

Biofeedback Prototype System for Stress Level Assessment during a Driving Simulation Session

Juan Carlos Zuñiga Torres¹, Eddy Wilmer Canaza Tito²,

Ivett Gianella Sangiacomo Pinto³, Lizbeth Leonor Paredes Aguilar⁴

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Perú, jzuniga@utp.edu.pe, 1313497@utp.edu.pe, 1331670@utp.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú, lparedesa@unsa.edu.pe

Abstract– Urban traffic congestion has become a factor that generates stress, mainly in people who drive daily. For road safety reasons, it is crucial to identify whether driving a vehicle increases the driver's stress level because this could affect their health or decision-making. This research seeks to determine whether driving (in a simulation environment) alters the stress level of people. Therefore, a biofeedback system prototype is designed and built based on heart rate sensors, body temperature, and brain activity to measure the increase and decrease of these parameters. Considering that each person responds differently to stimuli, the experimental procedure applied the questionnaire to DASS-21 and binaural music to analyze the participants' stress levels before the experiment. The data collected were reviewed by a physician to ensure the sensitivity of the sensors to the physiological parameters, reaching 92% reliability.

Keywords– Biofeedback; Stress in drivers; Driving simulator; Physiological parameters; Sensors.

Prototipo de Sistema de Biofeedback para la Evaluación del Nivel de Estrés durante una Sesión de Simulación de Conducción

Juan Carlos Zuñiga Torres¹, Eddy Wilmer Canaza Tito²,
Ivett Gianella Sangiacomo Pinto³, Lizbeth Leonor Paredes Aguilar⁴

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Perú, jzuniga@utp.edu.pe, 1313497@utp.edu.pe, 1331670@utp.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú, lparedesa@unsa.edu.pe

Abstract– *La congestión en el tráfico urbano diario se ha convertido en un factor generador de estrés, principalmente en las personas que conducen a diario por varias horas al día. Por razones de seguridad vial, es importante identificar si conducir un vehículo aumenta el nivel de estrés del conductor, ya que esto podría afectar a su salud o a su toma de decisiones. Esta investigación pretende determinar si la conducción (en un entorno de simulación) altera el nivel de estrés de las personas. Para ello, se diseñó y construyó un prototipo de sistema de biofeedback basado en sensores de frecuencia cardíaca, temperatura corporal y actividad cerebral para medir el aumento y disminución de estos parámetros. Teniendo en cuenta que cada persona responde de forma diferente a los estímulos, en el procedimiento experimental se aplicó el cuestionario DASS-21 y música binaural para analizar los niveles de estrés de los participantes antes del experimento. Los datos recogidos fueron revisados por un médico para garantizar la confiabilidad de los parámetros fisiológicos generados por los sensores, alcanzando una fiabilidad del 92%*

Keywords– *Biofeedback; Estrés en conductores; Simulador de conducción; Parámetros fisiológicos; Sensores.*

I. INTRODUCCIÓN

En el 2018, 1.35 millones de personas han muerto por accidentes de tránsito [1] siendo que en el Perú se tiene un estimado de 4.2 mil muertes anuales [2]. El estrés es un problema muy frecuente hoy en día en jóvenes y personas adultas, en muchos casos el estrés puede generar efectos en la salud mental y física [3]. Una de las causas que se ha venido relacionando como un factor importante en los accidentes de tránsito se le denomina “furia al volante” o “*Road Rage*”, que es una conducta hostil que pueden asumir los conductores de un vehículo y que se produce por una condición psicológica de estrés y ansiedad [4].

En la actualidad y con el avance de la tecnología podemos medir ciertos parámetros fisiológicos como: frecuencia cardíaca, actividad cerebral, temperatura corporal, entre otros. Estos parámetros pueden ser utilizados para analizar el nivel de estrés [5], [6]. El uso de tecnologías para medir los parámetros fisiológicos de una persona y poder generar informaciones validas al respecto se denomina biorretroalimentación o *biofeedback* [7].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Si conducir aumenta el nivel de estrés en determinadas personas, es importante poder determinar dicha condición de un conductor en tiempo real puede de modo que se pueda tomar alguna acción que evite una mala decisión o disminuir las probabilidades de ocasionar un accidente de tránsito. Por ello, esta investigación diseña y construye un prototipo que analiza el nivel de estrés de un conductor. Sin embargo, para poder consolidar la validez de la solución sin implicar riesgos reales de conductores, en un primer momento la solución es evaluada en un ambiente de simulación, donde un conductor común será sometido a pruebas de conducción en un simulador de conducción que representa realísticamente un entorno de tránsito urbano y situaciones de peligro intempestivo.

II. BASE TEÓRICA

A. Estrés

El estrés es una respuesta no controlada del organismo ante cualquier situación que la persona considere desfavorable u hostil. Esta respuesta puede ser mental o fisiológica (orgánica). El estímulo o demanda al que el cuerpo responde generando estrés se le considera “el estresor”, que puede ser una persona, un objeto o una situación [8]. Ya los estresores son aquellos estímulos que provocan algún tipo de desequilibrio en los organismos vivos, el estrés es la reacción del organismo para intentar recuperar el equilibrio [9].

Los factores de estrés a los que son expuestos los conductores al conducir son: tráfico excesivo, el clima, atascos urbanos, prisas, entre otros, estos factores pueden probar el aumento en accidentabilidad [10]. Ya los conductores tienen distintas respuestas ante situaciones que consideren amenazantes como la acción de adelantar o ser adelantado por otros conductores, tensión, hostilidad, entre otros, además de estos la falta de sueño y la fatiga son muchas de las causas de accidentes de tránsito [11].

- Aumento de la frecuencia cardíaca: La frecuencia cardíaca normal en una persona adulta es entre 60 a 100 latidos por minuto. Ya cuando una persona experimenta estrés su frecuencia cardíaca aumenta sobre estos límites [12].
- Aumento o disminución de la temperatura corporal: La temperatura corporal normal de las personas es entre 36 y 37 grados centígrados, en muchas ocasiones el estrés puede hacer que la temperatura varíe [13], [14].
- Disminución de la temperatura de la piel: La temperatura normal de la piel facial en la frente es de 34° C y en las

mejillas de 32° C [15]. Cuando una persona es sometida a estrés, la respuesta de esta es la vasoconstricción periférica, la cual provoca que disminuya la temperatura de la piel [16], [17].

- Actividad cerebral: El estrés puede provocar que el cerebro genere el lanzamiento de ondas de mayor rango Beta en el cerebro [18]. Si las ondas beta son de 20 – 31 Hz significa que el sujeto se encuentra agitado o nervioso, entonces dicho sujeto podría padecer de estrés, miedo, ansiedad o preocupación [19]. La exposición de personas a diferentes factores estresantes puede generar actividad cerebral en distintas partes del cerebro [20].

B. Biorretroalimentación o Biofeedback

Los parámetros fisiológicos producidos por el cuerpo humano en una situación de estrés pueden ser medidos, procesados y usados para determinar su nivel, un método para evaluar estos parámetros es el *biofeedback* (biorretroalimentación). La biorretroalimentación presenta a las personas sus parámetros fisiológicos como frecuencia cardíaca, temperatura corporal, respiración, entre otras, esto con el fin de que dicha persona tome conciencia de sus respuestas biológicas y pueda mejorar su salud mediante el control del comportamiento de su cuerpo en tiempo real [7], [21].

La biorretroalimentación ha tenido efectos positivos tratando a personas con síndrome de estrés postraumático y para la reducción de estrés. Este método se puede aplicar como una terapia para tratar el estrés, ya que al detectar los síntomas del estrés entonces estos pueden ser tratados. La retroalimentación se basa principalmente en la participación del individuo [22].

C. Simuladores de Conducción

Un simulador de conducción es un dispositivo que puede ser usado para tener una experiencia de conducción y que se compone de un volante, caja de cambios y pedales. Que además utiliza un software que reproduce en una pantalla la experiencia que realmente se está conduciendo un vehículo. Esta experiencia normalmente cuenta con varios subsistemas para la simulación de vehículos que se desplazan alrededor, luces de señalización, movimiento de peatones, audio y otros recursos que reproducen el movimiento de los vehículos y el entorno [23].

Los simuladores de conducción están divididos en bajo, medio y alto nivel. Los simuladores de bajo nivel consisten en una computadora o una cabina con una pantalla con dispositivos para simular la conducción como un volante y pedales, en algunos estos simuladores hacen uso de varias pantallas. Los simuladores de nivel medio incluyen cabinas más realistas y con movimiento. Ya los simuladores de alto nivel constan de una cabina con al menos 220° grados de visión [24], [25].

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. Simuladores de conducción, conducta de manejo y biofeedback

Los simuladores de conducción pueden ser utilizados para determinar la relación entre el estrés y los accidentes de tránsito, ya que estudios concluyen que los altos niveles de estrés, ansiedad y desarrollo de gran cantidad de trastornos patológicos pueden provocar un mayor número de accidentes y aún más si los conductores están consumiendo fármacos, alcohol u otras sustancias [26]. También existe la posibilidad que el aumento de la actividad nerviosa simpática pudiera estar relacionada con la resistencia al estrés [27].

Ya una conducta inapropiada por parte de los conductores es realmente preocupante. Para mejorar dicha conducta se puede hacer uso del principio de *biofeedback* para conocer los parámetros fisiológicos y con ello relacionar estos parámetros con las conductas y propiciar acciones para mejorar dicha conducta. Esto fue conducido en un estudio donde evaluaron a un grupo de conductores utilizando el *Viena Test System* (VTS) y los principios de *biofeedback* como terapia, generando una reducción en los efectos negativos a causa del estrés en los conductores y mejorando el rendimiento en la conducta de estos [28].

B. Uso de cuestionarios para determinar estrés

Los cuestionarios como instrumento para medir estrés u otros trastornos psicológicos son ampliamente utilizados debido a su facilidad de aplicación y estandarización como método de colecta de dato, como es el caso del cuestionario I DASS-21 el cual no solo mide estrés si no también ansiedad y depresión. Este cuestionario utiliza la escala de Likert para calificar las respuestas de los encuestados [29], [30]. Diversas investigaciones muestran la efectividad y confiabilidad de este instrumento para determinar la escala de ansiedad, depresión y estrés de un grupo de jóvenes con riesgos de salud mental [31], así como para el estudio para medir los niveles de depresión, ansiedad y estrés en profesionales de salud [30]. Sin embargo, este método permite coleccionar datos de forma transversal, ni de modo continuo, lo cual es poco efectivo para situaciones donde el estrés puede ser cambiante por situaciones dinámicas, como en conductores en el tránsito urbano.

C. Uso de sensores para monitorear estrés

En los últimos años se han optado utilizar los sensores para medir muchos parámetros no solo de fenómenos físicos, sino también fisiológicos, con los que es posible medir y analizar el estrés. Tal es el caso de monitoreo del nivel de estrés por EEG (Electroencefalograma). Un estudio [32] que aplica una prueba de color *Stroop* determinó que las ondas beta se disparan cuando el sujeto está en una situación de estrés. Otro estudio [33] midió el nivel de estrés por EEG, mientras los participantes jugaban videojuegos, concluyó que los juegos pueden generar estrés o no, dependiendo de la personalidad de la persona.

Otros parámetros fisiológicos a partir de los cuales se puede llegar a determinar el estrés son la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la temperatura, entre otros. Un estudio [34] utilizó el *Zephyr Performance System* para tomar pulsaciones del corazón, frecuencia respiratoria y ECG (electrocardiograma), mientras los participantes escuchaban música de frecuencias entre 0 a 51.2 kHz, concluyendo que audios de 250Hz y 350Hz pueden llegar a disminuir el estrés.

Ya los sensores de temperatura humana se pueden utilizar para medir el nivel de estrés ya que la temperatura intestinal central puede bajar significativamente, la temperatura en la piel de la cara disminuye y la temperatura de las yemas de los dedos disminuye cuando una persona está sometida a estrés [14]. El comportamiento de la piel también es un indicador de estrés [17]. Otros sensores utilizados para la detección de estrés son sensores de presión, donde un nivel creciente de estrés influye significativamente en la presión que ejerce una persona sobre un objeto como por ejemplo las teclas de un teclado o el volante de un vehículo [35].

En función de la literatura revisada, se puede considerar que la utilización de cuestionarios y diversos sensores de parámetros fisiológicos son una combinación adecuada de métodos para monitorear y analizar el nivel de estrés de una persona. Es por ello, que nuestra propuesta considera la utilización de un cuestionario (DASS-21) para determinar el nivel de estrés de una persona en una primera fase y posteriormente compararlos con los parámetros fisiológicos que arrojan el monitoreo por distintos sensores que aplican los principios de *biofeedback*.

IV. METODOLOGÍA

El prototipo de sistema de *biofeedback* sigue una investigación aplicada de enfoque mixto, donde se utilizó un diseño de dos etapas con pruebas experimentales en un ambiente de simulación de conducción controlada. La primera etapa aplica un cuestionario DASS-21 para determinar el nivel de estrés de los conductores antes del experimento. Posteriormente se colocan los sensores a los conductores para analizar el nivel de estrés mediante los principios de *biofeedback* durante una sesión de simulación de conducción. Esta segunda etapa considera tres actividades monitoras por los sensores, con dos rondas de sesiones de simulación de conducción.

- **Población y Muestra:** La población está compuesta por hombres y mujeres con edades entre 18 y 55 años que tienen licencia de conducir categoría A-1 (vehículos ligeros) y que conducen regularmente en condiciones de tránsito urbano. En función de las medidas de bioseguridad establecidas por la pandemia Covid-19, la selección de la muestra se dio por conveniencia con las personas que cumplen el requisito indicado y que por cuestiones de confianza y condiciones de salud aceptaron participar de la investigación. Dadas esas condiciones se seleccionaron 10 personas, las cuales fueron evaluadas en una primera etapa con el cuestionario DASS-21. Las personas que obtenga la calificación “normal”,

procederán a realizar las pruebas experimentales de la segunda etapa.

La segunda etapa se compone de un proceso que inicialmente monitorea los parámetros fisiológicos de los conductores seleccionados mientras escuchan música binaural meditativa para relajar [36], [37] con el objetivo establecer una referencia de los parámetros fisiológicos de cada participante. Después, los participantes realizan una primera ronda de pruebas donde se registra y analiza las variaciones de sus parámetros fisiológicos para determinar sus niveles de estrés. Los conductores cuyos indicadores de parámetros fisiológicos de la primera ronda representen un mayor y menor nivel de estrés, así como el promedio respecto a los demás conductores, pasan a la segunda ronda de pruebas.

- **Equipamiento:** Por las restricciones impuestas por la pandemia del Covi-19, las pruebas fueron realizadas en un espacio residencial acondicionado con dispositivos de hardware necesarios (computador, volante y pedales). Respecto al software de simulación de conducción se instaló el *City Car Driving* (<https://citycardriving.com/>). El simulador de conducción utilizado es configurado para que tenga un alto nivel de atascos de tránsito, peatones temerarios y que el vehículo a conducir tenga bajo nivel de combustible.
- **Instrumentos de Colecta de Datos:** La colecta de datos requiere que estos se registren y observen en tiempo real. Ya los dispositivos sensores utilizados son: MAX30102 sensor de frecuencia cardíaca, DS18B20 sensor de temperatura y Mindflex sensor de ondas producidas por el cerebro.
- **Metodología de Desarrollo de Software:** Fue empleada la metodología ágil de desarrollo “ScrumBut” [38] determinando los requisitos, especificación, diseño, implementación y pruebas con base a: un *product owner*, con interés de desempeño empresarial para conocer los niveles de estrés de los conductores; *developer team*, compuesto por estudiantes egresados de la carrera de ingeniería de sistemas e informática; y un *scrum master*, compuesto por docentes universitarios con experiencia en el desarrollo de software comercial.

V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

A. *Arquitectura de Software*

El prototipo propuesto debe permitir visualizar de forma gráfica y en reportes los parámetros fisiológicos (ritmo cardíaco, temperatura de la piel, ondas Alpha y Beta) del conductor que se está siendo evaluado. La figura 1 representa la vista física de la arquitectura, indicando los puntos del cuerpo donde son colocados los sensores. El sensor de electroencefalograma (EEG) será colocado en la parte superior de la cabeza, el sensor de temperatura en la mejilla izquierda y

el sensor de ritmo cardíaco en el dedo índice izquierdo (Ver Figura 1).

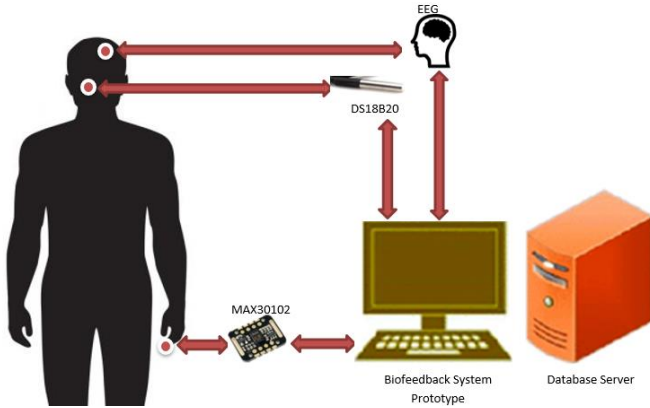


Fig. 1 Vista física del prototipo de sistema propuesto.

A partir de la vista física, se propone una arquitectura MVVM (Modelo Vista Vista Modelo) de 3 capas: Modelo, es la capa de datos y la lógica de negocios; Vista, es la capa encargada de interactuar con el usuario y presentar información; y la capa Vista Modelo, encargada de ser la intermediaria en el modelo y la vista con bindings, como representado por la figura 2. Una vez capturados los datos, estos serán almacenados en entidades y posteriormente procesados (Ver Fig. 2)

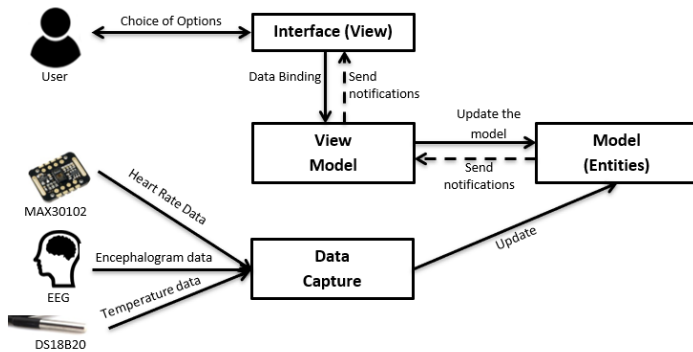


Fig. 2 Arquitectura específica del prototipo de sistema propuesto.

B. Sensores

El sensor Mindflex se conecta a un microcontrolador Arduino UNO, conectado a tierra (GND) y a salida de datos RX, dicho sensor es alimentado por tres pilas. El sensor de temperatura DS18B20, se conecta a un Arduino UNO a tierra (GND), 5V para alimentación del sensor, y salida digital, a este sensor se le conecta una resistencia 4.7k. El sensor MAX30102 de ritmo cardíaco, se conecta a un Arduino NANO a tierra (GND), 5V voltios para alimentación del sensor y salida digital, dicho sensor envía datos de oxígeno en la sangre y ritmo cardíaco el cual solo se utilizó ritmo cardíaco.

C. Implementación del Software para el Prototipo

El prototipo de sistema propuesto tiene una gestión de usuario para registrar, editar y visualizar datos de los usuarios, cada usuario cuenta con un ID único para ser identificado, así también como datos como nombre, edad y sexo. Cada usuario está relacionado con una o muchas sesiones. Las sesiones de cada usuario se registran, la cual incluye datos como hora y fecha en que fue realizada y comentarios sobre dicha sesión. Estos datos se almacenan a la espera de ser actualizados cuando se dé por terminada la sesión.

Los datos generados por los sensores son mostrados por pantalla (como representado por la Fig. 3) y registrados en tiempo real, los cuales son asignados a una sesión ya creada y se guardan en memoria en espera que el usuario de por terminada la sesión y acepte que se guarden definitivamente.

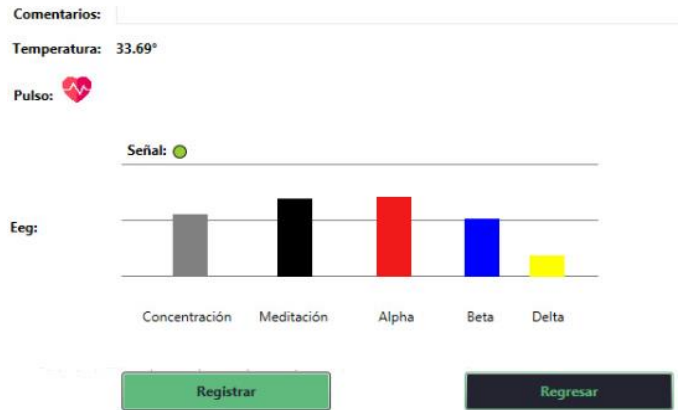


Fig. 3 Interface de visualización de parámetros fisiológicos.

Los reportes de la simulación de conducción también son representados por gráficos de líneas continuas, como representado por la Fig. 4. Para generar dichos gráficos se utilizó LiveCharts wpf. En el reporte se muestran 4 gráficos, uno de ellos de frecuencia cardíaca mostrando los datos en BPM (latidos por minuto), temperatura de la piel en grados centígrados, las ondas Alpha y Beta del cerebro.



Fig. 4 Gráficos lineales continuos de los parámetros fisiológicos.

VI. RESULTADOS

A. Aplicación del cuestionario DASS-21 antes del experimento

En esta etapa se aplica el cuestionario a DASS-21 a los 10 participantes, de los cuales 6 eran mujeres y 4 hombres con edades entre 18 y 55 años. Todos contaban con licencia de conducir A1, esta evaluación se realizó antes de colocarle los sensores de monitoreo a los participantes. Los resultados de depresión y ansiedad solo son usados para discriminar a los participantes, ya que si padecen de algunas de estas condiciones podrían afectar los resultados finales. Los participantes tienen ansiedad, depresión y estrés “normal”, es por esto que, ningún participante es discriminado en los resultados finales.

B. Descripción de Sesiones de Simulación de Conducción

La segunda etapa del proceso de evaluación corresponde al monitoreo por sensores mientras los participantes conducían en un simulador de conducción. La sesión de simulación de conducción propone que los participantes deban conducir un vehículo con destino a la estación de servicio más cercano a 1.18 kilómetros de donde se encuentran, ya que el vehículo que conducían tenía un nivel de combustible de 4%. El simulador marca la ruta que los participantes debían seguir. Durante la conducción surgían eventos aleatorios como que otro vehículo invada su carril intempestivamente, peatones que intentaban cruzar la pista sin utilizar los pasos peatonales, atascos de tráfico, entre otros. El tiempo y clima configurado en el simulador fue de mañana y con tiempo despejado, respectivamente (Ver Fig. 5).



Fig. 5 Sesión de simulación de conducción.

C. Resultados Escuchando Música Binaural

Los datos que muestran a en la Tabla I representan la media de todos los datos obtenidos por los sensores de: frecuencia cardiaca en BPM (latidos por segundo); sensor de temperatura en grados centígrados; y los datos de la onda Beta y Alpha; registrados durante el tiempo de ejecución de la sesión.

TABLA I
RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DASS-21

Participante	Frecuencia Cardiaca (BPM)	Temperatura de la Piel (Grados)	Onda Alpha	Onda Alpha
1	76	37,52	74,59	47,58
2	78	37,03	60,54	24,06
3	75	36,99	65,40	41,81
4	76	37,77	69,26	45,19
5	76	37,07	74,55	44,10
6	80	37,24	67,29	53,74
7	76	37,26	59,71	48,76
8	77	37,93	84,42	47,92
9	76	37,86	86,51	37,87
10	77	37,04	80,71	42,69

La Fig. 6 representa los datos de la onda Alpha y Beta generados por el sensor de electroencefalograma. La onda Alpha tiene muchos picos y actividad. La onda Alpha es cuando la persona está en un estado relajado. Los datos de la onda Beta presentan poca actividad y picos muy bajos. La onda Beta es cuando la persona está en un estado de alerta.

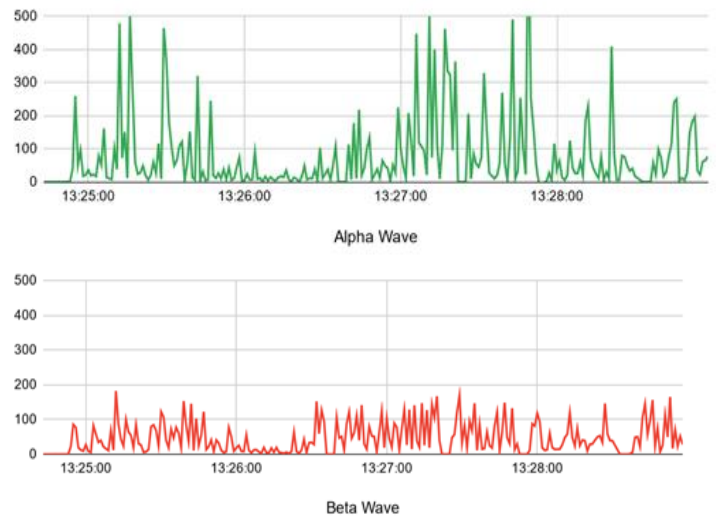


Fig. 6 Onda Alpha y Beta con música binaural.

D. Resultados de las Sesiones de Simulación de Conducción

Los datos que muestran a en la Tabla II son la media de todos los datos obtenidos por los sensores de frecuencia cardiaca en BPM (latidos por segundo), el sensor de temperatura en grados centígrados.

TABLA II
RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DASS-21

Participante	Frecuencia Cardíaca (BPM)	Temperatura de la Piel (Grados)	Onda Alpha	Onda Beta
1	78	35,81	44,09	62,72
2	77	36,55	44,73	49,12
3	77	36,81	38,68	48,53
4	88	36,74	65,76	52,07
5	81	36,70	46,67	55,65
6	80	35,65	40,94	44,41
7	80	36,55	46,80	50,36
8	79	36,51	62,03	45,96
9	79	36,04	54,27	50,32
10	78	36,17	54,24	56,03

Ya los datos de la onda Alpha y Beta (Fig. 7) obtenidos del sensor de electroencefalograma en las sesiones de simulación de conducción presenta una onda Alpha con poca actividad y picos bajos sí comparada con la onda Alpha de la sesión de música binaural. Ya en la onda Beta se observa picos y actividad altos.

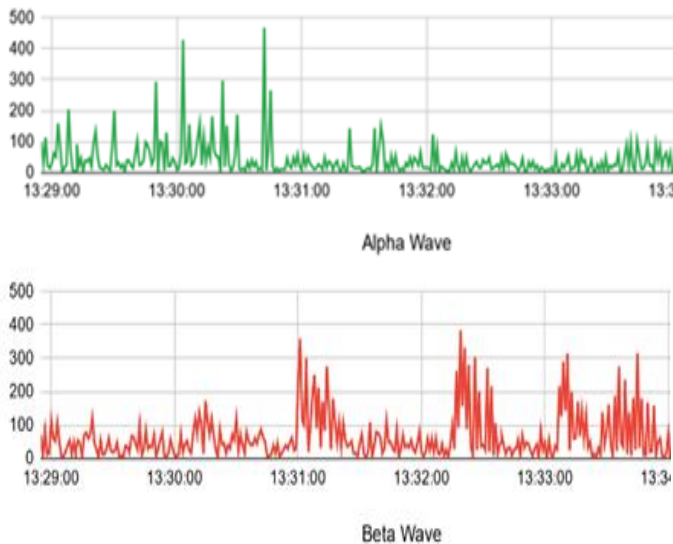


Fig. 7 Onda Alpha y Beta durante una sesión de conducción.

E. Análisis de las Sesiones de Música Binaural y de Simulación de Conducción

A continuación, presentamos la media, desviación estándar, coeficiente de variación e intervalo de confianza de la frecuencia cardíaca, temperatura de la piel y electroencefalograma de los participantes mientras escuchaban música meditativa y conducen en un simulador. Como se muestra en la Tabla III el CV (Coeficiente de Variación) o el error relativo es aceptable ya que un coeficiente de variación de hasta 10% tiene una precisión adecuada, ya de 11% a 20% tiene una precisión aceptable y de 20% a 30% tiene una precisión baja [39].

TABLA III
RESULTADOS DEL CUESTIONARIO DASS-21

Sesión	Media	Des. Estándar	CV (%)	N	Intervalo 95% de confianza	
Música binaural Frecuencia Cardíaca	86,6	1,4298	1,6511	10	85,5772	87,6228
Conducción Frecuencia Cardíaca	89,3	3,4335	3,8449	10	86,8438	91,7562
Música binaural temperatura De la piel	37,771	0,3688	0,661	10	37,1072	37,6348
Conducción temperatura De la piel	36,31	0,4086	1,9155	10	36,0177	36,6023
Música binaural Onda alpha	72,2987	9,4778	13,109	10	65,5187	79,0787
Conducción Onda alpha	49,8199	8,9648	17,994	10	43,4068	56,2329
Música binaural Onda Beta	43,3696	8,0599	18,584	10	37,6039	49,1353
Conducción Onda Beta	51,517	5,3953	10,473	10	47,6574	55,3766

El gráfico de comparación de los resultados del experimento mientras los participantes escuchaban música binaural y durante la sesión de simulación de conducción se presenta en la Fig. 8, muestra que la frecuencia cardíaca es más elevada, la temperatura de la piel disminuye levemente durante la sesión de simulación de conducción, en cuanto a la onda Alpha está más elevada mientras el participante escucha música binaural, mientras que cuando conduce en la sesión de simulación la onda Alpha disminuye, la onda beta durante la sesión de simulación es más elevada que mientras que el participante escuchaba música meditativa.

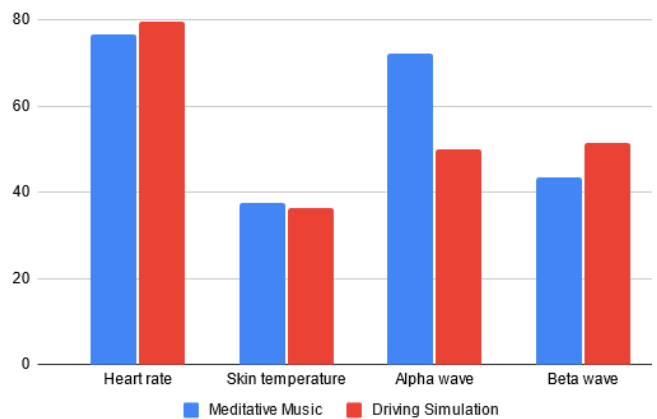


Fig. 8 Comparación entre sesiones.

Considerando un evento de riesgo aleatorio cuando un peatón cruza sin utilizar un paso peatonal durante una sesión de simulación de conducción como representado por la Fig. 9, genera que la frecuencia cardíaca se dispare alcanzando valores encima de 100 BPM en conductor. También se observó un aumento en la onda beta ante situaciones inesperadas como un accidente o un choque, en la temperatura se observó que la temperatura de la piel disminuye poco a poco, pero sin tener cambios bruscos. Ya la tabla 5 muestra los parámetros fisiológicos después de un evento como el que un peatón cruce intempestivamente o un choque durante la simulación de

conducción. La mayoría de los datos de frecuencia cardíaca están por encima de la media de 79.7 latidos por minutos a 105,5; los datos mostrados de la onda beta recolectada por el sensor de EEG, están por encima de la media de cada participante de la TABLA IV.



Fig. 9 Captura de sesión de simulación con un evento inesperado.

TABLA IV
PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DESPUÉS DE UNA SITUACIÓN PELIGROSA INTEMPESTIVA

Participante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frecuencia Cardíaca	108	109	100	107	110	105	103	103	87	110
Onda Beta	385,09	306,52	302,82	256,06	219,78	282,22	213,42	50,66	64,68	27

La comparación de los resultados entre la sesión de simulación de conducción que tenía características como: peatones que cruzan la calle intempestivamente, conductores temerarios, congestión de tránsito, entre otros, y la segunda sesión de simulación de conducción que tenía características como: no tener tráfico, sin peatones y con conductores seguros (representado por la Fig. 10). La frecuencia cardíaca es más baja, no se observó cambios en la temperatura de la piel, la onda Alpha es más alta y la onda Beta es más baja en la segunda sesión de simulación de conducción con respecto a la primera simulación.

Con base al análisis de la primera sesión de simulación de conducción se selecciona tres participantes por los criterios del participante con el estrés más alto (Participante N°1), medio (Participante N°9) y más bajo (Participante N°8).

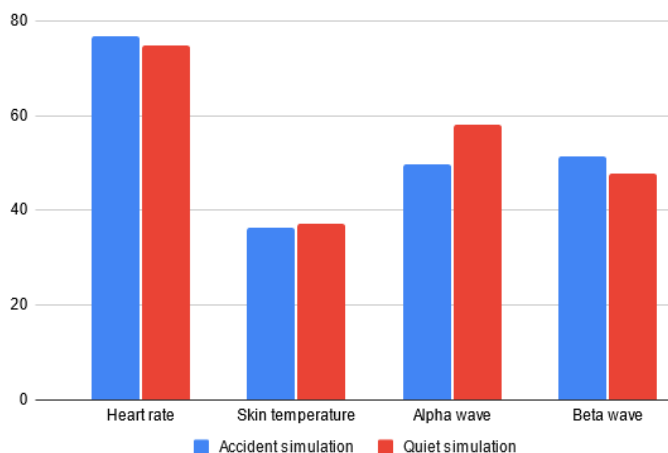


Fig. 10 Comparación entre simulaciones de conducción.

Ya en la Fig. 11 representa los datos recolectados en la primera sesión de simulación y los resultados del cuestionario DASS-21. Donde el participante que tuvo el nivel más alto de estrés tiene una pequeña variación entre ambas simulaciones, es decir su estrés no vario mucho, el participante que tuvo un nivel medio tiene una variación más grande de estrés entre ambas sesiones y participante que tuvo un nivel más bajo tiene una variación más notoria, mostrándose que su estrés es más bajo en comparación a la anterior sesión..

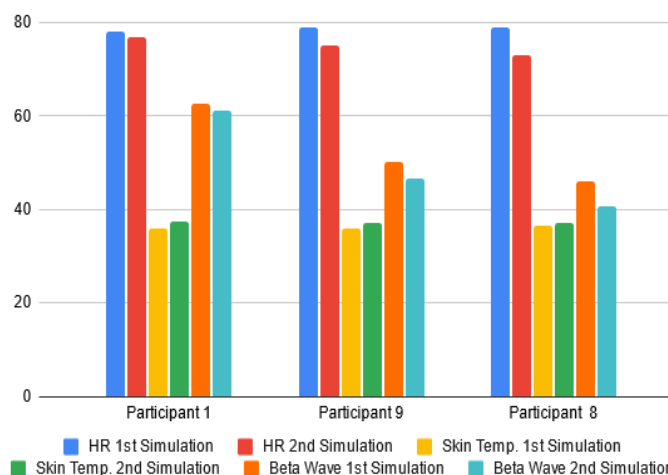


Fig. 11 Comparación entre simulaciones de conducción.

Estos resultados muestran que nivel de estrés de una persona también puede deberse a su personalidad y forma de ser, para determinar esto se requiere de más estudios en este campo.

VII. CONCLUSIONES

Las simulaciones se utilizan para poder probar situaciones reales en un ambiente controlado donde los usuarios no sean expuestos en ciertos riesgos como, por ejemplo: los simuladores de vuelo donde se entrena a los pilotos principalmente en situaciones de riesgo para prepararlos ante situaciones catastróficas, de la misma forma si queremos medir el estrés que se genera frente a un accidente de tránsito es mucho más adecuado entrenar a un conductor ante esta situación en un ambiente simulado donde no se afecte a ninguna persona utilizando un simulador de conducción. En ese sentido las características para representar este realismo de esa conducción en un escenario de simulación deben tener un volante, caja de cambios y pedales, así también el software del simulador debe tener subsistemas para simular vehículos que se desplazan alrededor, luces de señalización, movimiento de peatones y audio del entorno. De esta manera se concluye que un ambiente de simulación como el seleccionado para la presente investigación es adecuado y correspondiente para simular una situación que podría generar un cambio en los parámetros fisiológicos de una persona y que al ser analizados apropiadamente se puede identificar como estrés para dicho conductor.

El prototipo desarrollado que se basa en el principio del biofeedback y considera adecuadamente los parámetros de estrés establecidos para las sesiones de conducción en los escenarios construidos permiten analizar con objetividad los cambios en el nivel de estrés de los conductores. Por tanto, se puede concluir que con un grado de confiabilidad de 92 % el prototipo desarrollado permite analizar las variaciones del nivel de estrés de los conductores en diferentes escenarios de conducción con diferentes actividades de riesgo, determinar estas variaciones es importante ya que, altos niveles de estrés pueden llegar a producir furia al volante y tomar malas decisiones que ocasionen accidentes de tránsito..

REFERENCIAS

- [1] H. E. Rosen *et al.*, "Global road safety 2010–18: An analysis of Global Status Reports," *Injury*, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.injury.2022.07.030.
- [2] Health Organization World, "Death on the roads," 2018. <https://extranet.who.int/roadsafety/death-on-the-roads/>.
- [3] R. Carmela, M. Ariel, and D. José, "El impacto del estrés sobre la salud física," *Rev. Ter. Cogn. Conduct.*, 2010.
- [4] L. James, "Road Rage: A Worldwide Public Health Crisis," *J. Psychol. Clin. Psychiatry*, vol. 5, no. 6, 2016, doi: 10.15406/jpcpy.2016.05.00308.
- [5] N. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, and E. Salas, *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. 2004.
- [6] A. D. Williams, "Harnessing the quantified self movement for optimal mental health and wellbeing," Oct. 2016, pp. 37–37, doi: 10.1145/2983576.2983585.
- [7] P. S. Peiró and M. Ortiz, "Biofeedback. Metodología y aplicación," *Farm. Prof.*, vol. 19, no. 11, pp. 66–68, 2005.
- [8] E. Lopategui Corsino, "ESTRÉS: CONCEPTO, CAUSAS Y CONTROL," 2000. <http://www.saludmed.com/Documentos/Estres.html>.
- [9] G. P. Chrousos, "Stress and disorders of the stress system," *Nature Reviews Endocrinology*, vol. 5, no. 7, pp. 374–381, 2009, doi: 10.1038/nrendo.2009.106.
- [10] M. T. G. Ramirez, R. L. Hernández, M. M. Reducindo, P. C. Genchi, R. V. Mendoza, and F. G. Jaimes, "Estrés cotidiano en trabajadores del volante," *Summa psicológica UST*, vol. 10, no. 1, pp. 85–90, 2013.
- [11] C. B. Giner, "El estrés en los conductores profesionales, detección y prevención," UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, 2013.
- [12] L. Moya-Albiol, M. Á. Serrano, E. González-Bono, G. Rodríguez-Alarcón, and A. Salvador, "Respuesta psicofisiológica de estrés en una jornada laboral," *Psicothema*, vol. 17, no. 2, pp. 205–211, 2005, Accessed: Apr. 13, 2021. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72717204>.
- [13] D. Marazziti, A. Di Muro, and P. Castrogiovanni, "Psychological stress and body temperature changes in humans," *Physiol. Behav.*, vol. 52, no. 2, pp. 393–395, 1992, doi: 10.1016/0031-9384(92)90290-1.
- [14] C. H. Vinkers *et al.*, "The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans," *Stress*, vol. 16, no. 5, pp. 520–530, Sep. 2013, doi: 10.3109/10253890.2013.807243.
- [15] S. Ariyaratnam and J. p. Rood, "Measurement of facial skin temperature," *J. Dent.*, vol. 18, no. 5, pp. 250–253, 1990, doi: 10.1016/0300-5712(90)90022-7.
- [16] K. A. Herborn *et al.*, "Skin temperature reveals the intensity of acute stress," *Physiol. Behav.*, vol. 152, pp. 225–230, 2015, doi: 10.1016/j.physbeh.2015.09.032.
- [17] Y. Zhao, T. Yamamoto, and R. Kanamori, "Study of older male drivers' driving stress compared with that of young male drivers," *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 7, no. 4, pp. 467–481, 2020, doi: 10.1016/j.jtte.2018.10.011.
- [18] J. Ortega, R. Seepold, N. Martínez, ... J. M.-J., and U. 2012, "Aproximación a los sensores biométricos para medir el perfil de stress," *Academia.Edu*, pp. 89–93, 2012, Accessed: Apr. 13, 2021. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/60357447/actas_jarca_2012.pdf#page=96.
- [19] J. E. Hall and M. E. Hall, *Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book*. Elsevier Health Sciences, 2020.
- [20] E. Verona, N. Sadeh, and J. J. Curtin, "Stress-induced asymmetric frontal brain activity and aggression risk," *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 118, no. 1, p. 131, 2009.
- [21] A. Dillon, M. Kelly, I. H. Robertson, and D. A. Robertson, "Smartphone applications utilizing biofeedback can aid stress reduction," *Front. Psychol.*, vol. 7, no. JUN, Jun. 2016, doi: 10.3389/fpsyg.2016.00832.
- [22] S. M. Cutshall *et al.*, "Evaluation of a biofeedback-assisted meditation program as a stress management tool for hospital nurses: A pilot study," *Explor. J. Sci. Heal.*, vol. 7, no. 2, pp. 110–112, 2011, doi: 10.1016/j.explore.2010.12.004.
- [23] W.-S. Lee, J.-H. Kim, and J.-H. Cho, "A driving simulator as a virtual reality tool," in *Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 98CH36146)*, 1998, vol. 1, pp. 71–76.
- [24] D. H. Weir and A. J. Clark, "A survey of mid-level driving simulators," *SAE Trans.*, pp. 86–106, 1995.
- [25] J. J. Slob, "State-of-the-art driving simulators, a literature survey," *DCT Rep.*, vol. 107, 2008.
- [26] A. Cano-Vindel, I. Iruarrizaga Diez, J. Ramos, E. Dongil-Collado, C. Wood, and J. M. Salguero, "Estrés, ansiedad, depresión y vulnerabilidad al accidente," in *Siniestralidad Vial. Perfiles de Riesgo y Prevención Laboral*, 2011, pp. 198–211.
- [27] M. Deguchi, J. Wakasugi, T. Ikegami, S. Nanba, and M. Yamaguchi, "Evaluation of Driver Stress Using Motor-vehicle Driving Simulator," *IEEE Trans. Sensors Micromachines*, vol. 126, no. 8, pp. 438–444, 2006, doi: 10.1541/ieejsmas.126.438.
- [28] N. Chakrabarty, K. Sumit, and K. Gupta, "A study on safe driving performance using biofeedback therapy among drivers in Delhi," *Indian J. Heal. Sci. Biomed. Res.*, vol. 11, no. 3, p. 222, 2018, doi: 10.4103/kleuhsj.kleuhsj_42_18.
- [29] Z. Antúnez and E. V. Vinet, "Depression Anxiety Stress Scales (DASS-21): Validation of the abbreviated version in Chilean

- university students,” *Ter. psicológica*, vol. 30, pp. 49–55, 2012.
- [30] M. Atocha and J. Chiriboga, “Aplicación de la Escala Dass-21 para Comparar los Niveles de Depresión,” *Ansiedad y Estrés en Prof. Salud dos Hosp. Públicos Segundo Nivel, Durante el Periodo Mayo a Junio*, pp. 1–31, 2017.
- [31] F. Román, P. Santibáñez, and E. V. Vinet, “Uso de las Escalas de Depresión Ansiedad Estrés (DASS-21) como instrumento de tamizaje en jóvenes con problemas clínicos,” *Acta Investig. psicológica*, vol. 6, no. 1, pp. 2325–2336, 2016.
- [32] X. Hou, Y. Liu, O. Sourina, Y. R. E. Tan, L. Wang, and W. Mueller-Wittig, “EEG based stress monitoring,” *IEEE*, pp. 3110–3115, 2015.
- [33] Z. Dharmawan, “Analysis of Computer Games Player Stress Level Using EEG Data,” 2007.
- [34] R. Bustamante-Bello, S. Covarrubias, and E. O. López-Caudana, “Acústico terapia para el control de estrés,” 2013.
- [35] J. Hernandez, P. Paredes, A. Roseway, and M. Czerwinski, “Under pressure: Sensing stress of computer users,” in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2014, pp. 51–60, doi: 10.1145/2556288.2557165.
- [36] A. Gupta, E. Ramdinmawii, and V. K. Mittal, “Significance of alpha brainwaves in meditation examined from the study of binaural beats,” in *2016 International Conference on Signal Processing and Communication, ICSC 2016*, 2016, pp. 484–489, doi: 10.1109/ICSPCom.2016.7980629.
- [37] G. Lee-Harris, R. Timmers, N. Humberstone, and D. Blackburn, “Music for relaxation: A comparison across two age groups,” *J. Music Ther.*, vol. 55, no. 4, pp. 439–462, 2018, doi: 10.1093/jmt/thy016.
- [38] V. Krishna and A. Basu, “Scrum+.: Is it ‘ScrumBut’ or ‘ScrumAnd,’” *Annu. IEEE India Conf. IEEE*, pp. 1–4, 2011.
- [39] F. Pimentel Gomes, *Curso de estatística experimental*. 2009.