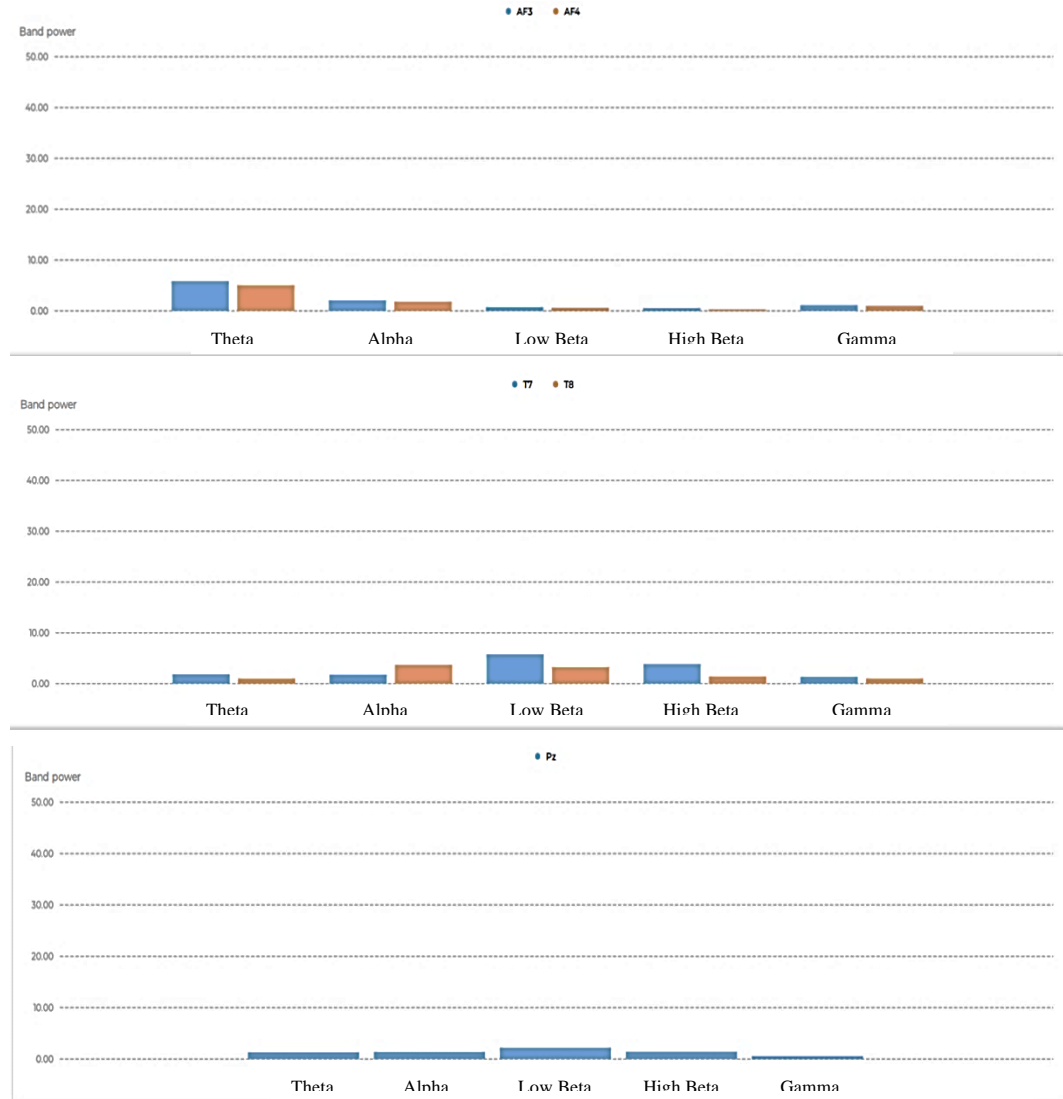


Figura 6.1 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en estado de Reposo Inicial

Como primer comparativo podemos encontrar un frenado brusco, que tuvo la persona 1 en la simulación, en la cual realizó una maniobra evasiva por que se metió un vehículo en sentido contrario, en dicha situación vemos como los valores de potencia de las ondas theta y gamma aumentan en relación a un estado de reacción, aunque el

aumento no es tan notorio si hay un cambio debido a que vio al vehículo cambiarse de lado y acercarse, por lo cual pudo reaccionar de manera controlada para evadir; estos resultados los podemos ver en la figura 6.2.

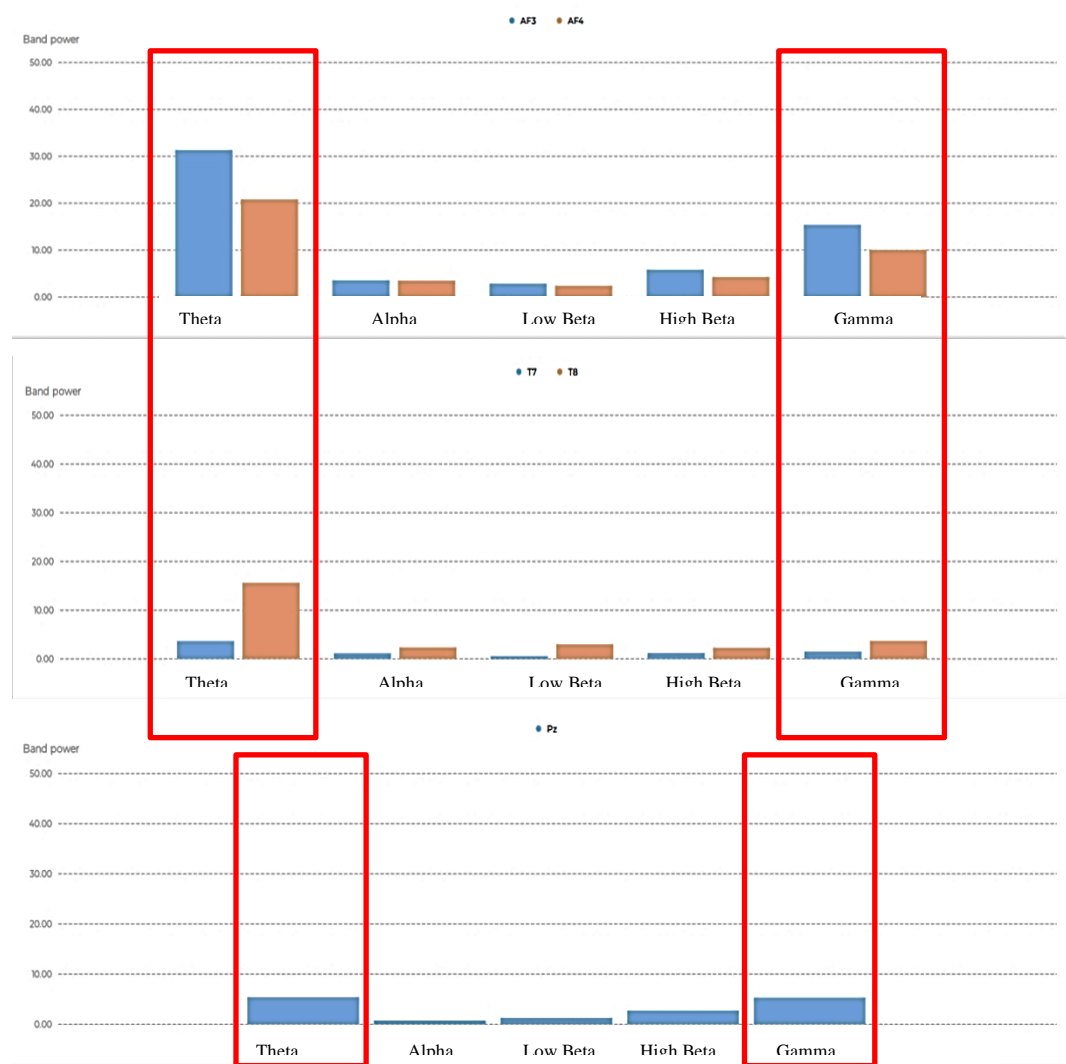


Figura 6.2 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en un evento donde ocurre un Frenado Brusco.

De similar manera, podemos ver cómo hay cambios en las métricas de desempeño de los estados cognitivos, en donde se notan picos en el área de enfoque y excitación, como se muestra en la figura 6.3.

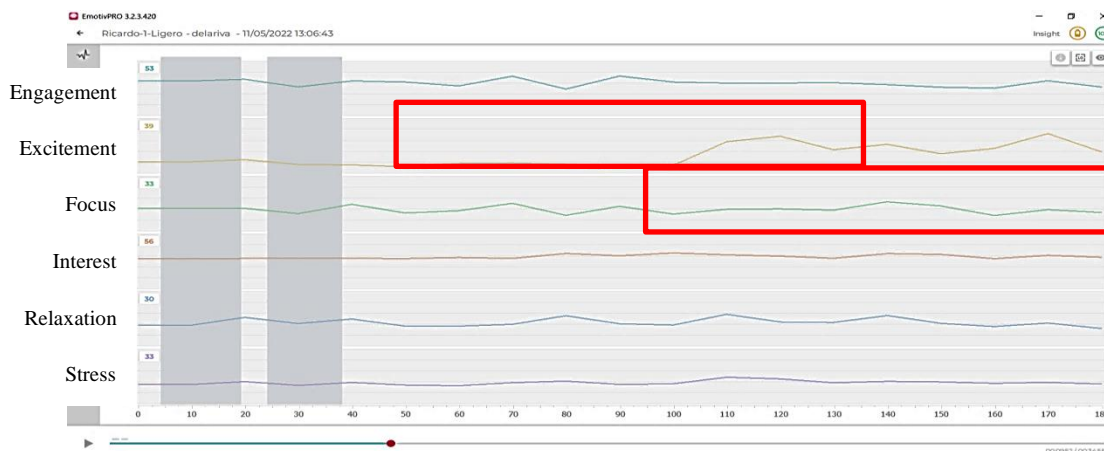


Figura 6.3 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 en un evento donde ocurre un Frenado Brusco.

En una segunda situación, la persona 1 se le asignó un evento, el cual debe llevar a una persona y recogerla. El participante se subió a la banqueta al realizar un mal giro, lo cual llevo a mostrar un pico en el comportamiento de las métricas de desempeño del estados cognitivos, a excepción del interés (Figura 6.4), el cual no se vio muy afectado.

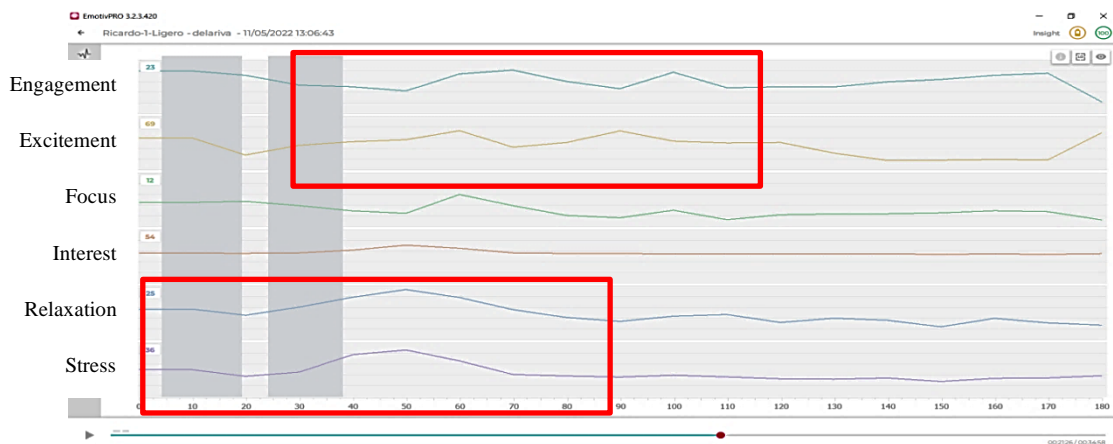


Figura 6.4 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 en un evento donde se sube a la banqueta

Analizando las gráficas de potencia, se observa un ligero aumento en las ondas theta y gamma, en relación a una reacción de sorpresa por haber chocado, pero esto solo se observa de forma marcada en los electrodos AF3, AF4 y T7 (Figura 6.5).



Figura 6.5 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en un evento donde sube a la banqueta.

En esta misma simulación se pudo visualizar la influencia de chocar, ya que el participante no alcanzó a frenar de manera correcta y golpeó el vehículo de enfrente por alcance, esta situación generó sorpresa ya que el vehículo delante de él se frenó de manera súbita. Bajo esta condición se observa que la persona 1 presenta un aumento en la potencia de las ondas theta, alpha y beta de las zonas frontales, temporales y del parietal (AF3, AF4, T7, T8 y PZ), ya que estaba en un estado de relajación y cambio a un estado de alerta y de mayor atención, lo cual se puede observar en la figura 6.6.





Figura 6.6 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 en un evento donde ocurre un choque.

De similar manera en comparación con el evento de la banqueta, en este evento no hubo cambio en el comportamiento de las métricas de desempeño de los estados cognitivo del participante, si no que se mantuvo un estado normal; esto se puede visualizar en la figura 6.7.

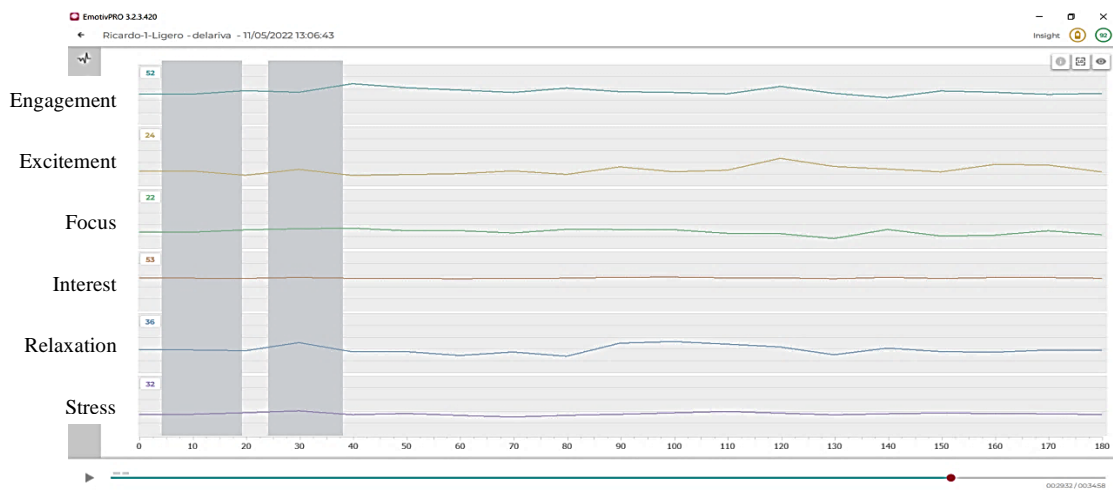


Figura 6.7 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 en un evento donde ocurre un choque.

Al cierre de la simulación, se volvió a analizar el comportamiento de las ondas cerebrales y las métricas de desempeño de los estados cognitivos, en donde se observaron cambios en relación a la disminución del estrés (Figura 6.8), y únicamente se presentó un aumento de la potencia en la onda theta frontal (AF3 y AF4), correspondiente a un momento de relajación (Figura 6.9), donde la potencia de las demás ondas no son considerables.

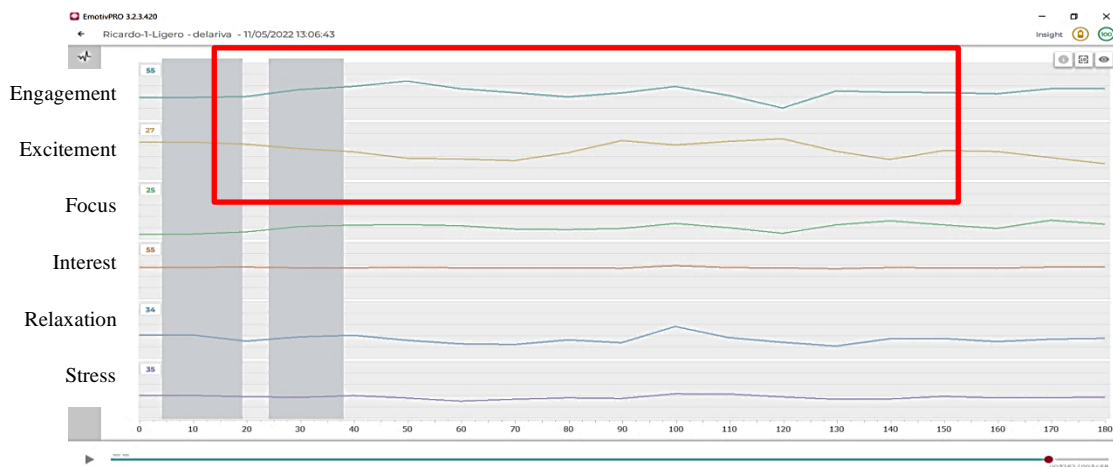


Figura 6.8 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 1 al finalizar la simulación

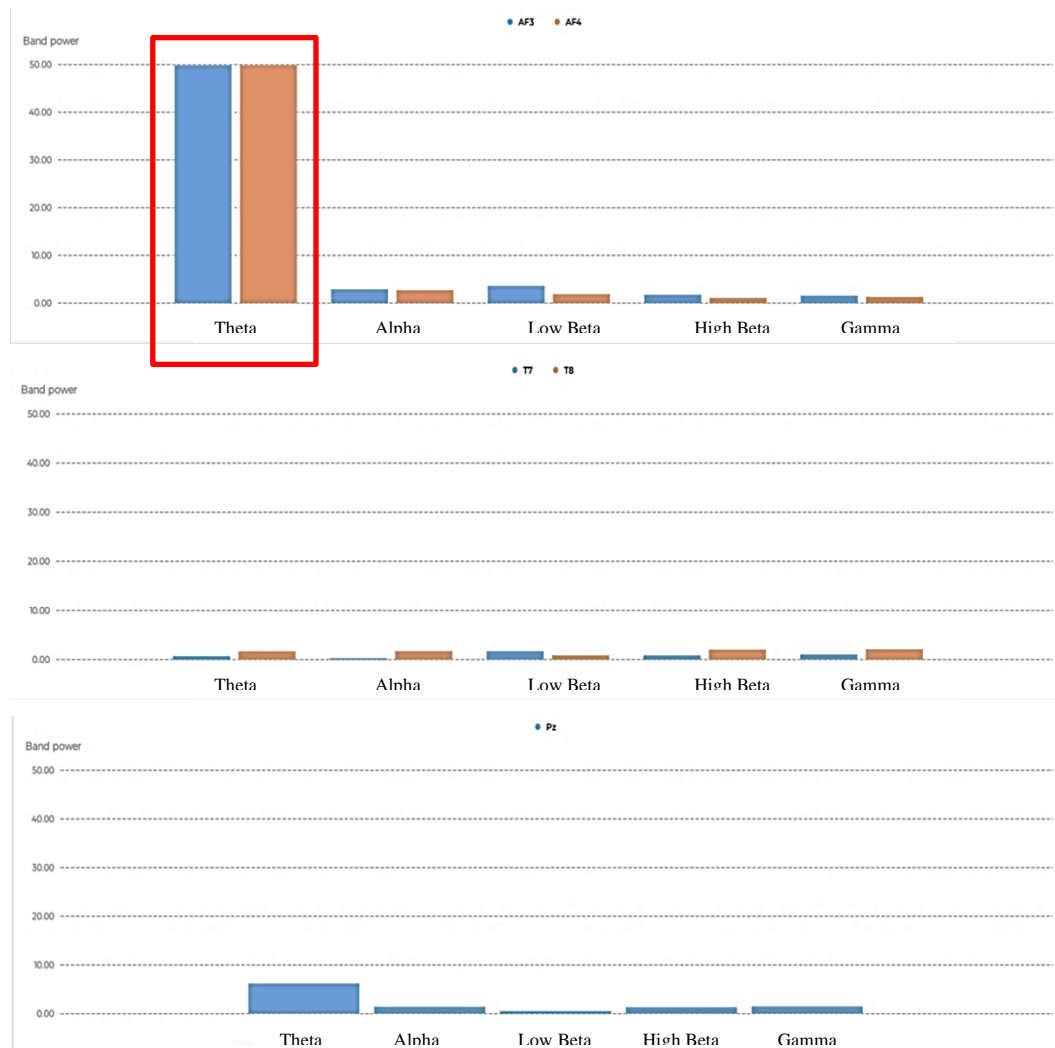


Figura 6.9 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 1 al finalizar la simulación.

Se observa que en el primer participante, su estado se ve afectado únicamente por cuestiones extraordinarias, durante la conducción no hay cambio en el comportamiento de las ondas o de las métricas de desempeño de los estados cognitivos.

En segunda instancia está el participante 5, el cual tiene conocimientos de manejo, además de tener licencia desde hace 2 años y contar con vehículo propio, de forma similar a la simulación anterior iniciamos presentando los valores de potencia de las

ondas cerebrales en estado inicial, en donde podemos percibir que sus valores de theta, Alpha, beta y gamma son bajos como base, como se muestra en la figura 6.10.



Figura 6.10 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde sube a la banqueta.

El primer evento con respecto a la segunda simulación ocurre al subirse a la banqueta durante el inicio de la etapa de manejo, en esta situación el participante presento un aumento en la potencia de las onda theta y alpha de los electrodos frontales (AF4),

esto se puede apreciar en la figura 6.11; así también en el estado cognitivo podemos ver un aumento respecto al nivel del grado de compromiso sobre el valor medio debido al incremento en su atención (Figura 6.12).

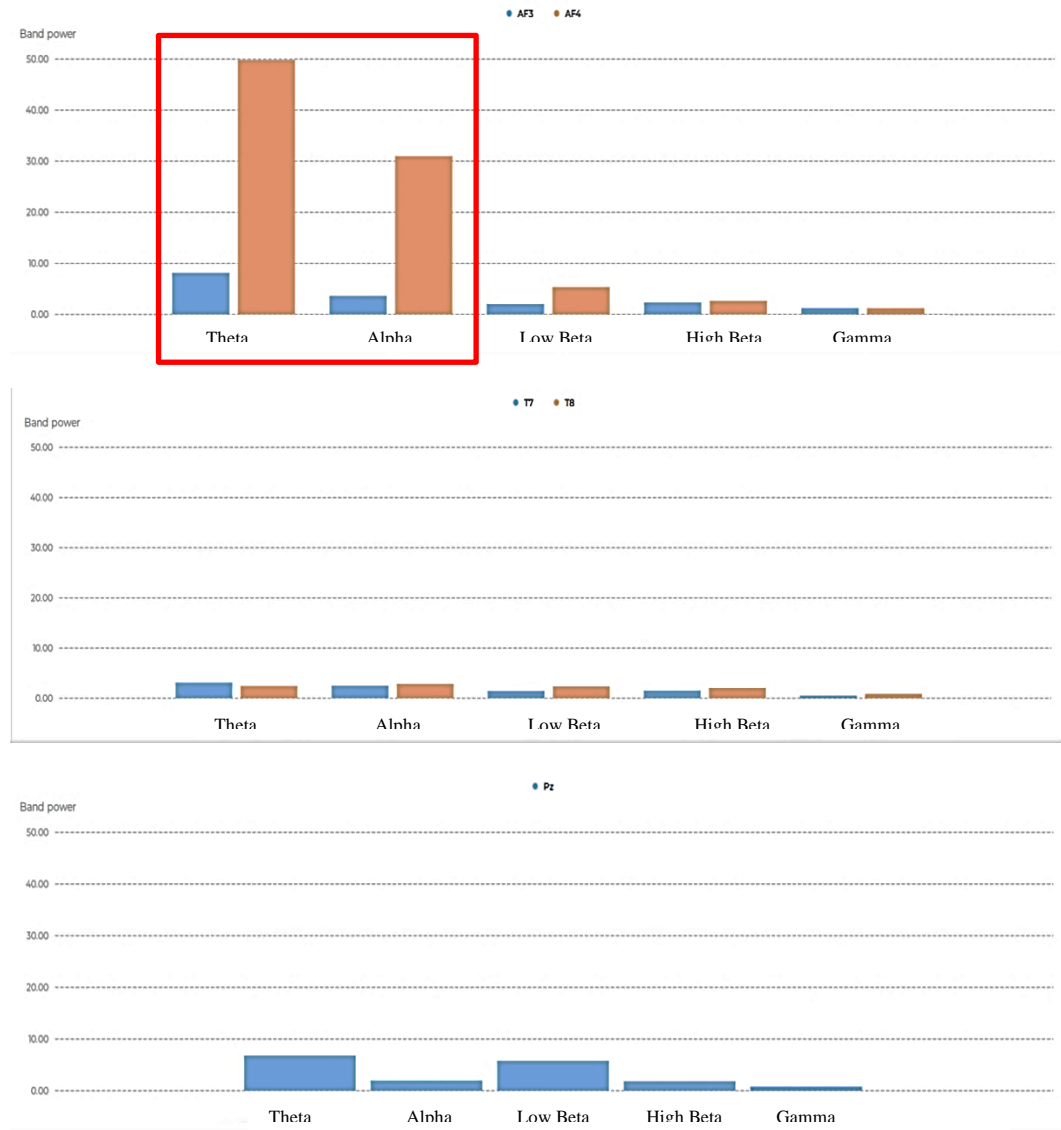


Figura 6.11 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde sube a la banqueta.

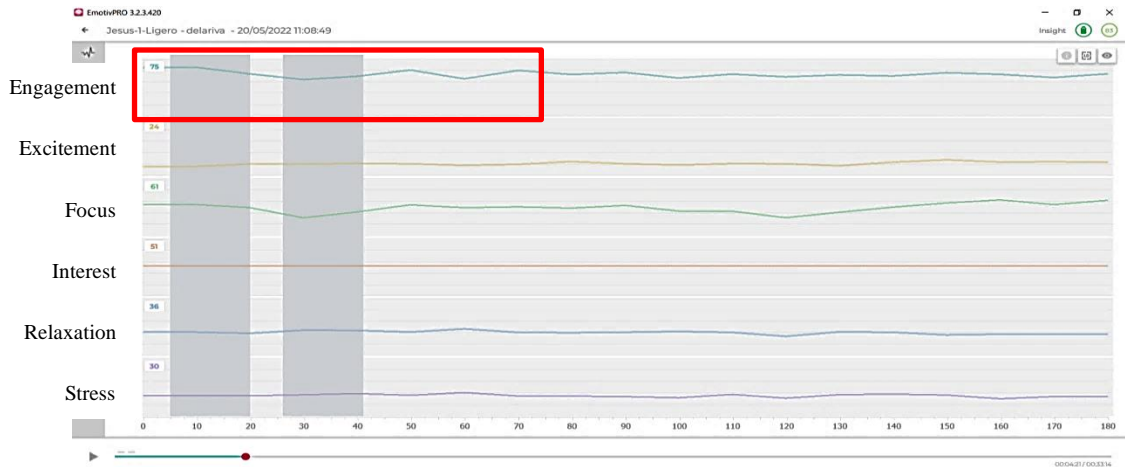


Figura 6.12 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde se sube a la banqueta.

El siguiente evento en el estudio es la invasión de carril, esta se presentó durante la simulación del participante número 5, en la cual condujo en medio de dos carriles, para esta situación la persona afrontó problemas de vehículos que lo alertaron con el claxon para que tomara su carril, debido a esto se generó un aumento en su nivel de grado de compromiso y enfoque buscando salir de la situación, esto se puede interpretar a partir de la métrica de desempeño de los estado cognitivos que se muestra en la figura 6.13.

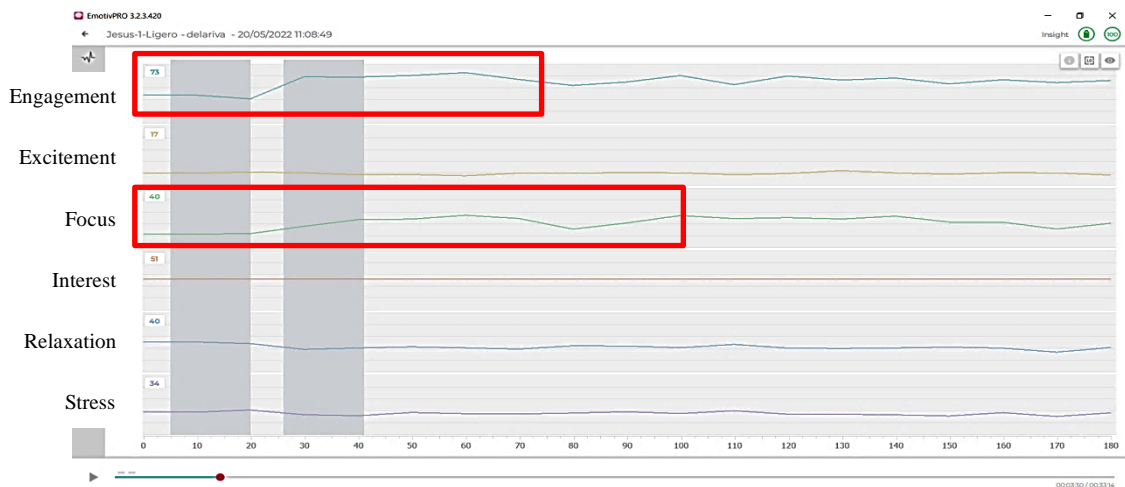


Figura 6.13 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde ocurre una invasión de carril.

En lo que respecta a la potencia de las ondas cerebrales del participante 5, se puede considerar que hubo un aumento en menor nivel en las ondas theta y alpha en el área frontal (AF4 y AF3) y en las ondas alpha de los temporales (T7 y T8), como se muestra en la figura 6.14.

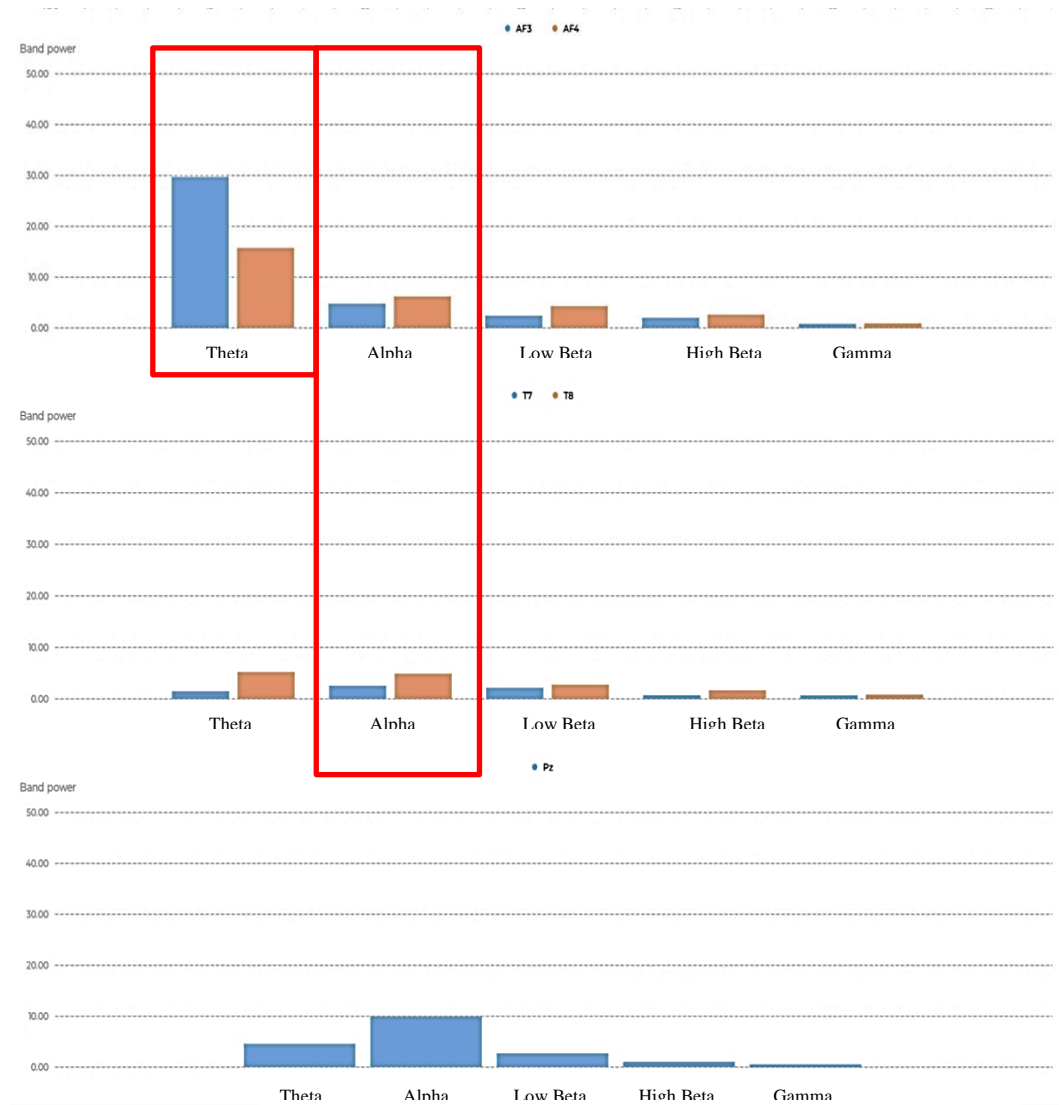


Figura 6.14 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde invadió carril.

Un tercer evento a analizar es una situación de choque, en la cual el participante número 2 golpeo un poste al realizar un giro demasiado cerrado, esta situación presentó

un aumento en la potencia de las onda theta, alpha y beta en el área frontal (AF4), y de igual manera un ligero aumento de la potencia en la onda gamma, debido a un estado de alerta mayormente ocasionado por el impacto (Figura 6.15).

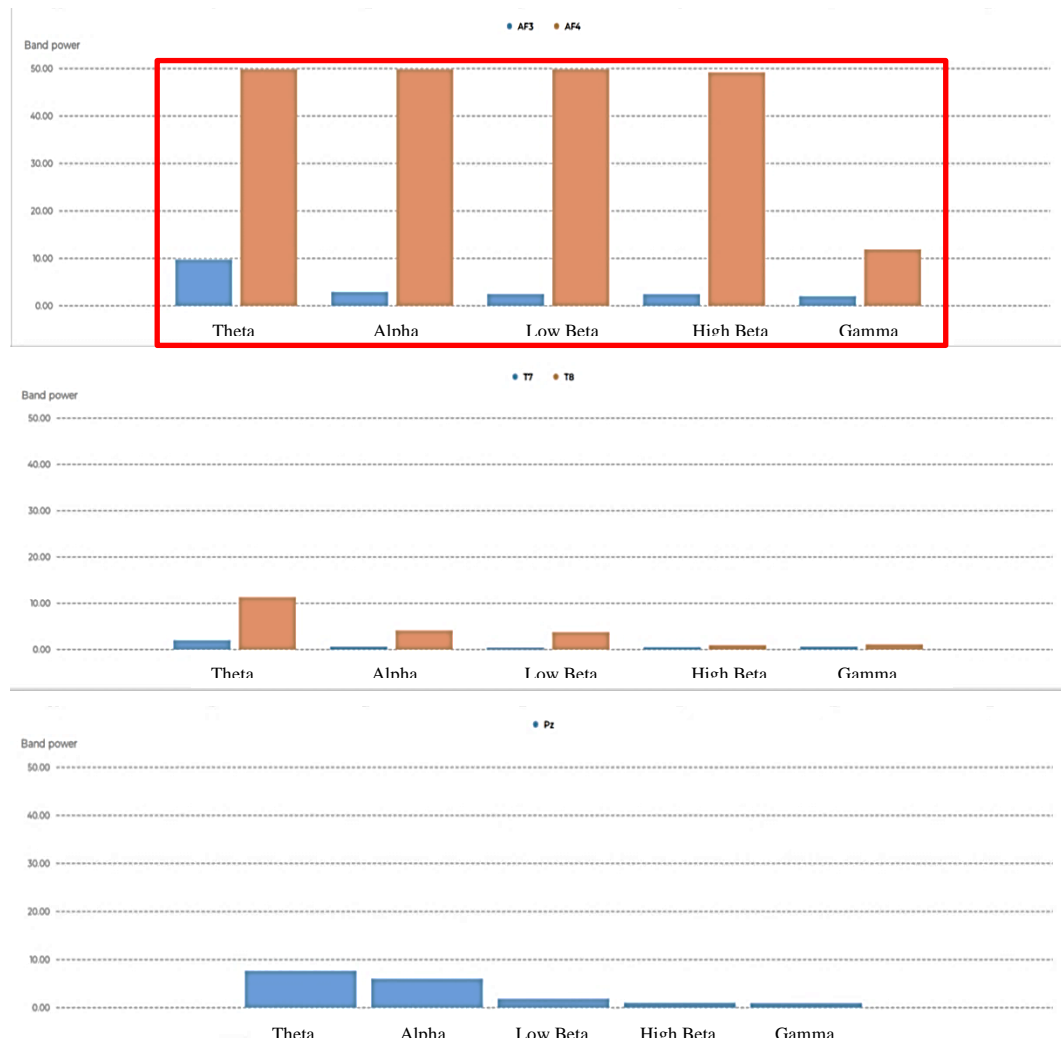


Figura 6.15 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento donde ocurre un choque.

Respecto a esta situación, se observa que las métricas de desempeño de los estados cognitivos se vieron afectados con respecto al enfoque, debido a que el participante no anticipaba un impacto con un objeto fijo como un poste, esto se puede observar en la figura 6.16.



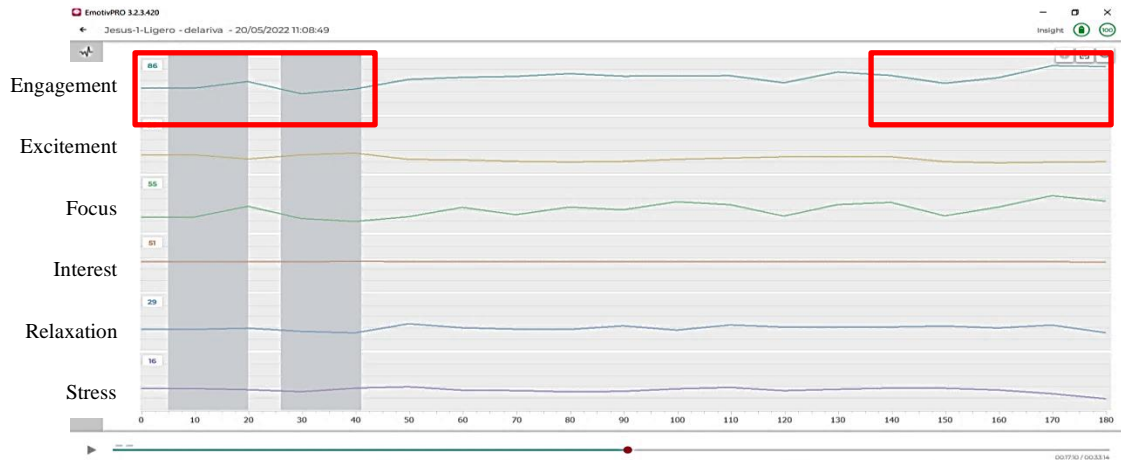


Figura 6.16 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde ocurre un choque.

Un último evento en la simulación del participante 5 ocurrió al conducir fuera de la calle, esto debido a que la persona iba a exceso de velocidad y no pudo girar, por lo cual se subió a una glorieta (Rotonda), esta situación generó que el participante diera indicios de excitación (Figura 6.17), esto conforme al estado alterado por ir a exceso de velocidad.

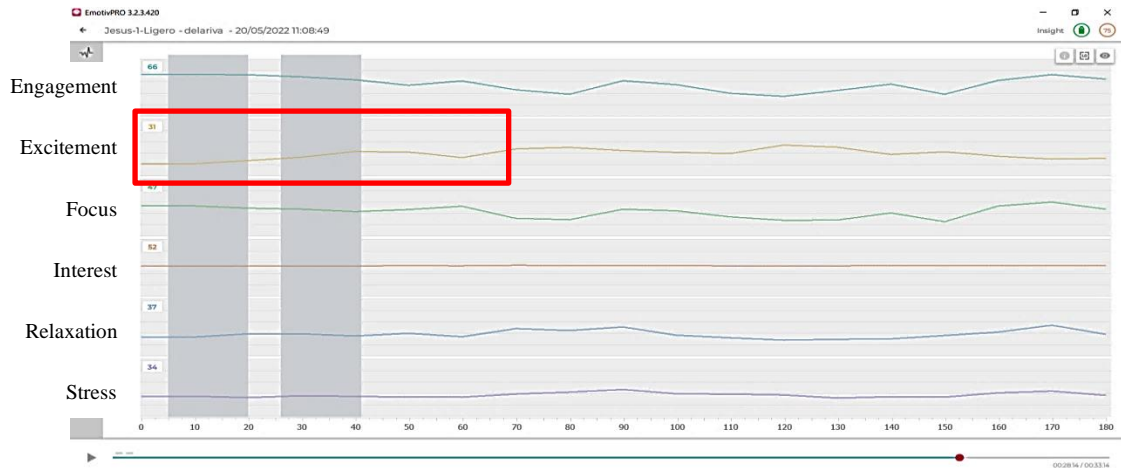


Figura 6.17 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 en un evento donde conduce fuera de la carretera

Los cambios en las potencias de las ondas cerebrales en ese caso se presentaron en Theta, Alpha y Beta en el área frontal (AF3 y AF4), respecto a un cambio de su estado relajado al conducir en alerta por el impacto del vehículo (Figura 6.18).



Figura 6.18 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 en un evento conduce fuera de la carretera

Al cierre de la simulación, se analizaron las métricas de desempeño de los estado cognitivos del participante número 5, y también la potencia de las ondas cerebrales; Se presentó una reducción en los niveles de enfoque y además se observó que las potencias

de las ondas theta y Alpha muestran un valor más alto con respecto al estado inicial, , como se muestran en la figura 6.19 y 6.20.



Figura 6.19 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 5 al finalizar la simulación

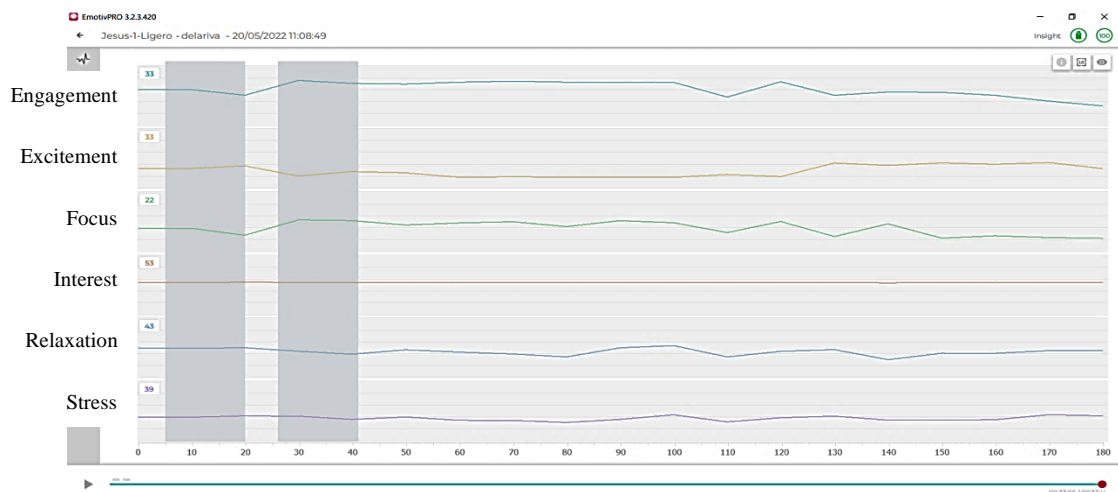


Figura 6.20 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 5 al finalizar la simulación.

En esta segunda simulación puede identificarse una tendencia conforme al participante, y es que mayormente entra en estado de alerta, pero no de estrés al momento de conducir, siendo esta la situación por la cual el enfoque y el grado de compromiso fueron más representativos y cambiantes.

#### 6.1.1.2. Análisis Neuroergonómico de los participantes en la modalidad de Tráfico Pesado

Las simulaciones a tráfico pesado se realizaron para identificar los cambios en las conductas de los participantes, ya que esta prueba conlleva aumentar al máximo el nivel de tráfico vehicular, aumentar el nivel de tránsito peatonal y la agresividad de los conductores, y por ende la presencia de cambios en los niveles de atención y estrés.

La primera simulación que se realizó, corresponde a el participante número 4, el cual cuenta con licencia de manejar, obtenida hace un mes y conoce los lineamientos de tránsito; inicialmente se muestra el valor de la potencia de sus ondas cerebrales al momento de iniciar el simulador, de los cuales cabe destacar que sus valores theta y alpha son inicialmente representativos, así como se muestra en la figura 6.21.



Figura 6.21 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en estado de Reposo Inicial

Una de los primeros eventos que ocurrieron en la simulación, fue que el sujeto se quedó atorado en el tráfico por una obstrucción de carriles, debido a esta situación las potencias de las ondas theta, alpha y beta se vieron alteradas mostrando mayores valores (Figura 6.22), esto debido a que la persona quería continuar manejando de manera normal, pero no sabía cómo salir de la situación.



Figura 6.22 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en un evento donde el tráfico se encuentra detenido.

En lo que respecta al comportamiento de las métricas de desempeño de los estados cognitivos, se observa que únicamente disminuyó en cierto momento el estado de enfoque (Figura 6.23), en comparación con su estado inicial, debido a la demora para poder continuar con el recorrido.

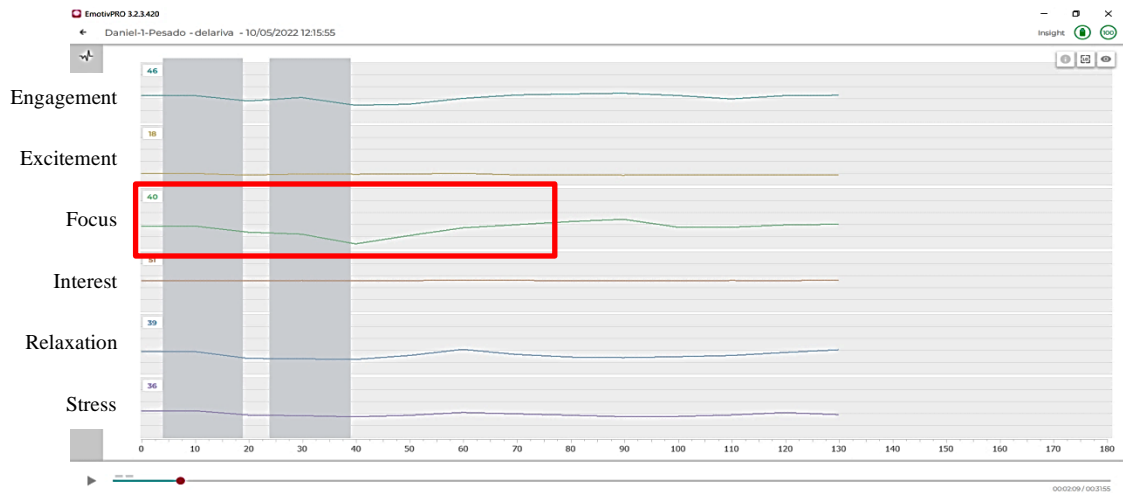


Figura 6.23 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento donde el tráfico se encuentra detenido.

Un segundo evento en la simulación consistió en un cambio de carril repentino, debido a que el vehículo de enfrente se detuvo, esta situación fue imprevista por lo cual los datos nos muestran que hubo una alteración en el nivel de excitación según las métricas de desempeño de los estados cognitivo (Figura 6.24).

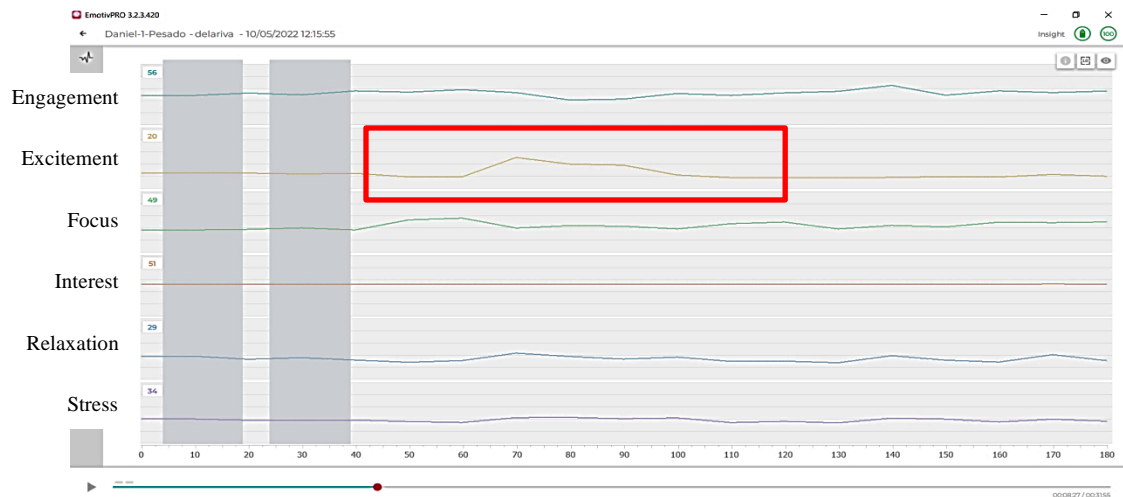


Figura 6.24 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento donde ocurre un cambio de carril.

En lo que respecta al comportamiento de las ondas cerebrales, se visualiza un aumento en la potencia de las ondas theta y alpha en el área frontal (AF3 y AF4), por una posible situación de alerta o sorpresiva, como se muestra en la figura 6.25.

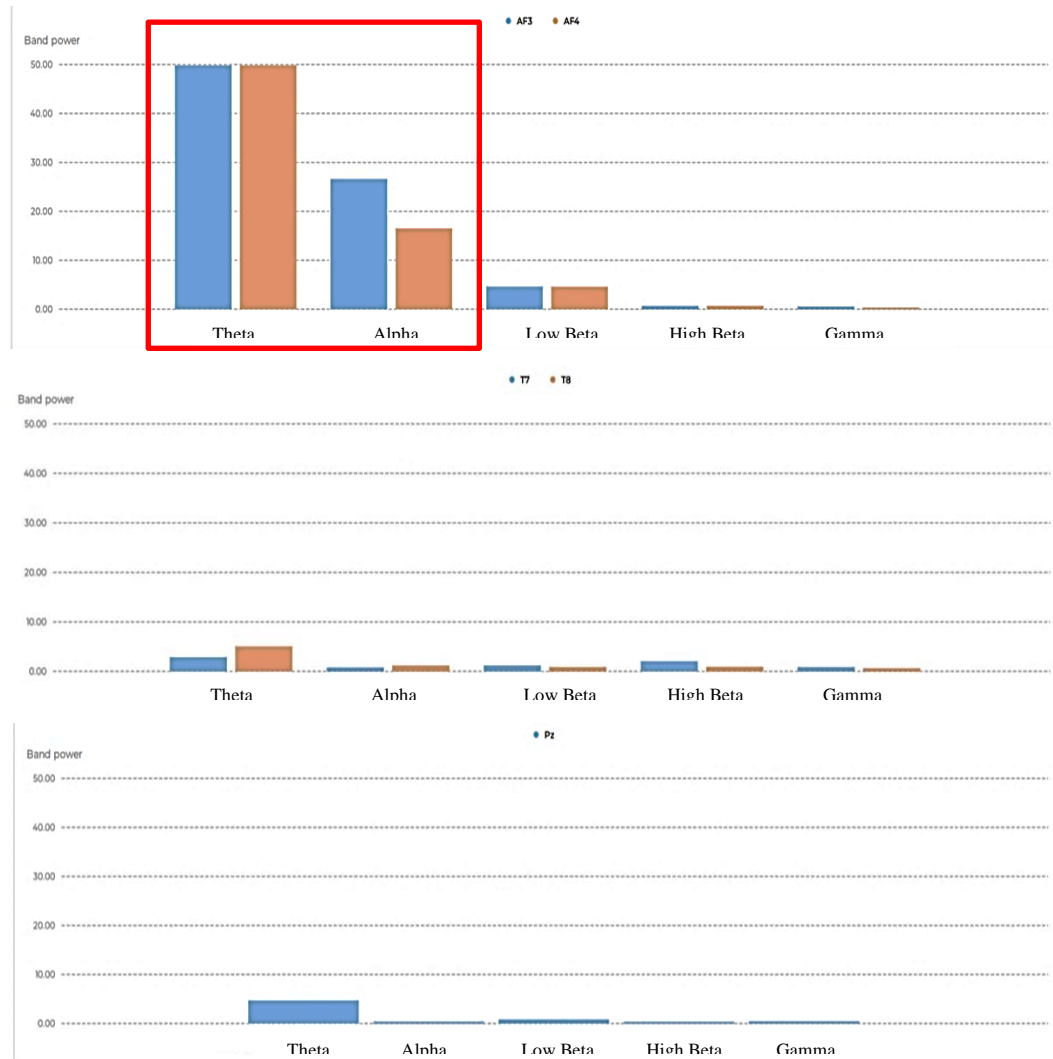


Figura 6.25 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en un evento donde ocurre un cambio de carril.

También se presentó un choque durante la simulación, el cual se generó por alcance al no frenar en tiempo, esta situación afectó los valores de las potencias de las ondas cerebrales, al observarse un aumento en la gráfica de potencia en el área frontal



(AF3 y AF4) respecto a la onda theta, alpha y beta mayormente, y en menor medida en la onda gamma, pero igualmente de significancia en comparación con el estado inicial, como se visualiza en la figura 6.26.



Figura 6.26 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 en un evento donde ocurre un choque.

En relación a las métricas de desempeño de los estados cognitivos, se puede notar un aumento en el grado de compromiso y que el nivel de excitación es bajo (Figura 6.27), posiblemente por un estado en el que el participante estuviera excesivamente relajado y perdió la noción de la situación.

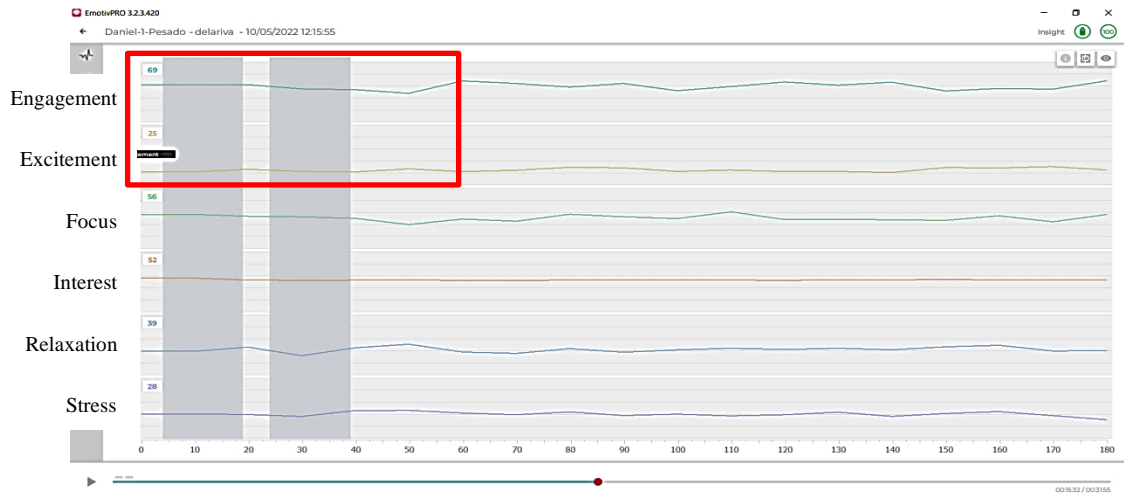


Figura 6.27 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento donde ocurre un choque.

Al realizarse una comparación con el estado cognitivo del participante al finalizar el experimento, se puede apreciar que tiene una alta actividad con respecto al grado de compromiso (Figura 6.28), debido a que mantenía un alto grado de alerta por la dificultad de la simulación, y de similar manera mantiene un bajo nivel de excitación buscando evitar mayores incidentes.

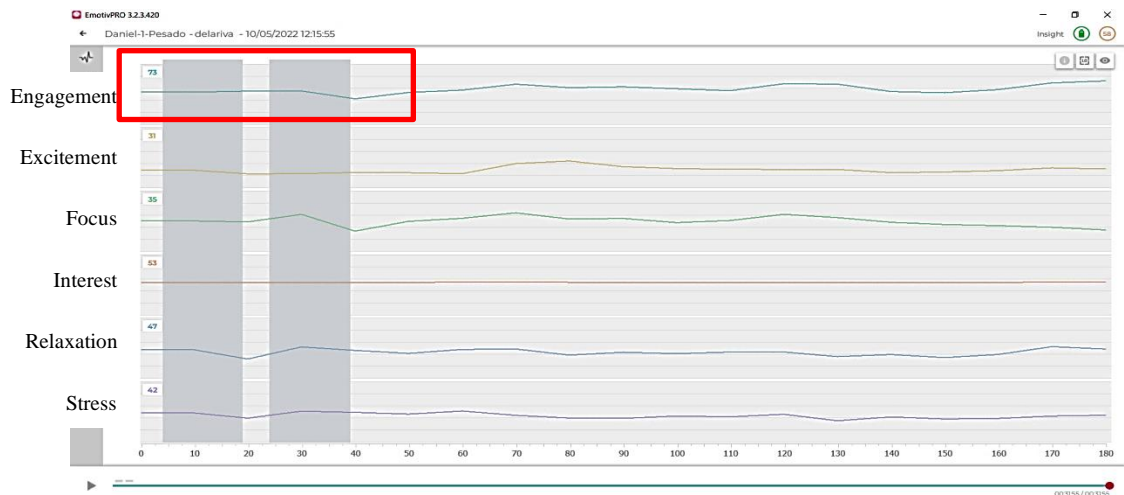


Figura 6.28 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 4 en un evento al finalizar la simulación.

Al realizarse la comparación con respecto a los valores de potencia de las ondas cerebrales, podemos observar que las ondas theta y alpha se vieron afectadas a nivel frontal, así como beta y gamma en relación a los temporales, pudiendo ser el cansancio o concentración para mantener el control del vehículo a mayor dificultad de manejo.



Figura 6.29 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 4 al finalizar la simulación.

También se puede observar conforme al análisis previo del participante número 4 en tráfico pesado, que se requiere mayor nivel de concentración sobre las actividades al conducir, para así evitar incidentes a nivel vial, alterándose las potencias de las ondas cerebrales ante la necesidad cognitiva de mayor atención.

En una segunda simulación en la modalidad de tráfico pesado, corresponde al participante 7, el cual tiene conocimientos de manejo básicos, además de contar con licencia y vehículo propio; En los datos de esta simulación se visualiza un estado alterado en la potencia de la onda theta frontal (AF3 y AF4), como se muestra en la figura 6.30.

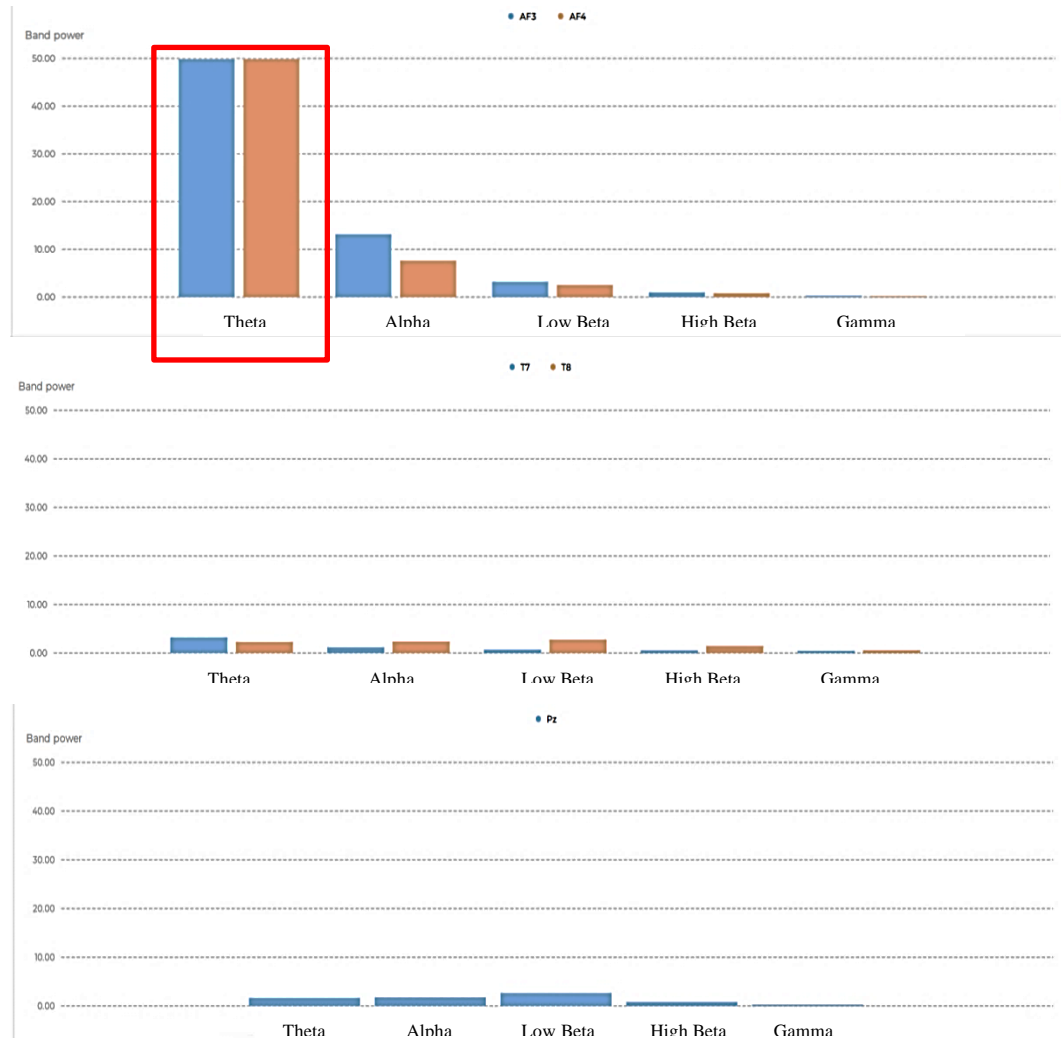


Figura 6.30 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en estado de Reposo Inicial

En esta simulación, inicialmente ocurre un evento en donde el participante número 7 conduce fuera de la calle, debido a que se atravesó un vehículo y se metió a un jardín, una situación algo surrealista pero que puede ser propiciada igualmente en la vida

real, bajo este hecho se pudo visualizar que las potencias de las ondas cerebrales de la persona se alteraron en el área frontal del lado izquierdo (AF3 y AF4), donde las cuatro señales presentan una alza significativa, a diferencia de los temporales, como se muestra en la figura 6.31.



Figura 6.31 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en un evento donde ocurre una conducción fuera de calle.

Respecto al comportamiento de las métricas de desempeño de los estados cognitivo del participante número 7, se observó una caída en la excitación y relajación, además de generarse un aumento en el enfoque (Figura 6.32), debido a la necesidad de realizar maniobras evasivas.

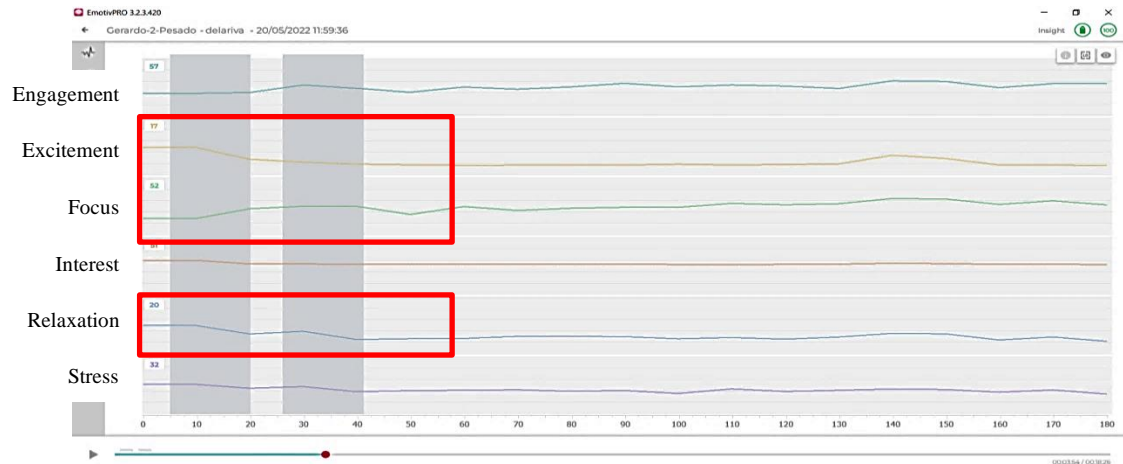


Figura 6.32 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 en un evento donde ocurre una conducción fuera de calle

En un segundo evento el participante número 7 se subió a una banqueta, por lo cual también hubo una reacción, siendo que la persona aumento los niveles de excitación debido al error cometido, como se muestra en la Figura 6.33.

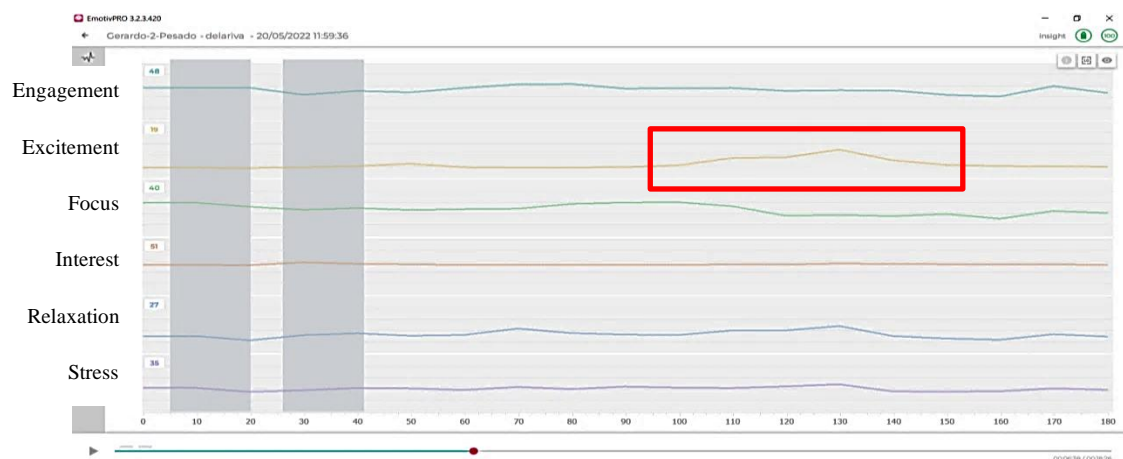


Figura 6.33 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 en un evento donde se sube a la banqueta.

En el caso de las potencias de las ondas cerebrales theta y alpha, vemos que se encuentran altas en mayor nivel en el área frontal (AF3 y AF4), indicativo de un posible estado de alerta y desconcentración, como se muestra en la figura 6.34.



Figura 6.34 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en un evento donde sube a la banqueta.

Como en anteriores simulaciones, también ocurrió un choque en el cual el participante 7 tuvo un cambio en el comportamiento de las ondas en el área frontal izquierda (AF3), en el cual todas las potencias de las ondas cerebrales subieron al

máximo, mientras que en los temporales y parietal no hubo efecto alguno (Figura 6.35), en este sentido fue una respuesta de alerta que se activó en el conductor.

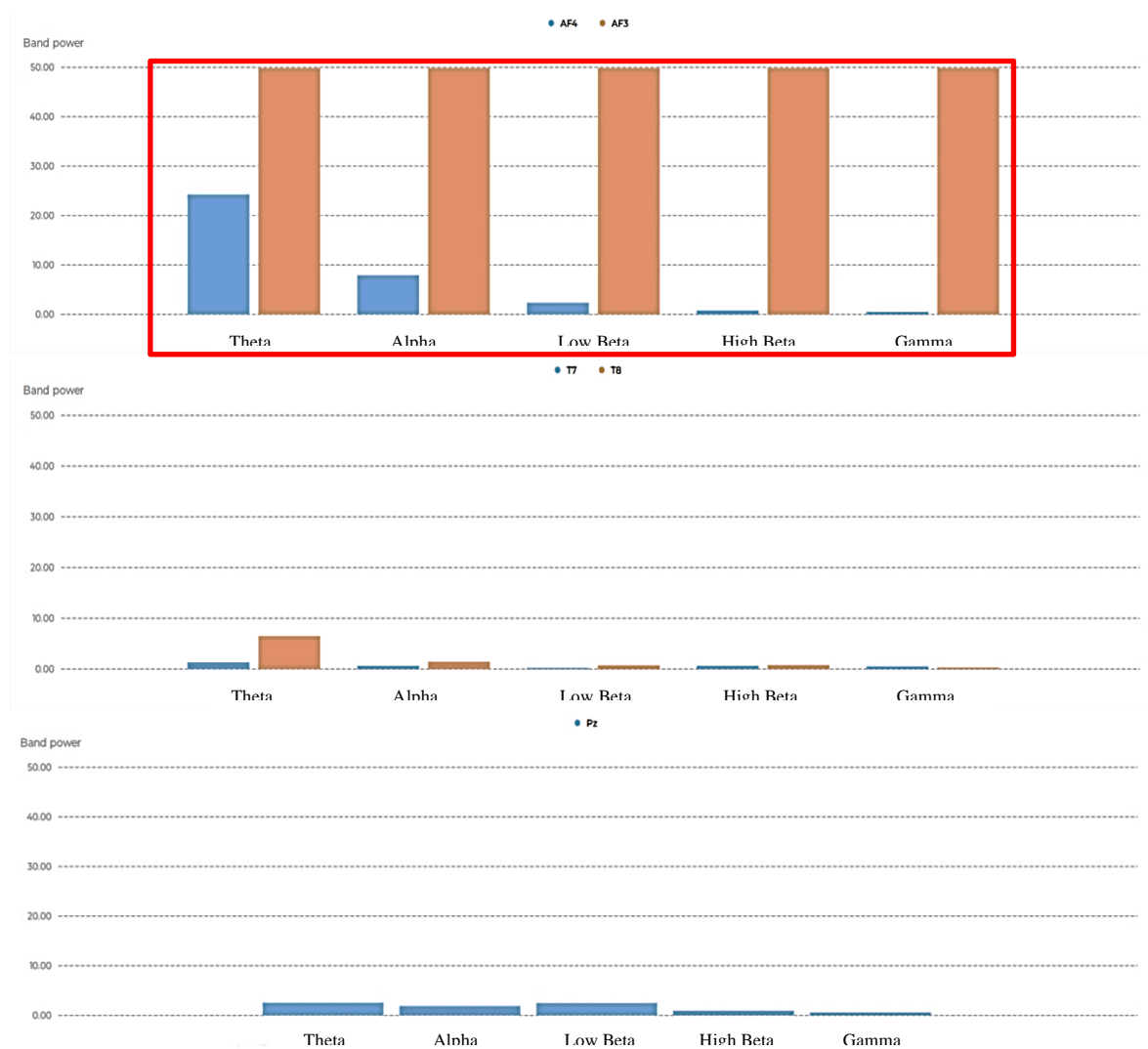


Figura 6.35 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 en un evento donde ocurre un choque.

Respecto a las métricas de desempeño de los estados cognitivos del participante número 7 se pudo percibir un cambio en el valor del enfoque y el compromiso, debido a la situación de alto riesgo, así como la percepción de advertencia de estar más atento, como se muestra en la figura 6.36.





Figura 6.36 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 en un evento donde ocurre un choque.

Al finalizarse la simulación de este participante número 7, se aprecia que los gráficos de los estados cognitivos se encuentran en un estado normal, como se muestra en la figura 6.37.

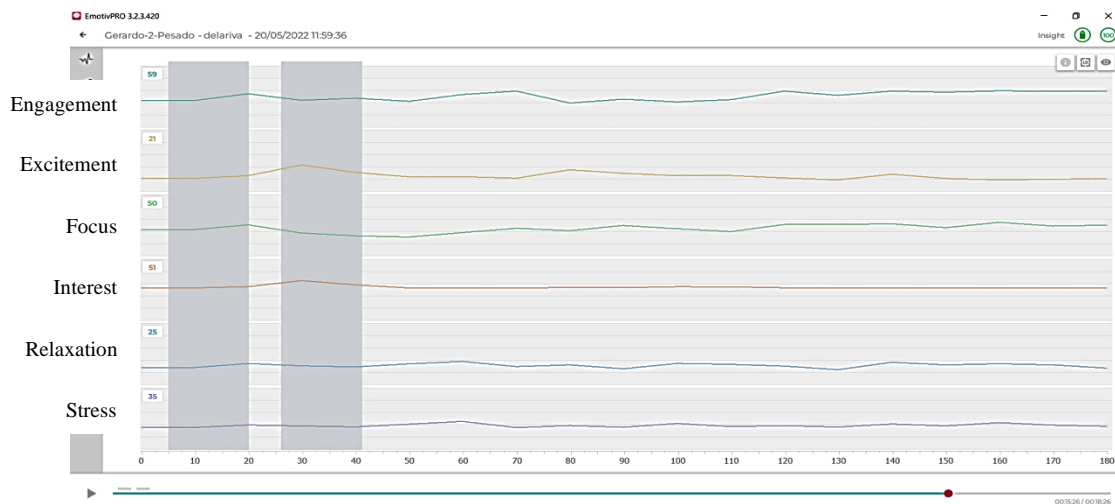


Figura 6.37 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 7 al finalizar la simulación

A diferencia del estado cognitivo inicial, se puede observar un aumento en los valores de potencias en las ondas cerebrales tetha en el área temporal y frontal (AF3, AF4 y T8), con respecto a un posible estado de relajación al cierre del experimento, como se observa en la figura 6.38.

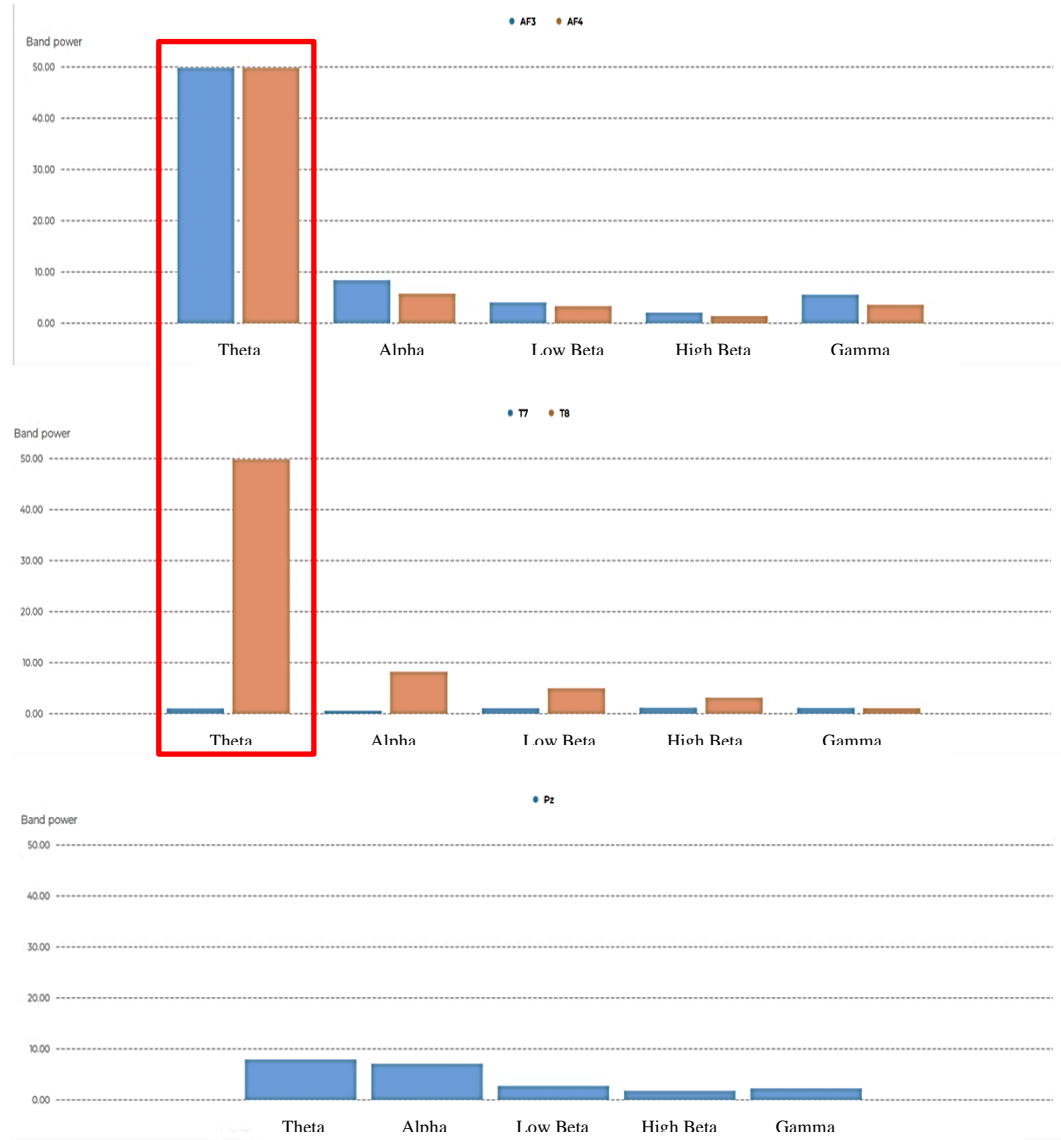


Figura 6.38 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 7 al finalizar la simulación.

### 6.1.1.3. Comparativa entre las modalidades de tráfico ligero y tráfico pesado

En esta parte, se va a realizar una comparativa entre tráfico ligero contra tráfico pesado para un mismo conductor con la finalidad de visualizar las diferencias en cuanto al nivel de impacto en las ondas cerebrales.

En la primera simulación inicial, se observa que el participante número 11 no presenta diferencias marcadas en las ondas cerebrales, únicamente en el tráfico pesado la onda theta inicialmente presenta un valor de potencia más alto como se observa en las Figura 6.39 y 6.40.

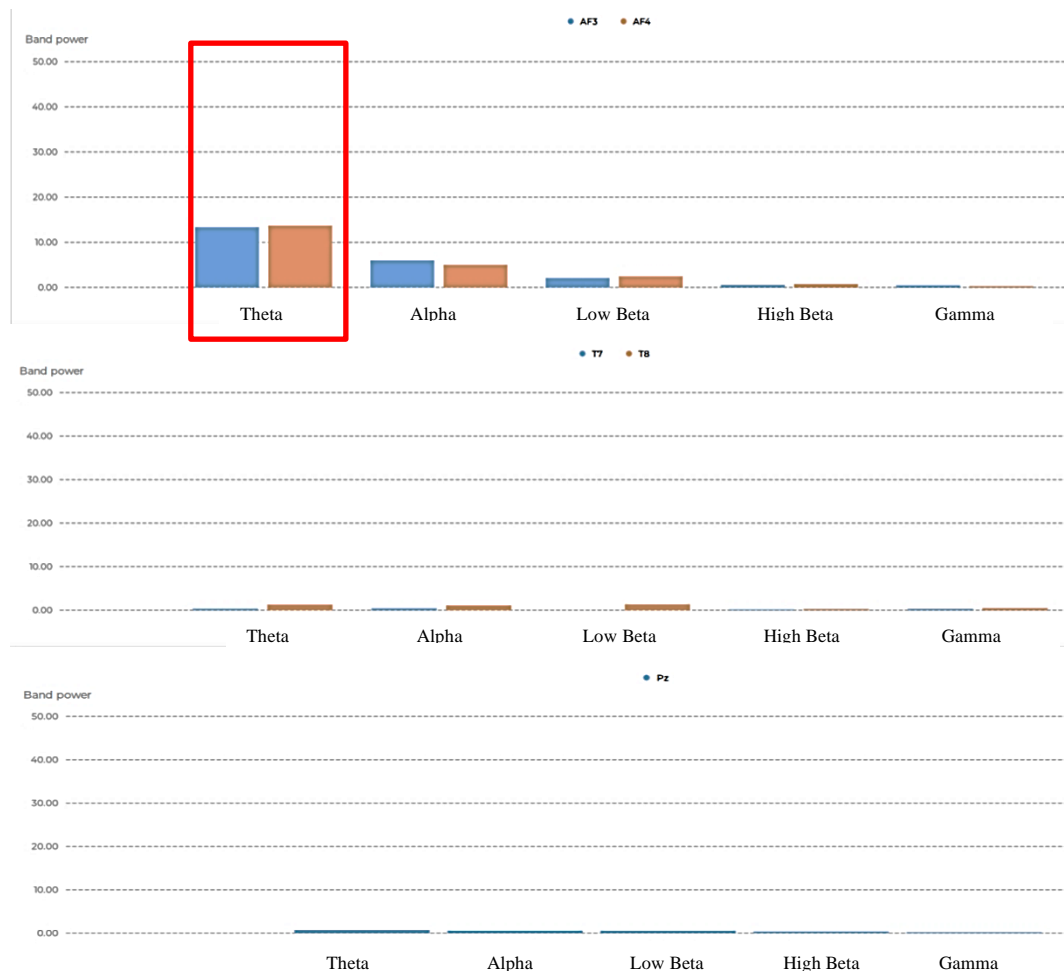


Figura 6.39 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero al iniciar la simulación

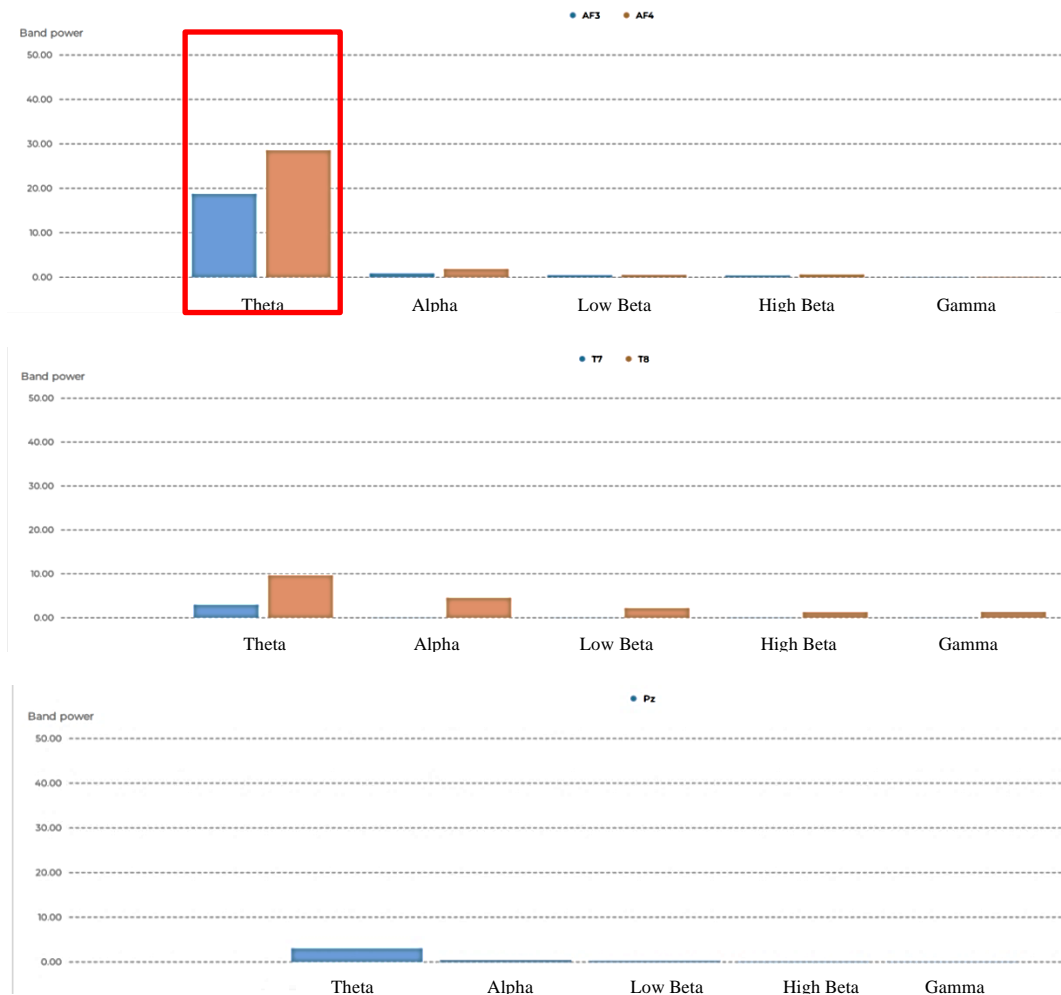


Figura 6.40 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Pesado al iniciar la simulación

En ambas simulaciones se presentaron eventos similares, por ejemplo en ambos estudios se registró un choque en tiempos similares (Ligero Minuto 8, Pesado Minuto 6), en donde un vehículo se metió en sentido contrario y lo golpeo, inicialmente en el estudio de tráfico ligero se puede ver que las potencias de las ondas cerebrales son bastante elevadas respecto a theta, alpha y beta en el área frontal, temporal y parietal (AF3, AF4, T7, T8 y PZ), mientras que en el estudio de tráfico pesado se puede ver que únicamente

hubo aumento en los valores de la potencia en las ondas theta, alpha, beta y gamma en la zona frontal derecha (AF4), debido a una situación de emergencia (Figura 6.41 a 6.42).

Asimismo, con respecto a las métricas de desempeño de los estados cognitivos, se puede visualizar que en el transporte ligero no hay cambios significativos, al momento del choque, la gráfica sigue una tendencia normal, y en relación al tráfico pesado se observa que hay aumento en las métricas para el grado compromiso y excitación al momento del accidente como se muestra en las Figura 6.43 a 6.44.

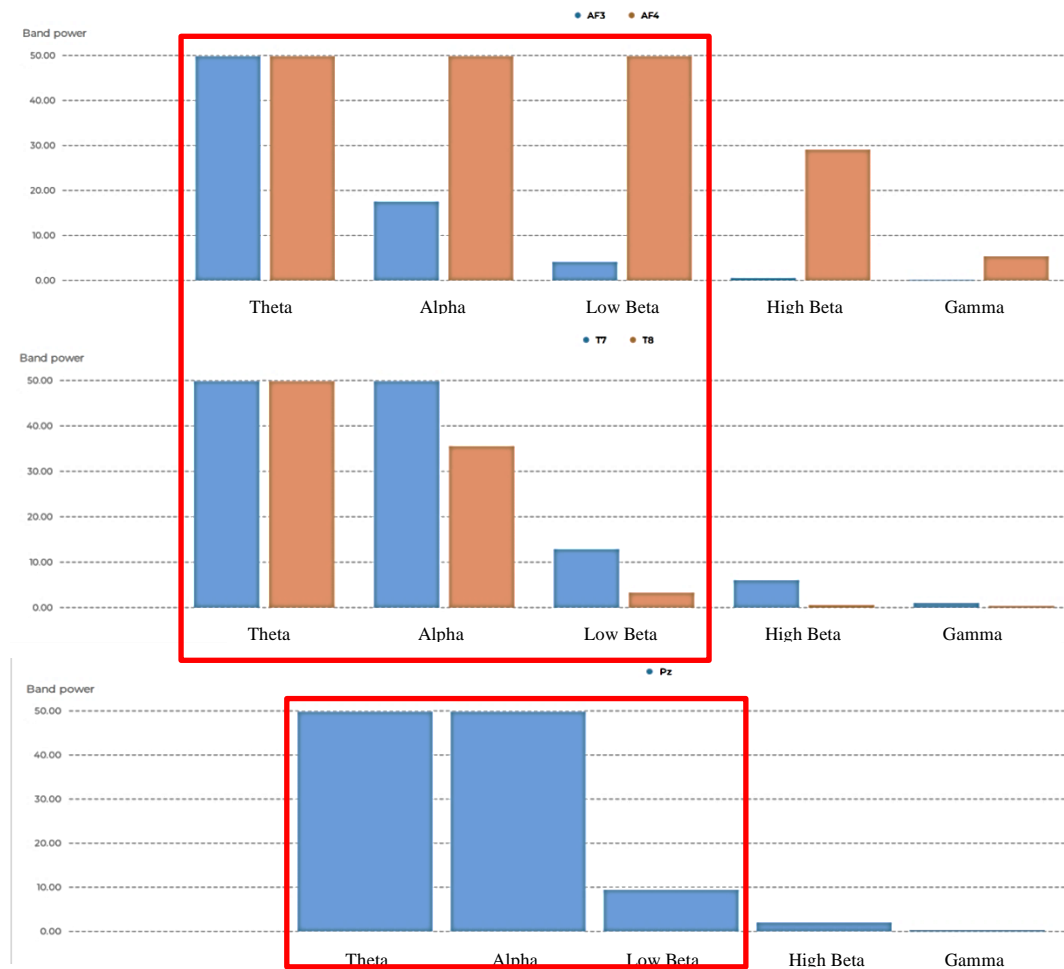


Figura 6.41 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero en un evento donde ocurre un choque.



Figura 6.42 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde ocurre un choque

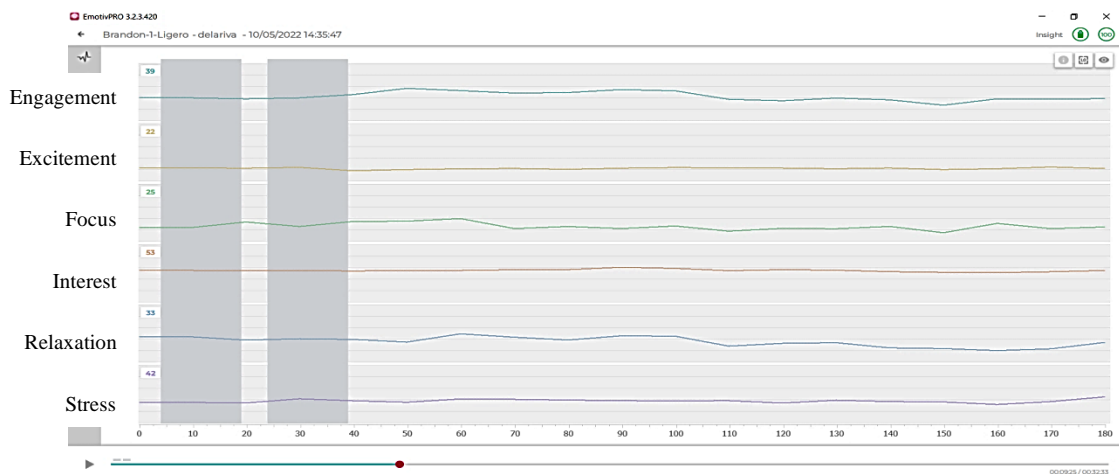


Figura 6.43 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero en un evento donde ocurre un choque.

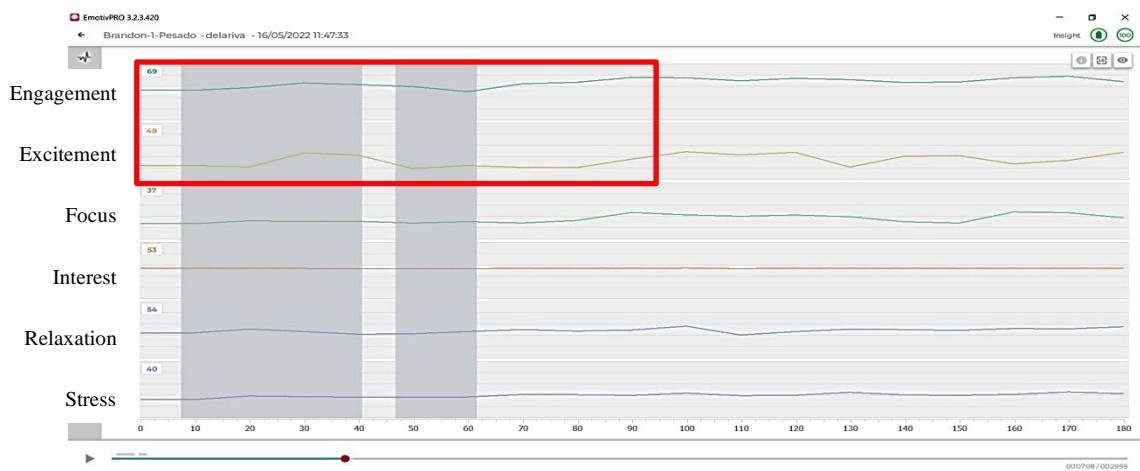


Figura 6.44 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde ocurre un choque.

En un segundo evento, se registró un incidente que se repitió en la simulación de transporte ligero en el minuto 18, en donde se invadió carril buscando esquivar un vehículo que circulaba en sentido contrario, mientras que en el tráfico pesado busco darle la vuelta a un accidente vial que detenía el flujo vehicular.

Respecto a las métricas de desempeño de los estados cognitivos se puede observar variabilidad en la relajación en tráfico ligero para poder evitar un accidente; mientras que

en el tráfico pesado aumento el grado de compromiso y bajo la excitación ya que hubo un manejo en sentido contrario para evitar esperar en el tráfico (Figura 6.45 a 6.46).

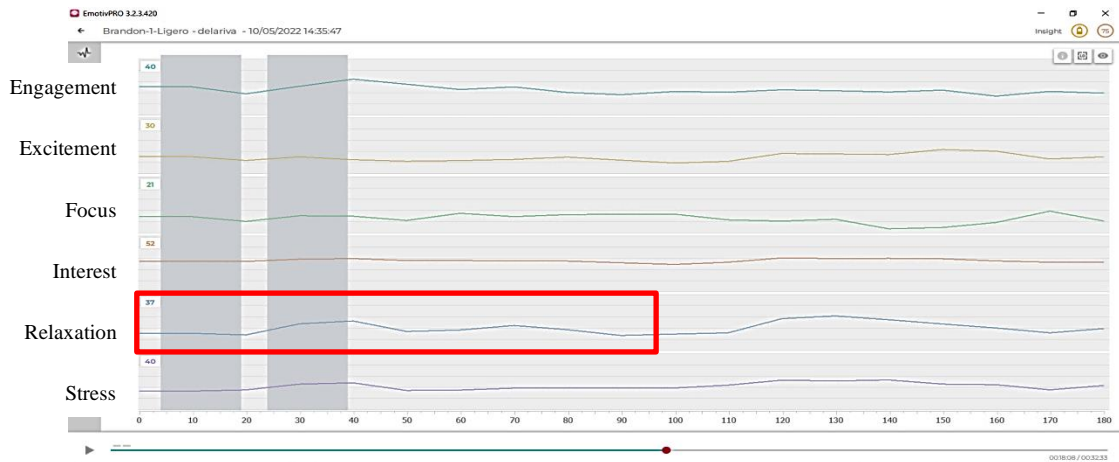


Figura 6.45 Gráficos de desempeño de estado cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero en un evento donde invade el carril.

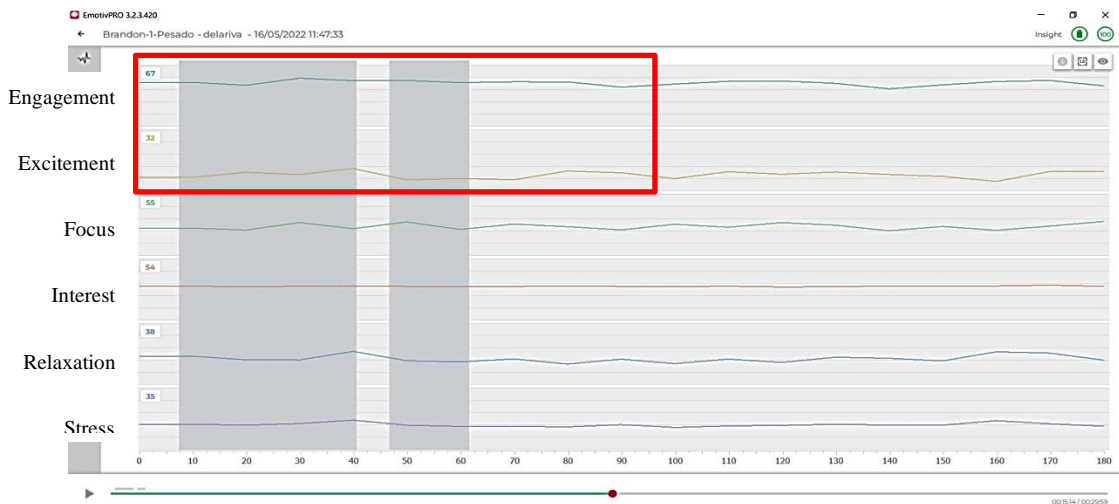


Figura 6.46 Gráficos de desempeño de estado cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde invade el carril.

Se observa que, en la modalidad de tráfico ligero, en el participante número 11 las ondas theta, alpha y beta aumentan considerablemente, en el espectro frontal, temporal y parietal, respecto a un estado de alerta por posible accidente, mientras que en el manejo



en tráfico pesado se presenta aumento en theta, alpha, beta y gamma en la zona frontal y gamma en el área temporal derecha (T8), en relación únicamente a evitar el estrés de estar detenido en el tráfico, esto se puede observar en la figuras 6.47 y 6.48.

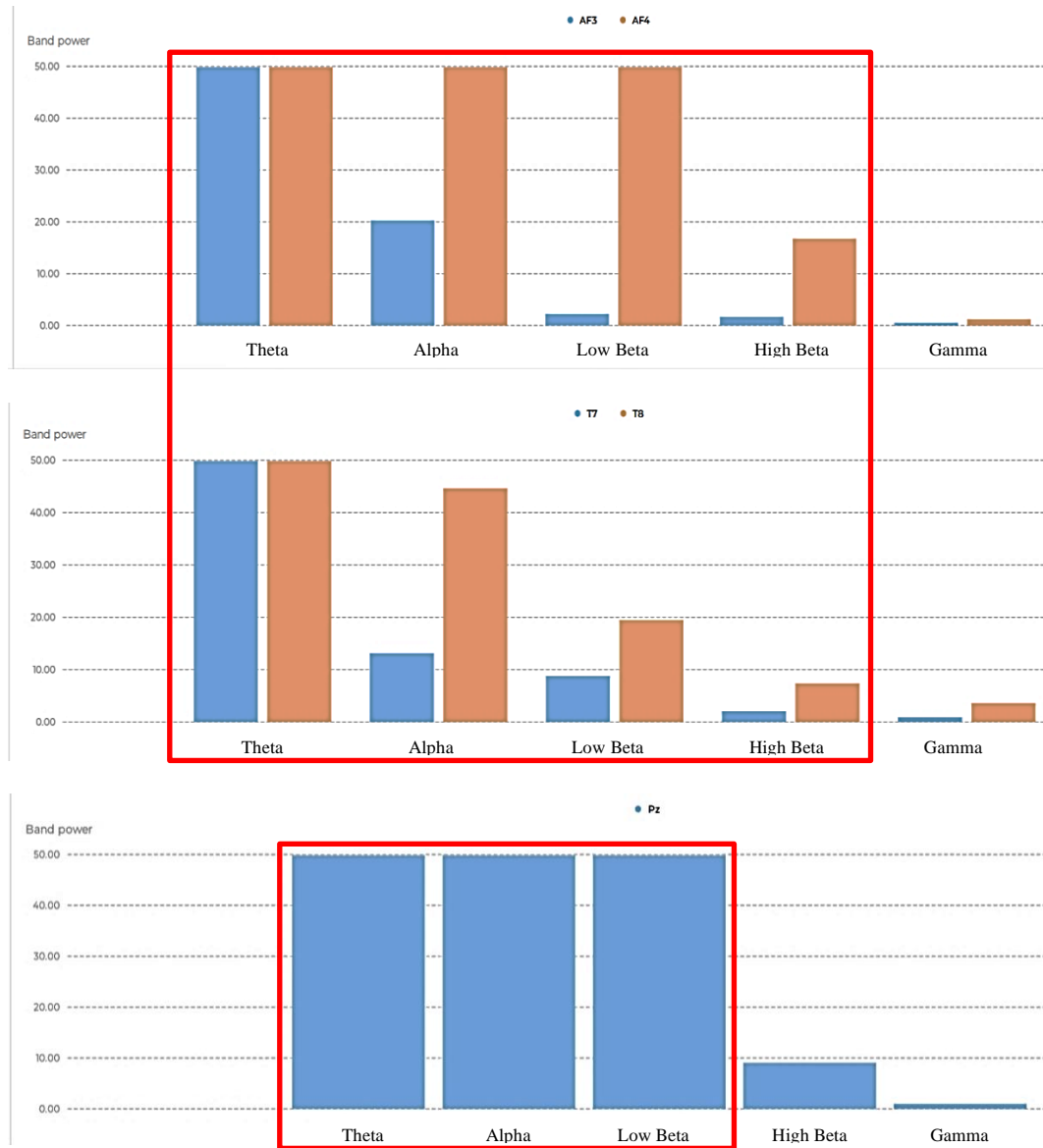


Figura 6.47 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico Ligero en un evento donde invade carril.



Figura 6.48 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde invade carril.

Un tercer evento que se presentó en las simulaciones, fue tener que evadir a un peatón que cruzó la calle fuera de un cruce peatonal (En cualquier lugar de la calle), en la simulación a tráfico ligero, la persona se atravesó en medio de la calle en una zona residencial, lo que provocó que se hicieran maniobras para evitar atropellarle; mientras que en la simulación a tráfico pesado la persona se cruzó en una vialidad rápida con alto flujo, lo que dificultó evitar al transeúnte.

Respecto al comportamiento de las métricas de desempeño de los estados cognitivos, se encontró que en tráfico ligero la persona tuvo una disminución en su nivel de compromiso, mientras que el estado de enfoque era muy bajo; y respecto al tráfico pesado, el enfoque y compromiso tuvieron una ligera recaída, a diferencia de la excitación que tuvo un menor aumento (Figura 6.49 y 6.50).

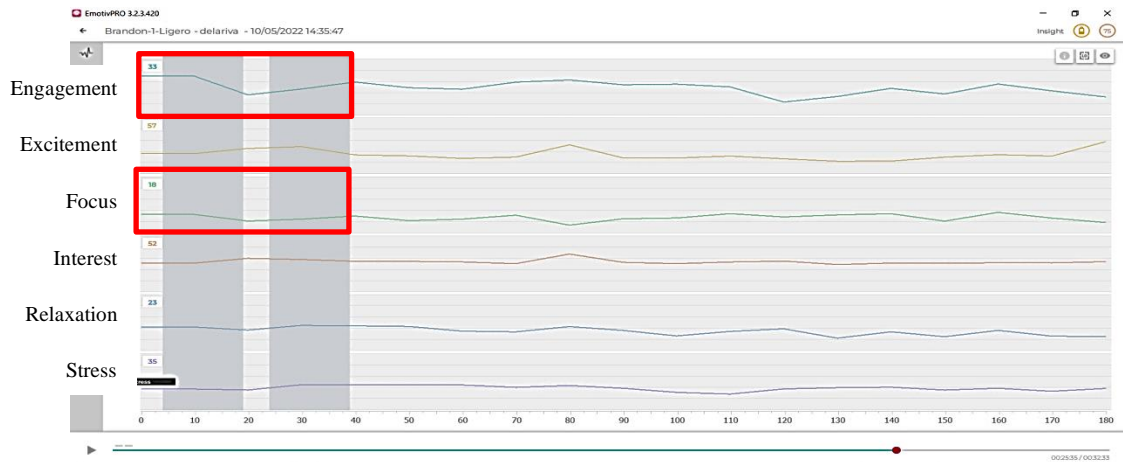


Figura 6.49 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero en un evento donde invade carril.

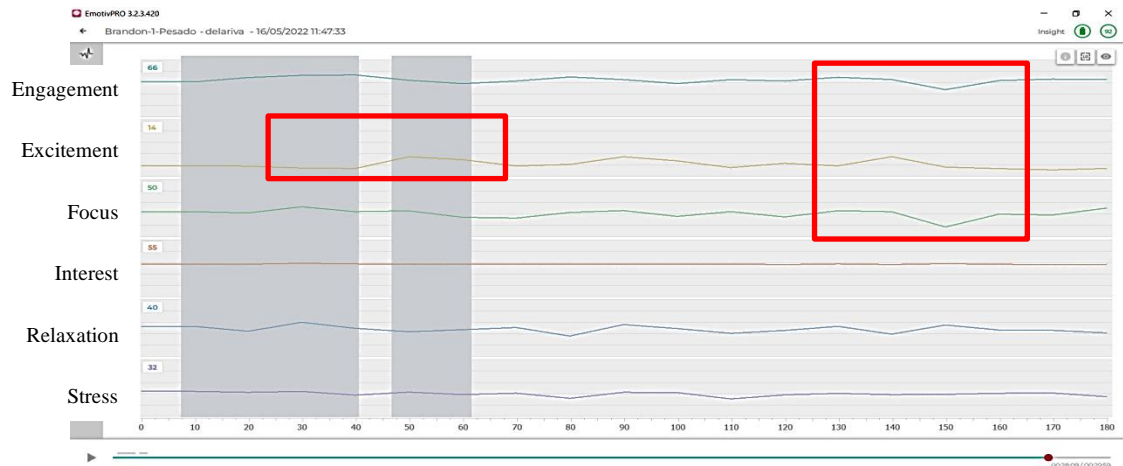


Figura 6.50 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde invade carril.

Al estudiar el comportamiento de las ondas cerebrales, se pudo visualizar que en el muestreo de tráfico ligero de la persona 11, donde presento un ligero aumento en la potencia de la onda theta en el área frontal (AF3 y AF4), debido a la acción de evitar atropellar a una persona cruzando la calle, en comparación con la simulación de tráfico pesado, en donde se presenta un aumento en las potencias de las ondas theta y alpha, en la misma región frontal, este aumento puede deberse a una mayor dificultad de movilidad con un alto nivel de vehículos circulando, como se muestra en las figuras 6.51 y 6.52.

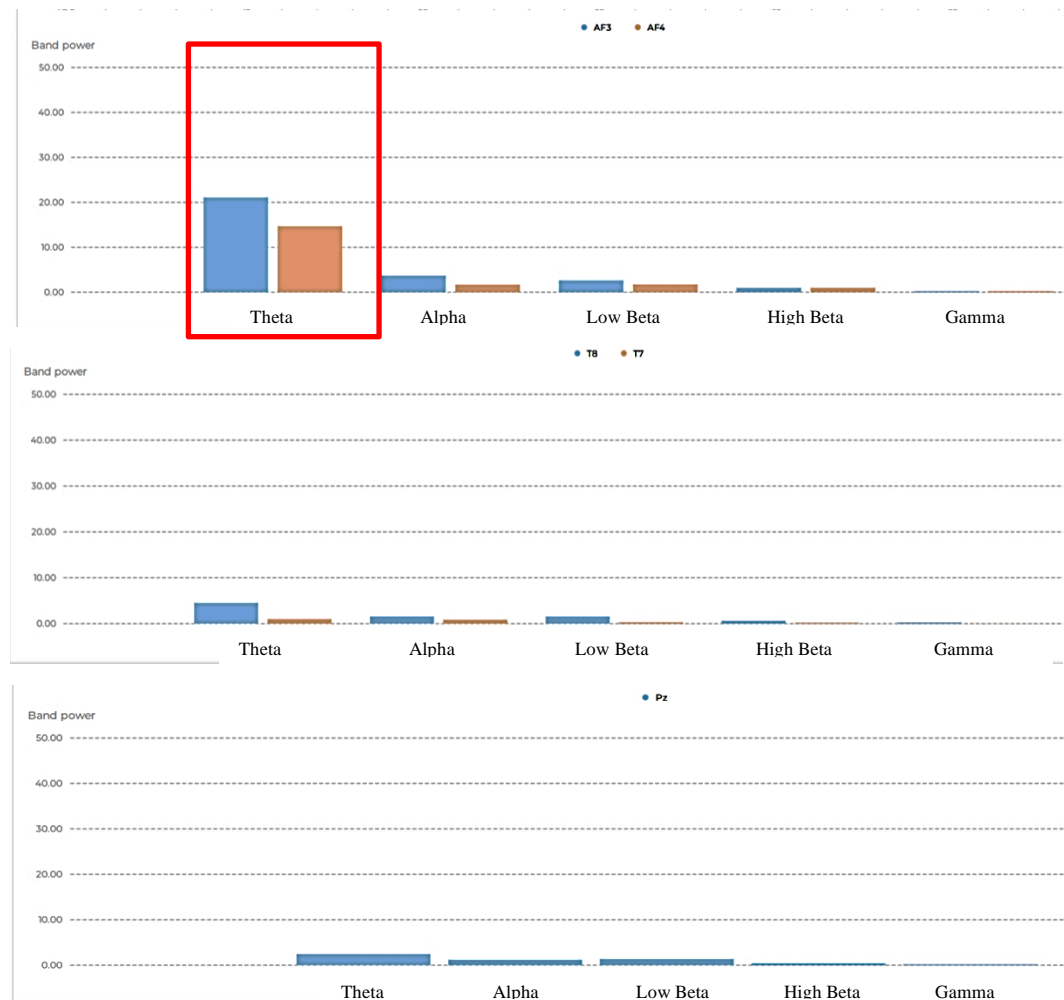


Figura 6.51 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero en un evento donde evita atropellar un peatón.



Figura 6.52 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado en un evento donde evita atropellar un peatón.

Finalmente en el cierre de la simulación en los minutos, se puede observar, que la simulación en la modalidad a tráfico ligero presento valores de potencia en las ondas casi nulos, debido a que se mantuvo en un estado pasivo, en cambio en la simulación a tráfico pesado si hubo incremento en las potencias de las ondas theta, alpha y beta, respecto a un estado más alterado por el mayor nivel de concentración requerido como se muestra en las Figura 6.53 y 6.54.

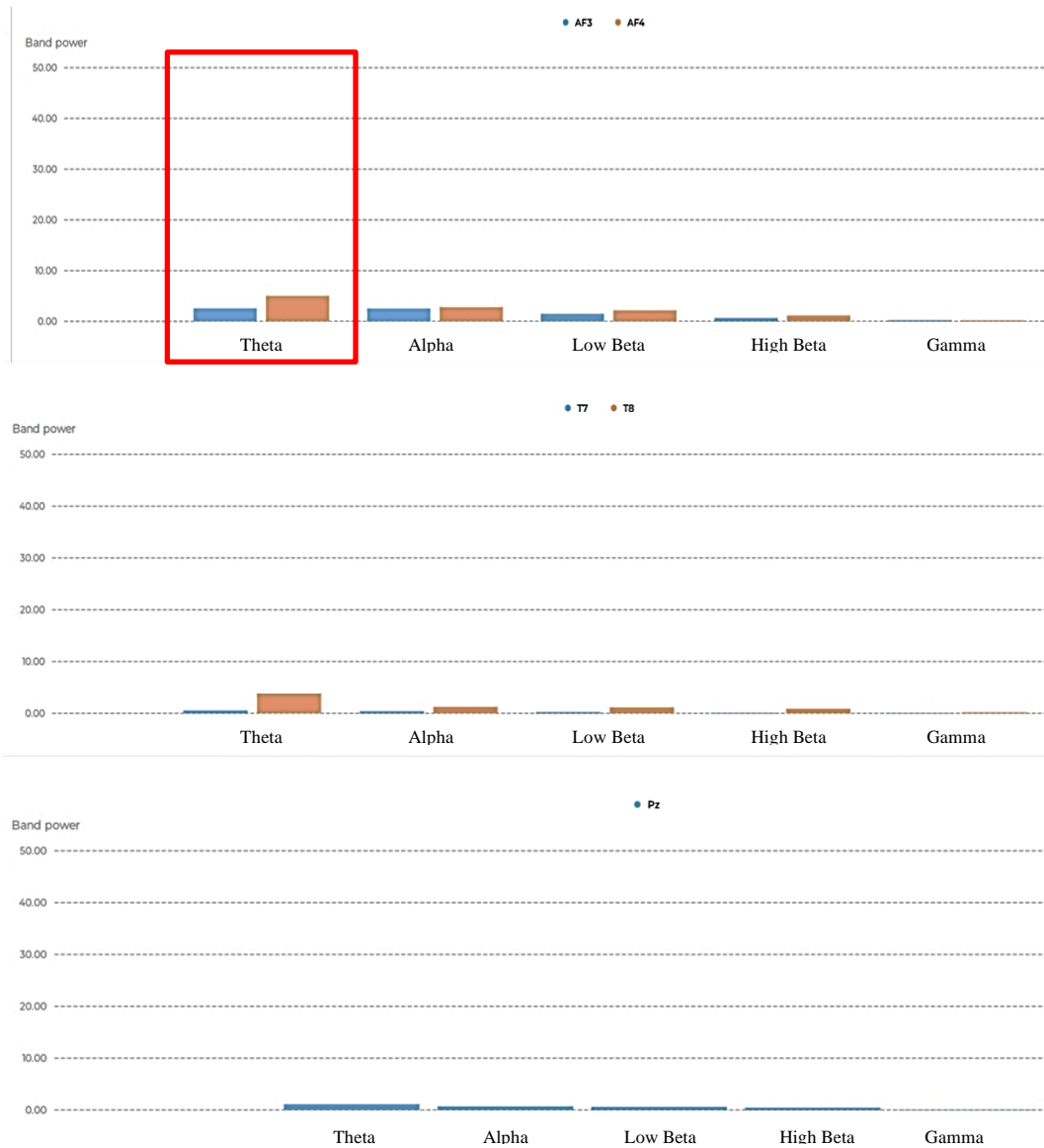


Figura 6.53 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero al finalizar la simulación.



Figura 6.54 Valores de Potencia para las diferentes ondas cerebrales en sus respectivos electrodos AF3, AF4, T7, T8 y PZ de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado al finalizar la simulación.

En relación a las métricas de desempeño de los estados cognitivo se visualiza que en la simulación en tráfico ligero hay un alto nivel en el grado de compromiso y un bajo nivel respecto a la excitación, en contraparte la simulación a tráfico ligero presentó un alto nivel de compromiso, un bajo nivel de excitación como en el caso del tráfico ligero

pero aunado a esto el enfoque tuvo una ligera disminución al cierre del muestreo, así como se muestra en las figura 6.55 y 6.56.

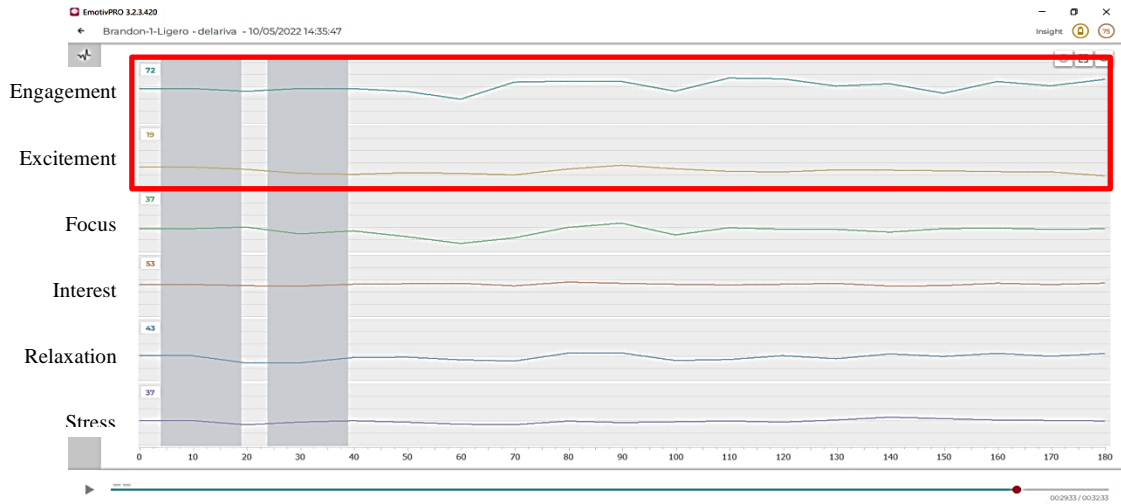


Figura 6.55 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico ligero al finalizar la simulación.

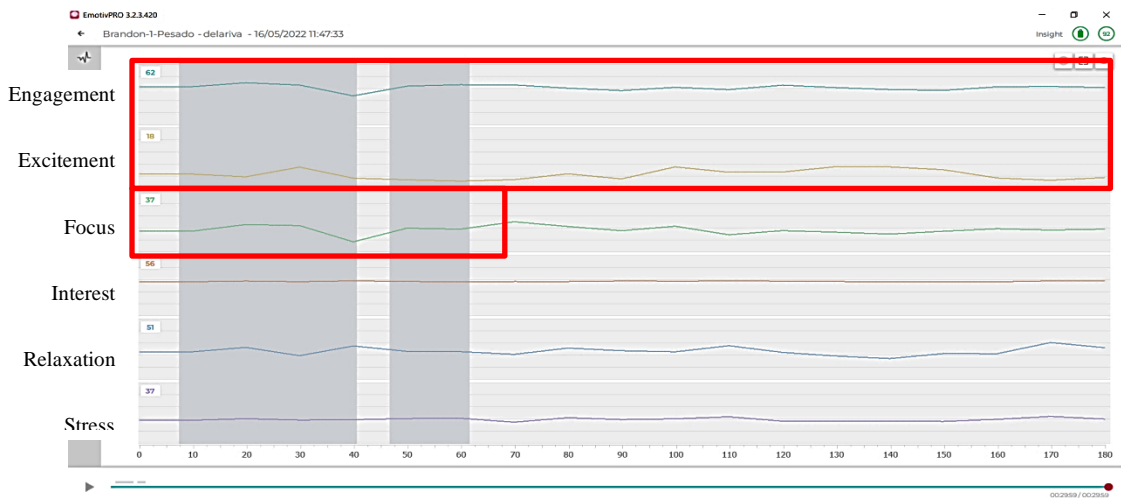


Figura 6.56 Gráficos de Desempeño de Estado Cognitivo de la persona 11 en la modalidad de tráfico pesado al finalizar la simulación.



Este análisis comparativo de las simulaciones en las dos modalidades de tráfico, muestra una marcada influencia del tráfico pesado tanto en las potencias de las ondas cerebrales (theta, alpha, beta y gamma) como en las métricas de desempeño de los estados cognitivos (Compromiso, excitación, enfoque, interés, relajación y estrés).

Los resultados de las simulaciones muestran un mayor nivel de actividad en el área del lóbulo frontal, en comparación con las áreas temporal y parietal.

El comportamiento de la onda theta y alpha en la zona frontal en la modalidad de tráfico ligero presentó un aumento significativo en la potencia respecto al estado normal, mientras que gamma no mostro aumento, siendo estas las ondas de mayor presencia, según Zhang (2016), este es un comportamiento relacionado con la somnolencia, donde existe una correlación positiva del aumento de theta o alpha y una correlación negativa de beta.

En comparativa en la modalidad de tráfico pesado, se observa un aumento en la potencia de la onda theta y un nivel bajo en beta en el área frontal, relacionándose con un estado de fatiga mental, de similar manera se puede percibir un aumento significativo en la potencia de la onda gamma de los participantes, lo cual podría ser indicativo de un estado de estrés y confusión, y asociarse a un mayor nivel de concentración al manejar en espacios de gran afluencia vehicular.

Las métricas de desempeño de los estados cognitivos al realizar la comparación de las distintas modalidades de tráfico mostraron cambios representativos en el grado de compromiso y enfoque de los participantes, presentando también un aumento significativo durante sucesos o eventos relevantes; También en la modalidad de tráfico pesado, hubo una disminución respecto al estado de excitación y relajación, al necesitarse un mayor nivel de atención.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio, se realizó con el objetivo de investigar el comportamiento de las ondas cerebrales para determinar si existe algún cambio en las ondas: theta, alpha, beta y gamma en los automovilistas al conducir con tráfico ligero en comparación con manejar en tráfico pesado.

En relación a la pregunta de investigación, que refiere al cambios en las ondas cerebrales durante la prueba de manejo de tráfico ligero y pesado, podemos concluir que en base a el análisis de las gráficas de potencia y las métricas de desempeño de los estados cognitivos, se encontró que si existen diferencias entre las ondas theta y beta, esto se muestra en situaciones de incidentes o al aumentar el tiempo de conducción, donde el espectro de potencia relativa de theta aumenta gradualmente, mientras que la onda de beta disminuye.

De acuerdo con la primera hipótesis, se puede concluir que hubo cambios en las ondas cerebrales mediante la conducción en tráfico ligero y pesado por 30 minutos, se observó que se activó la onda theta en el área frontal en AF3 y AF4, la onda alpha la zona frontal AF3 y gamma en el área temporal T7 en la evaluación con tráfico ligero. En comparación el tráfico pesado, tuvo mayor actividad en la onda theta y alpha en el área frontal AF3 y AF4, en la onda low beta en al área temporal en el canal T7 y en la onda gamma en los canales T7 y T8.

También se demostró la segunda hipótesis, que es identificar los cambios en las ondas cerebrales theta, alpha, beta y gamma en un accidente vial: El primer evento en que tuvo lugar un frenado brusco se activó la onda theta y gamma en el área frontal (AF3 y AF4), y la onda gamma en el área parietal (PZ); el segundo evento fue subirse a la banqueta, las ondas más activas fueron theta, alpha y gamma en el área frontal (AF3 y AF4), theta en la zona temporal (T7) y gamma en el parietal (PZ); el tercer evento que se presento es un choque, en donde la mayoría de las ondas estuvieron activas, sean theta,

alpha, beta y gamma (AF3, AF4, T7, T8 y PZ); el cuarto evento que se refiere al invadir un carril, genero mayor actividad en las ondas theta, alpha, low beta y gamma en los canales AF3, AF4, T8 y PZ; el quinto evento que es conducir fuera de la carretera, presento activación en todas las ondas cerebrales del área frontal (AF3) y únicamente el canal AF4 en las ondas theta y alpha; el sexto evento se trató del tráfico detenido, donde se activaron las ondas theta, alpha y low beta en el área frontal, temporal y parietal (AF3, AF4, T7, T8 y PZ); el siguiente evento fue el cambio de carril, donde únicamente se activó el área frontal (AF3 y AF4) en tetha y alpha; el último evento que es atropellar un peatón, se activó la onda theta en el área frontal (AF3 y AF4) y la onda gamma en el área frontal, temporal y parietal (AF3, AF4, T8 y PZ).

En conclusión a los eventos, se pudo identificar una mayor activación de las ondas theta, alpha y gamma, ya que la onda theta se presenta en un estado de somnolencia que esta puede producirse al momento de la conducción de un automóvil durante un tiempo determinado. De acuerdo con Reyes (2013), la onda gamma se asocia con actividades mentales complejas, es por eso que en la mayoría de los eventos ocurridos en la simulación de manejo se encontró una activación de esta onda.

De acuerdo con Zhang (2016) si se tiene una potencia elevada de theta o alpha y una reducción en beta es un indicativo de la presencia del estado cognitivo reconocido como la fatiga, que esto tiene como consecuencia accidentes viales en los conductores. En esta investigación se obtuvo una potencia elevada en las ondas theta y alpha en los diversos eventos, al final cada muestra con un tiempo de 30 minutos de manejo, por esta razón se concluye que hubo presencia de fatiga al manejar en estado ligero y pesado.

Como recomendación para proyecto futuros, se recomienda el uso de dispositivos con un mayor número de electrodos, para evitar la pérdida de datos y permitir una valoración estadística, que generará resultados de mayor impacto, además se sugiere implementar los estudios en un ambiente más realista o utilizando técnicas de realidad virtual, ya que las condiciones de climatología, la presión vial conforme a otros conductores y variabilidad de tráfico representan una variable de mayor influencia sobre el estado cognitivo de los participantes.

También es importante analizar la selección de participantes, por ejemplo el utilizar personas del ramo transportista, sea de vehículos de pasajeros o de transporte de mercancías, en relación a un posible enfoque ergonómico laboral o pensando en futuros estudios sobre la implementación de los vehículos autónomos en la región.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Benítez, R., Escudero, G., Kanaan, S., & Rodó, D. M. (2014). *Inteligencia artificial avanzada* (1 ed.). Barcelona, España: Editorial UOC (Universitat Oberta de Catalunya).
- Abeer Al-Nafjan, A. A.-W.-O. (2017). Classification of Human Emotions from Electroencephalogram (EEG) Signal using Deep Neural Network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(9), 419-425.
- Aporte, A., & Moreno, J. A. (2017). Autómatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas. *Tekhne*, 5-15.
- Aranda, T., & García, J. G. (1999). *Notas sobre MATLAB*. Oviedo: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- Bu, R. C. (2010). *Simulación un enfoque práctico* (1 ed.). México: Limusa.
- Budi Thomas Jap, S. L. (2010). Inter-hemispheric electroencephalography coherence analysis: Assessing activity during monotonous driving brain. *International Journal of Psychophysiology*, 76(3), 169-173.
- Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo* (Vol. 87). Santiago de Chile: Publicaciones de las Naciones Unidas.
- Cardinali, D. P. (2007). *Neurociencia Aplicada: Sus fundamentos* (1 ed.). Buenos Aires, Argentina: Editorial Medica Panamericana.
- Carrión Pérez, P. A., Ródenas García, J., & Rieta Ibáñez, J. J. (2007). *Procesado de señales biomédicas* (1 ed.). Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla - La Mancha.
- Ciaburro, G. (2017). *MATLAB for Machine Learning*. Birmingham, Ukrania: Packt Publishing.
- Cibrián, J. I. (2018). *Desarrollo de algoritmos de análisis inteligentes, visualización de datos y procesamiento de senales neurofisiológicas para estudio de enfermedades neurodegenerativas*. Gijon: Universidad de Oviedo.
- Cid, F. M. (2008). *Principios de neuroeducación física* (2 ed.). España: Bubok Publishing SL.
- City Car Driving*. (8 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://citycardriving.com/>
- Coss, R. (2003). *Simulación: un enfoque práctico* (20 ed.). Monterrey, México: Editorial LIMUSA.
- Craig, S. K. (2002). Driver fatigue: Electroencephalography and psychological assessment. *Psychophysiology*, 39(3), 313-321.
- David Sommer, M. G. (2009). A measure of strong driver fatigue. *University of Iowa*, 9-15.

- Davidson, R. J. (2010). Affective Style and Affective Disorders: Perspectives from Affective Neuroscience. *Cognition and Emotion*, 12(3), 307-330.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2003). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9-21.
- Dickter, C., & Kieffaber, P. (2014). *EEG Methods for the Psychological Sciences* (1 ed.). California, Estados Unidos: Editorial SAGE.
- EMOTIV. (20 de Abril de 2022). *EMOTIV EPOC*. Obtenido de <https://www.emotiv.com/epoc/>
- EUROTaller. (4 de Mayo de 2019). *¿Cómo funcionan los simuladores de conducción?* Obtenido de Talleres de España: <https://www.eurotaller.com/noticia/como-funcionan-los-simuladores-de-conduccion>
- Fana, X., Zhoua, Q., Liua, Z., & Xieb, F. X. (2015). Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 26(1), S1455-S1463.
- Figueroa, L. J. (2016). *Análisis de Señales EEG para Detección de Eventos Oculares, Musculares y Cognitivos*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Fithriyyah Aziezh, H. P., Yulianti, E. W., & Freddy Haryanto, S. (2020). Characterization of Individual Alpha Frequency of EEG Signals as an Indicator of Cognitive Fatigue. *Journal of Physics: Conference Series*, 1505(012068).
- García Alcaraz, J. L., Sánchez Ramírez, C., Avelar Sosa, L., & Alor Hernandez, G. (2019). *Techniques, Tools and Methodologies Applied to Global Supply Chain Ecosystems* (1 ed.). Cham, Suiza: Springer Nature.
- García, G. (2017). *Casos de investigación: Una práctica empresarial* (1 ed.). Madrid, España: ESIC Editorial.
- Gianluca Borghini, L. A. (2012). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 58-75.
- Gilat, A. (2006). *Matlab: una introducción con ejemplos prácticos* (2 ed.). Barcelona, España: Editorial Reverte.
- Gonzales, I. (21 de Mayo de 2019). *Dispositivos EEG: el costo de medir la actividad cerebral*. Obtenido de NeuroMarketing: <https://neuromarketing.la/2017/07/dispositivos-eeg-costo-medir-la-actividad-cerebral/>
- Guzo, F. J. (6 de Diciembre de 2019). *Car Culture*. Obtenido de [https://www.carculturemx.com/?fbclid=IwAR2sMWnKSnooMvpVtXxEc94j-R0KPdTARbxGAUpdKJKiU5T6gInCHJik\\_lk](https://www.carculturemx.com/?fbclid=IwAR2sMWnKSnooMvpVtXxEc94j-R0KPdTARbxGAUpdKJKiU5T6gInCHJik_lk)

- He, S., Chen, L., & Yue, M. (2018). Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road Traffic System Considering Synchronization of Neural Activity. *NeuroQuantology*, 16(4), 62-68.
- Hu, J. (2017). Automated Detection of Driver Fatigue Based on AdaBoost Classifier with EEG Signals. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 11(72).
- Hu, J., & Wang, P. (2017). Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets. 19(8), 385-414.
- I. García, S. B. (2010). Vision-based drowsiness detector for a Realistic Driving Simulator. *Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, 19-22.
- Instituto Tecnológico de Castilla y Leon. (18 de Mayo de 2019). *Aplicación de Sistemas de Simulación en la Industria*. Obtenido de ITCL: <https://itcl.es/blog/para-que-sirven-los-sistemas-de-simulacion/>
- Julio Sánchez, J. B. (2010). Revisiones sistemáticas y meta-análisis: Herramientas para la práctica profesional. *Psychologist Papers*, 7-17.
- Klimesch, W. (1998). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 169-195.
- Kohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data*. Londres: Inglaterra.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2009). *Neuropsicología humana*. Madrid: Editorial Medica Panamericana.
- Kong, W., Lin, W., Babiloni, F., Hu, S., & Borghini, G. (2015). *Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network*. China/Italia: Editorial MDPI.
- Llaneza Álvarez, F. J. (2007). *Ergonomía y Psicología Aplicada*. Espana: Editorial Lex Nova.
- Longo, L., & Chiara Leva, M. (2019). *Human Mental Workload: Models and Applications*. Roma: Ediciones Springer.
- Lutz, A., Greischar, L. L., Rawlings, N. B., & Davidson, R. J. (2004). Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice. *PNAS*, 766.
- Martin Golz, D. S. (2015). Driver Sleepiness assessed by electroencephalography - Different Methods Applied to one single data set. *8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, 365-371.
- MATLAB. (14 de Junio de 2022). *MathWorks*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>
- Maureira, F. (2017). *¿Qué es la inteligencia?* España: Bubok Publishing.

- Mimenza, O. (03 de Abril de 2019). *Psicología y Mente*. Recuperado el 03 de Abril de 2019, de Ergonomía: qué es y cuáles son sus 4 tipos y funciones: <https://psicologiaymente.com/miscelanea/ergonomia>
- Min, J., Wang, P., & Hu, J. (2017). *Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system*. Jiangxi, China: Ediciones PLOS ONE.
- Minguillon, J., Lopez Gordo, M. A., & Pelayo, F. (2016). Stress Assessment by Prefrontal Relative Gamma. *Frontiers in Computational Neuroscience*.
- Monitoreo y Procesamiento Inalámbrico de EEG de 4, 10 y 24 Canales*. (2 de Mayo de 2019). Obtenido de Innovaciones software y servicios : <http://www.innovacionessoftware.com/index.php/monitoreo-y-procesamiento-inalambrico-de-eeg-de-4-10-y-24-canales>
- Nogales, J., Donoso, A., & Verdugo, R. (2005). *Tratado de Neurología Clínica*. Chile: Editorial Universitaria.
- Pinsach, J. R. (2006). Simuladores para el aprendizaje y entrenamiento en vela. *Apunts Educación Física y Deportes*, 56-67.
- Pradas, S. (2006). *Neurotecnología educativa: La tecnología al servicio del alumno y del profesor*. España: Ediciones del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Rao, S. S. (2009). *Engineering Optimization*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Reyes Rueda, A. (2013). Interfaz cerebro computador mediante la clasificación de señales electroencefalográficas. *Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Javeriana*.
- Ryan, M.-L. (2004). *La narración como realidad virtual: la inmersión y la interactividad en la literatura y los medios electronicos*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.
- Sampieri, D. R. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- Saravia, M. (2006). *Ergonomía de concepción: Su aplicación al diseño y otros procesos proyectuales*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Saroj K.L. Lal, A. C. (2017). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *MDPI*.
- Sergio Ledesma, G. A. (2008). Practical Considerations for Simulated Annealing Implementation. En C. M. Tan, *Simulated Annealing* (págs. 401-420). México: InTech.
- Steren*. (8 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://www.steren.com.mx/>
- Tam Malaga, J., Vera, G., & Oliveros Ramos, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación. *Pensamiento y Acción* , 145-154.
- Torres, Á. C. (2018). *Neuro ergonomía: una ciencia sobre el cerebro y la comodidad*. Granada: Universidad de Granada.



- Vysata, O., Kukal, J., Valis, M., Pazdera, L., Hortll, J., & Prochazka, A. (2014). *Lag Synchronisation in the Human Brain: Evidence from 17,722 Healthy Subjects EEG Analyses*. Republica Checa: NeuroQuantology.
- Walmart. (6 de Diciembre de 2019). Obtenido de [https://www.walmart.com.mx/tv-y-video/pantallas/todas/tv-atvio-32-pulgadas-720p-hd-led-atv32\\_00084687300150?gclid=CjwKCAiA1rPyBRAREiwA1UIy8Acez1dOh4-C1QLdZBTbOX6lj9oruAeDuISLaCS6re3yvltUCs-8zhoCMMAQAvD\\_BwE](https://www.walmart.com.mx/tv-y-video/pantallas/todas/tv-atvio-32-pulgadas-720p-hd-led-atv32_00084687300150?gclid=CjwKCAiA1rPyBRAREiwA1UIy8Acez1dOh4-C1QLdZBTbOX6lj9oruAeDuISLaCS6re3yvltUCs-8zhoCMMAQAvD_BwE)
- Yuliang Ma, B. C. (2019). Driving Fatigue Detection from EEG Using a Modified PCANet Method. *Hindawi*.
- Zhang, Z., Luo, D., Rasim, Y., Li, Y., Meng, G., Xu, J., & Wang, C. (2016). *A Vehicle Active Safety Model: Vehicle Speed Control Based on Driver Vigilance Detection Using Wearable EEG and Sparse Representation*. China: Editorial MDPI.

## ANEXO 1 [FORMATO DATOS DE ALUMNOS]

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 1	
Edad:	22 años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:		
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO
DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Perona 2	
Edad:	24	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:	4 años	
Que tipo de vehiculo maneja:	Lincoln MKZ	
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO
DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 3	
Edad:	20años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:		
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 4	
Edad:	19 años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:	1 mes	
Que tipo de vehiculo maneja:		
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 5	
Edad:	24	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:	2años	
Que tipo de vehiculo maneja:	Pontiac g6	
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 6	
Edad:	20años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:		
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 7	
Edad:	22 años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:	Saturn96	
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO
DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 8	
Edad:	23años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:	3 años	
Que tipo de vehiculo maneja:	automóvil tipo sedan	
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO
DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 9	
Edad:	19 años	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:		
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 10	
Edad:	24	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:	Sedan altima	
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

DATOS GENERALES DE LOS PARTICIPANTES		
Nombre	Persona 11	
Edad:	22	
Sexo:	H	M
Licencia:	SI	NO
Hace cuanto tienes licencia:		
Que tipo de vehiculo maneja:	Buick	
Trasmicion manual:	SI	NO
Trasmicion automatica:	SI	NO
Consumes alcohol:	SI	NO
Fumas:	SI	NO
Utilizas anteojos:	SI	NO
Trabajas:	SI	NO
Conoce el reglamento de trancito:	SI	NO
Estas bajo algun tratamiento medico:	SI	NO

## ANEXO 2 [FORMATO CONSENTIMIENTO INFORMADO]

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Fecha: \_\_\_\_\_

**Título del Proyecto:**

“EVALUACIÓN NEUROERGONÓMICA DEL ESTRÉS EN LOS AUTOMOVILISTAS A TRAVÉS DE UN SIMULADOR”

**Objetivo del Estudio:**

El objetivo general que se desean comprobar en esta investigación, es diseñar un modelo para medir el estrés por medio de las ondas cerebrales Beta, Alfa Theta y Delta y determinar su relación con los accidentes de tráfico.

**Cómo se Realizará el Estudio:**

- 
1. El presente estudio se realizara de la siguiente manera
  2. Se dará una introducción teórica del software, modelo de trabajo y equipos a utilizar (Platica previa).
  3. Se mostrara el dispositivo en físico, así como el simulador y programa a utilizar.
  4. Se realizara una ronda de entrenamiento en tres fases: la primera es adaptarse a controladores y sensibilidad, la segunda adaptarse al modelo de conducción, tercera adaptarse al casco mientras conducen.
  5. Se iniciara el proceso de recolección de muestras en simulación, con participación aleatoria según sean requeridos.

---

**Dónde se Realizará el Estudio:**

El presente estudio se realizara en el laboratorio de ergonomía-factores humanos, en el Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Juárez.

**Tiempo Requerido:**

- 1 participación de 15 a 30 minutos para la adaptación al a los controles del simulador.
- 1 participación de 15 a 30 minutos para la adaptación a los tipos de tráfico en simulador.
- 1 participación de 15 a 30 minutos para la adaptación al casco en simulador.
- 6 participaciones de 30 minutos en simulador en la simulación real.

## SEGUNDO PARTE DEL CONSENTIMIENTO INFORMADO

### Riesgos o Efectos Secundarios:

- Al realizar esta investigación no se tiene ningún riesgo ni efectos secundarios sobre la persona, ya que NO se considera una prueba invasiva.

### Participación voluntaria:

- La participación de la persona en el estudio es estrictamente voluntaria.

### Derecho a retirarse del estudio:

- Si el participante desea retirarse del estudio, lo podrá hacer sin ningún tipo de represalias.

### Con quien dirigirse en caso de preguntas:

Ing. Leonardo Alanís, Ejecutor del proyecto

Correo: [lananis@itci.edu.mx](mailto:lananis@itci.edu.mx)

[leonardo.ac01@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:leonardo.ac01@cdjuarez.tecnm.mx)

Cel: 656-319-7878

## AUTORIZACIÓN

Yo \_\_\_\_\_, certifico que me han informado con la claridad y veracidad respecto al estudio académico que me invitaron a participar; en el cual participé libre y voluntariamente como colaborador, contribuyendo a la realización y éxito de este proyecto.

### ANEXO 3 [RESUMEN DE PRACTICAS]

Nombre	Persona 1		Nombre	Persona 1
Que paractica	#1		Que paractica	#1
Accidentes en total	6		Accidentes en total	7
t. simulacion	trafico ligero		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	1		artopellar	1
subirse a la banqueta	2		subirse a la banqueta	2
choque	NA		choque	1
conducir fuera de la calle	1		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	1		invadir carril	3
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	NA		luz roja	NA
sentido contrario	1		sentido contrario	NA
Nombre	Persona 2		Nombre	Persona 3
Que paractica	#1		Que paractica	#1
Accidentes en total	8		Accidentes en total	11
t. simulacion	trafico ligero		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	NA		artopellar	NA
subirse a la banqueta	3		subirse a la banqueta	2
choque	1		choque	5
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	1		invadir carril	2
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	2		luz roja	1
sentido contrario	1		sentido contrario	1
Nombre	Persona 4		Nombre	Persona 4
Que paractica	#1		Que paractica	#1
Accidentes en total	3		Accidentes en total	4
t. simulacion	TRAFICO PESADO		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	NA		artopellar	NA
subirse a la banqueta	1		subirse a la banqueta	2
choque	2		choque	NA
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	NA		invadir carril	2
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	NA		luz roja	NA
sentido contrario	NA		sentido contrario	NA



Nombre	Persona 5		Nombre	Persona 6
Que paractica	#1		Que paractica	#1
Accidentes en total	12		Accidentes en total	9
t. simulacion	trafico ligero		t.simulacion	trafico pesado
artopellar	NA		artopellar	1
subirse a la banqueta	3		subirse a la banqueta	2
choque	3		choque	3
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	5		invadir carril	3
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	1		luz roja	NA
sentido contrario	NA		sentido contrario	NA
Nombre	Persona 6		Nombre	Persona 7
Que paractica	#2		Que paractica	#1
Accidentes en total	6		Accidentes en total	8
t. simulacion	trafico pesado		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	1		artopellar	NA
subirse a la banqueta	NA		subirse a la banqueta	1
choque	2		choque	6
conducir fuera de la calle	1		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	1		invadir carril	1
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	1		luz roja	NA
sentido contrario	1		sentido contrario	NA
Nombre	Persona 7		Nombre	Persona 8
Que paractica	#2		Que paractica	#1
Accidentes en total	15		Accidentes en total	6
t. simulacion	trafico ligero		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	NA		artopellar	NA
subirse a la banqueta	5		subirse a la banqueta	NA
choque	3		choque	2
conducir fuera de la calle	2		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	3		invadir carril	2
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	2		luz roja	1
sentido contrario	NA		sentido contrario	1
Nombre	Persona 9		Nombre	Persona 10
Que paractica	#1		Que paractica	#1
Accidentes en total	3		Accidentes en total	7
t. simulacion	trafico pesado		t. simulacion	trafico pesado
artopellar	NA		artopellar	NA
subirse a la banqueta	NA		subirse a la banqueta	NA
choque	2		choque	5
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	1		invadir carril	1
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	NA		luz roja	NA
sentido contrario	NA		sentido contrario	1

Nombre	Persona 10		Nombre	Persona 10
Que paractica	#1		Que paractica	#2
Acidentes en total	12		Acidentes en total	5
t. simulacion	trafico ligero		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	NA		artopellar	1
subirse a la banqueta	3		subirse a la banqueta	1
choque	2		choque	1
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	4		invadir carril	1
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	1		luz roja	NA
sentido contrario	2		sentido contrario	1
Nombre	Persona 11		Nombre	Persona 11
Que paractica	#1		Que paractica	#1
Acidentes en total	7		Acidentes en total	4
t. simulacion	trafico Pesado		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	NA		artopellar	NA
subirse a la banqueta	1		subirse a la banqueta	NA
choque	1		choque	3
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	NA
invadir carril	4		invadir carril	1
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	1		luz roja	NA
sentido contrario	NA		sentido contrario	NA
Nombre	Persona 11		Nombre	Persona 11
Que paractica	#2		Que paractica	#2
Acidentes en total	3		Acidentes en total	7
t. simulacion	trafico Pesado		t. simulacion	trafico ligero
artopellar	NA		artopellar	NA
subirse a la banqueta	1		subirse a la banqueta	1
choque	1		choque	2
conducir fuera de la calle	NA		conducir fuera de la calle	1
invadir carril	1		invadir carril	NA
pasarse alto	NA		pasarse alto	NA
luz roja	NA		luz roja	2
sentido contrario	NA		sentido contrario	1