

DETECCIÓN DE ESTRÉS AL CONDUCIR, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES

LAURA CAMILA LOAIZA CARVAJAL
2108645 IBIO
A01756960 IMD

Dr. JUAN MANUEL LÓPEZ L¹
Dr. MARTIN ROGELIO BUSTAMANTE B.²
Dr. JAVIER IZQUIERDO R.²

INGENIERÍA BIOMEDICA



UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS CIUDAD DE MÉXICO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

NOVIEMBRE DE 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
1.2 JUSTIFICACIÓN	7
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	9
1.4 ALCANCES Y ENTREGABLES DEL PROYECTO	10
1.5 PLAN DE ACTIVIDADES.....	11
1.6 ANALISIS FODA.....	11
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....	14
2.1 SISTEMA ADAS BASADOS EN EMOCIONES	14
2.2 EL MODULO DEL CIRCUNFLEJO DE RUSSELL	14
2.3 REDES NEURONALES	15
2.3.1 ARQUITECTURA CONVOLUCIONAL (CNN)	16
2.4 VARIABLES FISIOLÓGICAS	17
2.4 METODOS DE DETECCION DE ESTRÉS DURANTE LA CONDUCCIÓN	19
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE	20
CAPÍTULO 4. DESARROLLO.....	22
4.1 SISTEMA PROPUESTO	22
4.2 ENTORNO DE TRABAJO	22
4.3 SISTEMA DE ADQUISISIÓN	23
4.3.1 CÁMARAS	23
4.3.2 BIOHARNESS 3.0 ZEPHYR	24
4.4 CALIBRACIÓN DE LAS CÁMARAS	26
4.5 DETECCIÓN FACIAL	26
4.6 ENTRENAMIENTO CNN.....	27
4.7 MODO DE USO DEL SOFTWARE HRVANALYSIS.....	31
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
5.1 RESULTADOS DE ENTRENAMIENTO CNN	33
5.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL EN UN ENTORNO CONTROLADO	36
5.3 RESULTADOS ANALISIS DE HRV.....	37
5.4 RESULTADOS DEL RENDIMIENTO NN DURANTE LAS PRUEBA	40
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	41
6.1 TRABAJO FUTURO	41
6.2 DILEMA ETICO.....	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	
PROTOCOLO EXPERIMENTAL EN ENTORNO CONTROLADO	
PROTOCOLO EXPERIMENTAL DURANTE LA CONDUCCIÓN.....	
CONSENTIMIENTO INFORMADO	
..CUESTIONARIO DE EXPERIMENTACIÓN	
CODIGO CALIBRACIÓN DE CÁMARAS.....	
CODIGO DE ENTRENAMIENTO DEL MODELO CNN	
CODIGO DE CAPTURA DE IMÁGENES.....	
CODIGO DE PRUEBA EXPERIMENTAL EN ENTORNO CONTROLADO.....	
CODIGO DE PRUEBA ESTADÍSTICA WILCOXON MATLAB.....	
PRUEBAS	

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. RELACIÓN ENTRE NIVEL DE ESTRÉS Y RENDIMIENTO.....	9
IMAGEN 2. MODELO DEL CIRCUNFLEJO DE LA EMOCIÓN.	14
IMAGEN 3. ESTRUCTURA DE LA RED NEURONAL	14
IMAGEN 4. MATRIZ DE KERNEL	15
IMAGEN 5. PROCESO DE CONVOLUCIÓN.....	16
IMAGEN 6. EJEMPLO MAX POOLING	16
IMAGEN 7. ONDAS ECG.....	17
IMAGEN 8. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO.....	22
IMAGEN 9. ENTORNO DE TRABAJO.....	23
IMAGEN 10. CAMARA WEB LOGITECH C920H	24
IMAGEN 11. BANDA DE BIOHARNESS 3.0 ZEPHYR	24
IMAGEN 12. MODO DE OPERACIÓN	25
IMAGEN 13. TIPOS DE DISTORSIÓN.....	26
IMAGEN 14. PUNTOS UTILIZADOS PARA CALIBRACIÓN	27
IMAGEN 15. RECONOCIMIENTO FACIAL	28
IMAGEN 16. DIAGRAMA DE PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES EN NN ..	29
IMAGEN 17. INTERFAZ DEL SOFTWARE HRVANALYSIS	31
IMAGEN 18. INTERFAZ DEL SOFTWARE PARA IMPORTAR UNIDADES RR...	32
IMAGEN 19. NTERFAZ DEL SOFTWARE PARA ANALISIS LOCAL.....	32
IMAGEN 20. IMAGEN 20. PROTOCOLO EXPERIMENTAL.....	37

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. ESTADÍSTICA DE ACCIDENTALIDAD CAUSADAS POR FACTORES HUMANOS.....	8
GRÁFICA 2. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS PRIMER ENTRENAMIENTO	33
GRÁFICA 3. FUNCIÓN DE PERDIDA EN EL PRIMER ENTRENAMIENTO.	34
GRÁFICA 4. EXACTITUD DEL MODELO EN EL PRIMER ENTRENAMIENTO	34
GRÁFICA 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS ULTIMO ENTRENAMIENTO.....	35
GRÁFICA 6. FUNCIÓN DE PERDIDA EN EL ULTIMO ENTRENAMIENTO	35
GRÁFICA 7. EXACTITUD DEL MODELO EN EL ULTIMO ENTRENAMIENTO	36

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ENTREGABLES DEL PROYECTO	10
TABLA 2. DIAGRAMA DE GANTT	11
TABLA 3. ANALISIS FODA	12
TABLA 4. RESUMEN DE METODOS DE DETECCIÓN DE ESTRÉS	17
TABLA 5. MEDIDAS TEMPORAES DEL HRV	19
TABLA 6. MEDIDAS FRECUENCIALES DEL HRV	19
TABLA 7. FUENTE DE ENERGÍA DEL ZEPHYR	24
TABLA 8. PARAMETROS OBTENIDOS DEL ANALISIS DE LA HRV	38
TABLA 9. ANALISIS ESTADISITCO DE LA HRV	39
TABLA 10. PORCENTAJE DE ACIERTOS DE LA NN DURANTE LA PRUEBAS	40

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, uno de los principales objetivos de la industria automotriz es buscar que los autos sean lo más seguros posible. Aun así, el factor humano sigue siendo una de las principales causas de accidentes, por lo que en la actualidad los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS, por sus siglas en inglés), tienen el objetivo de reducir los errores causados por la falta de atención al momento de manejar o en circunstancias fuera del control del conductor. Estos sistemas consisten en sensores, recolección de datos y actuadores vinculados a una unidad central, la cual toma decisiones basándose en un algoritmo que se adapta a un modelo de conductor.

Los Sistemas ADAS son desarrollados por medio de señales visuales y acústicas en la conducción, en tiempo real mediante avisos o por actuación directa en los sistemas de control del vehículo, buscando aumentar la seguridad del automóvil y, en general, la seguridad vial [1]. Si bien actualmente la mayoría de las funciones de seguridad de los sistemas ADMAS están dirigidas a lo que sucede alrededor del vehículo, es decir monitoreando factores externos como situaciones de la vía, el tránsito de otros vehículos y hasta el clima, pudiendo desarrollar una conducción semi-autónoma.

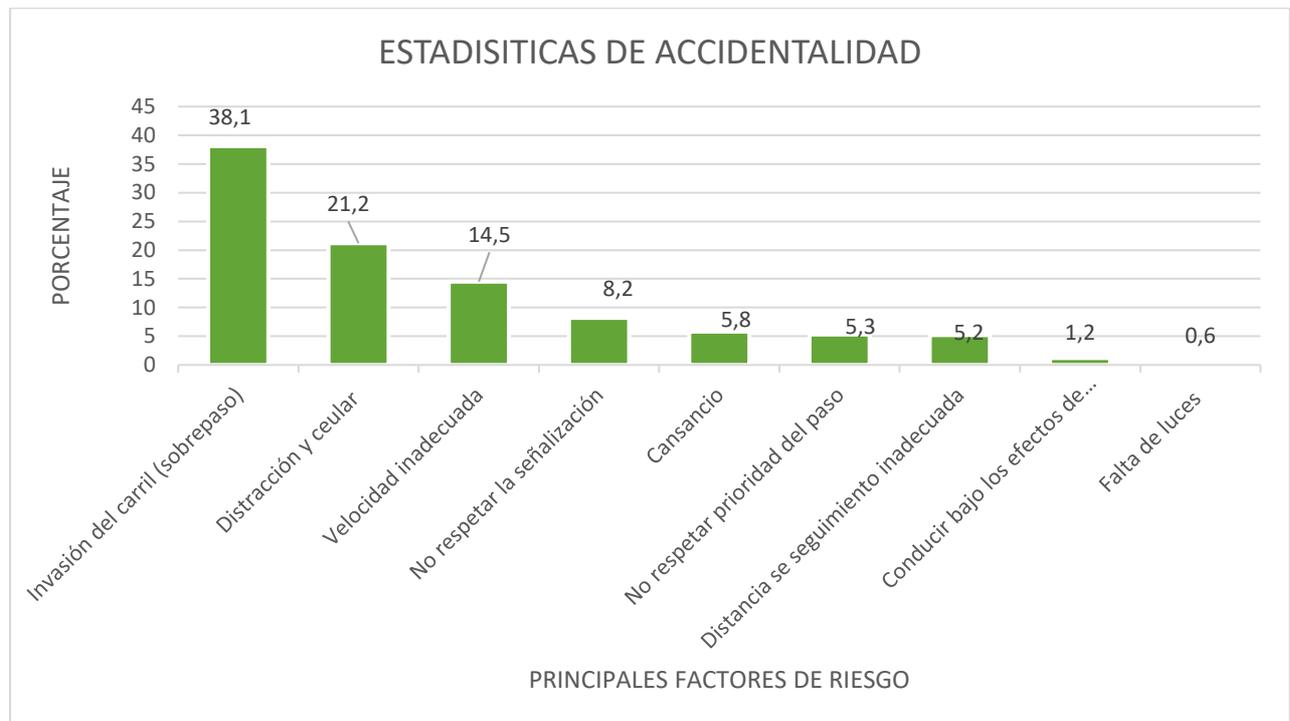
Sin embargo, lo que se quiere lograr es un concepto de seguridad más amplio que no solo comprenda los parámetros externos del vehículo sino también la medición de parámetros internos del mismo. Hoy en día se están implementando funciones que están dirigidas al monitoreo del conductor, uno de esos sistemas está orientado a la experiencia emocional del usuario. Conducir puede ser una experiencia emocionalmente estresante. Algunos de los principales factores estresantes son la falta de control, el impacto negativo potencial de accidentes y el alto nivel de carga cognitiva que se requiere [2]. Mientras ciertas cantidades de estrés ayudan al conductor a permanecer alerta y atento, demasiado o muy poco puede afectar negativamente el rendimiento de la conducción.

En este trabajo, se propone realizar un sistema de captura de gestos faciales que permita predecir el estrés del conductor. Adicionalmente, dentro del desarrollo de este proyecto se incluye el apoyo en las mediciones fisiológicas como método de validación del sistema de captura propuesto. Finalmente se quiere dejar un precedente para la continuación de proyectos relacionados a la experiencia emocional del conductor de los sistemas ADAS, para finalmente lograr la sincronización de los datos obtenidos del vehículo con el estado emocional del conductor y de esta manera poder analizarse y encontrar una correlación entre ellos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Cada año se pierden aproximadamente 1,35 millones de vidas como consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y muchos de esos traumatismos provocan una discapacidad [3]. Cabe destacar que, según las estadísticas del Grupo Banco

Mundial, América es una de las regiones con mayor tasa de accidentalidad en el ranking mundial después del continente africano. Por otro lado, la agencia de seguridad vial de Estados (NHTSA, por sus siglas en inglés), estima que las causas de los accidentes en las carreteras se deben en un 80% de las veces al conductor, 7% al vehículo, 9% a los agentes naturales y solo el 4% al camino [5]. Como se puede observar, los factores humanos son la mayor fuente de accidentes de tránsito, y esto es debido a las siguientes causas:



Gráfica 1. Estadística de accidentalidad causadas por factores humanos [5].

Algunas de las causas mencionadas en la gráfica anterior están directamente relacionadas con las emociones. Las emociones son respuestas automáticas del cerebro que guían el comportamiento de las personas ante estímulos externos y se presentan de forma natural e inconsciente, el manejo de estas puede reducir los riesgos ante factores externos a la hora de conducir. Un conductor que presente un cuadro de emociones negativas con alta excitación puede estar ante una situación de riesgo al volante.

Para estudiar el problema, y mejorar su prevención, empresas como BP, CASTROL y el RACE han analizado el nivel de distracción que generan estas circunstancias, y sus efectos en la conducción. Los principales resultados obtenidos en dichas pruebas demuestran que un conductor en estado de estrés experimenta un aumento general del nivel de ansiedad y nerviosismo, frente al que tendría conduciendo en un estado emocional neutral.

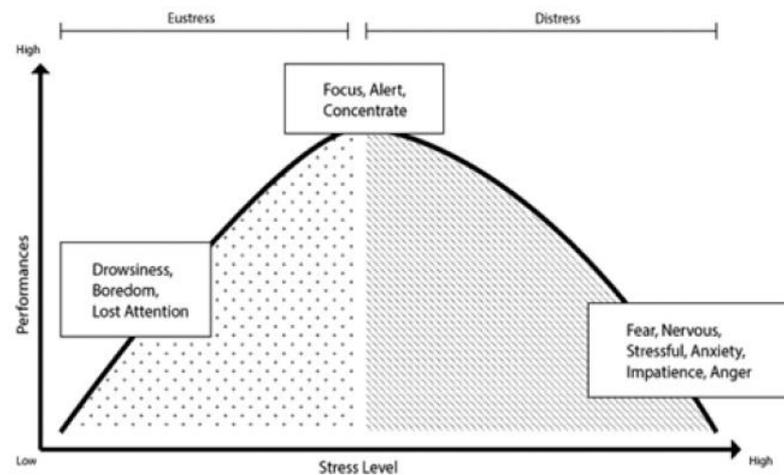


Imagen 1. Relación entre nivel de estrés y rendimiento. Las mejores actuaciones se producen en el punto de estrés óptimo, que varía para diferentes personas [20].

Históricamente, el estrés se ha definido como una reacción de un estado tranquilo a un estado excitado con el fin de preservar la integridad del organismo. Para un organismo tan desarrollado e independiente del entorno natural como el ser humano, la mayoría de los estresores son intelectuales, emocionales y perceptivos [6]. Algunos investigadores hacen una distinción entre "eustress" y "angustia", donde eustress es un buen estrés, como la alegría, o un estrés que conduce a un estado eventual que es más beneficioso para el organismo [7], sin embargo, en este documento, nos referiremos al estrés solo como angustia, estrés como una emoción negativa. Se han realizado varios estudios que vinculan estados de estrés altamente excitados con la capacidad de toma de decisiones deterioradas [8], disminución de la conciencia situacional [9] y rendimiento degradado [10] que podrían afectar la capacidad de conducción.

En relación con esto, si se implementara en los sistemas ADAS el reconocimiento de emociones y el control sobre estas, se podría obtener un sistema más completo ya que como parte importante de la psicología de la persona, se encuentran las emociones como un factor que afecta directamente el desempeño del conductor [11].

1.3 OBJETIVOS

Apegados a lo ya descrito, los objetivos del proyecto se definen a continuación.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Detectar estrés en un sujeto sano, entre 18 y 25 años, durante la conducción de un vehículo, a partir de las emociones por medio del procesamiento digital de imágenes.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Diseñar e implementar un protocolo experimental para la adquisición de datos, durante la conducción de un automóvil, enfocado en la detección de estrés.
- Validar el algoritmo de detección de estrés por medio del análisis ECG

1.4 ALCANCES Y ENTREGABLES DEL PROYECTO

Tabla 1. Entregables del proyecto

<p>1. Desarrollo de Propuesta inicial (Límite de entrega: 30 de agosto)</p>	<p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Formato A, proyecto de ingeniería mecatrónica. ✓ Formato B, Carta compromiso. ✓ Formato C, propuesta inicial del proyecto.
<p>2. Avances de Primer Parcial (Límite de registro de calificación: 25 de septiembre)</p>	<p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Protocolo experimental para la inducción de estrés al usuario. ✓ Avances de reporte escrito. ✓ Presentación oral
<p>3. Avances de Segundo Parcial (Límite de registro de calificación: 06 de noviembre)</p>	<p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Avances del algoritmo y pruebas. ✓ Avances de reporte escrito. ✓ Presentación oral
<p>4. Presentación Puerta Cerrada (Límite de registro de calificación: 11-15 de noviembre)</p>	<p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Análisis de resultados. ✓ Presentación oral. ✓ Entrega del reporte completo.
<p>5. Presentación de Posters (Límite de registro de calificación: 21 de noviembre)</p>	<p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Poster.
<p>6. Presentación Puerta Abierta (Límite de registro de calificación: 25-27 de noviembre)</p>	<p>Entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Presentación oral. ✓ Reporte corregido. ✓ Entrega de archivos.

1.5 PLAN DE ACTIVIDADES

Así pues, para efectos de este documento, a continuación, se presenta el cronograma de ejecución de este proyecto. Esto se esquematiza a través de un diagrama de Gantt, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 2. Diagrama de Gantt del proyecto.

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	█	█	█	█												
a.			█													
b.			█													
c.				█												
d.	█	█	█	█												
2.								█								
a.	█	█	█	█	█											
b.				█	█											
c.				█	█	█	█	█	█	█	█	█				
d.				█	█	█	█									
3.													█			
a.					█	█	█	█	█	█	█	█				
b.								█	█							
c.				█	█	█	█	█	█	█	█	█				
d.								█	█	█	█	█				
4.														█		
a.										█	█	█	█			
b.														█		
5.															█	
a.															█	
6.															█	
a.															█	
b.															█	
c.															█	

ACTIVIDADES:

1. Evaluación técnica del estado del arte:
 - a. Formato A, tema de proyecto de ingeniería mecatrónica
 - b. Formato B, carta de compromiso.
 - c. Formato C. Propuesta inicial del proyecto.
 - d. Selección de equipos necesarios para el desarrollo.
2. Avances de primer parcial
 - a. Protocolo experimental
 - b. Pruebas piloto.
 - c. Avances del desarrollo de algoritmo para la caracterización y análisis de muestras.
 - d. Avances del reporte.
3. Avances de segundo parcial
 - a. Protocolo experimental corregido.
 - b. Implementación del algoritmo en los sujetos de prueba.
 - c. Desarrollo de algoritmo para la caracterización y análisis de muestras.

- d. Avances del reporte.
- 4. Puerta cerrada
 - a. Análisis de resultados.
 - b. Entrega del reporte final completo.
- 5. Poster
 - a. Presentación de poster.
- 6. Puerta abierta
 - a. Reporte corregido
 - b. Entrega de archivos

1.6 ANALISIS FODA

En análisis FODA clarifica las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto, este análisis nos ayudará a conocer las limitantes del proyecto, así como el trabajo a futuro al que se le puede enfocar y la amplia gama de oportunidades de aplicación que se le abren al proyecto.

Tabla 3. Análisis FODA del proyecto

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Conocimiento de procesamiento de señales e imágenes. ✓ Conocimiento en lenguajes de programación. 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de experiencia en el manejo de OpenCV. ✓ Herramientas de modelado y clasificación. ✓ Necesidad de gran cantidad de datos
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Desarrollo de algoritmo en software libre. ✓ Detectar otras características asociadas a las emociones. ✓ Amplias aplicaciones a nuestro Proyecto. ✓ Domótica emocional 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Falla de equipo. ✓ Disponibilidad del vehículo

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1. SISTEMA ADAS BASADOS EN EMOCIONES

Un sistema ADAS, es un sistema que utiliza sensores de entorno para mejorar la comodidad de conducción y seguridad del tránsito, ayudando al conductor a reaccionar ante las situaciones potencialmente peligrosas. Estudios de causas de accidentes de tránsito señalan que la gran mayoría de estos son causadas por un factor humano. Por lo tanto, estos sistemas tienen un gran potencial de reducir el número de accidentes automovilísticos.

Los sistemas avanzados de asistencia al conductor son capaces de detectar y evaluar el entorno tanto externo como interno del vehículo en tiempo real identificando y en algunos casos evitando riesgos. Estos sistemas complejos de ciclos cerrados en donde el conductor juega un papel clave. Estos sistemas proporcionan información al conductor en tiempo real para que los conductores puedan reaccionar de forma apropiada de acuerdo a dicha información. Siempre debe de existir interacción de información entre el sistema y el conductor; por lo tanto, el diseño de los sistemas ADAS debe tener en cuenta el comportamiento y la sensación subjetiva de este último.

2.2. EL MODELO CIRCUNPLEJO DE RUSSELL

En 1980, James Russell [12] publicó un artículo que más de 30 años después sigue siendo actual y constantemente revisado. Tras comprobar dos años antes cierta evidencia estadística, que los psicólogos describen y evalúan el afecto de las personas, se concluye que hay dos tipos de dimensiones que están íntimamente relacionadas la una con la otra. Dichas evidencias sugirieron que estas dimensiones pueden ser representadas en un modelo circular en el cual los conceptos están en un círculo en el orden que mostramos en la figura 2.

En lugar de un sistema neural independiente para cada emoción básica, el modelo de Russell de dos dimensiones propone que todos los estados afectivos surgen a partir de dos sistemas neurofisiológicos independientes: una relacionada con valencia (un continuo placer-displacer) y el otro a la activación (activación-desactivación), en otras palabras, todas las emociones pueden ser entendidas como diversos grados de valencia y activación [13].

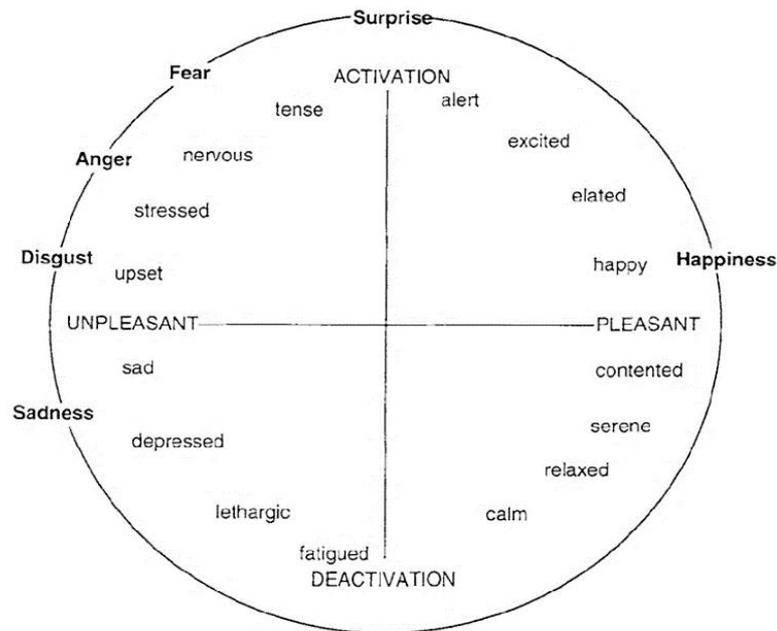


Imagen 2. Modelo de circunflejo de la emoción. Una representación gráfica en donde el eje horizontal representa la dimensión de valencia y el eje vertical representa la dimensión activación o activación [29].

2.3. REDES NEURONALES

Las redes neuronales son modelos del funcionamiento del sistema nervioso. Las unidades básicas son las neuronas, que generalmente se organizan en capas, como se muestra en la siguiente imagen.

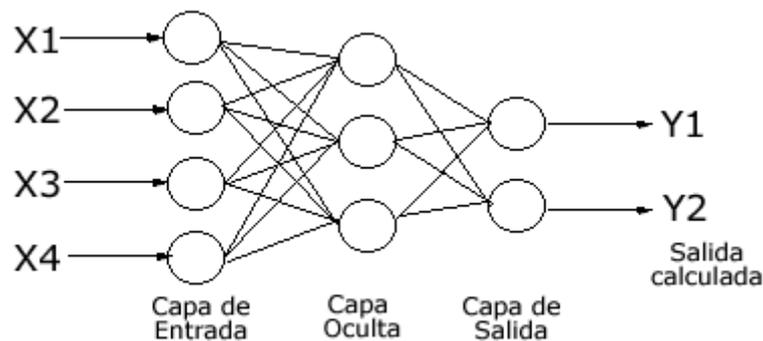


Imagen 3. Estructura de una Red neuronal. Tomada de [30].

Una red neuronal es un modelo simplificado que emula el modo en que el cerebro humano procesa la información: Funciona simultaneando un número elevado de unidades de procesamiento interconectadas que parecen versiones abstractas de neuronas.

Las unidades de procesamiento se organizan en capas. Hay tres partes normalmente en una red neuronal: una capa de entrada, con unidades que representan los campos de entrada; una o varias capas ocultas; y una capa de salida, con una unidad o unidades que representa el campo o los campos de destino. Las unidades se conectan con fuerzas de conexión variables (o ponderaciones). Los datos de entrada se presentan en la primera capa, y los valores se propagan desde cada

neurona hasta cada neurona de la capa siguiente. al final, se envía un resultado desde la capa de salida [14].

La red aprende examinando los registros individuales, generando una predicción para cada registro y realizando ajustes a las ponderaciones cuando realiza una predicción incorrecta. [14].

2.3.1. ARQUITECTURA DE UNA RED CONVOLUCIONAL (CNN)

La CNN es un tipo de Red Neuronal Artificial con aprendizaje supervisado más comúnmente utilizado para identificar distintas características en las entradas que hace que se logre identificar objetos. Para ello, la CNN contiene varias capas ocultas especializadas y con una jerarquía: esto quiere decir que las primeras capas pueden detectar líneas, curvas y se van especializando hasta llegar a capas más profundas que reconocen formas complejas como un rostro o la silueta de un animal [15].

Para iniciar se tiene una imagen que es considerada como una matriz de pixeles que bien si no se encuentra normalizada los valores de los pixeles varían entre 0 a 255 y normalizada varían entre 0 a 1. Para comenzar, la red toma como entrada los pixeles de una imagen. Si se tiene una imagen con apenas 28x28 pixeles de alto y ancho, eso equivale a 784 neuronas. Y eso es si se tiene la imagen en escala de grises. Si tuviéramos una imagen a color, se necesitarían 3 canales (red, green, blue) y entonces se estarían usando $28 \times 28 \times 3 = 2352$ neuronas de entrada.

Ahora comienza el procesado de las CNN. Es decir, la aplicación de las convoluciones como operación: Estas consisten en tomar grupos de pixeles cercanos de la imagen de entrada e ir operando matemáticamente (producto escalar) contra una pequeña matriz que se llama kernel. Ese kernel para el ejemplo es de tamaño 3x3 pixeles y recorre todas las neuronas de entrada (de izquierda-derecha, de arriba-abajo) y genera una nueva matriz de salida, que en definitiva será nuestra nueva capa de neuronas oculta [15].

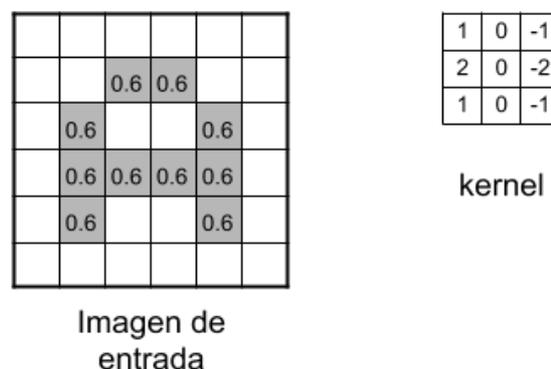


Imagen 4. Matriz de Kernel, Esta matriz tomará inicialmente valores aleatorios y se irán ajustando mediante backpropagation [15].

A medida que se va desplazando el kernel y se va obteniendo una nueva imagen filtrada por el kernel. En esta primera convolución y siguiendo con el ejemplo

anterior, es como si se obtuviera 32 imágenes filtradas nuevas. Adicionalmente, se tiene la capa en donde se encuentra la función de activación más utilizada para este tipo de redes neuronales, es la llamada ReLu por Rectifier Linear Unit y consiste en aplicar una función a todos los elementos conectados a esa capa $f(x) = \text{Max}\{0;x\}$, es decir permite el paso de todos los valores positivos sin cambiarlos, pero asigna a todos los valores negativos el valor de 0, esto sin cambiar la información en términos de profundidad. Estas imágenes nuevas lo que están demostrando son ciertas características de la imagen original. Esto con el fin de poder distinguir un objeto de otro.

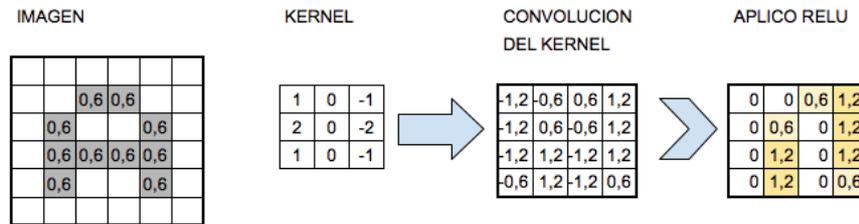


Imagen 5. Proceso de convolución. La imagen realiza una convolución con un kernel y aplica la función de activación, en este caso ReLu [15].

La siguiente capa es la capa de pooling la cual genera clusters dentro de la imagen y diferentes funciones pueden ocurrir, ya sea Max, min, o average (valor medio) y generará una matriz resultado con los valores que arroje la capa de pooling. Esta capa es una manera de filtrado mucho más sencilla que las capas de convolución y puede ser remplazadas por estas.

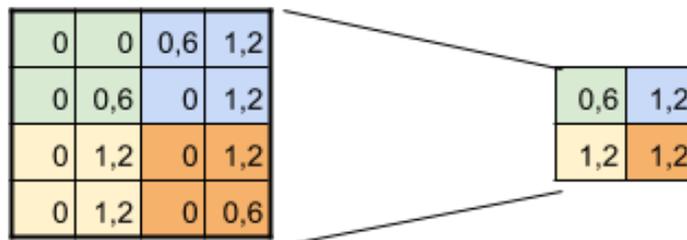


Imagen 6. Ejemplo de Max pooling. Con una matriz 2x2, se reduce la salida a la mitad [15].

Finalmente se encuentra la capa Dropout o deserción, este es un método que desactiva un numero de neuronas de una red neuronal de forma aleatoria, es decir, las neuronas desactivadas no serán tomadas en cuenta para el forwardpropagation ni para el backwardpropagation lo que obliga a las neuronas cercanas a no depender tanto de las neuronas desactivadas [16]. Este método ayuda a reducir el sobre entranamiento ya que las neuronas cercanas suelen aprender patrones que se relacionan y estas relaciones pueden llegar a formar un patrón muy específico con los datos de entrenamiento, con dropout esta dependencia entre neuronas es menor en toda la red neuronal, de esta manera las neuronas necesitan trabajar mejor de forma solitaria y no depender tanto de las relaciones con las neuronas vecinas.

2.4. METODOS DE DETECCION DE ESTRÉS DURANTE LA CONDUCCIÓN

Para adquirir y medir con precisión los niveles de estrés de un conductor y observar los cambios bajo las diferentes situaciones de manejo respectivamente,

existen numerosas métricas para medir los niveles de estrés. En general, cuatro enfoques son ampliamente utilizados por los investigadores en la avanzada industria del automóvil. La tabla 4 se proporciona resumen de los métodos de detección de estrés del conductor.

Tabla 4. Resumen de los métodos de detección de estrés.

Referencias	Métodos	Ejemplos	Limitaciones
(Hart and Staveland, 1988)	Prueba psicométrica	Inventario de estrés de conducción (DSI) Inventario de comportamiento de conducción (DBI) Lista de verificación de excitación de estrés (SACL) Cuestionario de estado de estrés de Dundee (DSSQ) Índice de carga de tareas de la NASA (NASA-TLX)	El cuestionario se conoce comúnmente como subjetivo. Se debe implementar un conjunto específico de preguntas y variedad.
(Healey et al., 1999)	Medidas fisiológicas	Sensor de fotopleletismografía (PPG), Sensor de respuesta galvánica de la piel (GSR) Sensor de electrocardiograma (ECG), Sensor de electroencefalografía (EEG)	Puede presentar problemas en la precisión y sensibilidad debido a ser un sistema intrusivo.
(Alvarsson et al., 2010)	Vigilancia del comportamiento del conductor	Registro de reconocimiento de carril, movimiento de dirección, frenado y aceleración	Los tipos de vehículos, la experiencia del conductor y las condiciones del camino son dinámicas y afectan la adquisición de datos
(Matthews et al., 1996)	Detección visual y del habla.	Cambios faciales de temperatura, dilatación de la pupila y habla	De base visual: se altera fácilmente cuando aparecen cambios de oclusión o iluminación. Habla: distracción para el conductor durante el viaje como tarea secundaria.

2.5. VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA EN EL ESTRÉS MENTAL

Las variables fisiológicas humanas son todos aquellos parámetros que pueden ser medidos y que permiten monitorear el funcionamiento biológico del ser humano. Dentro de las funciones vitales más conocidas tenemos las encontradas en el sistema respiratorio, circulatorio, endócrino, nervioso, entre otros. La variable por medir en este proyecto es el ritmo cardíaco.

Para poder realizar la medición del ritmo cardíaco, se hace uso de un electrocardiograma, este es la representación de gráfico en el que se estudian la actividad de la corriente eléctrica y las variaciones de voltaje que se está desarrollando en el corazón durante un periodo determinado. Entre los diversos parámetros y medidas de la señal ECG, una medida interesante es la relacionada con la frecuencia de las contracciones cardíacas, denominada frecuencia cardíaca (HR) y medida en latidos por minuto (lpm) [17].

La frecuencia cardíaca puede variar de acuerdo con las necesidades físicas del cuerpo, incluida la necesidad de absorber oxígeno y expulsar dióxido de carbono. Por lo general, coincide con el pulso medido en cualquier punto periférico del cuerpo

humano, por lo que se considera una técnica no-invasiva. Durante la sucesión de latidos de una persona sana, en reposo, la frecuencia entre los latidos varía. Es decir, el tiempo (milisegundos) entre latidos, varía latido a latido. Este aspecto define la variabilidad de la frecuencia cardíaca VFC (o por sus siglas en inglés HRV Heart Rate Variability).

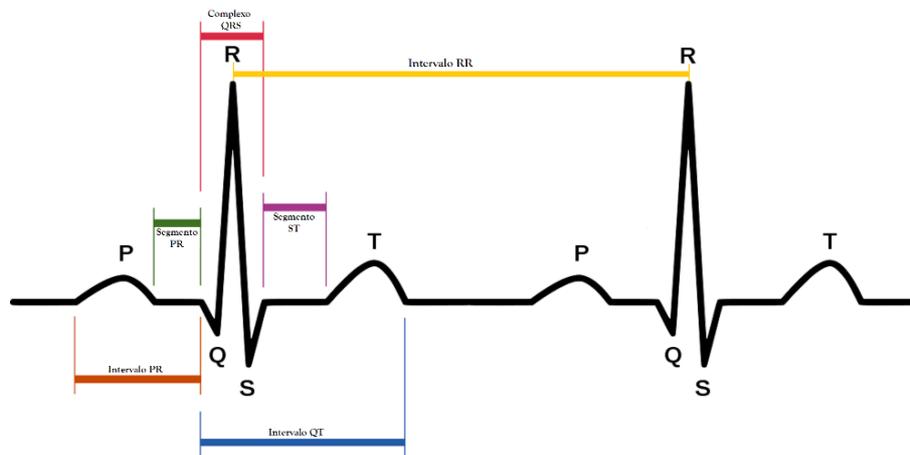


Imagen 7. Ondas del ECG. Electrocardiograma con sus ondas, intervalos y segmentos [31].

A partir de lo anterior, se podrá establecer la relación que tiene el análisis de la VFC o HRV con el estrés. Varios estudios afirman que, ante la presencia de estresores psicológicos o fisiológicos, el organismo responde mediante una serie de reacciones fisiológicas coordinadas, que suponen la activación del sistema nervioso autónomo (SNA) [18]. Y un medio confiable para observar indirectamente SNA y evaluar este tipo de reacciones es mediante el HRV [33].

La HRV se refiere a las variaciones de la frecuencia cardíaca instantánea y la serie de tiempos intermedios entre picos consecutivos de la onda R del ECG (intervalo RR). Esta variación está bajo el control del SNA, que, a través de las ramas parasimpáticas y simpáticas, es responsable de ajustar el HRV en respuesta a estímulos o externos físicos o internos. Un sujeto normal muestra un buen grado de variación de la frecuencia cardíaca, lo que refleja una buena capacidad para reaccionar a estos estímulos [34,35].

En cuanto a las medidas lineales de HRV en el dominio de tiempo y frecuencia, se siguieron las recomendaciones de la Sociedad Europea de Cardiología y las directrices de la Sociedad Norteamericana de Estimulación y Electrofisiología [34]. Estas medidas corresponden:

- Medidas de HRV en el dominio del tiempo: Las medias de los intervalos R-R (RR), una desviación estándar de un intervalo R-R (SDRR), la raíz cuadrada de diferencia cuadrática media de R-R sucesivas (RMSSD), y una proporción de NN50 dividido por el número total de NN que difieren más de 50 ms (pNN50) como se muestra en la Tabla 5.
- Medidas de HRV en el dominio de frecuencia: Las medidas de densidad del espectro de potencia que se consideran son las de baja frecuencia (LF), la alta frecuencia potencia (HF) y la relación LF / HF como se

muestra en la Tabla 6 .Por lo tanto, las medidas unidades normalizadas o ms², para las bandas de baja frecuencia (LF, 0.04–0.15 Hz) y las bandas de alta frecuencia (HF, 0.15 0.4 Hz).

Tabla 5. Las medidas temporales de HRV [34,36]

Variable	Units	Statistical measures	Description
SDNN	ms	Standard deviation of all NN intervals.	
SDANN	ms	Standard deviation of the averages of NN intervals in all 5 min segments of the entire recording.	
RMSSD	ms	The square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals.	
SDNN index	ms	Mean of the standard deviations of all NN intervals for all 5 min segments of the entire recording.	
SDSD	ms	Standard deviation of differences between adjacent NN intervals.	
NN50 count		Number of pairs of adjacent NN intervals differing by more than 50 ms in the entire recording. Three variants are possible counting all such NN intervals pairs or only pairs in which the first or the second interval is longer.	
pNN50	%	NN50 count divided by the total number of all NN intervals.	

Tabla 6. Las medidas frecuenciales de HRV [34,36]

Variable	Units	Description	Frequency range
Analysis of short-term recordings (5 min)			
5 min total power	ms ²	The variance of NN intervals over the temporal segment	approximately ≤0.4 Hz
VLF	ms ²	Power in very low frequency range	≤0.04 Hz
LF	ms ²	Power in low frequency range	0.04–0.15 Hz
LF norm	n.u.	LF power in normalised units LF/(Total Power-VLF) × 100	
HF	ms ²	Power in high frequency range	0.15–0.4 Hz
HF norm	n.u.	HF power in normalised units HF/(Total Power-VLF) × 100	
LF/HF		Ratio LF [ms ²]/HF [ms ²]	

CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE

El monitoreo de acciones del conductor, el comportamiento del vehículo, el monitoreo de parámetros, entre otros, brindan indicadores del estado de vigilancia. Las acciones del conductor y el comportamiento del vehículo son estudiadas por medio de la observación de algunos parámetros del automóvil (movimiento del manubrio, velocidad del vehículo, etc.).

Ambos métodos son no intrusivos, pero se ven limitados por el tipo de vehículo y la condición de las vías [19]. Mientras que las técnicas basadas en la medición de parámetros internos del conductor pudieran ser los más precisos, estas se implementan de dos maneras: adquiriendo información de distintas señales fisiológicas o identificando cambios en los gestos faciales y emociones. En este capítulo se realizará una revisión de cuáles son las tecnologías que lideran este campo y por qué se consideran estas técnicas para el desarrollo.

Como resultado a estos avances, existen empresas que hoy en día desarrollan un sistema que mide la experiencia del usuario, uno de ellos es el grupo de interés especial AutoEmotive Navigation del MIT Media Lab el cual se consolidó en 2018 con el objetivo de estimular los esfuerzos de investigación en la intersección de la informática afectiva y la automoción [19]. Los cuales abarcan problemáticas como la detección emociones relevantes que afecten el rendimiento en la conducción y de ser ahí como se podría modular la interacción basándose en esas respuestas emocionales y finalmente atacar el problema de llevar al usuario a el estado emocional deseado.

El primer problema que AutoEmotive enfrento fue el estrés y como este puede percibirse desde muchas modalidades diferentes. Uno de los enfoques más comunes fue a medición de las señales fisiológicas, como la variabilidad del ritmo cardíaco o la actividad electrodérmica que cambian durante la respuesta al estrés. Por ejemplo, Healey y Picard [20] usaron estas señales además de otras para reconocer automáticamente los niveles de estrés de los conductores. Si bien su estudio requirió equipo grandes y analógicos, hoy en día, los desarrollos recientes de tecnologías portátiles han permitido un monitoreo menos disruptivo en situaciones desafiantes de la vida diaria. Además, también se ha demostrado que es posible capturar la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la variabilidad de la frecuencia cardíaca de forma remota con una cámara de bajo costo [20].

Por otro lado, las interacciones del conductor con el automóvil también pueden proporcionar indicios de estrés. Por ejemplo, estudios previos que se realizaron, han explorado la utilidad del uso de funciones de voz para medir el estrés de los conductores. Actualmente el grupo de investigación trabaja en mecanismos que, al detectar niveles anormales de estrés, el automóvil usa la información para adaptar automáticamente sus interacciones con el conductor y aumentar el conocimiento individual y social, ayudando al conductor a manejar mejor el estrés. Finalmente, lo que se espera es que los datos contextuales como la cantidad de aceleración, la

velocidad promedio y la cantidad de gas en el tanque también proporcionen información significativa.

Otra de las empresas que trabaja en conjunto con AutoEmotive, es Affective Automotive AI. Con el propósito de resolver uno de los problemas en la industria automotriz y empezar a regirse bajo las nuevas regulaciones, como el Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos (Euro NCAP), requieren características de seguridad de próxima generación que incluyen monitoreo avanzado del estado del conductor, detección de presencia de niños y más [21].

La solución que proponen es utilizar la tecnología patentada de Affective (graba videos de rostros de personas con el permiso y luego "codifica" sus expresiones, fotograma a fotograma, para evaluar su estado emocional) para comprender los estados de ánimo de los conductores y pasajeros, a fin de abordar las preocupaciones críticas de seguridad y ofrecer mejores experiencias en la cabina. Affective Automotive AI mide discretamente, en tiempo real, estados emocionales y cognitivos complejos y matizados de la cara [21].

Para poder lograr ese objetivo Affective Automotive AI, cuenta con una base de datos de alrededor de 6 millones de caras analizadas en 75 países. Para ser precisos, ahora la empresa ha logrado reunir 5,313,751 videos faciales, para un total de 38,944 horas de datos, que representan casi 2 mil millones de marcos faciales analizados. Adicionalmente, estos datos capturan condiciones desafiantes, como variaciones en la iluminación, diferentes movimientos de la cabeza y variaciones en las características faciales debido a la etnia, edad, género y anteojos, uno de los retos más grandes para el entrenamiento de algoritmos de detección facial y reconocimiento de emociones.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO

En esta sección se expone a detalle los procedimientos que se llevaron a cabo para el desarrollo del sistema de detección de estrés mediante imágenes. Primero se define el sistema general del desarrollo del sistema, los equipos y materiales que fueron utilizados para el desarrollo y las características técnicas de estos. Posterior a esto se realiza una descripción del proceso paso a paso para la adquisición de datos, procesamiento de datos, entrenamiento del modelo de machine learning e implementación del modelo.

4.1 SISTEMA PROPUESTO

En la siguiente grafica se presenta el proceso realizado para el sistema del monitoreo del conductor. El algoritmo fue desarrollado en Python, debido a la facilidad que suministra este entorno de trabajo al momento de trabajar con la visión por computadora.

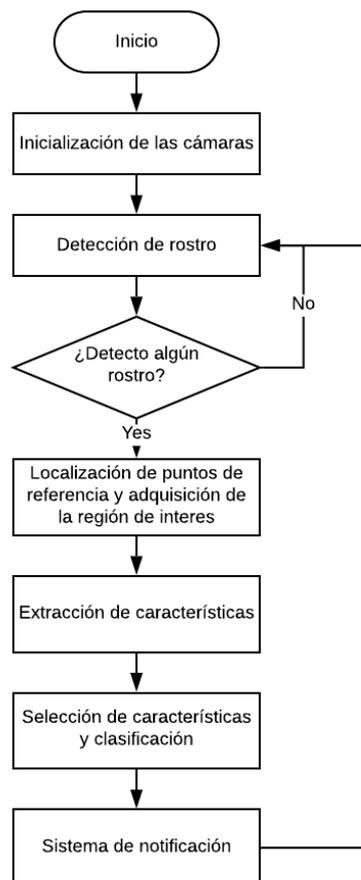


Imagen 8. Diagrama de flujo del proyecto. Se ha propone el siguiente diagrama para el sistema de monitoreo del estrés del conductor.

4.2 ENTORNO DE TRABAJO

El algoritmo fue desarrollado en OpenCV (Open Source Computer Vision Library), esta es una biblioteca de software de aprendizaje por computadora y visión por computadora de código abierto. OpenCV se creó para proporcionar una

infraestructura común para aplicaciones de visión por computadora y para acelerar el uso de la percepción de máquinas en los productos comerciales. Al ser un producto con licencia BSD (Berkeley Software Distribution), OpenCV facilita a las empresas utilizar y modificar el código [22]. Adicionalmente el lenguaje de programación usado es Python, el cual viene preinstalado en Linux (V. 16.04), por lo cual la instalación procede directamente a la instalación de openCV.



Imagen 9. Entorno de trabajo

Las herramientas más comunes para el preprocesamiento de imágenes por frame, así como el desarrollo de redes neuronales es Python ya que en ella se encuentran librerías de código abierto como lo es Dlib, OpenCV, Tensorflow y Keras que son librerías desarrolladas específicamente para reconocimiento de objetos y deep learning, en cuanto a los anteriores Keras tiene una manera mucho más amigable para la arquitectura de las capas en redes neuronales. Adicionalmente para el preprocesamiento de datos se utilizaron herramientas en Python como lo son Pandas para manipulación de data frames. Entre los recursos que ocupamos están:

- Python 3.6
- Keras (Librería de Python)
- TensorFlow (Librería de Python)
- OpenCV for Python (Librería de Python)
- Dlib (Librería de Python)
- Pandas for Python (Librería de Python)
- Numpy for Python (Librería de Python)
- Matplotlib (Librería de Python)
- Pillow (Librería de Python)

4.3 SISTEMA DE ADQUISIÓN

4.3.1 CÁMARAS

Para la detección de monitoreo del conductor se empleó cámaras web Logitech C920 HD, Adicional a esto se utilizó un computador ASUS K556UQ con procesador Intel(R) Core (TM) i7-7500U CPU 2.7 GHz y 12 GB RAM. Todos los videos fueron

adquiridos a 30 frames por segundo (FPS) con una resolución de 1280 x 720. El coche utilizado para la experimentación fue un Ford Focus 2013.



Imagen 10. Cámara web Logitech C920 HD

4.3.2. BIOHARNESS 3.0 ZEPHYR

El Bioharness Zephyr es un sistema de monitorización fisiológica. El sujeto lleva un cinturón de tela inteligente para el pecho que incorpora sensores para monitorear las señales de ECG del corazón y el ritmo respiratorio. En el cinturón se encuentra ubicado el módulo Bioharness. Este contiene un sensor de temperatura y un acelerómetro de 3 ejes para conocer la posición del sujeto (postura) y la actividad física (aceleración). Los datos del sensor obtenidos se filtran, se procesan y analizan en el dispositivo, que puede funcionar en tres modos. Estos modos son configurables por software.



Imagen 11. Banda Zephyr bioharness 3

En cuanto a los modos de operación, se debe tener en cuenta las especificaciones eléctricas, técnicas y fisiológicas. Las especificaciones eléctricas se pueden observar continuación.

Tabla 7. Fuente de energía del bioharness 3.0 Zephyr [28].

TIPO	Batería recargable de polímero de litio
NUMERO DE CELDAS	1
VOLTAJE NOMINAL	3.7V

Por otro lado, una de las especificaciones técnicas del sensor Bioharness es que cuenta con una capacidad de almacenamiento interno de 500 horas aproximadamente en el modo General (configuración) y en modo *General+* ECGII tiene una capacidad de almacenamiento de 140 horas. Por otro lado, la duración de la batería puede tener una duración entre 12 a 24 horas, en modo transmisión y en modo de *logging*II (modo en el que el Bioharness está registrando y almacenando en

memoria interna) tiene una duración de 35 horas aproximadamente. Especificaciones en Mediciones de ECG Frecuencia de Muestreo del sensor ECG es de 1000 Hz (1 ms) Rango de Operación de 0 a 240 latidos por minuto (bpm) Amplitud de ECG de 0.25 a 15 mV [28].

Finalmente cabe destacar los factores que pueden afectar la lectura de los parámetros fisiológicos, en este caso, únicamente es de interés la medición de la frecuencia cardiaca. Por ejemplo, tener una baja frecuencia cardiaca, puede deberse a que el ruido excesivo causado por el sensor/piel movimiento relativo y/o mala conductividad entre la superficie de la piel y el sensor. El buen ajuste del cinturón y la humectación de las superficies del sensor con agua evitara esta cuestión en la mayoría de los casos.

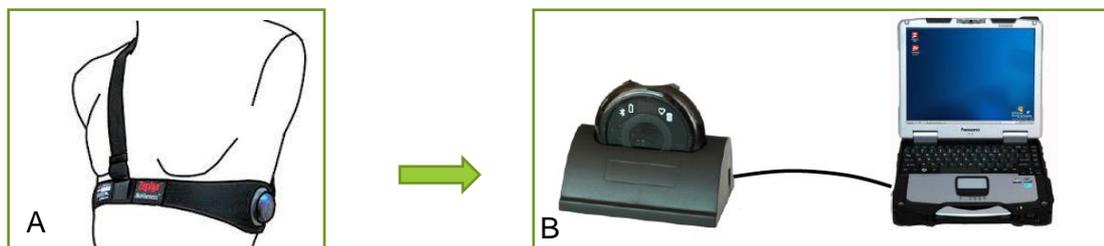


Imagen 12. Modo de operación. A. posición en la se debe colocar el cinturón en el sujeto. B. modo de conexión para la extracción de los datos.

Para el proyecto se propone usar el modo de registro en el que se podrá descargar los paquetes del registro interno del dispositivo. Como se mencionó anteriormente en las tablas, el dispositivo es capaz de almacenar hasta 500 horas de monitoreo (modo general) y a la vez esta información se respalda en archivos con extensión .csv, .dat, .hed en memoria interna. Estos archivos son fácilmente importados e interpretados por software externo, orientados a bases de datos. Para entrar a este modo es necesario conectar, como en el caso de los modos de carga y modos de configuración, directamente con el cable USB (imagen 13). Ejecutando la aplicación Bioharness Log Downloader.exe se podrá hacer uso del modo de Registro.

Se puede observar los registros que se van almacenando en orden cronológico en la memoria interna del dispositivo, estos registros al momento de guardarlos, lo hace en la carpeta Bioharness Test Logs por default.

4.4 CALIBRACIÓN DE LAS CÁMARAS

El uso de las cámaras se ha implementado por mucho tiempo, sin embargo, el uso de la estas incluyen una distorsión significativa. Afortunadamente, estas son constantes y con una calibración y algunas reasignaciones se puede corregir esto. Además, con la calibración también puede determinar la relación entre las unidades naturales de la cámara (píxeles) y las unidades del mundo real (por ejemplo, milímetros) [23]. Uno de los objetivos es obtener una imagen no distorsionada, esto debido a las aberraciones en la lente, o defectos de construcción de la cámara, la

imagen puede estar distorsionada, entre estas existen dos distorsiones más comunes que son la distorsión radial y la tangencial [24].

Debido a la distorsión radial, las líneas rectas aparecerán curvadas. Su efecto es mayor a medida que nos alejamos del centro de la imagen. Por ejemplo, la imagen se muestra abajo. Pero puedes ver que el borde no es una línea recta y no coincide. Todas las líneas rectas esperadas están abultadas.

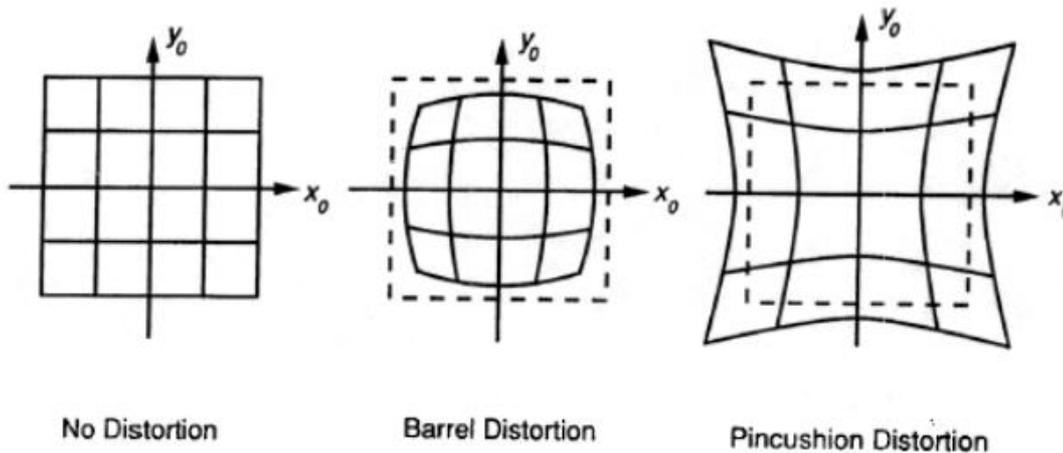


Imagen 13. Tipos de distorsión [32]

El cálculo de estos parámetros se realiza mediante ecuaciones geométricas básicas. Las ecuaciones utilizadas dependen de los objetos de calibración elegidos. En resumen, necesitamos encontrar cinco parámetros, conocidos como coeficientes de distorsión dados por:

$$\text{Distortion coefficients} = (k_1 \quad k_2 \quad p_1 \quad p_2 \quad k_3)$$

Además de esto, necesitamos encontrar más información, como los parámetros intrínsecos y extrínsecos de una cámara. Los parámetros intrínsecos son específicos de una cámara. Incluye información como distancia focal (f_x , f_y), centros ópticos (c_x , c_y), etc [32]. También se llama matriz de cámara. Depende sólo de la cámara, por lo que una vez calculada, se puede almacenar para fines futuros. Se expresa como una matriz de 3x3:

$$\text{camera matrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Actualmente OpenCV admite tres tipos de objetos para la calibración, para este caso se realizó la calibración con el método del tablero de ajedrez clásico blanco y negro. Básicamente, se debe tomar instantáneas de estos patrones con la cámara y dejar que OpenCV los encuentre. Cada patrón encontrado da como resultado una nueva ecuación. Para resolver la ecuación, se necesita de al menos un número predeterminado de instantáneas de patrones (para el experimento se hizo uso de al menos 20 imágenes) para formar un sistema de ecuaciones bien planteado.



Imagen 14. Puntos utilizados para calibración

4.5. DETECCIÓN FACIAL

Para lograr el reconocimiento de un rostro en una imagen se realizan dos etapas de procesamiento con sus respectivas técnicas y algoritmos. En la primera etapa se utilizan clasificadores en cascada y el algoritmo de Viola-Jones para lograr detectar un rostro dentro de la imagen (Viola & Jones, Robust real-time face detection, 2001). El algoritmo de Viola-Jones es un método de detección de objetos que destaca por su bajo coste computacional, lo que permite que sea empleado en tiempo real. Su desarrollo fue motivado por el problema de la detección de caras, donde sigue siendo ampliamente utilizado, pero puede aplicarse a otras clases de objetos que, como las caras, estén caracterizados por patrones típicos de iluminación.

El algoritmo se basa en una serie de clasificadores débiles denominados Haar-like features que se pueden calcular eficientemente a partir de una imagen integral. Estos clasificadores, que por sí mismos tienen una probabilidad de acertar solo ligeramente superior a la del azar, se agrupan en una cascada empleando un algoritmo de aprendizaje basado en AdaBoost para conseguir un alto rendimiento en la detección, así como una alta capacidad discriminativa en las primeras etapas.

El clasificador Haar está basado en árboles de decisión con entrenamiento supervisado estrictamente. El entrenamiento se realiza determinando una serie de características faciales basadas en sumas y restas de los niveles de intensidad de la imagen como luz y contraste. Basándose en estas características locales se puede obtener un detector de objetos robusto [25]. También se denominan estos clasificadores mediante el nombre de cascada, ya que el resultado del clasificador es el fruto de varios clasificadores más simples o etapas. El candidato a objeto dentro de la imagen a procesar debe superar todas las etapas para ser aceptado. Después de que el clasificador ha sido entrenado, puede ser aplicado a una región de interés de una imagen de entrada. El clasificador devuelve un "1" si la región contiene el objeto, y "0" en otro caso [26].



Imagen 15. Reconocimiento facial mediante clasificadores en cascada y el algoritmo de Viola-Jones

4.6 ENTRENAMIENTO CNN

Para el entrenamiento de la red neuronal se ocuparon 3 bases de datos:

1. Fer2013: esta base de datos se publicó en la Conferencia Internacional sobre Aprendizaje Automático (ICML) hace 6 años, fer2013 es un conjunto de datos de código abierto, fue creado para un proyecto en curso por Pierre-Luc Carrier y Aaron Courville, luego compartido públicamente para una competencia de Kaggle, poco antes de ICML 2013. Este conjunto de datos consta de 35.887 imágenes de cara en escala de grises, 48x48 con varias emociones (7 emociones, todas etiquetadas)
2. Cohn-Kanade: para investigación en análisis y síntesis automática de imágenes faciales y para estudios perceptuales. Cohn-Kanade está disponible en dos versiones (CK y CK+), incluye 486 secuencias de 97 posers. Cada secuencia comienza con una expresión neutra y continúa con una expresión máxima. El pico de expresión para cada secuencia en FACS completo (Ekman, Friesen y Hager, 2002; Ekman y Friesen, 1979) se codificó y recibió una etiqueta de emoción.
3. iCV MEFED: iCV Multi-Emotion Facial Expression Dataset, fue diseñada para el reconocimiento de múltiples emociones. La base de datos incluye 31250 expresiones faciales con diferentes emociones de 125 sujetos cuya distribución de género es casi uniforme. Todas las imágenes están debidamente etiquetadas.

Cabe destacar que no se hizo uso de la totalidad de las imágenes, uno de los factores fue debido a la cantidad de datos que están manejando en la red neuronal, se busca que la cantidad de datos sea lo más uniforme posible, es por esto por lo que algunas emociones como la tristeza y la sorpresa (vistas en el capítulo 2), no serán tenidas en cuenta para el entrenamiento. Para el entrenamiento se trabajaron las siguientes etiquetas:

- 0. 7.816 imágenes – Neutral
- 1. 11.252 imágenes – Relajado
- 2. 12.074 imágenes – Estresado

Para tener un total de 31.142 imágenes etiquetadas. Estas imágenes pasan por una etapa de procesamiento, en el cual se evidencia a continuación, esto con el fin de tener una uniformidad en los datos (imágenes), en cuanto a la cantidad de píxeles por imagen y la escala que se utiliza, en este caso las imágenes no se encuentran normalizadas es decir los valores de los píxeles varían entre 0 a 255, adicionalmente cada imagen tiene valores de ancho y de alto de 48x48. Estos datos se adjuntan en un archivo .csv, las imágenes en el archivo de Excel se almacenan con los valores de píxeles correspondientes en cada fila y su respectiva etiqueta.

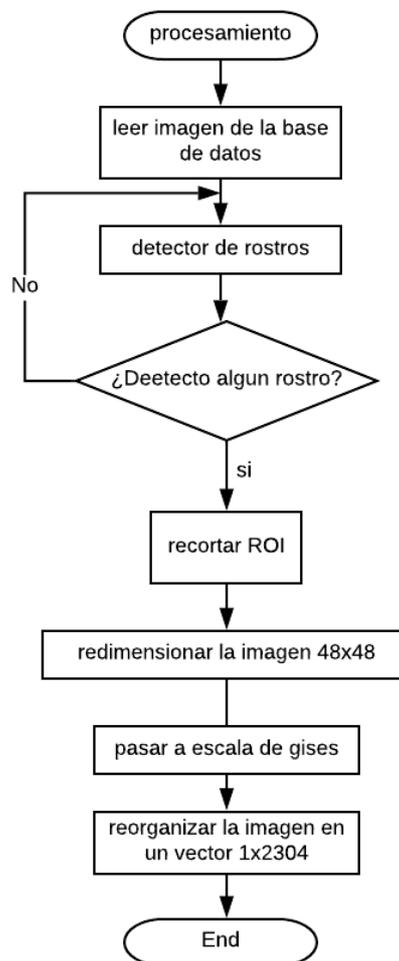


Imagen 16. Diagrama de procesamiento de las imágenes de la red neuronal para expórtalos a un formato .csv

Una vez se tenga todas las entradas, se define el porcentaje de datos para el entrenamiento, validación y prueba, estos se encuentran separados aleatoriamente en 80%, 10% y 10% respectivamente.

Posterior a comprender la arquitectura de las redes neuronales utilizadas para detección de imágenes, se opta por usar una red neuronal convolucional por las siguientes razones:

- Estudios actuales de clasificación de imágenes usan CNN.
- No se afectan por la distorsión de imágenes.
- Requiere menos procesamiento y memoria que un RNN.
- Más fácil de entrenar que una RNN
- Válidas para imágenes en RGB.
- Interfaz de Keras en Python

Arquitectura de la red neuronal:

- En la primera capa de entrada convolucional, se define el tamaño del kernel (3x3), se define la función de activación (ReLU) y se ha agregado un kernel de regularización L2 (0.01).
- Las capas convolucionales ocultas, se ha agregado un *batch Normalization*, es decir una normalización de los valores antes de entrar a una nueva capa convolucional.
- Las capas de maxpooling tienen una matriz para redimensionar (2x2) y dropout (0.5) es decir que ignora al menos el 50% de las unidades durante la fase de entrenamiento, esto fin de evitar la codependencia entre neuronas. Lo anterior se han agregado a cada bloque de capas convolucional.

Uno de los resultados que se obtiene durante el resumen del modelo es la cantidad total de parámetros y si son entrenables, estos valores corresponden a:

Total params: 5,905,347
Trainable params: 5,901,635
Non-trainable params: 3,712

Una vez generado el resumen, se compila el modelo de la red neuronal, para lograr esto se hace uso de la función de entropía cruzada, esta función mide el error y lo compara con los nodos de salida de la red neuronal calculados con valores de datos de entrenamiento. Otras características que se agregaron al modelo fueron: reducir el factor de la velocidad de aprendizaje de la función de optimización, incluso para lograr evitar que la función de pérdida llegue a las mesetas (punto en donde no se puede alcanzar la profundidad de aprendizaje) y empiece a sobrentrenarse se define una función para detener el entrenamiento del modelo si no hay cambios en el valor de la función de pérdida en el conjunto de validación para una época [27].

4.7 MODO DE USO DEL SOFTWARE HRVanalysis

El software HRVANALYSIS creado por la universidad Jean Monet de Saint-Etienne en convenio con la universidad de Lyon, el software está dedicado al estudio de las variables electrofisiológicas que se encuentran bajo el control del sistema nervioso autónomo como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la actividad electrodérmica de la piel. El software permite calcular la mayoría de los índices lineales y no lineales validados en la literatura: como, por ejemplo, parámetros temporales, geométricos, frecuenciales, transformada de Fourier del incremento de intervalos RR, etc. Adicionalmente cuenta con el análisis de tiempo-frecuencia usando la transformación wavelet, así como el análisis del estado del sistema nervioso autónomo en eventos puntuados circundantes y en áreas etiquetadas preseleccionadas [28].

HRVanalysis es posible descargarlo de forma gratuita solo para uso comercial. El software fue desarrollado utilizando MATLAB® 2016a. Funciona en sistemas operativos Windows de 64 bits y no es necesario tener MATLAB® instalado en la computadora. Cuando utilice HRVanalysis para analizar datos destinados a publicación, cite el artículo de referencia del software y descargue el sitio web en la sección de métodos y acredite a los autores del software cuando haga referencia [28].

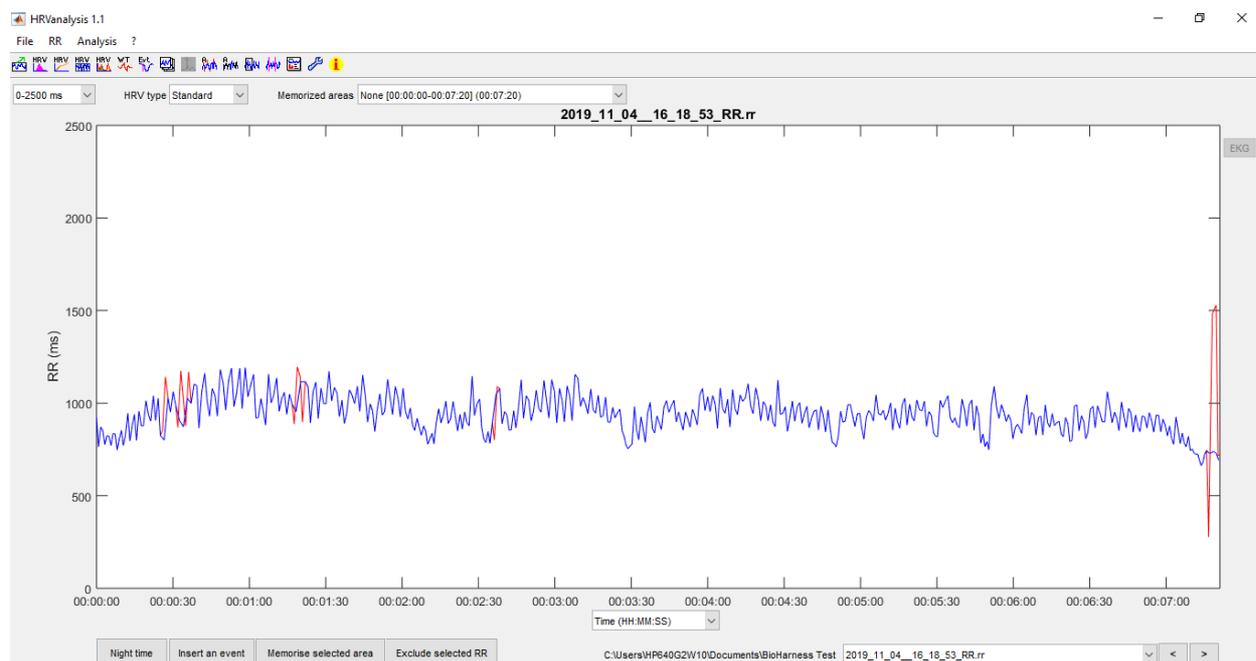


Imagen 17. Interfaz del software de HRVanalysis

Los datos se pueden importar desde archivos EKG o RR. Los formatos disponibles para los datos de EKG son EDF, ISHNE®, Binary, .txt, MATLAB®. Una vez que se selecciona el archivo EKG, los picos R se detectan automáticamente, como se describió anteriormente. Los archivos RR se pueden importar desde sistemas Holter y monitores de frecuencia cardíaca como Vista Novacor, Aria Delmar, NeuroCoach, Suunto, Zephyr y Polar. Para importar series RR desde otros dispositivos, generalmente en formato .txt, una ventana de importación genérica

permite seleccionar las filas, columnas, separadores, puntos y unidades RR para importar [28].

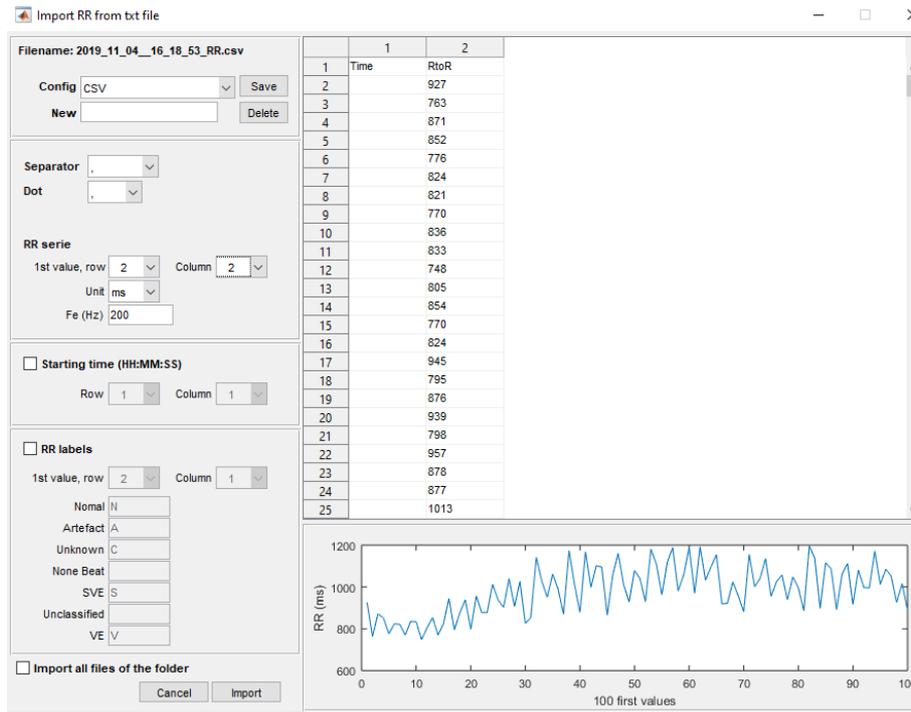


Imagen 18. Interfaz del software para importar unidades RR

El software permite analizar las unidades RR localmente para parámetros lineales y no lineales, es decir, calcula índices lineales y no lineales de variabilidad frecuencia cardiaca para la parte RR de la señal, que se selecciona desde la ventana principal utilizando la función de zoom. Para este caso, se propone un análisis local debido a que los registros de la señal no son mayores a los 11 minutos. Si se quisiera realizar análisis de registros más extensos (desde 1 hora hasta 24 horas o 48 horas), el software también permite el análisis de registros 24 h / día / noche, este para casos donde se utiliza el sistema holter o monitoreo ambulatorio de 24 horas.

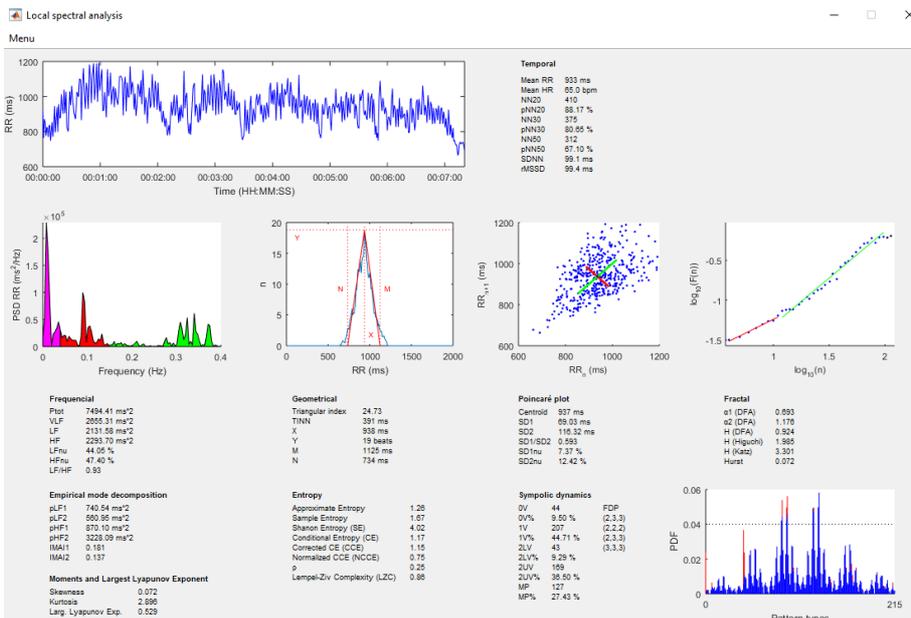
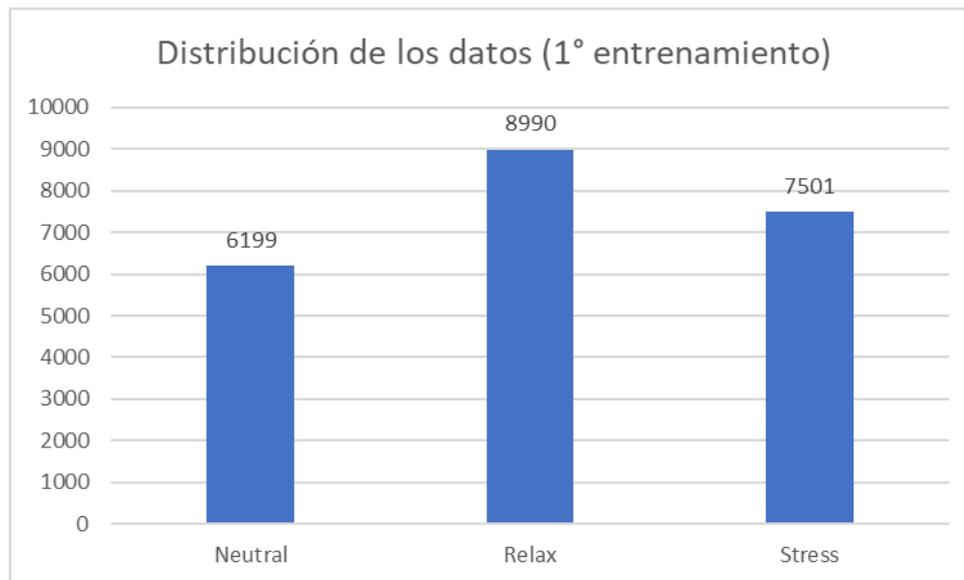


Imagen 19. Interfaz del software para el análisis de local HRV

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

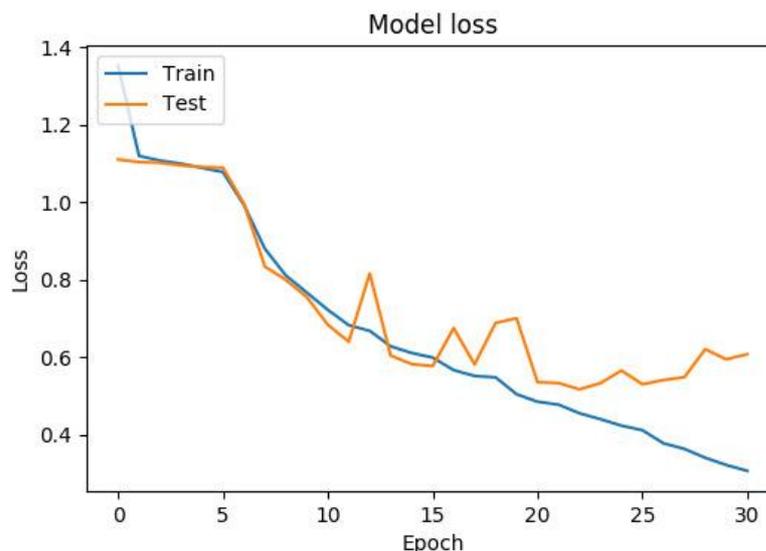
5.1. RESULTADOS DEL ENTRENAMIENTO DE CNN

Uno de los principales aspectos que se considero fue la distribución de los datos, ya que la distribución depende el buen rendimiento del entrenamiento de la red, es decir, evitar que las variables de entrada estén altamente correlacionadas entre si (estadísticamente se define como una multicolinealidad de los datos).



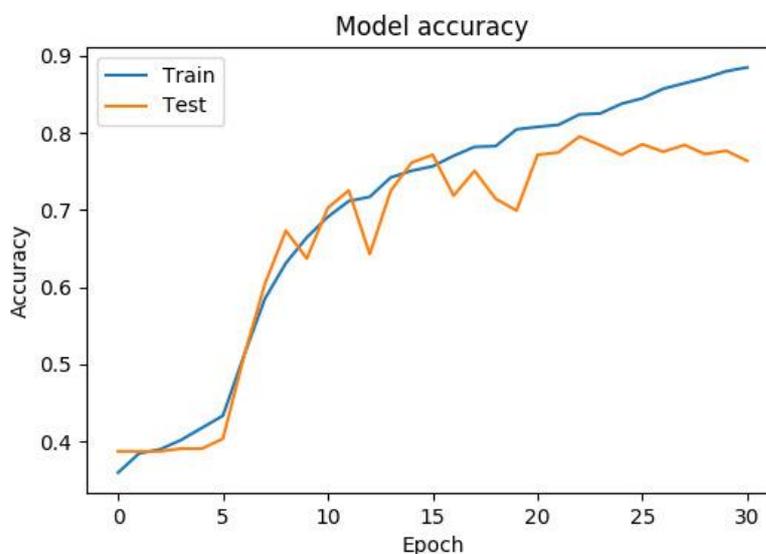
Grafica 2. Distribución de los datos primer entrenamiento.

A continuación se presentan el resumen del comportamiento en las etapas de entrenamiento y validación de la red, en los que se comprenden parámetros como el valor de pérdida (loss) y el valor de la exactitud (accuracy), en los que se esperaría encontrar en el caso del valor de pérdida una probabilidad logarítmica negativa para la clasificación y la regresión, respectivamente, es decir, se espera un modelo que minimice el valor de la función de pérdida con respecto a los parámetros (qué tan bien o mal se comporta cierto modelo después de cada iteración de optimización) mientras que para el valor de accuracy es un modelo que una vez que encuentre los parámetros optimizados anteriores, utiliza estas medidas para evaluar la precisión de la predicción de su modelo en comparación con los datos reales.



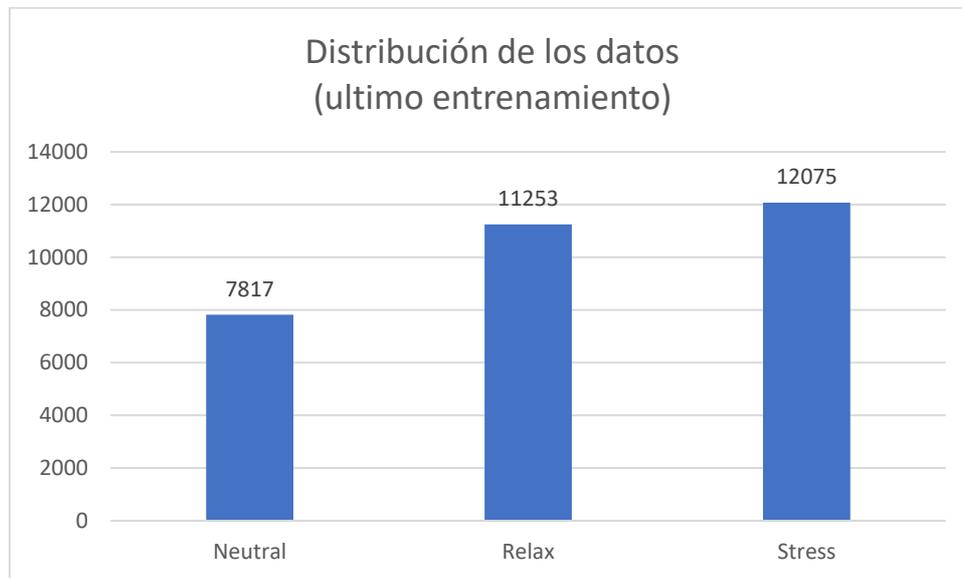
Gráfica 3. Función de pérdida en el primer entrenamiento.

Las gráficas 3 y 4, representan el comportamiento de la red, en las que se puede observar que después de la época (Epoch) 31 (cantidad de veces que el algoritmo ve el conjunto de datos completo) se obtuvo un resultado de valor de loss de aproximadamente del 0.6, lo cual es un valor bajo pero no lo suficiente para ser considerado como valor aceptable, Por otro lado, analizando la curva de prueba de la gráfica 3 (línea naranja), se puede inferir que la red presenta problemas de overfitting (sobreajuste) de los datos, la razón es debido a que la gráfica disminuye a un punto y comienza a aumentar nuevamente. Esto puede ocurrir debido a que cuanto más especializado se vuelve el modelo para entrenar datos, menos puede generalizar a nuevos datos, lo que resulta en un aumento en el error de generalización. Adicionalmente se obtuvo un valor de accuracy de 0.76, que, aunque es un valor alto, es posible entrenar de nuevo la red neuronal con más datos, considerando el posible riesgo de no poder minimizar el valor de la función de pérdida.



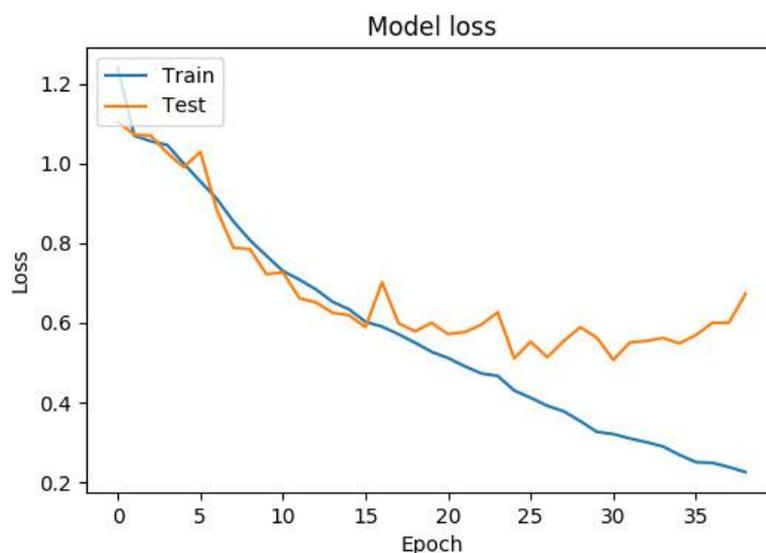
Gráfica 4. Exactitud del modelo en el primer entrenamiento.

Después de aumentar la base de datos y distribuyendo los datos (grafica 5) se obtuvo los siguientes resultados.



Grafica 5. Distribución de los datos último entrenamiento.

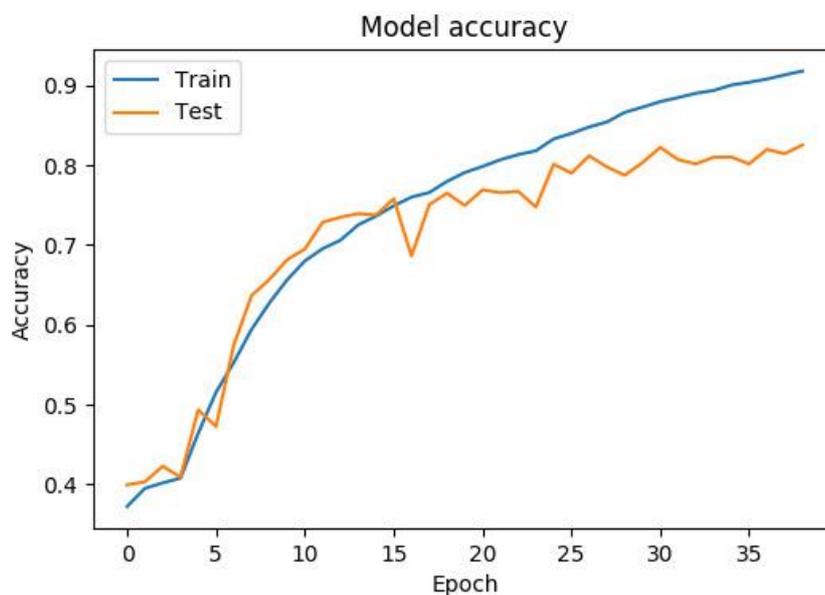
Las gráficas 6 y 7, representan el comportamiento de la red. A simple vista se puede inferir que el modelo tiene un mejor rendimiento en el conjunto de datos de entrenamiento que el conjunto de datos de prueba, una posible señal de overfitting (sobreajuste) de los datos. Como se puede observar a continuación, después del epoch 37 se obtuvo un resultado del valor de loss de aproximadamente del 0.61, en este caso, no se logra ninguna mejora adicional en el valor de loss del modelo en el conjunto de datos de prueba.



Gráfica 6. Función de pérdida en el último entrenamiento.

Sin embargo, se obtuvo un valor de accuracy final de 0.823, finalmente se detuvo el entrenamiento del modelo, debido a que no se presentaron cambios en el valor de la función de pérdida. Para poder explicar cómo fue posible que el valor de pérdida se mantuviera incluso incrementará mientras que la precisión aumentará se plantean las siguientes hipótesis:

1. La etiqueta es ruidosa: Se debe comprobar que las muestras estén correctamente etiquetadas.
2. Algunos ejemplos con predicciones erróneas siguen empeorando: Es decir, puede ocurrir que para una imagen en "Neutral" pronosticada en 0.8 para ser una clasificada como "Stress" se predice en 0.9 para ser clasificada como "Stress".
3. Algunos ejemplos con predicciones similares: una imagen de "Neutral" pronosticada en 0.4 para ser clasificada como "Neutral" y 0.6 para ser clasificada como "Stress" se convierte en 0.4 para ser "Stress" y 0.6 para ser "Neutral".



Gráfica 7. Exactitud del modelo en el último enteramiento

5.2. PROTOCOLO EXPERIMENTAL EN UN ENTORNO CONTROLADO

Se propuso un protocolo experimental en donde se pudiera medir el estado emocional de un sujeto mediante dos medios (mediante la cámara y el bioharness 3.0 Zephyr). El protocolo consistía en la exposición al sujeto de 2 distintos estímulos durante 10 minutos y 20 segundos aproximadamente en un entorno controlado, es decir, un cuarto o habitáculo en donde se tiene el control de las distintas variables como temperatura, humedad e iluminación, para las pruebas solo se hizo uso del control de la iluminación, más adelante se explica la razón de esto.

Una vez en el habitáculo se le presentaba al sujeto durante los primeros 5 minutos un estímulo auditivo que se caracterizaba por tener una frecuencia constante de 432 Hz, la razón de esto es porque un estudio realizado en la universidad de Florencia, Italia, en la que se estudiaba como esta frecuencia afectaba el comportamiento cardiovascular durante un tratamiento de endodoncia concluyó que esta frecuencia Hz administrada a los sujetos durante el tratamiento disminuyó significativamente la frecuencia cardíaca durante el procedimiento logrando producir relajación física y emocional en los oyentes [37]. Así mismo el sujeto fue también

expuesto al cambio de iluminación del habitáculo en donde la luz ambiente se caracteriza por estar asociada a emociones positivas con baja activación como la calma y la relajación estos colores corresponden a verdes fríos y azules (R=0, G153, B=76) [38].

Finalizados los primeros 5 minutos, la exposición de estímulos cambia, ahora el objetivo era inducir en el sujeto un nivel de estrés (igualmente durante 5 minutos), suficiente para ser capturado por ambos medios ya mencionados anteriormente, para ellos se aplicaron otro tipo estímulos auditivos y tareas que estuvieran relacionadas con la inducción de estrés, Algunas investigaciones [39,40] reportan que mediante tareas específicas es posible inducir estrés mental, algunas de estas corresponden a: Tarea de trabajo informático (CWT), Tarea de palabra de color Stroop (SCWT), Tarea aritmética (AT), Tarea de juego (GT), Discurso público (ST), examen académico (AE), entre otras. Estas investigaciones también afirman que las medidas de la señal ECG específicamente de la HRV registradas durante esas tareas tienen una significancia estadística con relación a estados emocionales de reposo o relajación. Para el caso de este protocolo se usó las tareas aritméticas (específicamente operaciones de sustracción).



Imagen 20. Protocolo experimental. La primera imagen corresponde al sujeto en a la primera etapa del protocolo inducción de estado neutral. La segunda imagen corresponde a la segunda etapa del protocolo que es la inducción de estrés.

5.3. RESULTADOS ANALISIS DE HRV

Los resultados para el análisis de la HRV fueron obtenidos gracias al software HRVanalysis. El software permite realizar un análisis con 2 tipos de registros, registros largos (24/48 horas) o registros locales (a partir de 5 minutos en adelante). Según las pautas y estándares de medición, interpretación fisiológica y uso clínico de la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Norteamericana de Estimulación y Electrofisiología, para estandarizar los diferentes estudios que investigan la HRV a corto plazo, se prefieren los registros de 5 minutos de un sistema estacionario a menos que la naturaleza del estudio dicte otro diseño [42]. Es por esto por lo que se propone prueba de 5 minutos aproximadamente para cada estado neutral/estrés durante el protocolo experimental.

Una vez definido en la longitud de los registros para el análisis de la HRV, se procede extraer los datos de bioharness 3.0 Zephyr. Una vez extraídos los datos se seleccionaron ciertos parámetros específicos para hacer la diferenciación entre los dos eventos. Por un lado, del dominio del tiempo, las medidas más comúnmente utilizadas derivadas de las diferencias de intervalo incluyen RMSSD, la raíz cuadrada de las diferencias cuadráticas medias de intervalos NN (RR) sucesivos y pNN50 la proporción derivada dividiendo NN50 por el número total de intervalos NN [42].

Por otro lado, en el dominio de la frecuencia en registros de corto plazo, se destacan tres componentes espectrales principales, estas se distinguen en un espectro calculado a partir de grabaciones a corto plazo entre 2 a 5 min; esta los componentes de muy baja frecuencia (VLF), baja frecuencia (LF) y alta frecuencia (HF) [42]. La medición de los componentes de potencia VLF, LF y HF generalmente se realiza en valores absolutos de potencia (ms²). Sin embargo, se puede representar los valores LF y HF en unidades normalizadas y estas enfatizan el comportamiento de las dos ramas del sistema nervios autónomo (SNA).

A continuación, en la tabla 8 se puede observar los valores correspondientes al análisis de la HRV de cada sujeto en el periodo de estimulación a un estado emocional neutral y el periodo de estimulación de inducción de estrés.

Tabla 8. Parámetros obtenidos del análisis de la HRV

	Características													
	Dominio del tiempo								Dominio de la frecuencia					
	mean RR (ms)		SDRR (ms)		RMSSD (ms)		pNN50%		LF (ms ²)		HF (ms ²)		LF/HF	
	Neutral	Stress	Neutral	Stress	Neutral	Stress	Neutral	Stress	Neutral	Stress	Neutral	Stress	Neutral	Stress
TestSubject001	940	854	107.8	61.6	82.5	57.4	54.31	42.02	7791.25	937.7	1998.25	275.7	3.9	3.4
TestSubject002	751	700	54.2	32.1	27.9	18.3	7.34	0.44	1079.62	552.21	580.02	182.74	1.86	3.02
TestSubject003	1111	763	123	165	121.7	64.1	76.12	37.9	2342.91	662.5	4447.51	1266.83	0.53	0.52
TestSubject004	935	804	103	135.5	66.2	56.1	41.94	30.65	1202.18	1919.57	1263.04	887.21	0.95	2.16
TestSubject005	749	706	114.6	65.9	47	28.4	21.08	5.42	10291.82	4451.73	368.91	301.64	27.9	14.76
TestSubject006	812	790	51.5	45.4	43.1	31.9	25.66	12.28	635.8	657.97	684.41	289.87	0.93	2.27
TestSubject007	769	743	38.8	50.2	30.8	32.8	10.26	12.13	416.7	950.1	305.3	245.68	1.37	3.87
TestSubject008	1175	898	108.2	88.7	132.2	56.5	72.48	37.36	1555.55	2409.43	4647.43	1005.52	0.33	2.4
TestSubject009	983	718	110.4	69.3	97.7	47.1	61.02	21.61	3229.92	861.57	3432.79	730.82	0.94	1.18
TestSubject0010	1137	991	90	128.3	110.2	112.4	67.29	72.88	1241.47	1562.47	1951.84	1704.73	0.64	0.92
TestSubject0011	861	804	92.2	107	58.8	62.4	34.75	40.49	4745.02	2981.22	711.62	966.47	6.67	3.08
TestSubject0012	973	825	63.7	85.9	63.9	42.5	45.87	23.94	1538.89	2173.32	1258.36	528.86	1.22	4.11
TestSubject0013	1127	998	118	101.8	114	77.4	57.6	49.3	6996.6	2411.37	2691	1309.77	2.6	1.84
TestSubject0014	832	754	64.1	66.1	47	47.9	31.13	28.19	1006.27	3083.57	617.43	924	1.63	3.33
TestSubject0015	786	739	70.8	62.4	56	42.7	37.78	24.25	1199.23	899.08	1991.11	694.28	0.6	1.29

Para lograr destacar si existen diferencias entre estos dos eventos para cada sujeto fue necesario realizar un análisis estadístico. Este análisis corresponde a un análisis no paramétrico, esto debido a que este estudio tiene como características la cantidad de las muestras ya que la ser una muestra de n= 15, no tendría validez estadística realizar una prueba paramétrica, otra de la característica es que se utilizan para cuando se quiere observar 2 series o condiciones distintas, pero en el mismo sujeto. Para este análisis de utilizo la prueba de estudio con 2 muestras relacionadas (T de Wilcoxon).

A partir de lo anterior se trabaja bajo la hipótesis nula de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los eventos de estado neutral y estrés en sujetos sanos entre 18 a 25 años. Como herramienta de análisis se hizo uso del

software Matlab, el cual cuenta con una función que permite determinar el valor p de una prueba emparejada (paired sample test). Los resultados de la prueba se observan a continuación en la tabla 9.

Tabla 9. Análisis estadísticos del HRV durante las etapas de inducción de estado neutral y estrés.

Parámetros	Estado	Mediana	RIQ	valor p	valor p (corregido)
meanRR	Neutral	935	298	6.10E-05	8.71E-06
	Estrés	790	139.5		
SDRR	Neutral	92.2	70.5	0.71972656	1.03E-01
	Estrés	69.3	72.3		
RMSSD	Neutral	63.9	76.05	0.00262451	3.75E-04
	Estrés	47.9	41.6		
pNN50%	Neutral	41.94	51.97	0.00152588	2.18E-04
	Estrés	28.19	38.755		
LF	Neutral	1538.89	3570.77	0.30279541	4.33E-02
	Estrés	1562.47	1858.19		
HF	Neutral	1263.04	2039.325	0.00201416	2.88E-04
	Estrés	730.82	803.255		
LF/HF	Neutral	1.22	1.9	0.27685547	3.96E-02
	Estrés	2.4	2.845		

Como se observan en la tabla anterior 4 de los 7 parámetros se considera que presentan una diferencia estadísticamente significativa, esto debido a que el valor p obtenido está por debajo de un límite establecido ($p < 0.05$), sin embargo, 3 de los 7 parámetros no permiten que sea un estudio estadísticamente válido ni que se pueda rechazar por completo la hipótesis nula. Cuando se consideran las comparaciones múltiples (estudio estadístico conlleva la realización de varias comparaciones con el objetivo de identificar aquellos grupos para los que las diferencias son más significativas), aumenta la probabilidad de un evento raro y, por lo tanto, aumenta la probabilidad de rechazar incorrectamente una hipótesis nula. Para esto existen varios métodos de corrección del valor para ajustar el rango establecido, uno de ellos es la corrección de Bonferroni, que consiste en dividir el nivel de significancia p entre el número de comparaciones realizadas.

$$p \text{ corregido} = \frac{p}{\text{numero de comparaciones realizadas}}$$

Con esa corrección el valor p de todos los parámetros presentan una diferencia estadísticamente significativa ya que estos valores se encuentran por debajo de el umbral establecido para la prueba, por lo que a partir de la evidencia estadística es posible rechazar la hipótesis nula y por ende afirma que existen diferencias estadísticamente significativas.

5.4. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DE LA RED DURANTE LAS PRUEBAS

A partir de los resultados anteriores y bajo el supuesto de que, si existen diferencias en la HRV entre los eventos de estado neutral e inducción de estrés de las pruebas, se puede realizar un análisis del rendimiento de la red neuronal durante las pruebas.

Tabla 10. Porcentaje de aciertos de la red neuronal durante pruebas.

	Est. Neutral	Est. Estrés
	% de acierto	% de acierto
TS001	99.47	80.08
TS002	97.02	78.23
TS003	96.91	84.76
TS004	99.18	79.70
TS005	99.77	79.56
TS006	7.78	80.19
TS007	93.48	79.20
TS008	98.05	64.10
TS009	97.56	78.31
TS010	79.78	56.84
TS011	28.98	72.20
TS012	77.60	70.19
TS013	80.47	66.84
TS014	60.33	69.50
TS015	86.10	68.80
Promedio	80.17	73.90

De la tabla anterior se puede observar el porcentaje de acierto de la red durante las pruebas realizadas para cada sujeto y al final su promedio. Teniendo en cuenta que la red neuronal obtuvo un valor de pérdida de 0.61 y un nivel de precisión de predicción de 0.82, podría considerar un buen rendimiento, sin embargo, las pruebas realizadas y las bases de datos utilizadas para el entrenamiento presentan varias diferencias, una de ellas se debe a factores como el cambio de luz que hay en las imágenes, esto debido a que las pruebas pueden que se hayan presentado con un nivel de sombra mayor que las imágenes obtenidas de las bases de datos, lo que podría establecer un cambio de valor en los píxeles para la cual la red no fue entrenada.

Otro de los factores que pudo haber afectado el rendimiento de la red neuronal durante la prueba pudo haber sido las características de los datos con los cuales fue entrenada la red neuronal, es decir, si el objetivo es detectar estrés, es necesario encontrar o en su defecto generar una base de datos con estas características específicas, esto debido a que las bases de datos utilizadas en el proyecto fueron generadas con el propósito de clasificar emociones y bajo el concepto del modelo circunplejo de Russell se clasificó estas emociones en 3 etiquetas (relajado, neutral y estrés) con el fin de manejar 3 estados emocionales (positivo, cero y negativo). Finalmente, y bajo la validación mediante el análisis de HRV, se puede afirmar que la red presenta un buen desempeño, sin embargo, generando una base de datos más robusta con imágenes más específicas, es posible mejorar el rendimiento del algoritmo.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Se implementó una técnica no invasiva para la detección de estrés mediante redes neuronales, este modelo en la clasificación de imágenes de prueba obtuvo un valor final de precisión de 82.3%, lo cual es un valor aceptable para la detección de estados (neutrales / estrés). Con ese porcentaje se consideró realizar pruebas en un ambiente controlado y el rendimiento del modelo obtuvo un porcentaje medio del 85% de acierto en el reconocimiento de estados neutrales y estados de estrés.

Adicionalmente hay que mencionar que esta técnica logra ser validada mediante el análisis de la señal fisiológica como ECG (específicamente la HRV), ya que se ha demostrado que con este análisis se logra encontrar diferencias significativas entre un estado emocional neutral o de relajación y un estado de estrés, esto se logró evidenciar mediante un análisis estadístico. Bajo estos análisis realizados es posible afirmar que el algoritmo para la detección de estrés presenta un rendimiento aceptable y podría ser implementado en un entorno real

El desarrollo de un primer prototipo de un sistema de monitoreo para conocer la experiencia del usuario deja como precedente algunas técnicas y protocolos a tener en cuenta para el desarrollo o mejora de las técnicas utilizadas y lograr implementarlo en sistemas avanzados de asistencia y monitoreo del conductor.

6.1. TRABAJO FUTURO

Se busca hacer más robusta la base de datos de la red neuronal para realizar un entrenamiento más completo y de esta manera evitar la generalización de los datos que al final de las épocas de entrenamiento no permite mejorar el rendimiento de la red. Con los datos obtenidos durante las pruebas (cada frame del video esta etiquetado con la predicción de la red neuronal) es posible aumentar la base de datos, ya que se está etiquetando la imagen estrictamente con el estado emocional el sujeto mediante estímulos.

Una vez se pueda aumentar la base de datos, el objetivo es recolectar nuevamente imágenes, pero esta vez en un entorno real, que se capture parámetros que no había se habían tenido en cuenta para el entrenamiento como el cambio de luz drástico y las sombras producidas por este, con esto se espera que la red neuronal disminuya el valor de pérdida y aumente en un 90% su precisión de predicción.

Finalmente, esperar en un futuro que no solo se use en un nivel individual para mejorar la experiencia de conducción, sino también para medir la experiencia de todos los usuarios en los coches y ayudar a construir un automóvil empático que se conecte con el conductor.

6.2. DILEMAS ETICOS

La identificación de rostros en las imágenes plantea dilemas éticos importantes, debido a que la cuestión de la privacidad es una de las mayores preocupaciones, especialmente en relación con las empresas que almacenan datos biométricos, ya que plantea un riesgo de obtención ilegal de estos datos.

El uso de la tecnología de inteligencia artificial es usado en su mayoría para identificar con gran precisión los rostros de las personas en fotos y vídeos, no obstante, esta tecnología también tiene algunos problemas ya incorporados, por ejemplo, se ha demostrado que algunos sistemas de reconocimiento facial han sido programados con sesgos, sin embargo, continúa siendo una potente herramienta de vigilancia.

Por otro lado, se plantea que se debe advertir a la sociedad cuándo se utilizan los sistemas de reconocimiento facial para monitorizar a los usuarios y señalar que debería existir el derecho de rechazar el uso de dicha tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Colombia, C. (2019). Actualícese en los sistemas de seguridad ADAS - Revista Autocrash. Retrieved 25 September 2019, from <https://www.revistaautocrash.com/actualicese-los-sistemas-seguridad-adas/>
- [2]. Hernandez, J. (2019). AutoEmotive: Bringing Empathy to the Driving Experience to Manage Stress. Retrieved 30 October 2019, from https://affect.media.mit.edu/pdfs/14.Hernandez_et_al-DIS.pdf
- [3]. Accidentes de tránsito. (2019). Retrieved 25 September 2019, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [4]. El Universal. (20 de agosto de 2015). Principales causas de accidentes viales. Recuperado el 2 de febrero de 2016, de <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/autopistas/2015/08/20/principales-causas-de-accidentes-viales>
- [5]. Dirección General de Comunicación Social. (10 de septiembre de 2015). Accidentes y sus factores. Recuperado el 2 de febrero de 2016, de Comisión Nacional de Seguridad: http://cns.gob.mx/portalWebApp/appmanager/portal/desk?_nfpb=true&_pageLabel=portals_portal_page_m2p1p2&content_id=830068&folderNode=830052&folderNode1=810277
- [6]. H. Selye, *Selye's Guide to Stress Research*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1980.
- [7]. I. J. K. G. Eisenhofer and D. Goldstien, "Sympathoadrenal medullary system and stress," in *Mechanisms of Physical and Emotional Stress*. New York, NY: Plenum, 1988.
- [8]. A. Baddeley, "Selective attention and performance in dangerous environments," *Br. J. Psychol.*, vol. 63, no. 4, pp. 537–546, 1972.
- [9]. M. Vidulich, M. Stratton and G. Wilson, "Performance-based and physiological measures of situational awareness," *Aviat. Space Environ. Med.*, vol. 65, no. 5 Suppl., pp. 7–12, May 1994.
- [10]. R. Helmreich, T. Chidster, H. Foushee, S. Gregorich and J. Wilhelm, "How effective is cockpit resource management training? Issues in evaluating the impact of programs to enhance crew coordination," *Flight Safety Dig.*, vol. 9, no. 5, pp. 1–17, 1990.
- [11]. Guojiang, Wang Guojiang Wang, Wang Xiaoxiao Wang Xiaoxiao, and Fu Kechang Fu Kechang. 2010. "Behavior Decision Model of Intelligent Agent Based on Artificial Emotion." *Advanced Computer Control ICACC 2010 2nd International Conference on 4*: 185–89.
- [12]. Russell, J. a. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality & Social Psychology*. Vancouver, Canada. <http://doi.org/10.1037/h0077714>
- [13]. S. Bañuelos García, "Evaluación de imágenes IAPS en base a emociones dimensionales y discretas en México", 2019. [Online]. Available: <https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/536/1/ZAC%20TE%2054.pdf>. [Accessed: 04- Nov- 2019].

- [14]. IBM Knowledge Center", Ibm.com, 2019. [Online]. Available: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7_sub/modeler_mainhelp_client_ddita/components/neuralnet/neuralnet_model.html. [Accessed: 04- Nov- 2019].
- [15]. Cómo funcionan las Convolutional Neural Networks? Visión por Ordenador", Aprende Machine Learning, 2019. [Online]. Available: <https://www.aprendemachinelearning.com/como-funcionan-las-convolutional-neural-networks-vision-por-ordenador/>. [Accessed: 04- Nov- 2019].
- [16]. "Dropout y Batch Normalization", Vicente Rodríguez blog, 2019. [Online]. Available: <https://vincentblog.xyz/posts/dropout-y-batch-normalization>. [Accessed: 04- Nov- 2019]. https://www.fbbva.es/microsites/salud_cardio/mult/fbbva_libroCorazon_cap4.pdf
- [17]. G. Rodas, C. Pedret, J. Ramos and L. Capdevila, "VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA: CONCEPTO, MEDIDAS Y RELACIÓN CON ASPECTOS CLÍNICOS (I)", 2019. [Online]. Available: http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/Variabilidad_41_123.pdf. [Accessed: 04- Nov- 2019].
- [18]. A. Spangenberg Morelli, "Neurobiología del estrés", *Sifp.psico.edu.uy*, 2019. [Online]. Available: https://sifp.psico.edu.uy/sites/default/files/Trabajos%20finales/%20Archivos/agustin_spangenberg_tfg.pdf. [Accessed: 08- Nov- 2019].
- [19]. J. Hernandez, "AutoEmotive: Bringing Empathy to the Driving Experience to Manage Stress", 2019. [Online]. Available: http://affect.media.mit.edu/pdfs/14.Hernandez_et_al-DIS.pdf. [Accessed: 04- Nov- 2019].
- [20]. Healey, J.A., Picard, R.W. Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. In *IEEE Trans Intell Transport Syst*, 6, (2005), 156–166.
- [21]. Science Resources Archive - Afectiva", Afectiva, 2019. [Online]. Available: <https://www.afectiva.com/science-resource/>. [Accessed: 04- Nov- 2019].
- [22]. Vision artificial aplicada al coche autonomo. (2019). Retrieved 25 September 2019, from <https://www.aisvision.com/es/noticias/vision-artificial-coche-autonomo/>
- [23]. PHILLIPS, P. J., & et al. (25 de Julio de 2005). Overview of the face recognition grand challenge. Obtenido de *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1467368&isnumber=31472>
- [24]. Guevara, M. L., & Echeverry, J. D. (2008). Faces Detection in Digital Images using Cascade Classifiers. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [25]. Alioua N., Amine A., Rziza M., Aboutajdine D. (2011) Driver's Fatigue and Drowsiness Detection to Reduce Traffic Accidents on Road. In: Real P., Diaz-Pernil D., Molina-Abril H., Berciano A., Kropatsch W. (eds) *Computer Analysis of Images and Patterns. CAIP 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6855. Springer, Berlin, Heidelberg
- [26]. Caballero (2019). aplicación práctica de la visión artificial para el reconocimiento de rostros en una imagen, utilizando redes neuronales y algoritmos de reconocimiento de objetos de la biblioteca opencv. retrieved 25 september 2019, from

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6104/1/caballerobarrigaedisonrene2017.pdf>.

- [27]. "[Deep Learning Lab] Episode-3: fer2013", *Medium*, 2019. [Online]. Available: https://medium.com/@birdortyedi_23820/deep-learning-lab-episode-3-fer2013-c38f2e052280. [Accessed: 05- Nov- 2019].
- [28]. BioHarness Bluetooth Developer Kit User Manual 2011-12-01
- [29]. O. Rummukainen, "Reproducing reality: Perception and quality in immersive audiovisual environments", *research gate*, 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/311276296_Reproducing_reality_Perception_and_quality_in_immersive_audiovisual_environments. [Accessed: 05- Nov- 2019].
- [30]. "Redes de Neuronas Artificiales con NetBeans", *Un poco de Java y +*, 2019. [Online]. Available: <https://unpocodejava.com/2011/03/29/redes-de-neuronas-artificiales-con-netbeans/>. [Accessed: 05- Nov- 2019].
- [31]. "Alterações mais frequentes do ECG", *Ccenf.pt*, 2019. [Online]. Available: <https://ccenf.pt/cc/2/altecg>. [Accessed: 05- Nov- 2019].
- [32]. "Calibración de la cámara Opencv -Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados", *Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados*, 2019. [Online]. Available: <https://unipython.com/calibracion-la-camara-opencv/>. [Accessed: 06- Nov- 2019].
- [33]. P. Melillo, M. Bracale, L. Pecchia, Nonlinear Heart Rate Variability features forreal-life stress detection. Case study: students under stress due to universityexamination, *Biomed. Eng. Online* 10 (2011) 1–13.
- [34]. T. Force, Heart rate variability guidelines: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *Eur. Heart J.* 17 (1996) 354–381.
- [35]. R. Castaldo, P. Melillo, U. Bracale, M. Caserta, M. Triassi and L. Pecchia, "Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 18, pp. 370-377, 2015. Available: 10.1016/j.bspc.2015.02.012.
- [36]. P. Stein and Y. Pu, "Heart rate variability, sleep and sleep disorders", *Sleep Medicine Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 47-66, 2012. Available: 10.1016/j.smr.2011.02.005.
- [37]. Di Nasso, L., Nizzardo, A., Pace, R., Pierleoni, F., Pagavino, G., & Giuliani, V. (2016). Influences of 432 Hz Music on the Perception of Anxiety during Endodontic Treatment: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Journal of Endodontics*, 42(9), 1338–1343. doi:10.1016/j.joen.2016.05.015
- [38]. Wexner, L. B. (1982). The degree to which colors are associated with mood-tones. *Journal of Applied Psychology*, 6, 432-435
- [39]. P. Melillo, M. Bracale, L. Pecchia, Nonlinear Heart Rate Variability features forreal-life stress detection. Case study: students under stress due to universityexamination, *Biomed. Eng. Online* 10 (2011) 1–13.
- [40]. N. Hjortskov, D. Rissén, A. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, K. Søgaard, The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work, *Eur. J. Appl. Physiol.* 92 (2004) 84–89.
- [41]. Linden, W. (1987a). Effect of noise distraction during mental arithmetic on phasic cardiovascular reactivity. *Psychophysiology*, 24, 328-333.

- [42]. M. Malik et al., "Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use", *European Heart Journal*, vol. 17, no. 3, pp. 354-381, 1996. Available: [10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868).

ANEXOS

PROTOCOLOS EXPERIMENTAL EN UN ENTORNO CONTROLADO



Título: Protocolo experimental para la validación del algoritmo de detección de estrés en un entorno controlado

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México**

Escuela de Ingeniería y Ciencias
Departamento de Mecatrónica

Investigador Líder: Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello
Dr. Javier Izquierdo Reyes.
Dr. Juan Manuel López López.

Investigadores Asociados: Laura Camila Loaiza Carvajal

Contacto Responsable: Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello
Calle del Puente #222 Col. Ejidos de Huipulco,
Tlalpan C.P. 14380, México D.F.
Cel. 55 3075 1447

Versión Protocolo V 1.0

Fecha: Agosto a diciembre de 2019

Aviso de Confidencialidad

Este documento contiene información confidencial del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Este documento no debe revelarse a ninguna persona ajena al personal del estudio o miembros del comité de ética independiente. La información de este documento no puede utilizarse para ningún otro propósito que no sea la evaluación o realización de la investigación clínica sin previa autorización escrita del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Si tiene alguna pregunta en relación a la utilización o distribución de este documento llame al Dr. Luis Clemente Jiménez Botello

RESUMEN DEL PROTOCOLO

TÍTULO	Protocolo experimental para la validación del algoritmo de detección de estrés en un entorno controlado
VERSIÓN	V 1.0
SUBVENCIÓN	Sin subvención.
PROYECTO FASE	Estudio piloto
POBLACIÓN	Voluntarios de edades entre 18 a 25 años.
OBJETIVOS	Detectar estrés en un sujeto sano, entre 18 y 25 años, durante la conducción de un vehículo, a partir del procesamiento digital de imágenes del rostro.
DISEÑO DEL ESTUDIO	Recolección de datos de la respuesta obtenida al estímulo del estrés en un entorno controlado
NÚMERO DE SUJETOS	20
No. DE CENTROS	Uno: Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México
POBLACIÓN BLANCO	Personas sanas
DURACIÓN DEL ESTUDIO	4 meses
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Criterios de Inclusión: <ul style="list-style-type: none">➤ Personas entre 18 y 25 años.➤ Disponibilidad para completar la sesión de estudio.

Criterios de exclusión:

- Mujeres en estado de embarazo.
- Sujetos que se han sometido o estaban recibiendo algún tratamiento de medicamentos psiquiátricos.
- Sujetos con cualquier trastorno de espectro de esquizofrenia y otros trastornos psicóticos; trastorno bipolar y trastornos relacionados; trastornos depresivos; trastornos obsesivo-compulsivos; trauma y otros trastornos relacionados con el estrés; trastornos disociativos; Trastornos debidos al uso de sustancias y trastornos adictivos.
- Enfermedades neurológicas que incluyen, entre otras, la enfermedad de Alzheimer, la demencia, el aneurisma cerebral, la enfermedad de Parkinson y la epilepsia.

MANIOBRA DE ESTUDIO

La prueba experimental consta de una sesión en la que se le da a conocer al participante el consentimiento informado, el procedimiento de la prueba que consiste en 4 fases que se describirán más adelante y finalmente se le da a conocer las consecuencias y la contribución que puede tener el sujeto en la prueba.

1. Primera fase: El sujeto inicialmente será instrumentado con un sensor de frecuencia cardiaca que será colocado en el pecho, el proceso es no invasivo para el sujeto. Una vez instrumentado se procede a pasarlo a la habitación de control para iniciar la prueba.
2. Segunda fase: El sujeto inicialmente será expuesto a un estímulo auditivo (frecuencia de 432 Hz) y visual (colores de ambiente en el habitáculo) con el fin de generar un estado emocional neutral, este procedimiento tiene una duración de 5 minutos.
3. Tercera Fase: El sujeto inmediatamente de finalizar la segunda etapa será expuesto a una serie de estímulos auditivos (compilado de ruidos cotidianos) y visuales (calculo mental aritmético y colores de ambiente en el habitáculo). Cabe destacar que la tarea que se le solicita al sujeto es realizar este tipo de cálculos durante la estimulación acústica. Este procedimiento tiene una duración de 5 minutos.
4. Cuarta fase: Una vez finalizada la prueba se procede a desinstrumentar al sujeto.

TIEMPO DE LA SESIÓN 10 minutos

VÍA DE ADMINISTRACIÓN Auditiva y visual

MEDICIONES DE DESENLACE **Variables primarias:**

- Evidencias de expresiones (procesamiento de imágenes).

SEGURIDAD **Eventos adversos:**

- No se esperan eventos adversos ya que se emula una actividad de la vida diaria

Durante el estudio:

- Se registrarán las variables fisiológicas del sujeto durante toda la prueba.

1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

1.1. TÍTULO

Protocolo experimental para la validación del algoritmo de detección de estrés en un entorno controlado

1.2. INVESTIGADOR PRINCIPAL

Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello.

1.3. COLABORADORES

Dr. Juan Manuel López López.

Dr. Javier Izquierdo Reyes.

Dr. Sergio Alberto Navarro Tuch.

Laura Camila Loaiza Carvajal. Estudiante de ingeniería biomédica.

1.4. INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México.

Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito – Universidad del Rosario.

1.5. DEPARTAMENTOS PARTICIPANTES

Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México

Escuela de Ingeniería y Ciencias. Departamento de Mecatrónica.

1.6. AREA DE INVESTIGACIÓN

Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México

Experiencia del usuario.

1.7. LINEA DE INVESTIGACIÓN

Experiencia de conducción.

1.8. FECHA PROBABLE DE INICIO Y FINALIZACIÓN

Agosto 2019 – diciembre 2019.

2. RESUMEN

Los sistemas ADAS tienen el potencial de hacer una contribución significativa a la seguridad vial. Por lo que se busca un concepto de seguridad más amplio que no solo comprenda parámetros externos del vehículo sino también la medición de parámetros internos del mismo [1]. La creación de una base de datos compuesta por diferentes variables asociadas al estado emocional es de sumo interés para el desarrollo de nuevas técnicas de investigación. Debido a lo anterior, uno de los objetivos del proyecto es generar una base de datos, en la que se mida la respuesta fisiológica a través del ECG y el reconocimiento facial. Se someterá al individuo a una sesión experimental. Las sesiones constan de estimular (en un entorno simulado y controlado) al participante y realizar el registro de la respuesta fisiológicas y captura de imagen del rostro ante la presencia de diferentes estímulos auditivos, visuales y cognitivos. El estudio se realizará dentro de las instalaciones del Centro de Microsistemas y Biodiseño del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México

3. JUSTIFICACIÓN

Cada año se pierden aproximadamente 1,35 millones de vidas como consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de

personas sufren traumatismos no mortales, y muchos de esos traumatismos provocan una discapacidad [2]. Por eso, resulta de vital importancia el desarrollo de herramientas que, en determinadas situaciones, permiten que el vehículo tome o monitoree las decisiones del conductor. Es el caso de los sistemas avanzados de monitoreo para la asistencia al conductor (ADAS) que vienen incorporándose en forma creciente en los vehículos.

Varios estudios como el de la agencia de seguridad vial de Estados (NHTSA, por sus siglas en inglés), han considerado que los factores humanos son una de las causas principales de los accidentes de tránsito, esto debido a la habilidad que deben tener los conductores para controlar sus emociones mientras realizan la tarea de conducir.

Algunas empresas como BP, CASTROL y el RACE, han investigado el efecto que tiene el estrés durante la conducción y algunos de los principales resultados obtenidos en dichas pruebas demuestran que un conductor en estado de estrés experimenta un aumento general del nivel de ansiedad y nerviosismo, frente al que tendría conduciendo en un estado emocional neutral.

Cabe destacar que el estrés mental influye en el Sistema Nervioso Autónomo (SNA), que controla nuestra capacidad de reacción ante estímulos externos [3,4]. Por lo tanto, el estrés puede evaluarse mediante de biomarcadores no invasivos, como por ejemplo la variación de la frecuencia cardíaca (VFC o por siglas en inglés HRV), que se considera un medio confiable para observar indirectamente SNA [5]. La HRV se refiere a las variaciones de la frecuencia cardíaca instantánea y la serie de tiempos intermedios entre picos consecutivos de la onda R del ECG (intervalo RR).

Algunas investigaciones [6,7] reportan que mediante tareas específicas es posible inducir estrés mental, algunas de estas corresponden a: Tarea de trabajo informático (CWT), Tarea de palabra de color Stroop (SCWT), Tarea aritmética (AT), Tarea de juego (GT), Discurso público (ST), examen académico (AE), entre otras. Estas investigaciones también afirman que las medidas de HRV registradas durante esas tareas tienen una significancia estadística con relación a estados emocionales de reposo o relajación.

Por otro lado, un tema de gran interés es la correspondencia entre la información reflejada y transmitida por el rostro humano y la experiencia emocional concurrente de la persona. Hay varios estudios recientes que informan que las expresiones faciales también pueden proporcionar información sobre el análisis y la clasificación del estrés [8]. Es por esto que se propone un protocolo experimental inicial, que tiene por objetivo la validación de un algoritmo de detección de estrés mediante imágenes contra el análisis de la VFC (HRV) haciendo uso de un sensor de frecuencia cardíaca.

4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General:

Detectar estrés en un sujeto sano, entre 18 y 25 años, durante la conducción de un vehículo, a partir de los gestos faciales por medio del procesamiento digital de imágenes.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un Protocolo experimental para la captura de datos como respuesta al estímulo de estrés en un entorno controlado.
- Extraer características del gesto facial, en video, asociadas con el estrés.
- Validar que mediante pruebas estadísticas la correlación que tiene la respuesta fisiológica con el algoritmo de detección de estrés planteado en un entorno controlado.

5. CLASIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de este proyecto se aplicará un protocolo experimental de adquisición de imágenes digitales y la respuesta fisiológica (ECG), el procedimiento no es invasivo para el participante y se realizará durante la presentación de estímulos descritos más adelante. Cada sesión tendrá una duración aproximada de 10 minutos.

6. POBLACIÓN

6.1. POBLACIÓN OBJETIVO

Personas sanas en edad del rango establecido.

6.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Personas entre 18 y 25 años.
- Disponibilidad para completar la sesión de estudio.

6.3. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Mujeres en estado de embarazo.
- Sujetos que se han sometido o estaban recibiendo algún tratamiento de medicamentos psiquiátricos.
- Sujetos con cualquier trastorno de espectro de esquizofrenia y otros trastornos psicóticos; trastorno bipolar y trastornos relacionados; trastornos depresivos; trastornos obsesivo-compulsivos; trauma y otros trastornos relacionados con el estrés; trastornos disociativos; Trastornos debidos al uso de sustancias y trastornos adictivos.
- Enfermedades neurológicas que incluyen, entre otras, la enfermedad de Alzheimer, la demencia, el aneurisma cerebral, la enfermedad de Parkinson y la epilepsia.
- Haber consumido alguna sustancia que altere su funcionamiento basal evidenciado en la encuesta de entrada.

6.4. CRITERIOS DE EXPULSIÓN

- Aparición de neuropatologías ocultas y desconocidas por el investigador.
- Por no cumplir con las instrucciones que se le dieron para la aplicación de la prueba.
- Haber vivido una experiencia traumática (emocional o física) durante el transcurso de la prueba.
- Conducta inapropiada con otros participantes o los investigadores.

6.5. NÚMEROS DE SUJETOS DE PRUEBA

20 sujetos de prueba.

7. PARÁMETROS DEL ESTUDIO

7.1. VIDEO

La captura de los datos se hará mediante una cámara web Logitech C920 HD

7.2. BIOHARNESS 3.0 ZEPHYR

Es un sistema de monitorización fisiológica. El sujeto lleva un cinturón de tela inteligente para el pecho que incorpora sensores para monitorear las señales de ECG del corazón y el ritmo respiratorio.

8. METODOLOGIA

8.1. LECTURA Y FIRMA DEL CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL SUJETO DE PRUEBA.

Se presenta el consentimiento informado en dónde se les informará a los sujetos que realizarían las pruebas acerca de los posibles riesgos, el propósito de la investigación y de la confidencialidad de sus datos. Lo anterior para seguir los lineamientos de las buenas prácticas de investigación. El consentimiento informado es elaborado en conjunto con el equipo de investigación. En ANEXOS se podrá encontrar el documento.

Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 2 minutos.

8.2. CUESTIONARIO DE RUTINA

Se presenta el cuestionario de rutina en dónde se obtendrá información de los hábitos, condiciones médicas (distintas a los criterios de exclusión), existencia de enfermedades virales o algún consumo de sustancias psicoactivas, alcohol, tabaco o de medicamentos correspondientes a un tratamiento médico desconocidos por el investigador. El propósito del cuestionario es conocer las condiciones en la que el sujeto realiza las pruebas, de esta manera analizar o descartar datos. El cuestionario es elaborado en conjunto con el equipo de investigación. En ANEXOS se podrá encontrar el documento.

Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 1 minuto.

8.3. CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

Para llevar a cabo un mejor control de los parámetros de la medición de los equipos, se realiza una calibración del sistema. El sistema este compuesto por un equipo esencialmente:

- **Cámara:** Para la calibración de la cámara se debe tener en cuenta parámetros como la posición, luz de la cámara y la resolución de la imagen. Adicionalmente se realiza el proceso de calibración de imagen para obtener una imagen no distorsionada, esto debido a las aberraciones en la lente, o defectos de construcción de la cámara.

- **Zephyr:** Para el ajuste del sistema se requiere tener el dispositivo con carga suficiente para la prueba. En el instante en que el sensor se enciende empieza la adquisición de los datos.

Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 1 minuto.

8.4. INSTRUMENTAR AL SUJETO

Para la instrumentación del sujeto, previamente se debe humectar las superficies del sensor con agua. Una vez realizado esto se propone colocar el cinturón como se muestra en la siguiente figura



Figura 1. posición en la se debe colocar el cinturón en el sujeto

8.5. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

Para la realización de la prueba se le da a conocer al sujeto que será expuesto a un estímulo auditivo y visual, los cuales serán descritos con más detalles a continuación:

8.5.1. Fase de medición del estado basal o neutral:

Se procede a medir el estado basal (reposo) del sujeto antes de empezar la prueba con el objetivo de saber en qué parámetros inicialmente se encuentra. Esta prueba consiste en exponer al sujeto a un estímulo auditivo, el cual se describe como un sonido a una frecuencia de 432 Hz.

Adicionalmente se propone el uso de estímulos visuales como el ambientar el habitáculo de colores asociados a emociones positivas con baja activación como la calma y la relajación estos colores corresponden a verdes fríos y azules (R=0, G153, B=76). El tiempo de exposición de estos estímulos es de 5 minutos. Durante este tiempo el sujeto será monitoreado mediante la cámara y el bioharness 3.0 Zephyr para captar el estado emocional de esta fase

8.5.2. Fase de estrés:

Inmediatamente después, también en posición sedente, el sujeto deberá realizar una serie de tareas aritméticas (operaciones de sustracción) en un programa en python, estas tareas se realizan con números aleatorios que se encuentran entre 2000 – 4. Se le pide al sujeto digitar la respuesta de la resta lo más preciso posible en el programa. Una vez digita la respuesta el programa le indica al sujeto el estado de la operación ("bien o mal"). El

sujeto deberá continuar sucesivamente restando incluso cuando el resultado sea incorrecto. Los sujetos no deberán hablar durante la prueba ya que esto podría influir en una variación no deseada en la frecuencia cardíaca.

Adicionalmente y durante la realización de las tareas aritméticas, se propone el uso de estímulos auditivos [9], estos estímulos corresponden a ruidos son variables de longitud desigual que consiste por ejemplo, sirenas (36 s), calentamiento del motor del automóvil (23 s), truenos acercarse (27 s), ruido de fondo de la estación de tren (48 s), motosierra funcionando (12 s), pequeña fiesta con gente riendo (35 s), canto rítmico (10 s), motor fuera de borda (5 s), llanto de un niño (20 s), sierra cortando metal (15 s), ruidos del parque infantil (20 s), crujido de personas comiendo frituras (12 s) y monótonas conversaciones en restaurante (43 s).

Finalmente se propone ambientar el habitáculo de colores asociados a emociones negativas con media-alta activación como el estrés, disgusto y la ansiedad, estos colores corresponden entre rojo y naranja (252, 107, 11). El tiempo de exposición de estos estímulos es de 5 minutos. Durante estos 5 minutos el sujeto nuevamente será monitoreado será monitoreado (Gestos faciales y señal fisiológica ECG).

Se le resolverá cualquier inquietud que tenga el sujeto acerca de la prueba con el fin de no dejar a la libre interpretación las instrucciones. Durante la prueba el sujeto estará acompañado por el personal de investigación quienes deberán generar la mínima interacción con el sujeto con el objetivo de no generar ningún tipo de distracción.

Al finalizar la prueba se procede a retirar del sujeto el bioharness 3.0 Zephyr y agradecerle por la participación en la prueba.

9. FIRMAS DE APROBACIÓN DEL PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Hemos leído y revisado minuciosamente este Protocolo de Estudio Experimental. Al leerlo hemos entendido los requerimientos y condiciones de este Protocolo de Estudio experimental. Acordamos que los materiales utilizados en este estudio se encuentran descritos en el protocolo. Acordamos que los tiempos establecidos para la realización de este protocolo deben de ser respetados. Este debe de iniciar el _____ y ser completado el _____.

Firma _____

Investigador Principal: Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello

Fecha: DD / MM / AAAA

10. REFERENCIAS

- [1]. WHO. (2018). Accidentes de tránsito. 20 de agosto de 2019, de WHO Sitio web: (WHO,2016)
- [2]. [Accidentes de tránsito. (2019). Retrieved 25 September 2019, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [3]. R.L. Pan, J.K. Li, A noninvasive parametric evaluation of stress effects on globalcardiovascular function, *Cardiovasc. Eng.* 7 (June) (2007) 74–80
- [4]. P. Melillo, M. Bracale, L. Pecchia, Nonlinear Heart Rate Variability features forreal-life stress detection. Case study: students under stress due to universityexamination, *Biomed. Eng. Online* 10 (2011) 1–13. [5] (Baddeley) A. Baddeley, “Selective attention and performance in dangerous environments,” *Br. J. Psychol.*, vol. 63, no. 4, pp. 537–546, 1972.
- [5]. A.H. Marques, M.N. Silverman, E.M. Sternberg, Evaluation of stress systemsby applying noninvasive methodologies: measurements of neuroimmunebiomarkers in the sweat, heart rate variability and salivary cortisol, *Neuroim-munomodulation* 17 (2010) 205–208.
- [6]. P. Melillo, M. Bracale, L. Pecchia, Nonlinear Heart Rate Variability features forreal-life stress detection. Case study: students under stress due to universityexamination, *Biomed. Eng. Online* 10 (2011) 1–13.
- [7]. N. Hjortskov, D. Rissén, A. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, K. Søgaard, The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure duringcomputer work, *Eur. J. Appl. Physiol.* 92 (2004) 84–89.
- [8]. (M. Vidulich, 1994) M. Vidulich, M. Stratton and G. Wilson, “Performance-based and physiological measures of situational awareness,” *Aviat. Space Environ. Med.*, vol. 65, no. 5 Suppl., pp. 7–12, May 1994.
- [9]. (R. Helreich, 1990) R. Helmreich, T. Chidster, H. Foushee, S. Gregorich and J. Wilhelm, “How effective is cockpit resource management training? Issues in evaluating the impact of programs to enhance crew coordination,” *Flight Safety Dig.*, vol. 9, no. 5, pp. 1–17, 1990.
- [10]. (N. Sharma, 2014) N. Sharma, T. Gedeon, Modeling observer stress for typical real environments, *Expert Syst. Appl.* 41 (2014) 2231–2238.
- [11]. Linden, W. (1987a). Effect of noise distraction during mental arithmetic on phasic cardiovascular reactivity. *PsychophysioZogy*, **24**, 328-333.

PROTOCOLOS EXPERIMENTAL EN UN ENTORNO REAL

Título: Protocolo experimental para la verificación del algoritmo de detección de estrés durante la conducción

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México**

Escuela de Ingeniería y Ciencias
Departamento de Mecatrónica

Investigador Líder: Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello
Dr. Javier Izquierdo Reyes.
Dr. Juan Manuel López López.

Investigadores Asociados: Laura Camila Loaiza Carvajal

Contacto Responsable: Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello
Calle del Puente #222 Col. Ejidos de Huipulco,
Tlalpan C.P. 14380, México D.F.
Cel. 55 3075 1447

Versión Protocolo V 1.0

Fecha: Septiembre de 2019

Aviso de Confidencialidad

Este documento contiene información confidencial del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Este documento no debe revelarse a ninguna persona ajena al personal del estudio o miembros del comité de ética independiente. La información de este documento no puede utilizarse para ningún otro propósito que no sea la evaluación o realización de la investigación clínica sin previa autorización escrita del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Si tiene alguna pregunta en relación a la utilización o distribución de este documento llame al Dr. Luis Clemente Jiménez Botello

RESUMEN DEL PROTOCOLO

TÍTULO	Protocolo experimental para la verificación del algoritmo de detección de estrés durante la conducción
VERSIÓN	V 1.0
SUBVENCIÓN	Sin subvención.
PROYECTO FASE	Estudio piloto
POBLACIÓN	Voluntarios de edades entre 18 a 25 años.
OBJETIVOS	Detectar estrés en un sujeto sano, entre 18 y 25 años, durante la conducción de un vehículo, a partir del procesamiento digital de imágenes del rostro.
DISEÑO DEL ESTUDIO	Recolección de datos de la respuesta obtenida al estímulo del estrés.
NÚMERO DE SUJETOS	33
No. DE CENTROS	Uno: Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México
POBLACIÓN BLANCO	Personas sanas
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Criterios de Inclusión: ➤ Personas entre 18 y 25 años.

- Disponibilidad para completar la sesión de estudio.
- Personas con experiencia al conducir.
- Personas que cuenten con licencia de conducción.

Criterios de exclusión:

- Mujeres en estado de embarazo.
- Sujetos que se han sometido o estaban recibiendo algún tratamiento de medicamentos psiquiátricos.
- Sujetos con cualquier trastorno de espectro de esquizofrenia y otros trastornos psicóticos; trastorno bipolar y trastornos relacionados; trastornos depresivos; trastornos obsesivo-compulsivos; trauma y otros trastornos relacionados con el estrés; trastornos disociativos; Trastornos debidos al uso de sustancias y trastornos adictivos.
- Enfermedades neurológicas que incluyen, entre otras, la enfermedad de Alzheimer, la demencia, el aneurisma cerebral, la enfermedad de Parkinson y la epilepsia.

MANIOBRA DE ESTUDIO

La prueba experimental consta de una sesión en la que se le da a conocer al participante el consentimiento informado, el procedimiento de la prueba, las consecuencias y la contribución que puede tener el sujeto en la prueba.

TIEMPO DE LA SESIÓN

10 minutos

VÍA DE ADMINISTRACIÓN

Auditiva y visual.

MEDICIONES DE DESENLACE

Variables primarias:

- Evidencias de expresiones (procesamiento de imágenes).

1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

1.1. TITULO

Protocolo experimental para la verificación del algoritmo de detección de estrés durante la conducción.

1.1. INVESTIGADOR PRINCIPAL

Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello.

1.2. COLABORADORES

Dr. Javier Izquierdo Reyes.

Dr. Juan Manuel López López.

Dr. Sergio Alberto Navarro Tuch.

Laura Camila Loaiza Carvajal. Estudiante de ingeniería biomédica.

1.3. INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México.

Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito – Universidad del Rosario.

1.4. DEPARTAMENTOS PARTICIPANTES

Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México

Escuela de Ingeniería y Ciencias. Departamento de Mecatrónica.

1.5. AREA DE INVESTIGACIÓN

Tecnológico de Monterrey – Campus Ciudad de México

Experiencia del usuario.

1.6. LINEA DE INVESTIGACIÓN

Experiencia de conducción.

1.7. FECHA PROBABLE DE INICIO Y FINALIZACIÓN

Agosto 2019 – diciembre 2019.

2. RESUMEN

Los sistemas ADAS tienen el potencial de hacer una contribución significativa a la seguridad vial. Por lo que se busca un concepto de seguridad más amplio que no solo comprenda parámetros externos del vehículo sino también la medición de parámetros internos del mismo [1]. La creación de una base de datos compuesta por diferentes características es de sumo interés para el desarrollo de nuevas técnicas de investigación. Debido a lo anterior, este estudio tiene la finalidad de crear una base de datos, en la que se mida la respuesta fisiológica a través de la respuesta galvánica de la piel y el reconocimiento facial. Se someterá al individuo una sesión experimental.

Las sesiones constan de estimular (en un entorno real) al participante y realizar el registro de las respuestas fisiológicas ante la presencia de diferentes estímulos auditivos y visuales. El estudio se realizará dentro de las instalaciones del Centro de Microsistemas y Biodiseño del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México.

3. JUSTIFICACIÓN

Cada año se pierden aproximadamente 1,35 millones de vidas como consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y muchos de esos traumatismos provocan una discapacidad [2, 3]. Cabe destacar que, según las estadísticas del Grupo Banco Mundial, América es una de las regiones con mayor tasa de accidentalidad en el ranking mundial después del continente africano. Por otro lado, la agencia de seguridad vial de Estados (NHTSA, por sus siglas en inglés), estima que las causas de los accidentes en las carreteras se deben en un 80% de las veces al conductor, 7% al vehículo, 9% a los agentes naturales y solo el 4% al camino [5]. Como se puede observar, los factores humanos son la mayor fuente de accidentes de tránsito, y esto es debido a las siguientes causas:

- Invasión del carril (38.1%)
- Distracción y celular (21.2%)
- Velocidad inadecuada (14.5%)
- No respetar la señalización (8.2%)
- Cansancio (5.8%)
- No respetar la prioridad del paso (5.3%)
- Distancia de seguimiento inadecuada (5.2%)
- Conducir bajo los efectos de estupefacientes (1.2%)
- Falta de luces (0.6%)

Algunas de las causas mencionadas en la gráfica anterior están directamente relacionadas con las emociones. Las emociones son respuestas automáticas del cerebro que guían el comportamiento de las personas ante estímulos externos y se presentan de forma natural e inconsciente, el manejo de estas puede reducir los riesgos ante factores externos a la hora de conducir. Un conductor que presente un cuadro de emociones negativas con alta excitación puede estar ante una situación de riesgo al volante.

Para estudiar el problema, y mejorar su prevención, empresas como BP, CASTROL y el RACE han analizado el nivel de distracción que generan estas circunstancias, y sus efectos en la conducción. Los principales resultados obtenidos en dichas pruebas demuestran que un conductor en estado de estrés experimenta un aumento general del nivel de ansiedad y nerviosismo, frente al que tendría conduciendo en un estado emocional neutral.

Históricamente, el estrés se ha definido como una reacción de un estado tranquilo a un estado excitado con el fin de preservar la integridad del organismo. Para un organismo tan desarrollado e independiente del entorno natural como el ser humano, la mayoría de los estresores son intelectuales, emocionales y perceptivos [6]. Algunos investigadores hacen una distinción entre "eustress" y "angustia", donde eustress es un buen estrés, como la alegría, o un estrés que conduce a un estado eventual que es más beneficioso para el organismo [7], sin embargo, en este documento, nos referiremos al estrés solo como angustia, estrés como una emoción negativa. Se han realizado varios estudios que vinculan estados de estrés altamente excitados con la capacidad de toma de decisiones deterioradas [8], disminución de la conciencia situacional [9] y rendimiento degradado [10] que podrían afectar la capacidad de conducción.

En relación con esto, si se implementara en los sistemas ADAS el reconocimiento de emociones y el control sobre estas, se podría obtener un sistema más completo ya que como parte importante de la psicología de la persona, se encuentran las emociones como un factor que afecta directamente el desempeño del conductor [11]. Es por esto que se propone un sistema no invasivo para la detección de estrés durante la conducción mediante imágenes.

4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General:

Detectar estrés en un sujeto sano, entre 18 y 25 años, durante la conducción de un vehículo, a partir de los gestos faciales por medio del procesamiento digital de imágenes.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un protocolo experimental para la verificación del algoritmo de detección de estrés durante la conducción adquisición de datos, durante la conducción de un automóvil, enfocado en la detección de estrés
- Extraer características del gesto facial, en video, asociadas con el estrés.
- Detectar estrés con base en las características.

5. CLASIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de este proyecto se aplicará un protocolo experimental de adquisición de imágenes digitales, el procedimiento es no invasivo y se realizará durante la presentación de estímulos descritos más adelante. Cada sesión tendrá una duración aproximada de 10 minutos.

6. POBLACIÓN

6.1. POBLACIÓN OBJETIVO

Personas sanas en edad del rango establecido con experiencia en conducción.

6.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Personas entre 18 y 25 años.
- Disponibilidad para completar la sesión de estudio.
- Personas con experiencia al conducir.
- Personas que cuenten con licencia de conducción.

6.3. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Mujeres en estado de embarazo.
- Sujetos que se han sometido o estaban recibiendo algún tratamiento de medicamentos psiquiátricos.
- Sujetos con cualquier trastorno de espectro de esquizofrenia y otros trastornos psicóticos; trastorno bipolar y trastornos relacionados; trastornos depresivos; trastornos obsesivo-compulsivos; trauma y otros trastornos relacionados con el estrés; trastornos disociativos; Trastornos debidos al uso de sustancias y trastornos adictivos.
- Enfermedades neurológicas que incluyen, entre otras, la enfermedad de Alzheimer, la demencia, el aneurisma cerebral, la enfermedad de Parkinson y la epilepsia.
- Haber consumido alguna sustancia que altere su funcionamiento basal evidenciado en la encuesta de entrada.

6.4. CRITERIOS DE EXPULSIÓN

- Aparición de neuropatologías ocultas y desconocidas por el investigador.
- Por no cumplir con las instrucciones que se le dieron para la aplicación de la prueba.
- Haber vivido una experiencia traumática (emocional o física) durante el transcurso de la prueba.
- Conducta inapropiada con otros participantes o los investigadores.

6.5. NÚMEROS DE SUJETOS DE PRUEBA

33 sujetos de prueba.

7. PARÁMETROS DEL ESTUDIO

7.1. VIDEO

La captura de los datos se hará mediante una cámara web.

8. METODOLOGIA

8.1. LECTURA Y FIRMA DEL CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL SUJETO DE PRUEBA.

Se presenta el consentimiento informado en dónde se les informará a los sujetos que realizarían las pruebas acerca de los posibles riesgos, el propósito de la investigación y de la confidencialidad de sus datos. Lo anterior para seguir los lineamientos de las buenas prácticas de investigación. El

consentimiento informado es elaborado en conjunto con el equipo de investigación. En ANEXOS se podrá encontrar el documento.

Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 5 minutos.

8.2. CUESTIONARIO DE RUTINA

Se presenta el cuestionario de rutina en dónde se obtendrá información de los hábitos, condiciones médicas (distintas a los criterios de exclusión), existencia de enfermedades virales o algún consumo de sustancias psicoactivas, alcohol, tabaco o de medicamentos correspondientes a un tratamiento médico desconocidos por el investigador. El propósito del cuestionario es conocer las condiciones en la que el sujeto realiza las pruebas, de esta manera analizar o descartar datos. El cuestionario es elaborado en conjunto con el equipo de investigación. En ANEXOS se podrá encontrar el documento.

Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 3 minutos.

8.3. CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

Para llevar a cabo un mejor control de los parámetros de la medición de los equipos, se realiza una calibración del sistema. El sistema este compuesto por un equipo esencialmente:

- **Cámara:** Para la calibración de la cámara se debe tener en cuenta parámetros como la posición, luz de la cámara y la resolución de la imagen. Adicionalmente se realiza el proceso de calibración de imagen para obtener una imagen no distorsionada, esto debido a las aberraciones en la lente, o defectos de construcción de la cámara.

Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 5 minutos.

8.4. INSTRUMENTAR AL SUJETO

Se propone la ubicación de la cámara dentro del tablero de instrumentos y dirigido hacia la cara del conductor, de tal forma que evité cualquier distracción producida por un agente externo. Se estima que el tiempo que puede tomar realizar este procedimiento es de 5 minutos.



Figura 1. Ubicación de la cámara

8.5. MEDIR EL ESTADO BASAL INICIAL

Se procede a medir el estado basal (reposo) del sujeto antes de empezar la prueba con el objetivo de saber en qué parámetros inicialmente se encuentra.



Figura 2. Posición para medir el estado basal del sujeto.

8.6. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

Para la realización de la prueba se le da a conocer al sujeto el circuito a recorrer [12]. Se le resolverá cualquier inquietud que tenga el sujeto acerca de la prueba con el fin de no dejar a la libre interpretación las instrucciones. Durante la prueba el sujeto estará acompañado por el personal de investigación quienes deberán generar la mínima interacción con el sujeto con el objetivo de no generar ningún tipo de distracción.

Se realizará la prueba 2 veces con el fin de familiarizar al sujeto con la pista y con el posible ajuste de las cámaras u otros equipos.

Circuito		
	Descripción	Distancia (m)
1.	Estado inicial basal, conduciendo en línea recta	240
2.	Curva a la derecha	20
3.	Seguir a un vehículo lo más cerca posible	245
4.	Curva a la izquierda	20
5.	Seguir a un ciclista lo más cerca posible	100
6.	Evitar a un peatón	150
7.	Recuperar el camino después del peatón	25
8.	Tomar una curva a la izquierda	20
9.	Estado final basal	255

8.7. MEDIR EL ESTADO BASAL FINAL

Se procede a medir el estado basal (reposo) del sujeto antes de empezar la prueba con el objetivo de saber en qué parámetros inicialmente se encuentra.

9. FIRMAS DE APROBACIÓN DEL PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Hemos leído y revisado minuciosamente este Protocolo de Estudio Experimental. Al leerlo hemos entendido los requerimientos y condiciones de este Protocolo de Estudio experimental. Acordamos que los materiales utilizados en este estudio se encuentran descritos en el protocolo. Acordamos que los tiempos establecidos para la realización de este protocolo deben de ser respetados. Este debe de iniciar el _____ y ser completado el _____

Firma _____

Investigador Principal: Dr. Martín Rogelio Bustamante Bello

Fecha: DD / MM / AAAA

10. REFERENCIAS

- [1]. Colombia, C. (2019). Actualícese en los sistemas de seguridad ADAS - Revista Autocrash. Retrieved 25 September 2019, from <https://www.revistaautocrash.com/actualicese-los-sistemas-seguridad-adas/>
- [2]. Hernandez, J. (2019). AutoEmotive: Bringing Empathy to the Driving Experience to Manage Stress. Retrieved 30 October 2019, from https://affect.media.mit.edu/pdfs/14.Hernandez_et_al-DIS.pdf
- [3]. Accidentes de tránsito. (2019). Retrieved 25 September 2019, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [4]. El Universal. (20 de agosto de 2015). Principales causas de accidentes viales. Recuperado el 2 de febrero de 2016, de <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/autopistas/2015/08/20/principales-causas-de-accidentes-viales>
- [5]. Dirección General de Comunicación Social. (10 de septiembre de 2015). Accidentes y sus factores. Recuperado el 2 de febrero de 2016, de Comisión Nacional de Seguridad: http://cns.gob.mx/portalWebApp/appmanager/portal/desk?_nfpb=true&_pageLabel=portals_portal_page_m2p1p2&content_id=830068&folderNode=830052&folderNode1=810277
- [6]. H. Selye, Selye's Guide to Stress Research. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1980.
- [7]. I. J. K. G. Eisenhofer and D. Goldstien, "Sympathoadrenal medullary system and stress," in Mechanisms of Physical and Emotional Stress. New York, NY: Plenum, 1988.
- [8]. A. Baddeley, "Selective attention and performance in dangerous environments," Br. J. Psychol., vol. 63, no. 4, pp. 537–546, 1972.
- [9]. M. Vidulich, M. Stratton and G. Wilson, "Performance-based and physiological measures of situational awareness," Aviat. Space Environ. Med., vol. 65, no. 5 Suppl., pp. 7–12, May 1994.
- [10]. R. Helmreich, T. Chidster, H. Foushee, S. Gregorich and J. Wilhelm, "How effective is cockpit resource management training? Issues in evaluating the impact of programs to enhance crew coordination," Flight Safety Dig., vol. 9, no. 5, pp. 1–17, 1990.
- [11]. Guojiang, Wang Guojiang Wang, Wang Xiaoxiao Wang Xiaoxiao, and Fu Kechang Fu Kechang. 2010. "Behavior Decision Model of Intelligent Agent Based on Artificial Emotion." Advanced Computer Control ICACC 2010 2nd International Conference on 4: 185–89.
- [12]. Izquierdo-Reyes, J., Ramirez-Mendoza, R. and Bustamante-Bello, M. (2017). A study of the effects of advanced driver assistance systems alerts on driver performance. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 12(1), pp.263-272.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

A través del presente documento se me invita a participar en el protocolo titulado: Protocolo experimental para la validación del algoritmo de detección de estrés en un entorno controlado / Protocolo experimental para la verificación del algoritmo de detección de estrés durante la conducción.

Antes de que usted acepte participar en este estudio, se le presenta este documento de nombre "Consentimiento Informado", que tiene como objetivo comunicarle de los posibles riesgos y beneficios para que usted pueda tomar una decisión informada. El Consentimiento Informado le proporcionará información sobre el estudio al que se le está invitando a participar; por ello, es de suma importancia que lo lea cuidadosamente antes de tomar alguna decisión. Si usted tiene preguntas puede hacerlas directamente al personal del estudio quienes le ayudarán a resolver cualquier inquietud.

Una vez que tenga conocimiento sobre las mediciones que se llevarán a cabo, se le pedirá que firme este documento para poder participar en este protocolo. Su decisión es voluntaria, lo que significa que usted es totalmente libre de ingresar a o no al protocolo. Así mismo, podrá retirarse del protocolo en cualquier momento y sin tener que explicar las razones de su decisión.

Debido a que esta investigación se considera de riesgo mínimo de acuerdo con el artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, y en cumplimiento con los aspectos mencionados en el Artículo 21 del mismo Reglamento, declaro que:

- I. Justificación y objetivos de la investigación: Se me ha informado que el presente estudio es realizado por un grupo interdisciplinario de profesores e investigadores del ITESM CCM en conjunto con la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, se esta desarrollando un sistema capaz de detectar estrés en un sujeto sano, entre 18 y 25 años, durante la conducción de un vehículo, a partir del procesamiento digital de imágenes del rostro. He entendido que el estudio tiene por objetivo crear un protocolo experimental para el diseño y creación de un sistema de reconocimiento facial, validación y detección de estrés, que contribuya al desarrollo de un concepto de seguridad más amplio de los sistemas ADAS (Advanced driver assistance systems) que no solo comprenda parámetros externos del vehículo sino también la medición de parámetros internos del conductor.
- II. Selección de los participantes: Se me ha informado que esta investigación se centra en generar información acerca de la adquisición de gestos faciales en jóvenes sanos. Con la finalidad de contar con personas sanas dentro del rango de edad establecido, me será requerido contestar una serie de preguntas que

evidenciarán si cumpla con los criterios de inclusión para poder participar en este proyecto. También se me ha informado que es mi responsabilidad responder con la verdad las preguntas que se me hagan durante todo el proceso de la investigación para evitar cualquier situación especificada en el punto IV, de lo contrario será mi responsabilidad cualquier efecto no deseado relacionado con la participación en el presente estudio.

Se me ha informado que los requisitos para ingresar a este protocolo son los siguientes:

1. Aceptar participar en el estudio y firmar el consentimiento informado
2. Tener entre 18 y 25 años.
3. Disponibilidad para completar la sesión de estudio.

Se me ha informado que podré ser excluido del estudio después de la firma del presente documento debido a las siguientes causas:

1. Mujeres en estado de embarazo o lactancia.
2. Sujetos que se han sometido o estaban recibiendo algún tratamiento de medicamentos psiquiátricos.
3. Sujetos con cualquier trastorno:
 - a. Espectro de esquizofrenia y otros trastornos psicóticos
 - b. Trastorno bipolar y trastornos relacionados
 - c. Trastornos depresivos.
 - d. Trastornos obsesivo-compulsivos.
 - e. Trauma y otros trastornos relacionados con el estrés.
 - f. Trastornos disociativos.
 - g. Trastornos debidos al uso de sustancias y trastornos adictivos.
4. Enfermedades neurológicas que incluyen, entre otras, la enfermedad de Alzheimer, la demencia, el aneurisma cerebral, la enfermedad de Parkinson y la epilepsia.
5. Haber consumido alguna sustancia que altere su funcionamiento basal evidenciado en el cuestionario de entrada.

Se me ha informado que, una vez iniciado el protocolo, podré ser retirado del mismo por las siguientes causas:

1. Aparición de neuropatologías ocultas y desconocidas por mí.
2. Por no cumplir con las instrucciones que se le dieron para la aplicación del protocolo.
3. Haber vivido una experiencia traumática (emocional o física) durante el transcurso de la prueba.
4. Conducta inapropiada con otros participantes o con los investigadores.
5. Que se presente algún evento adverso conforme se describe en el punto IV.

III. Procedimientos que van a usarse y su propósito, incluyendo la identificación de los procedimientos experimentales, así como de la confidencialidad de los datos proporcionados y los resultados obtenidos en el estudio: Se me ha informado que los datos correspondientes a mi identidad serán de carácter confidencial y serán ocupados de forma exclusiva como datos de contacto para este estudio.

Para la publicación de resultados, solo serán utilizados los datos que hayan sido obtenidos en la encuesta general y en las pruebas del protocolo; estos datos serán utilizados con fines de académicos y de investigación y en ningún momento estarán asociados a la identidad de alguno de los participantes. Finalmente, se me describieron los procedimientos a los que me veré sometido en el protocolo y que son los mismos que se describen a continuación

Sesión 1: En esta sesión, se procederá a explicarme el contenido completo y detallado del consentimiento informado (en el presente documento), se me deberán de resolver todas las dudas relacionadas con los procedimientos que se me realizarán, los posibles efectos secundarios que se me pudieran presentar, así como los beneficios que podría obtener de mi participación en el presente estudio. Posterior se realizará las pruebas relacionadas con el estudio. Antes de que se me realice cualquier tipo de prueba o maniobra, firmaré el consentimiento informado y posterior a esta acción, se me realizará un cuestionario sobre mi estado de salud general. En caso de que mi estado de salud no sea el adecuado para el estudio, seré informado que no podré participar en el estudio.

Una vez sea aceptado para realizar el estudio se procede a realizar el cuestionario de rutina que nos indicara en qué condiciones presenta la prueba, finalizado el paso anterior se procede a calibrar los sistemas de adquisición de datos tal y como se explico en el protocolo experimental se realiza una revisión de los sistemas de carga, conexión, posición para los equipos de adquisición.

En el excepcional caso de que se me llegase a presentar algún tipo de malestar severo durante el experimento, lo reportaré de manera inmediata al investigador presente el cual detendrá la adquisición de datos, registrará el evento adverso y procederá conforme al protocolo de respuesta a emergencias. Cualquier otro tipo de malestar, se deberá de reportar al terminar el experimento al investigador, el cual tomará nota de este y lo incorporará al reporte individual de la sesión.

Entiendo que, por razones de confidencialidad de los resultados del estudio, no se me entregará ningún tipo de resultado obtenido durante las sesiones del estudio. En caso de presentar algún efecto descrito en el punto IV de este documento, seré atendido por el personal del proyecto para determinar si puedo continuar en el estudio.

Con el propósito de registrar gráficamente el estudio, durante el mismo seré videograbado durante las sesiones, por lo que autorizo a que estas acciones puedan ser realizadas durante las sesiones en la que participe entendiéndolo que las evidencias gráficas solo serán usadas para el procesamiento de los datos y el reconocimiento de gestos faciales y de ninguna manera serán difundidos; Estos datos, serán tratados de conformidad con lo estipulado en el aviso de confidencialidad.

IV. Molestias o riesgos esperados, cómo y quién los resolverá: Se me ha informado que los riesgos son mínimos en la aplicación del protocolo de medición. Durante el protocolo, es posible que se puedan presentar los siguientes efectos adversos:

- Efectos severos: Son todos aquellos que impliquen la supervisión de un médico para su resolución (dolor de cabeza).
- Efectos no severos: Son todos aquellos que impliquen una molestia a mi persona, pero de carácter pasajero y que no requieren de la supervisión de un médico (fatiga).

Se me ha informado que las mediciones a realizar no deben de tener ninguna consecuencia en mi persona y que solo las pruebas que realice pudieran generarme algún tipo de complicación. En caso de sentir alguna molestia durante la aplicación del protocolo, deberé de notificarlo con el investigador para evitar que pueda sufrir alguna lesión durante el mismo.

V. Retiro prematuro del estudio: Si decido participar puede abandonar la prueba experimental en cualquier momento, pudiendo informar o no mis razones. Se me ha informado que la participación en este proyecto es una decisión voluntaria, en donde yo decido participar de manera libre. Si decido no participar en cualquier momento del proceso, no habrá ninguna consecuencia negativa ni seré coaccionado para seguir participando.

-
- VI.** Beneficios: Mi participación en el desarrollo de este proyecto no tendrá un beneficio para su salud, pero contribuirá en el cumplimiento del propósito de la investigación. Puede que no haya beneficio para la sociedad en el presente estado de la investigación, pero es probable que generaciones futuras se beneficien de los resultados.
- VII.** Incentivos: No deberá pagar ningún valor para participar en el estudio. No se hará ningún pago a los sujetos de experimentación por su participación en el estudio.
- VIII.** Confidencialidad: Mi confidencialidad será respetada a lo largo del estudio y es garantizada por todos los investigadores pertenecientes al equipo. No se compartirá la identidad de aquellos que participen en la investigación en ningún momento ni mis registros podrán ser vinculados a mi identidad una vez que la investigación esté en curso. La información que obtengamos por este proyecto será identificada por un número de control, y se mantendrá confidencial durante todo el proceso. La información obtenida durante la investigación se mantendrá fuera de alcance de personas ajenas al estudio. El análisis y presentación de resultados se llevará a cabo de manera grupal y no se harán menciones especiales a ningún nombre en específico. Fui informado que los datos obtenidos en este estudio serán publicados en diversas fuentes científicas y doy mi consentimiento para que, bajo las condiciones descritas en todo este documento, sean publicadas por el equipo de investigación.
- IX.** Compartiendo los Resultados: Durante el estudio, los participantes podrán conocer en todo momento el estado del proyecto de investigación y los resultados preliminares. Se buscará la divulgación de los resultados definitivos que se obtengan de esta investigación, para que otras personas interesadas puedan aprender. No se compartirá información confidencial.

Marcar con una X si se cumplió con lo que se menciona.

- He sido informado acerca del estudio y tuve mi primer diálogo con el personal de investigación acerca de dicha información el DD / MM / AAAA a la hora (si es necesario) _____ (la hora es necesaria solamente si la información y el consentimiento fueron entregados el mismo día).
- He leído y entendido la información en este documento de consentimiento informado.
- He tenido la oportunidad de hacer preguntas y todas mis preguntas fueron contestadas a mi satisfacción.
- Consiento voluntariamente participar en este estudio. No renuncio a ninguno de mis derechos legales al firmar este documento de consentimiento.

Yo, _____, identificado con ID de ciudadanía número _____, declaro que he leído y comprendido el presente documento y que mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente; por lo tanto doy mi consentimiento informado para participar en la investigación llamada "Protocolo experimental para la validación del algoritmo de detección de estrés en un entorno controlado / Protocolo experimental para la verificación del algoritmo de detección de estrés durante la conducción.". Estoy de acuerdo en que mi nombre, edad y otros datos sean almacenados. Adicionalmente sé que puedo retirarme del experimento en cualquier momento.

Sujeto Participante:

Nombre: _____ Dirección: _____

Teléfono: _____ Firma: _____

DD / MM / AAAA

Declaración del investigador

Yo certifico que le he explicado al participante la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que el participante entiende en que consiste su participación, los posibles riesgos y beneficios implicados. Todas las preguntas que esta persona ha hecho le han sido contestadas en forma adecuada. Así mismo, he leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Hago constar lo anterior con mi firma.

Firma(s) de investigador(es)

Nombre: _____ Firma: _____

DD / MM / AAAA

CUESTIONARIO DE EXPERIMENTACIÓN

1.	¿Qué edad tiene?		
2.	¿Cuál es su género?	F	M
3.	¿Padece alguna condición médica?	SI	NO
	¿Qué condición(es) médica padece?		
4.	¿Presenta algún tipo de virosis actualmente?	SI	NO
5.	¿Se encuentra bajo algún tratamiento médico?	SI	NO
6.	¿Cuántas horas durmió la noche anterior?		
7.	Describir su alimentación las últimas 12 horas.		
8.	Existe consumo de bebidas alcohólicas las últimas 24 horas.	SI	NO
9.	Existe consumo de medicamentos las últimas 24 horas.	SI	NO
10.	Existe consumo de sustancias psicoactivas las últimas 24 horas.	SI	NO
11.	Existe consumo de tabaco las últimas 24 horas.	SI	NO

CODIGO CALIBRACIÓN DE CÁMARAS

```
#####  
# Código para obtener la matriz de cámara  
#####  
import numpy as np  
import cv2 as cv  
import glob  
import os  
  
# termination criteria  
criteria = (cv.TERM_CRITERIA_EPS + cv.TERM_CRITERIA_MAX_ITER, 30,  
0.001)  
  
# prepare object points, like (0,0,0), (1,0,0), (2,0,0) ....., (6,5,0)  
objp = np.zeros((6*9, 3), np.float32)  
objp[:, :2] = np.mgrid[0:9, 0:6].T.reshape(-1, 2)  
  
# Arrays to store object points and image points from all the images.  
objpoints = [] # 3d point in real world space  
imgpoints = [] # 2d points in image plane.  
  
images =  
glob.glob('/home/laura/PycharmProjects/Calibration/imagenesMicro/*.jpg')  
'  
  
for fname in images:  
    img = cv.imread(fname)  
    gray = cv.cvtColor(img, cv.COLOR_BGR2GRAY)  
    # Find the chess board corners  
    ret, corners = cv.findChessboardCorners(gray, (9, 6), None)  
    # If found, add object points, image points (after refining them)  
    if ret == True:  
        objpoints.append(objp)  
        corners2 = cv.cornerSubPix(gray, corners, (11, 11), (-1, -1),  
criteria)  
        imgpoints.append(corners)
```

```
ret, mtx, dist, rvecs, tvecs = cv.calibrateCamera(objpoints,
imgpoints, gray.shape[::-1], None, None)

cont = 0

for fname in images:
    cont = cont + 1
    img = cv.imread(fname)
    h, w = img.shape[:2]
    newcameramtx, roi = cv.getOptimalNewCameraMatrix(mtx, dist, (w,
h), 1, (w, h))

    # undistort
    dst = cv.undistort(img, mtx, dist, None, newcameramtx)
    # crop the image
    x, y, w, h = roi
    dst = dst[y:y+h, x:x+w]
    # cv.imwrite('ImgCal' + str(cont) + '.png', dst)

my_matrix = np.matrix(dist)
np.savetxt('dist_Micro.txt', my_matrix, delimiter = ', '), delimiter =
',')

#####
# Código para aplicar la matriz de cámara y los parámetros de
distorsión a las imágenes de las cámaras
#####

import numpy as np
import cv2
import glob
import os

mtx0 = np.loadtxt("matrix_Micro.txt", dtype='f', delimiter=',')
dist0 = np.loadtxt("dist_Micro.txt", dtype='f', delimiter=',')
```

```
mtx1 = np.loadtxt("matrix_Logi.txt", dtype='f', delimiter=',')
dist1 = np.loadtxt("dist_Logi.txt", dtype='f', delimiter=',')

video_capture_0 = cv2.VideoCapture(4)
video_capture_1 = cv2.VideoCapture(2)

# Define the codec and create VideoWriter object
fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'XVID')

out_0 = cv2.VideoWriter('output0.avi', fourcc, 30.0, (640, 480))
out_1 = cv2.VideoWriter('output1.avi', fourcc, 30.0, (640, 480))

while True:
    # Capture frame-by-frame
    ret0, frame0 = video_capture_0.read()
    ret1, frame1 = video_capture_1.read()

    img0 = frame0
    img1 = frame1

    h0, w0 = img0.shape[:2]
    h1, w1 = img1.shape[:2]
    # print ('camera 0:'+ str(h0) + '.'+ str(w0))
    # print ('camera 1:'+ str(h0) + ','+ str(w0))

    newcameramtx0, roi0 = cv2.getOptimalNewCameraMatrix(mtx0, dist0,
(w0, h0), 1, (w0, h0))
    newcameramtx1, roi1 = cv2.getOptimalNewCameraMatrix(mtx1, dist1,
(w1, h1), 1, (w1, h1))
    # print ('camera 0:'+ str(newcameramtx0) + '.'+ str(roi0))
    # print ('camera 1:'+ str(newcameramtx1) + ','+ str(roi1))
```

```
# undistort
dst0 = cv2.undistort(img0, mtx0, dist0, None, newcameramtx0)
dst1 = cv2.undistort(img1, mtx1, dist1, None, newcameramtx1)
# print ('camera 0:'+ str(dst0))
# print ('camera 1:'+ str(dst1))

out_0.write(dst0)
out_1.write(dst1)

if (ret0):
    # Display the resulting frame
    cv2.imshow('Cam 0', dst0)

if (ret1):
    # Display the resulting frame
    cv2.imshow('Cam 1', dst1)

if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break

video_capture_0.release()
out_0.release()
video_capture_1.release()
out_1.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

CODIGO DEL ENTRENAMIENTO DEL MODELO CNN

```
#####
# Entrenamiento de la red neuronal
#####
import sys, os
import pandas as pd
import numpy as np
```

```
import cv2

from sklearn.model_selection import train_test_split
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout, Activation, Flatten
from keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, BatchNormalization
from keras.losses import categorical_crossentropy
from keras.optimizers import Adam
from keras.regularizers import l2

from keras.callbacks import ReduceLRonPlateau, TensorBoard,
EarlyStopping, ModelCheckpoint

from keras.models import load_model

BASEPATH = '../FERPlus-master'
sys.path.insert(0, BASEPATH)
os.chdir(BASEPATH)
MODELPATH = './models/model_test.h5'

num_features = 64
num_labels = 3
batch_size = 64
epochs = 100
width, height = 48, 48

data = pd.read_csv('./fer2013.csv')

data.tail()
pixels = data['pixels'].tolist() # 1
faces = []

for pixel_sequence in pixels:
    face = [int(pixel) for pixel in pixel_sequence.split(' ')]
```

```
face = np.asarray(face).reshape(width, height)
faces.append(face.astype('float32'))
faces = np.asarray(faces)
faces = np.expand_dims(faces, -1)
emotions = pd.get_dummies(data['emotion'])

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(faces, emotions,
test_size=0.1, random_state=42)

X_train, X_val, y_train, y_val = train_test_split(X_train, y_train,
test_size=0.1, random_state=41)

model = Sequential()

model.add(Conv2D(num_features, kernel_size=(3, 3), activation='relu',
input_shape=(width, height, 1), data_format='channels_last',
kernel_regularizer=l2(0.01)))

model.add(Conv2D(num_features, kernel_size=(3, 3), activation='relu',
padding='same'))

model.add(BatchNormalization())

model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))

model.add(Dropout(0.5))

model.add(Conv2D(2*num_features, kernel_size=(3, 3),
activation='relu', padding='same'))

model.add(BatchNormalization())

model.add(Conv2D(2*num_features, kernel_size=(3, 3),
activation='relu', padding='same'))

model.add(BatchNormalization())

model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))

model.add(Dropout(0.5))

model.add(Conv2D(2*2*num_features, kernel_size=(3, 3),
activation='relu', padding='same'))

model.add(BatchNormalization())
```

```
model.add(Conv2D(2*2*num_features, kernel_size=(3, 3),
activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Conv2D(2*2*2*num_features, kernel_size=(3, 3),
activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(Conv2D(2*2*2*num_features, kernel_size=(3, 3),
activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Flatten())

model.add(Dense(2*2*2*num_features, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.4))
model.add(Dense(2*2*num_features, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.4))
model.add(Dense(2*num_features, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Dense(num_labels, activation='softmax'))
model.summary()
model.compile(loss=categorical_crossentropy,
              optimizer=Adam(lr=0.001,
                             beta_1=0.9, beta_2=0.999,
                             epsilon=1e-7),
              metrics=['accuracy'])
lr_reducer = ReduceLROnPlateau(monitor='val_loss',
                               factor=0.9,
```

```
        patience=3,
        verbose=1)
tensorboard = TensorBoard(log_dir='./logs')
early_stopper = EarlyStopping(monitor='val_loss',
                               min_delta=0,
                               patience=8,
                               verbose=1,
                               mode='auto')

checkpointer = ModelCheckpoint(MODELPATH,
                               monitor='val_loss',
                               verbose=1,
                               save_best_only=True)

model.fit(np.array(X_train), np.array(y_train),
          batch_size=batch_size,
          epochs=epochs,
          verbose=1,
          validation_data=(np.array(X_test), np.array(y_test)),
          shuffle=True,
          callbacks=[lr_reducer, tensorboard, early_stopper,
                    checkpointer])

model.fit(np.array(X_train), np.array(y_train),
          batch_size=batch_size,
          epochs=epochs,
          verbose=1,
          validation_data=(np.array(X_test), np.array(y_test)),
          shuffle=True,
          callbacks=[lr_reducer, tensorboard, early_stopper,
                    checkpointer])

scores = model.evaluate(np.array(X_test), np.array(y_test),
                        batch_size=batch_size)

print("Loss: " + str(scores[0]))

print("Accuracy: " + str(scores[1]))

model.save('model_23102019.h5')
```

```
#####  
# Código para correr el modelo CNN  
#####  
import sys, os  
import pandas as pd  
import numpy as np  
import cv2  
  
from sklearn.model_selection import train_test_split  
from keras.models import Sequential  
from keras.layers import Dense, Dropout, Activation, Flatten  
from keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, BatchNormalization  
from keras.losses import categorical_crossentropy  
from keras.optimizers import Adam  
from keras.regularizers import l2  
  
from keras.callbacks import ReduceLROnPlateau, TensorBoard,  
EarlyStopping, ModelCheckpoint  
from keras.models import load_model  
  
emotion_dict = {0: "Neutral", 1: "Relax", 2: "Stress"}  
  
model = load_model('/home/admas/Admas-Stress/FERPlus-  
master/models/model_23102019.h5')  
  
cap = cv2.VideoCapture('/home/admas/Admas-  
Stress/VideoPrueba/Recortados/front_2_test_2_conv.mp4')  
#cap = cv2.VideoCapture(0)  
  
while True:  
    ret, frame = cap.read()  
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  
    face_cascade =  
cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')  
    faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
```

```

    for (x, y, w, h) in faces:
        cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 1)
        roi_gray = gray[y:y + h, x:x + w]
        cropped_img =
np.expand_dims(np.expand_dims(cv2.resize(roi_gray, (48, 48)), -1), 0)
        cv2.normalize(cropped_img, cropped_img, alpha=0, beta=1,
norm_type=cv2.NORM_L2, dtype=cv2.CV_32F)
        prediction = model.predict(cropped_img)
        cv2.putText(frame, emotion_dict[int(np.argmax(prediction))],
(x, y), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 0), 1, cv2.LINE_AA)
        cv2.imshow('frame', frame)
        if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
            break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
import tensorflow as tf

```

CODIGO DE PRUEBA EXPERIMENTAL EN UN ENTORNO CONTROLADO

```

#####
# main
#####
import threading
import simpleaudio as sa
from multiprocessing import Process
title = "*** just relax ***"
print("*** * len(title))
print(title)
print("*** * len(title))
#wave_obj      =      sa.WaveObject.from_wave_file("/home/admas/Admas-
Stress/Estimulo/ESTIMULO_part1.wav")
#play_obj = wave_obj.play()
#play_obj.wait_done()

def ejecutar_1():

```

```
    exec(open("/home/admas/Admas-
Stress/Estimulo/play_estimulo_2.py").read())
def ejecutar_2():
    exec(open("/home/admas/Admas-
Stress/Estimulo/MentalArithmeticTask.py").read())
hilo1 = threading.Thread(target = ejecutar_1)
hilo2 = threading.Thread(target = ejecutar_2)
hilo1.start()
hilo2.start()
#####
# MentalArithmeticTask
#####
import random
import time
counter=0
score=0
count=0
function=['-']
print('Welcome To The Arithmetic Quiz!')
print('Lets Get Started!')
time.sleep(1)
print ("3")
time.sleep(1)
print ("2")
time.sleep(1)
print ("1")
def validacion (numero):
    while numero.isdigit()==False:
        print('Error, type only numbers')
        numero=input('Try again, Answer:')
    else:
        return numero
```

```

while counter < 50:
    firstnumber=random.randint(10,2000)
    secondnumber=random.randint(4,9)
    operator=random.choice(function)
    question=print(firstnumber, operator, secondnumber, '=')
    userAnswer = input('Answer:')
    userAnswer = validacion(userAnswer)
    if operator== '-':
        count = firstnumber-secondnumber
        if count == int (userAnswer):
            print ('CORRECT!')
            score= score+1

        else:
            print ('WRONG!, the correct answer is:' + str(count))
    counter += 1
print ("Your quiz is over!, your score is:" + str(score))
#####
# play_estimulo_2
#####
import simpleaudio as sa

wave_obj          =          sa.WaveObject.from_wave_file("/home/admas/Admas-
Stress/Estimulo/ESTIMULO_part2.wav")

play_obj = wave_obj.play()

play_obj.wait_done()

```

CODIGO DE PRUEBA ESTADISTICA WILCOXON MATLAB

```

%% X = 1 condición (neutral)// Y = 2 condicion (estrés)
clear all, close all, clc;
%% meanRR
x_meanRR = [940 751 1111 935 749 812 769 1175 983 1137 861 973 1127 832 786];
y_meanRR = [854 700 763 804 706 790 743 898 718 991 804 825 998 754 739];
[p_meanRR, Ho_meanRR] = signrank(x_meanRR,y_meanRR);

%% SDRR
x_SDRR = [107.8 54.2 123 100.3 114.6 51.5 38.8 108.2 110.4 90 92.2 63.7 118
64.1 70.8];

```

```
y_SDRR = [61.6 32.1 165 135.5 65.9 45.4 50.2 88.7 69.3 128.3 107 85.9 101.8
66.1 62.4];
[p_SDRR, Ho_SDRR] = signrank(x_SDRR, y_SDRR);

%% RMSSD
x_RMSSD = [82.5 27.9 121.7 66.2 47 43.1 30.8 132.2 97.7 110.2 58.8 63.9 114
47 56];
y_RMSSD= [57.4 18.3 64.1 56.1 28.4 31.9 32.8 56.5 47.1 112.4 62.4 42.5 77.4
47.9 42.7];
[p_RMSSD, Ho_RMSSD] = signrank(x_RMSSD, y_RMSSD);
%% pNN50%
x_pNN50 = [54.31 7.34 76.12 41.94 21.08 25.66 10.26 72.48 61.02 67.29 34.75
45.87 57.6 31.13 37.78 ];
y_pNN50 = [42.02 0.44 37.9 30.65 5.42 12.28 12.13 37.36 21.61 72.88 40.49
23.94 49.3 28.19 24.25 ];
[p_pNN50, Ho_pNN50] = signrank(x_pNN50, y_pNN50);

%% LF
x_LF = [7791.25 1079.62 2342.91 1202.18 10291.82 635.8 416.7 1555.55 3229.92
1241.47 4745.02 1538.89 6996.6 1006.27 1199.23 ];
y_LF = [937.7 552.21 662.5 1919.57 4451.73 657.97 950.1 2409.43 861.57
1562.47 2981.22 2173.32 2411.37 3083.57 899.08 ];
[p_LF, Ho_LF] = signrank(x_LF, y_LF);

%% HF
x_HF = [1998.25 580.02 4447.51 1263.04 368.91 684.41 305.3 4647.43 3432.79
1951.84 711.62 1258.36 2691 617.43 1991.11];
y_HF = [275.7 182.74 1266.83 887.21 301.64 289.87 245.68 1005.52 730.82
1704.73 966.47 528.86 1309.77 924 694.28];
[p_HF, Ho_HF] = signrank(x_HF, y_HF);

%% LF/HF
x_LFHF = [3.9 1.86 0.53 0.95 27.9 0.93 1.37 0.33 0.94 0.64 6.67 1.22 2.6
1.63 0.6];
y_LFHF = [3.4 3.02 0.52 2.16 14.76 2.27 3.87 2.4 1.18 0.92 3.08 4.11 1.84
3.33 1.29];
[p_LFHF, Ho_LFHF] = signrank(x_LFHF, y_LFHF, 0.5);
```