

DETECCIÓN DE MENTIRAS POR ANÁLISIS DE IMÁGENES TÉRMICAS DE ROSTROS



HERNÁN BELALCAZAR RAMÍREZ
SEBASTIAN BEDOYA ECHEVERY

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INEGNIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2015

DETECCIÓN DE MENTIRAS POR ANÁLISIS DE IMÁGENES TÉRMICAS DE
ROSTROS



HERNÁN BELALCAZAR RAMÍREZ
SEBASTIAN BEDOYA ECHEVERY

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

HUMBERTO LOAIZA CORREA Ph. D
SANDRA ESPERANZA NOPE Ph. D

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INEGNIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2015

Nota de aceptación:

Se aprueba el siguiente Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la institución para optar por el título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santiago de Cali, 29 de Mayo del 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi madre.

Por su lucha incansable, por todos los consejos, por tantas madrugadas, por tener fe, por la constancia, por todos esos valores y por hacer de mí la persona que hoy soy – Sebastián.

A mis Padres y mis Tías.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor - Hernán.

A esa mujer hermosa.

Por el apoyo constante, por estar siempre ahí, por creer en un futuro y hacerme feliz cada día, Marcela. – Sebastián.

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Hoover Azcarate, Carlos A. Jordan y Jorge Salazar - Hernán.

A los profesores Humberto Loaiza y Sandra Nope quienes siempre estuvieron dispuestos a guiarnos y ayudarnos tanto en lo académico como en lo personal.

A todos los voluntarios participantes en los procesos de experimentación.

*La ciencia es un magnifico mobiliario para el
piso superior de un hombre, siempre y cuando su
sentido común este en la planta baja.*

Oliver. W. Holmes

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes locales y nacionales	3
1.2. Antecedentes Internacionales.....	4
1.3. Problema	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo General	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	9
1.5. Organización del Trabajo de Grado	9
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Introducción	11
2.2. Termografía infrarroja	11
2.2.1. Introducción.....	11
2.2.2. Condiciones para la Aplicación de la Termografía	12
2.2.3. Ventajas y Limitaciones de la Termografía	13
2.2.4. Aplicaciones de la termografía	14
2.2.5. Termografía aplicada a la medicina	15
2.2.6. Termografía aplicada a la psicología.....	18
2.3. Psicofisiología de la mentira	19
2.3.1. Introducción.....	19
2.3.2. Estudio de la mentira.....	20
2.3.3. Reacciones fisiológicas al mentir	22
2.3.4. El polígrafo	25
2.3.5. Otros métodos para la detección de mentiras	26
2.3.6. Técnicas de Interrogación	28

2.4. Biometría y detección de Mentiras.....	32
2.4.1. Introducción.....	32
2.4.2. Relación de la temperatura con la ansiedad y las alteraciones del estrés	32
2.5. Estudio comparativo de zonas del rostro susceptibles a cambios de temperatura bajo el proceso de mentir	34
2.6. Estudio comparativo de los experimentos de provocación de ansiedad e incitación a mentir recreables.....	38
2.6.1. Experimentos de provocación de ansiedad recreables	38
2.6.2. Experimentos de incitación a mentir recreables	40
2.6.3. Estudio comparativo y resultados.....	45
3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO	49
3.1. Introducción	49
3.2. Descripción de la cámara	49
3.3. Descripción del Hardware de Adquisición.....	51
3.4. Relación Color-Temperatura.....	53
3.5. Descripción del Software	54
4. PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN	55
4.1. Protocolo de captura de los videos.....	55
4.2. Diseño del experimento de incitación a mentir e interrogatorio para la detección de mentiras	59
4.2.1. Descripción del experimento de incitación a mentir	59
4.2.2. Descripción del protocolo de interrogación	61
4.3. Protocolo del experimento para provocación de ansiedad	64
5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	69

5.1. Desarrollo del procedimiento de segmentación automática de la zona de interés.....	69
5.1.1. Introducción.....	69
5.1.2. Segmentación del rostro	69
5.1.3. Segmentación de la zona periorbital	73
5.1.4. Obtención de los puntos de interés en la zona periorbital.....	78
5.1.5. Seguimiento de la zona periorbital durante el video.....	80
5.1.6. Obtención de la señal característica de temperatura de los puntos de interés durante el video.....	83
5.2. Clasificación	88
5.2.1. Clasificación de Mentiras	88
5.2.2. Clasificación de estados de ansiedad	91
5.3. Resultados.....	96
5.5.1. Resultados de clasificación de mentiras	96
5.5.2. Resultados de clasificación de Estados de ansiedad.....	99
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	101
6.1. Alcances	101
6.2. Limitaciones.....	101
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	103
7.1. TRABAJOS FUTUROS.....	104
8. REFERENCIAS	106
ANEXOS.....	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1: Resumen de la taxonomía de mentiras propuesta por Whiten y Byrne (1988).	22
Tabla 2-2. Porcentaje de acierto de detección de mentiras en las zonas estudiadas.	37
Tabla 2-3. Comparación de experimentos de provocación de ansiedad recreables.	46
Tabla 2-4. Comparación de experimentos de incitación a mentir recreables....	47
Tabla 5-1. Resultados de clasificación del experimento de incitacion a mentir.	97
Tabla 5-2. Resultados de clasificación de las muestras de validación del experimento provocación de ansiedad.	99

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1. Zonas del rostro susceptibles a cambios de temperatura bajo el proceso de mentir. Fuente: Primal Pictures 2014	36
Ilustración 3-1. Cámara térmica utilizada. Fuente: FLIR ®.	50
Ilustración 3-2. Especificaciones técnicas de la cámara térmica usada. Fuente: FLIR®.	51
Ilustración 3-3. Parte posterior de la cámara. Fuente: www.flir.com	51
Ilustración 3-4. Especificaciones técnicas del conversor RCA a USB	52
Ilustración 3-5. Conversor RCA - USB Fuente: www.encore-usa.com	52
Ilustración 3-6 Representación de la temperatura en la cámara. Fuente: Autor.	53
Ilustración 4-1. Captura siguiendo las consideraciones planteadas. Fuente: Autor.	57
Ilustración 4-2. Captura de sujeto sudando y mal posicionado. Fuente: Autor.	57
Ilustración 4-3. Captura con oclusión de la toma por parte del sujeto. Fuente: Autor.	58
Ilustración 0-4. Captura con oclusión por lentes (derecha) y cabello del sujeto (izquierda). Fuente: Autor	58
Ilustración 4-5. Diagrama resumen protocolo de toma de imágenes.	59
Ilustración 4-6. Distribución del espacio durante una sesión de interrogación. Fuente: Autor	63
Ilustración 4-7. Diagrama resumen del experimento de incitación a mentir.	64
Ilustración 4-8 Distribución del espacio experimental. Fuente: Autor.....	66
Ilustración 4-9. Diagrama resumen experimento provocación de estados de ansiedad.	68
Ilustración 5-1. Histograma de una captura realizada bajo el protocolo de toma de imágenes. Fuente: Autor.....	70
Ilustración 5-2. Captura del Rostro binarizada con umbral definido por el método de Otsu. Fuente: Autor.....	71
Ilustración 5-3. Rectángulos que contienen los objetos de la captura binarizada. Fuente: Autor.	72

Ilustración 5-4. Rectángulo de área mayor correspondiente al rostro en la captura binarizada. Fuente: Autor.....	72
Ilustración 5-5. Segmentación efectiva del rostro del sujeto. Fuente: Autor.	73
Ilustración 5-6. Canon del Rostro según Dr. G. Perseo. Fuente: http://www.caborian.com/	74
Ilustración 5-7. Canon del rostro aplicado a una captura termográfica. Fuente: Autor.	75
Ilustración 5-8. Segmentación de la zona periorbitan basada en el canon delDr. G. Perseo. Fuente: Autor.	75
Ilustración 5-9. Obtención de la medida de R y del primer tercio del rostro. Fuente: Autor.	77
Ilustración 5-10. Rectángulo contenedor de la zona periorbital. Fuente: Autor.	77
Ilustración 5-11. Segmentación efectiva de la zona periorbital. Fuente: Autor.	78
Ilustración 5-12. Distribución de venas y arterias en la zona periorbital. Fuente: Primal Pictures 2014.....	78
Ilustración 5-13. Objetivo para extraer la temperatura de la zona periorbital. Fuente: Primal Pictures 2014.....	79
La máscara promedio de tamaño 9x9 garantiza que abarca el lacrimal completo y guarda proporción con la distancia establecida en el protocolo de captura de imágenes. La Ilustración 5-14 muestra algunos ejemplos de la ubicación automática de los lagrimales sobre la imagen original.....	79
Ilustración 5-15. Característica de temperatura de la zona periorbital. Fuente: Autor.	80
Ilustración 5-16. Puntos característicos en la zona periorbital. Fuente: Autor. .	82
Ilustración 5-17. Resultados del seguidor de objetos, con algoritmo KLT. Fuente: Autor.	82
Ilustración 5-18. Señal de un participante sometido al experimento de provocación de estados de ansiedad. Fuente: Autor.	84
Ilustración 5-19. Filtro FIR paso bajo de fase lineal con frecuencia de corte 0.2Hz. Fuente: Autor.....	85
Ilustración 5-20. Filtrado de la señal con filtros FIR de fase lineal. Fuente: Autor.	85

Ilustración 5-21. Árbol de descomposición wavelet de nivel 3 de la señal S. Fuente: (Misiti & Misiti, 1996).....	86
Ilustración 5-22. Señal filtrada de la señal de un participante sometido al experimento de provocación de estados de ansiedad. Fuente: Autor.	87
Ilustración 5-23. Representación sintáctica esperada de la curva de temperatura de un video clasificado como "miente".	89
Ilustración 5-24. Representación sintáctica esperada de la curva de temperatura un video clasificado como "no miente"	90
Ilustración 5-25. Característica de Potencia vs Característica de pendiente. Fuente: Autor.	94
Ilustración 5-26. Arquitectura de la red neuronal para clasificar estados de ansiedad.	95
Ilustración 5-27. Matriz de confusión de entrenamiento.....	96
Ilustración 5-28. Matriz de confusión para la clasificación del experimento de provocación de incitación a mentir.	98
Ilustración 5-29. Matriz de confusión para la clasificación de las muestras de validación del experimento de provocación de estados de ansiedad.	100

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Convocatoria para participar del experimento.	117
Anexo 2. Instrucciones para el experimento de incitación a mentir.	118
Anexo 3. Aceptación de participación y autorización de uso de imagen.....	119
Anexo 4. Encuesta de Estudio Médico para participar del experimento.	120
Anexo 5. Cuestionario del Interrogatorio.....	122
Anexo 6. Formulario del veredicto.	123
Anexo 7. Contenido del CD Anexo	124

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de visión artificial para la detección de mentiras basado en el análisis del rostro por medio de imágenes térmicas. Este trabajo tiene fundamentos en las áreas de medicina, psicología y electrónica que dan validez al desarrollo. En el área de psicología se han planteado diversos experimentos para generar estados de ansiedad, entre los cuales se encuentra la ansiedad producida al mentir; así mismo, indicaciones y condiciones necesarias para identificar cuando un sujeto miente o no. Por su parte, la medicina corrobora la relación entre un estado de ansiedad y los cambios fisiológicos asociados a dicho estado. Finalmente, la electrónica y en particular el procesamiento de imágenes termográficas, da soporte a los algoritmos encaminados a medir las variaciones de temperatura en las imágenes térmicas para identificar si el sujeto miente o no, o si se encuentra en un estado de ansiedad. Los resultados obtenidos corresponden a un 100% de acierto en la detección de estados de ansiedad y un 79,2 % de acierto en la detección de mentiras.

Palabras Clave

Visión artificial, termografía, psicología, detección de mentiras, análisis facial, detección de ansiedad.

ABSTRACT

This document presents the design, development and implementation of an artificial vision system for lie detection based on the analysis of the face through thermal imaging. Throughout the document is the detailed explanation of the background as thermography medical applications, psychology and previous work of measurements in the face, are also documented similar works found in scientific community, as well as the psychological theories that validated the experimentation carried out later is show a detailed explanation of the equipment used and its specifications, detailed design of an experiment to provoke states of anxiety and validate the proposed methods of processing images and classification.

With the development of this system is achieved to get 100% success in the detection as states of anxiety and 79.2% of success in lie detection.

Key words:

Artificial vision, thermography, psychology, lie detection, facial analysis, anxiety detection.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de seguridad continuamente se mantienen en evolución debido a los cambios de estrategia de las organizaciones al margen de la ley. Actividades de gran concurrencia de personas como eventos deportivos y transporte masivo se han convertido en blanco del accionar delictivo. Debido a la imposibilidad de realizar detecciones tempranas de alertas con los sistemas de seguridad convencionales, se hace necesario el desarrollo de técnicas de no-contacto que permitan un mayor campo de vigilancia, y que detecten y analicen cambios fisiológicos y de comportamiento en las personas con el fin de generar alertas tempranas.

El diseño de un sistema para determinar si una persona está siendo honesta en sus afirmaciones mediante análisis termográfico, resulta ser de gran utilidad en situaciones de resolución de conflictos sociales, tales como crímenes que atentan contra las normas establecidas por la sociedad, o en la prevención de actividades en contra de la preservación de la vida, como atentados terroristas.

El reconocimiento e identificación de las señales que representan posibles estados de falsedad en las afirmaciones mediante técnicas digitales ha representado un reto a través de los años, ya que estudios psicológicos y fisiológicos evidencian una relación entre los cambios de estados de ansiedad y las modificaciones en las actividades orgánicas como dilatación de las pupilas, sudoración, tensión muscular, ritmo cardiaco, presión arterial y temperatura corporal, entre otras. Debido a la dificultad de controlar las reacciones internas del cuerpo por parte de las personas, aquéllas constituyen excelentes indicadores para generar alarmas de seguridad.

Los antecedentes investigativos referentes a la detección de ansiedad y de mentiras reportan el sensado de señales fisiológicas como la presión volumétrica de la sangre, la conductividad de la piel, el ritmo respiratorio, los electroencefalogramas y otras, además de combinaciones entre ellas para lograr mejores tasas de detección en la fusión de la información que entrega cada una.

Sin embargo, es interesante la utilización de la temperatura de la piel como indicador de estrés corporal como signo de la emisión de afirmaciones falsas, más aún cuando se tiene la oportunidad de adquirir imágenes térmicas que permitan analizar variaciones puntuales (no globales) de temperatura en las personas, sin que se requieran elementos invasivos o de contacto directo con el cuerpo, dando la posibilidad adicional de hacerlo de una manera discreta.

Por lo anterior, se propuso el desarrollo de un sistema de visión artificial termográfico para analizar imágenes infrarrojas de rostros, que permitiera determinar falsedad en las respuestas, de tal forma que en un futuro de lugar a prototipos comerciales que superen las limitaciones de los sistemas actuales, tales como lo invasivo que resulta ser el sensado de las variables a monitorear y la obligatoriedad de que sea un experto quien determine la veracidad o no de las respuestas.

El desarrollo de este sistema se constituye en una primera aproximación a un detector de mentiras mediante técnicas de procesamiento digital de señales desarrollado en Colombia, además de un avance en la línea de investigación en visión artificial y procesamiento de señales en la Universidad del Valle.

Los resultados, respecto al diseño de experimentos de provocación de ansiedad y de incitación a mentir, las propuestas de segmentación de las zonas de interés, el método de seguimiento y las propuestas de clasificación, resultan ser un aporte

valioso y complementario de trabajos previos realizados en países desarrollados, extendiendo el campo de acción de la termografía aplicada a la biometría, y convirtiéndose en fuente importante de producción intelectual a nivel de artículos y trabajos en eventos académicos, a nivel nacional e internacional.

1.1 Antecedentes locales y nacionales

Si bien se han realizado al interior del grupo PSI durante los últimos diez años múltiples trabajos relacionados con el uso de la termografía, tres de ellos tienen un enfoque en la problemática de la biometría humana y son descritos a continuación:

El primero, denominado: *herramientas para el análisis de técnicas de reconocimiento del iris*, llevó a la concepción y desarrollo de un conjunto de algoritmos para obtener un sistema biométrico a partir de imágenes en el infrarrojo cercano del iris, usando cálculo de descriptores estadísticos y momentos del histograma de las imágenes, así como distancia euclidiana, correlación y distancia coseno para los descriptores.

El segundo, denominado: *identificación biométrica utilizando imágenes de la red vascular de la cara dorsal de la mano*, en donde se empleó la pequeña porción de espectro infrarrojo de una cámara digital típica a través de un filtro infrarrojo de muy bajo costo, teniendo en cuenta que la hemoglobina desoxigenada (sangre venosa) presenta un pico de absorción a 760nm. La propuesta se basó en la imagen del dorso de la mano, una segmentación adecuada, la esqueletización de la red vascular y la utilización de momentos centrales como descriptores de los patrones vasculares definidos, dando como resultado hasta un 91.43% de éxito en la identificación biométrica al entrenar un perceptrón multicapa como clasificador (Motato & Loaiza, 2009).

El tercero, denominado: estudio comparativo entre diferentes técnicas de extracción de características aplicadas al reconocimiento de rostros, en donde se emplearon imágenes infrarrojas(Martínez, 2008), reúne un total de ocho variaciones en las condiciones ambientales de adquisición de las imágenes infrarrojas para evaluar el poder discriminante y el de generalización de diferentes extractores de características y clasificadores, entre otros: el análisis en componentes principales (PCA), análisis por discriminantes lineales (LDA), transformada *Wavelet*, Bayes y máquinas de soporte vectorial (SVM). Sin embargo, se propone al final una estrategia algorítmica para mejorar el desempeño de las SVM (mejor clasificador en el estudio) a través de una fusión de la información anterior y el uso de algoritmos genéticos(D Martínez, 2011).

1.2 Antecedentes Internacionales

Alrededor del mundo se han realizado múltiples avances encaminados a mejorar los sistemas de detección de mentiras, en pro de hacerlos más determinísticos eliminando algo de la variabilidad intrínseca del problema, Trabajos como el de (I Pavlidis, Levine, & Baukol, 2000) abren un camino prometedor a la detección de ansiedad por medio de análisis termográfico.

Ahora bien, durante años se ha reportado el miedo como respuesta ante una señal amenazante, resultando ser una de las formas en las que se presenta la ansiedad. Durante el tiempo que se hace presente este estado, el cuerpo reacciona con una gama de comportamientos de protección representado en señales sensoriales neuroanatómicas y neuroquímicas que no pueden ser ocultadas(Fendt & Fanselow, 1999).

Por la misma época, en EE.UU. DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) abre una convocatoria para crear proyectos de investigación y dar inicio a una era de análisis no invasivo de, con el objeto de tratar de predecir cuando una

persona presenta síntomas de ansiedad; una de las ideas propuestas fue la de emplear la termografía.

A continuación se realiza una revisión de los trabajos realizados en el mundo científico que tienen como enfoque la detección de mentiras por medio de imágenes térmicas.

En(Fendt & Fanselow, 1999)se reportó la existencia de un estado de miedo condicionado en animales y seres humanos cuando está presente una señal amenazante, estado que proporciona una reacción asociada a la supervivencia mediante la activación de una gama de comportamientos de protección, resumidos en una serie de señales neuroanatómicas y neuroquímicas que no pueden ser ocultadas, lo que permite la identificación de estados de miedo y ansiedad.

En (Fujimasa, Chinzei, & Saito, 2000)se reportó la posibilidad de detectar, de manera no invasiva, distribuciones de muchas funciones fisiológicas a partir de imágenes térmicas en el espectro infrarrojo de la superficie de la piel, para lo cual desarrollaron algoritmos para la detección de anomalías estáticas o cambios transitorios de algunas funciones fisiológicas como: la tasa de flujo sanguíneo de la piel, el volumen de sangre en los lechos vasculares cutáneos y subcutáneos, y las actividades del sistema nervioso simpático.

En(I Pavlidis et al., 2000)se planteó una idea para detectar estados de ansiedad, estados de alerta, y/o temor en interrogados involucrados en actividades ilegales, mediante el análisis de imágenes térmicas en donde se detectan la distancia entre patrones faciales. Adicionalmente, se describe el diseño y el protocolo experimental usado para la validación de los resultados.

En(I Pavlidis & Levine, 2001)se describió un nuevo método para respaldar las pruebas del polígrafo usando análisis de imágenes térmicas, basado en

correlación fisiológica y clasificación de patrones. De esta manera lograron clasificar con el método del vecino más próximo a un sujeto como engañoso o no engañoso. En este trabajo se realizó un análisis sobre el área peri-orbital, ya que investigaciones previas identificaron que esta zona es el área facial más afectada por la redistribución del flujo sanguíneo durante los estados de ansiedad.

En (I Pavlidis & Levine, 2002) se propone un sistema termográfico para adicionar un canal de información al polígrafo tradicional, como alternativa para incrementar el desempeño de acierto. El sistema se basa en el énfasis visual o mejoramiento del contraste de las zonas más irrigadas en el rostro por la sangre para luego estimar una imagen con información de flujo sanguíneo a través de un modelo derivado de su investigación. De esta manera, la clasificación se realiza a partir de la pendiente de incremento en el flujo sanguíneo promedio.

En (Garbey, Merla, & Pavlidis, 2004) se presentó un método para la estimación de la velocidad del flujo sanguíneo y la posición de los vasos sanguíneos a partir de videos termográficos, a partir de un modelo de transferencia de calor que refleja los procesos termo-fisiológicos en la región de piel próxima a un vaso principal.

En (Zhu, Tsiamyrtzis, & Pavlidis, 2007) se propuso una fuente diferente de información psicofisiológica para la detección del engaño: la frente. Se mostró que el músculo corrugador en la frente es más activo que de costumbre cuando el individuo experimenta estrés sostenido. Además, se describió un método de segmentación basado en contornos activos para supervisar la firma térmica del tejido cutáneo de la frente, y reportando un 76,3 % de éxito en la clasificación de estados de engaño.

En (Shastri, Tsiamyrtzis, & Pavlidis, 2008) se propuso un método para localizar la huella térmica de los complejos arterio-venosos faciales y oftalmológicos en el área peri-orbital. Esta huella se utilizó para extraer la señal térmica media con el

tiempo (señal peri-orbitaria) y se demostró que la señal peri-orbitaria se asocia a respuestas del sistema nervioso autónomo, y que cambia significativamente con la aparición de un esfuerzo instantáneo. El método propuesto permitió la extracción precisa y coherente de esta señal, beneficiando en primera medida las aplicaciones de la psicología computacional y la detección de engaño.

En (Zhu, Tsiamyrtzis, & Pavlidis, 2008) se reportó que el estrés mental está altamente correlacionado con la activación del músculo corrugador en la frente. Los vasos que suministran sangre al músculo corrugador, son los vasos supra-orbitarios. La velocidad del flujo sanguíneo en estos vasos puede medirse indirectamente a través de la intensidad de la emisión de calor de sus segmentos. Sin embargo, la segmentación de las huellas térmicas de los vasos supra-orbitales constituye un reto técnico debido a que la difusión térmica las hace borrosas.

En (Yuen et al., 2009) se presentó una forma en la que pueden usarse para la detección del estrés de forma remota, los métodos de imágenes electro-ópticas (EO) como las imágenes térmicas e hiperespectrales, y, demostraron que zonas como la frente, el cuello y la mejilla también muestran bajas temperaturas de la piel dependiendo del tipo de estrés que se presente. En el caso de la frente, aparecieron patrones térmicos característicos según el tipo de factor estresante, ya sea físico o emocional.

En (Jain, Tan, Li, Technologies, & Park, 2012) se describió un sistema de detección de mentiras no invasivo basado en termografía ante un interrogatorio de Conocimiento Culpable (GKT). Para simular la culpa, los sujetos fueron instruidos para robar un anillo (*mock crime*) antes de su llegada al laboratorio.

Para la detección de mentiras por termografía, eligieron una ventana (50x100 píxeles) como región de interés (ROI), que incluye los dos conductos lagrimales. Para cada conducto, se asocia un recuadro que corresponde a la temperatura

media del 10% de los píxeles más calientes de esta zona, lo cual representa los cambios de la temperatura media de los vasos sanguíneos en las esquinas interiores de los dos ojos.

Para obtener el patrón de comportamiento de las señales térmicas ante una mentira, se realiza una comparación de la evolución térmica con las señales poligráficas, de este modo, se logró una tasa de acierto de 83,5% en la detección de mentiras.

En (Owayjan, Kashour, Al Haddad, Fadel, & Al Souki, 2012) presentaron el diseño y desarrollo de un Sistema de Detección de Mentiras utilizando micro-expresiones faciales. Se trata de un sistema de visión en el espectro visible automatizado, diseñado e implementado usando LabVIEW. Los resultados muestran que este sistema puede ser utilizado para interpretar ocho expresiones faciales: felicidad, tristeza, alegría, ira, miedo, sorpresa, disgusto y desprecio, y para la detección de mentiras logra una tasa de acierto del 85%.

1.3 Problema

La falta de certeza en dispositivos tecnológicos para determinar la validez o falsedad en las respuestas humanas, determina el siguiente problema: ¿Cuál es el sistema que permite una aproximación a la detección de mentiras por análisis de imágenes térmicas de rostros durante un interrogatorio?

Este sistema debe tener las siguientes características:

- Capturar una serie de imágenes térmicas del rostro durante el interrogatorio.
- Determinar de forma automática el rostro del interrogado.
- Establecer si el sujeto está mintiendo o no.

Adicionalmente este sistema necesita de un carácter cuantitativo que permita determinar su efectividad, respecto a si el interrogado miente o no, permitiendo de esta forma establecer sus alcances y limitaciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Implementar un sistema de visión artificial para realizar una aproximación a la detección de mentiras mediante el análisis de imágenes infrarrojas del rostro.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar y establecer la configuración del sistema de visión por infrarrojo para la detección de mentiras.
- Establecer las principales características térmicas del rostro que puedan servir de indicadores de una mentira.
- Desarrollar un algoritmo para el análisis de las imágenes infrarrojas de rostros y de detección de mentiras.
- Establecer un protocolo de pruebas para validar el sistema logrado y sus limitaciones.

1.5 Organización del Trabajo de Grado

Este documento está organizado en 7 capítulos y 6 anexos. En el capítulo 2 se presenta el marco teórico general relacionado con la realización de este trabajo, un estudio comparativo de las zonas del rostro candidatas para la detección de

mentiras, realizando la selección de una de ellas para la realización de este trabajo, también se realiza un estudio comparativo de los experimentos psicológicos de provocación de ansiedad e incitación a mentir recreables, para seleccionar los experimentos a realizar en el trabajo. En el capítulo 3 se realiza la descripción de la plataforma de experimentación utilizada. En el capítulo 4 se realiza una descripción detallada de los experimentos realizados, así también del protocolo para la captura de imágenes usado. En el capítulo 5 se muestran los procedimientos de experimentación, segmentación, seguimiento, obtención de curvas de temperatura, extracción de características y clasificación, así como los resultados de clasificación para los experimentos propuestos. En el capítulo 6 se presentan los alcances y limitaciones del sistema propuesto. Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

En este capítulo se explica el concepto general de la termografía infrarroja, también se muestran las condiciones para su aplicación al igual que sus ventajas y limitaciones, del mismo modo se ilustra la aplicación de la termografía infrarroja a la medicina y a la psicología,

Adicionalmente, se establece la psicofisiología de la mentira, haciendo una revisión de las reacciones del cuerpo ante un estado de ansiedad relacionado con el proceso de mentir, además de revisar las técnicas de detección de mentiras y las técnicas de interrogación.

Por último se muestra la relación de los estados de ansiedad con el aumento de la temperatura y la biometría.

2.2 Termografía infrarroja

2.2.1 Introducción

La *termografía infrarroja* (TI) corresponde a una de las categorías en las que se clasifican las técnicas de *evaluación o ensayo no-destructivo* (END o NDT en inglés) de materiales, y se define como la técnica que emplea la distribución de temperatura sobre la superficie de un cuerpo, captada mediante el sensado de su radiación infrarroja, con el fin de detectar y estimar las características de las peculiaridades o fenómenos que yacen bajo dicha superficie (Restrepo, 2013). En

este sentido, la termografía puede usarse bajo dos esquemas: la *termografía pasiva*, en la que se trabaja con la radiación térmica natural de un sistema generada por su propio funcionamiento o por su interacción con otras fuentes y flujos de calor; y la *termografía activa*, en la cual se requiere calentar previamente el material o el sistema bajo estudio, con el fin de tener la posibilidad de captar diferencias de temperatura que de otro modo, en condiciones naturales, no se tendrían o serían imperceptibles (Maldague, 2001).

La mayoría de aplicaciones médicas de la termografía corresponden al esquema pasivo, puesto que el cuerpo humano genera calor autónomamente a través del metabolismo, y su intensidad y distribución son indicadores de fenómenos fisiológicos internos.

2.2.2 Condiciones para la Aplicación de la Termografía

Para lograr el objetivo de la termografía se deben cumplir los siguientes requisitos (Benitez-Restrepo, 2008).

- a) Que exista una diferencia de temperatura entre los objetos o la zona de interés y su entorno inmediato, diferencia que recibe el nombre de Contraste Térmico.
- b) Que las peculiaridades que se pretendan hallar tengan propiedades físico-térmicas diferentes al del material inspeccionado, siendo ésta la condición básica para que sea posible un contraste térmico.
- c) Que se cuente con el equipo adecuado para la adquisición de las imágenes infrarrojas (sensores ópticos), y en el caso de la termografía activa, para la estimulación térmica del espécimen.

- d) Que el personal encargado de las pruebas experimentales y de la interpretación de las imágenes tenga un conocimiento competente en termografía y en el área específica dentro de la cual la TI se esté aplicando como herramienta de evaluación.

2.2.3 Ventajas y Limitaciones de la Termografía

En general, las técnicas de termografía pasiva ofrecen varias ventajas así como adolecen de ciertas limitaciones, algunas superables, que se citan enseguida:

Ventajas:

- La TI constituye una técnica no invasiva y tampoco requiere contacto con el material inspeccionado.
- Facilidad relativa en la implementación de las técnicas experimentales, así como la rapidez en la inspección.
- Solo se requiere el examen sobre la superficie.
- No hay exposición a radiaciones peligrosas para la salud humana.
- Facilidad relativa en la interpretación de las imágenes térmicas.
- En ciertos casos constituye la única técnica que entrega resultados satisfactorios.

Limitaciones:

- Los diferentes valores de emisividad según el material o las condiciones del objeto inspeccionado afectan las mediciones realizadas.
- Las pérdidas de calor por convección o radiación causan perturbaciones en el contraste térmico.

- La absorción de la radiación infrarroja en la atmósfera hace que las distancias de sensado estén en un rango de muy pocos metros, y que exista cierta sensibilidad a las condiciones ambientales.
- Dependiendo de la aplicación, podría necesitarse una rata considerable de adquisición de imágenes térmicas debido a la naturaleza transitoria de los contrastes térmicos.
- Se requiere una línea de vista entre el sensor infrarrojo y la superficie examinada.
- El pobre contraste o una baja SNR pueden provocar falsas alarmas.

2.2.4 Aplicaciones de la termografía

Esta técnica no solo resulta ser de gran importancia para la industria y la construcción, si no también existen otras aplicaciones que la posicionan como innovadora y relevante.

Por una parte, encontramos su aplicación a la veterinaria un área de conocimiento donde está teniendo bastante acogida (Turner, 2001). Esta técnica es usada como indicador de enfermedades respiratorias en bovinos o de la rabia en mapaches, pero los esfuerzos investigativos están concentrados en la detección temprana de enfermedades que afectan a los equinos como tendinitis o fracturas por estrés permitiendo una detección temprana antes de que el caballo presente síntomas (Eddy, Van Hoogmoed, & Snyder, 2001). De manera similar la termografía está siendo empleada para conocer si se aplican procedimientos fuera de reglamento para perjudicar el rendimiento de los caballos en competición. Las limitaciones de la técnica en este campo son amplias, pero representa un valor importante para el diagnóstico si se es complementada con otras como la radiología o los ultrasonidos.

Otra de las aplicaciones de la termografía es su aplicación a la ciencia forense, en donde se ha desarrollado una técnica de data de muerte forense basada en la temperatura de los microorganismos que pueblan un cadáver denominada termo-microbiología (Fernández Corcobado, 2009). Esta técnica establece correspondencias entre los parámetros de crecimiento micro orgánico sobre restos cadavéricos y la data de muerte de éstos en relación con la temperatura de los mismos. Su estudio mediante la termografía permite establecer un indicador reduce el margen de error en cuando de estimar el momento en el que se produjo la muerte se trata.

Sin embargo más allá de examinar que esta técnica tiene aplicaciones relevantes fuera de la industria y la construcción , es importante resaltar la relación entre la temperatura humana y los cambios fisiológicos, que se lleva investigando desde que se estudia la medicina (E.F.J. Ring, 2007). La medición de la fiebre, el desarrollo de escalas e instrumentos para determinar el calor, como los de Celsius o Fahrenheit y el termómetro, son avances de la medicina y la física que posibilitan los estudios actuales sobre el calor que desprendemos, su significado y las utilidades que pueden desarrollar mediante su manipulación.

2.2.5 Termografía aplicada a la medicina

La historia ubica al médico Carl Wunderlich como pionero en la investigación en este campo (E.F.J. Ring, 2007), cuando en 1871, concentró sus esfuerzos en medir con un termómetro las variaciones de temperatura alrededor de 37°C en pacientes sanos y enfermos. En la década de 1960 se midió mecánicamente, por primera vez, la diferencia entre dos temperaturas por medio de un termograma; sin embargo el estudio más concluyente que sitúa la termografía como una técnica útil consistió en un diagnóstico con base en la medición de asimetrías térmicas entre los lados del cuerpo y la presencia de puntos calientes en el tronco (E.F.J. Ring, 2007).

En los estudios de Uematsu en 1986, se determinó como una anomalía térmica cuando hay una diferencia de 1⁰C de asimetría en el 25% de la zona del cuerpo analizada, lo que está asociado a cambios en el volumen de sangre en dicha zona; esta conclusión puede usarse en el diagnóstico inicial de patologías.

Con la instalación de una cámara térmica en algunos centros médicos hospitalarios como el de Bath (Plassman & E.F, 1997) se comenzaron a monitorear de manera sistemática los cambios de temperatura asociados a la inflamación en patologías como la artritis reumatoide y su tratamiento farmacológico (Arumalla, 2009).

En la medicina hay una serie de patologías que han logrado ser estudiadas a profundidad gracias a la termografía, principalmente aquellas relacionadas con la homeóstasis, en donde una variación de pocos grados indica una disfunción de los procesos químicos en el cuerpo (Jones, 1998).

Para patologías febriles, de manera singular aquellas que se derivan de enfermedades que provocan brote o epidemia localizada, la termografía representa un instrumento que ayuda a detectar en grupos de varias personas modificaciones de la temperatura anormales que pueden ser indicativos de la existencia de estas enfermedades. Durante el brote de SARS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo) en China en 2002, la termografía significó una técnica eficaz para la detección masiva de posibles personas infectadas (Chiu et al., 2005).

Actualmente, las aplicaciones más directas de la termografía en la medicina se dirigen hacia la evaluación del riesgo, a añadir información diagnóstica, a la monitorización de tratamientos y a los indicadores de pronóstico; y en la detección

de alteraciones metabólicas como: en vasculopatías, y en dolencias inflamatorias, traumáticas, reumáticas e infecciosas.

Los cuadros de dolor lumbar crónico también pueden beneficiarse de la termografía, a través del estudio de los denominados puntos “Trigger” (TRP), áreas de hiper-irritabilidad que al ser presionadas producen dolor, distorsiones de la propiocepción ó fenómenos autonómicos (Pichot, 2001).

En patologías como la artritis inflamatoria la termografía resulta ser de mucha utilidad. La inflamación puede ser detectada por un cambio de temperatura en la zona afectada, sensible al tacto. La termografía ayuda a medir la eficacia de las dosis de antiinflamatorios no esteroideos, aportando información sobre los cambios de temperatura en la zona afectada (E F J Ring & Ammer, 2012). En la Osteoartritis la termografía está ayudando en la detección cuando se encuentran diferencias de más de 0.5°C en la temperatura de las rodillas (Hildebrandt & Raschner, 2009).

La termografía también es aplicada para valorar el proceso de mejora de las lesiones en patologías relacionadas con el aparato locomotor, como los espasmos musculares o el estiramiento o rotura parcial de los ligamentos. La mayoría de las aplicaciones de la termografía se dan en los campos de la neurología, cardiología, reumatología, dermatología, oncología, neonatos, oftalmología y cirugía(Jones, 1998). Además se utiliza la termografía y se investiga con ella en: evaluación de test de alergia, carcinomas, extensión de melanomas, trombosis venosas, gravedad de quemaduras, pie diabético, cambios en la glándula tiroidea, desarrollo de la neumonía, empleándose también para medir la evolución de algunos tratamientos, como las terapias de masaje que sustituyen tratamientos farmacológicos, el impacto del ejercicio físico o tratamientos con crioterapia (Ring & Ammer, 2012).

La aplicación con mayor investigación, y quizás la más importante es la que se está desarrollando en la detección temprana de tumores. En el cáncer de mama hay estudios que miden el contagio por calor de las zonas anexas al tumor (Ring & Ammer, 2012).

En conclusión, la termografía es una técnica procedente de la física que la medicina ha aprovechado para conocer más a fondo los cambios fisiológicos del cuerpo humano. La epidermis utiliza el intercambio de calor con el exterior para mantener la homeóstasis de los órganos internos, de tal forma que muchos de los cambios en estos órganos pueden modificar ese intercambio.

2.2.6 Termografía aplicada a la psicología

La aplicación de la termografía en medicina ha hecho posible que otras disciplinas, como la psicología, se beneficien del conocimiento de la correlación entre el cambio de temperatura corporal y la fisiología de los procesos psicológicos. En este apartado se describen algunas aplicaciones de la termografía en el estudio de procesos fisiológicos, emocionales o cognitivos en el campo de la psicología.

Algunos investigadores han estudiado los efectos de la carga mental, y han encontrado que la termografía ayuda en la medición confiable de fenómenos fisiológicos (Agnew & Wise, 2008)(Or & Duffy, 2007). La carga mental está asociada a la atención que una persona debe prestar al realizar una tarea (Hart & Staveland, 1988). Para evaluar la carga mental se han empleado registros neuromusculares, la variabilidad del ritmo cardíaco, la variación del tamaño de la pupila o los cambios en la presión sanguínea, que aun siendo métodos invasivos sirvieran para poder inferir y cuantificar el estado del sujeto durante una situación de carga mental. Los estudios termográficos en este campo asocian la carga

mental con los cambios en la temperatura facial (respuesta fisiológica). Se ha evidenciado que las variaciones de temperatura en la nariz y la frente representan situaciones de carga mental alta (Genno et al., 1997); no obstante, es imprescindible prestar una especial atención en la metodología, que no solo considera la definición de la zona y la medición de la temperatura como tal, sino también el período temporal en el que se toma (que incluya instantes inmediatamente antes e inmediatamente después de la condición experimental).

Khan, Ward & Ingleby en 2006 desarrollaron experimentos relacionados con la evaluación de estados afectivos mediante termografía, mostrando como resultado las variaciones de la intensidad de temperatura en sujetos que expresaban estados de felicidad y tristeza. El sistema desarrollado se basó en la captura de la temperatura facial para cada estado emocional, para luego extraer los rasgos faciales diferenciadores de cada estado afectivo.

2.3 Psicofisiología de la mentira

2.3.1 Introducción

El diccionario de la Real Academia de la lengua española define la mentira como: *“la expresión o manifestación contraria a lo que se sabe, se cree o se piensa”*, lo que abarca: una falsedad genuina, una verdad selectiva, exagerar una verdad, o incluso, manifestar una verdad cuando la intención es engañar o causar una acción en contra de los intereses de quien o quienes son objeto de la mentira. (Whiten & Byrne, 2010) definen el comportamiento engañoso como aquel *“acto del repertorio de conducta normal de un individuo, usado con baja frecuencia y en contextos diferentes a los que se usa de forma habitual. De este modo, es probable que otro individuo familiar mal interprete la conducta de forma que el actor tiene ventaja”*.

El interés investigativo en la detección del engaño ha dirigido sus esfuerzos a la búsqueda de manifestaciones asociadas al mentiroso en el momento de cometer la mentira. De este modo, la detección de la mentira se centra en descubrir indicadores psicofisiológicos, conductuales y/o paraverbales que puedan funcionar como “detectores de mentirosos”(Hernández Fernaud, 1999).

En (Yuille, 1989)se diferenciaron dos líneas investigativas generales sobre la detección de la mentira: la búsqueda de cambios psicofisiológicos, y la búsqueda de cambios en los movimientos corporales, expresión facial, voz, etc. Este trabajo se enmarca en la búsqueda de cambios psicofisiológicos cuantificables medibles con termografía.

2.3.2 Estudio de la mentira

La detección de la mentira ha sido objeto de investigación desde el mundo antiguo y ha preocupado en igual medida a filósofos, a jueces y al hombre común (Zagorin, 1996). Aunque en la antigua Grecia existía un dios de la mentira llamado Hermes, no existe ninguna palabra en su lengua cuyo significado sea mentir o mentira, sino que comparte su significado con equivocarse (*pseudesthai*) o equivocación (*pseudos*). El primer filósofo en hacer énfasis en la distinción moral entre mentir y equivocarse fue Platón (427-347 a.C.), considerando inferior a aquel que mentía (Sommer, 1995).

San Agustín (354-430 d.C.) desarrolló el tema de la mentira en su escrito “*De Mendacio*” (*Sobre la mentira*). En él, manifiesta su contraposición con la definición de mentira, que hasta el momento era definida sólo como decir lo contrario de lo que uno piensa. Esta definición de mentira introduce uno de los requisitos que hoy se consideran fundamentales para concluir que se trata de una mentira: la intencionalidad. En consecuencia, se incluyó la noción de conciencia en la

definición de mentira; conciencia de lo que es cierto, total o parcialmente, sin considerar los errores y las malas interpretaciones como mentiras (Barnes, 1994).

A finales del siglo XIX, en el ámbito de los ilusionistas, (Jastrow, 1900) concluyó que el éxito de ilusionistas y mentalistas dependía en gran medida de la ignorancia, las expectativas, la sugestionabilidad y la atención redirigida de los espectadores. En la misma línea, (Triplett, 1900) explicó que el engaño producido por los ilusionistas se basa en dos reglas fundamentales: 1) no revelar nunca donde está el truco, y 2) no repetir un truco en la misma ocasión. Otros autores interesados por los ilusionistas y mentalistas fueron Dessoir y Binet. Dessoir afirmaba que el truco de ellos está en convencer a los espectadores de algo no real, es decir, inducirles a pensar lo que ellos desean (Dessoir, 1893). Binet matiza estas afirmaciones asumiendo que el público desea ser engañado (Binet, 1896).

Desde ese momento las corrientes psicológicas concentran sus esfuerzos en el conductismo, para el cual es necesario reducir el campo de investigación a aquellas conductas objetivas y observables, haciendo que la investigación sobre la mentira se desarrolle de forma paralela en animales (Woodruff y Premack, 1979) (Dennett, 1981) (Chandler & Afifi, 1996) (Núñez & Rivière, 2014) y humanos (Mitchell & Thompson, 1986). En el primer caso, la investigación va a estar concentrada en el engaño. En humanos, la investigación se va a dirigir al estudio de los correlatos "cuantificables" asociados a la mentira (Hernández Fernaud, 1999).

Whiten y Byrne (1988) agruparon los tipos de mentiras en cinco grandes categorías que van, desde ocultar información hasta el uso de herramientas sociales para engañar, Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Resumen de la taxonomía de mentiras propuesta por Whiten y Byrne (1988).

Tipo de mentira	Definición
Ocultación	El emisor oculta algo al receptor.
Distracción	El emisor desvía la atención del receptor hacia algo sin importancia real.
Creación de imagen	El emisor simula una situación falsa.
Uso de herramientas sociales	El emisor utiliza una herramienta social en su propio beneficio.
Uso de un líder de mentira	El emisor desvía la atención del receptor hacia un tercero.

2.3.3 Reacciones fisiológicas al mentir

Históricamente se pueden establecer diferentes situaciones y culturas que han identificado mentirosos basados en sus manifestaciones psicofisiológicas. En el año 900 AC en India, se consideraban culpables los individuos que su ruborizaban al negar una situación. En Siria, en el año 300 AC, se determinó que el príncipe *Antíoco I Sóter* estaba enamorado de su madrastra por las alteraciones en su ritmo cardíaco (Ben-Shakhar & Furedy, 1990). En ambos casos, existe una manifestación psicofisiológica: la vasodilatación facial y el ritmo cardíaco, respectivamente, que delata al “mentiroso”.

Con el surgimiento de la Psicofisiología Forense, se describe una secuencia de eventos que ocurren cuando un ser humano miente, a saber:

*estímulo → pensamiento → emoción →
adecuación → respuesta anatomofisiológica*

Así mismo, se producen en el organismo de quien miente, reacciones fisiológicas (presión sanguínea, ritmo cardíaco, respiración y conductancia de la piel) y emocionales espontáneas, de intensidad variable, que de ninguna manera pueden controlarse en un corto tiempo.

Para explicar la aparición de respuestas fisiológicas asociadas a la mentira (Ben-Shakhar & Furedy, 1990) propusieron dos categorías de teorías explicativas: motivacional-emocional, y cognitiva.

a) *La teoría motivacional-emocional* se basa en las contribuciones de tres teorías psicológicas clásicas: la teoría de la respuesta condicionada, la teoría del castigo y la teoría del conflicto (Zuckerman, DePaulo, & Rosenthal, 1981).

- La teoría de la respuesta condicionada expone la aparición de las respuestas fisiológicas autónomas puesto que la pregunta a la que el individuo da una respuesta falsa (mentira) está condicionada a una experiencia poco honesta y traumática, al momento de cometer la acción por la cual está siendo cuestionado. Esta explicación no es aceptada por completo ya que no justifica por qué en situaciones de laboratorio aparecen respuestas fisiológicas asociadas a las mentiras.
- La teoría del castigo expone la aparición de las manifestaciones fisiológicas al responder a las preguntas debido a que se es consciente con anticipación del castigo que se impondrá al mentiroso si es descubierto. Esta teoría tampoco logra explicar los resultados de laboratorio.
- La teoría del conflicto expone que el motivo de que aparezcan alteraciones fisiológicas cuando una persona miente se debe a la competición que se produce entre dos tendencias contradictorias, decir la verdad o la mentira.

Aunque la teoría motivacional-emocional tiene fundamentos psicológicos determinantes, no explica la distinción entre sujetos sinceros y mentirosos cuando éstos no están motivados para mentir (Davidson, 1968) (Elaad & Ben-Shakhar, 1989) (Horneman & O’Gorman, 1985) (Horvath, 1978), cuando no tienen la

intención de ocultar sus respuestas(JANISSE & Bradley, 1980) o cuando no saben que el polígrafo está en funcionamiento(THACKRAY & ORNE, 1968).

Con el fin de superar las limitaciones de las teorías motivacionales-emocionales surge la segunda categoría explicativa, esta vez, desde una perspectiva cognitiva.

b) La *teoría cognitiva* está basada en factores relacionados con la percepción y el procesamiento de las preguntas realizadas al sujeto. Existen tres planteamientos teóricos dentro de esta línea teórica: la respuesta de orientación, nivel de procesamiento de las preguntas y su clasificación por dicotomía.

- Berlyne, basado en la idea de respuesta de orientación, afirma que un cambio en el tipo de estimulación provoca en los sujetos una alteración fisiológica. Asimismo, cuando al sujeto se le presenta un ítem relevante entre un grupo de irrelevantes, se producirá una reacción fisiológica(Berlyne, 1960).
- En (Waid & Orne, 1978)y (Waid & Orne, 1981)se afirmó que los sujetos prestan mayor atención a las preguntas relevantes y las procesan en mayor profundidad, que las preguntas irrelevantes, basándose en el grado de procesamiento que se realiza sobre las preguntas para elaborar las respuestas.
- En (Ben-Shakhar, 1977) y (Lieblich, Kugelmass, & Ben-Shakhar, 1970)se consideró la coexistencia de dos factores relevantes para explicar las reacciones fisiológicas sujetas al proceso de mentir: la respuesta de orientación y la habituación. Esta hipótesis toma como punto de partida que

los estímulos se agrupan en relevantes e irrelevantes, de modo que se habitúan a las preguntas dentro de una misma categoría disminuyendo su respuesta fisiológica a las mismas. Por ende, los sujetos sólo prestan atención si la pregunta es relevante o no, e ignoran el resto de sus características.

Las técnicas de detección de la mentira desde la psicofisiología han avanzado desde las simples apreciaciones, a sistemas de medición más sofisticados como el polígrafo.

2.3.4 El polígrafo

A principios del siglo XIX con el uso del pletismógrafo, el criminólogo italiano Lombroso midió el pulso cardiaco y el volumen sanguíneo durante los interrogatorios criminales. No obstante, en 1917, William Moulton Marston quien se considera el padre del polígrafo moderno, afirmó que existe una alta correlación entre las mentiras y los cambios en la presión sanguínea, siendo el primero en usar el término “detector de mentiras”.

Más tarde, en 1921, John A. Larson retomó el trabajo de Marston y construyó el precursor del polígrafo moderno, registrando la presión sanguínea, el ritmo cardiaco y la respiración, aunque siempre fue consciente de la posibilidad de errores. Debido a esto Larson resalta que se debe ser muy prudente a la hora de utilizar las pruebas poligráficas en juicios criminales (Clifton, 1991; Kleinmuntz & Szucko, 1984).

En 1932, Emilio Mira recopiló los descubrimientos de Larson y crea una máquina que permite obtener datos gráficos sobre la situación emocional y el control motor del interrogado; considerándolos rasgos cortos y lentos del diagrama como un indicio de que el sujeto miente (Carpintero Capell & Rechea Alberola, 1998).

Posteriormente, Cleve Backster estandarizó el sistema al definir una escala numérica para puntuar los registros, de modo que diferentes examinadores llegasen a la misma conclusión siguiendo un mismo protocolo, propiciando la fiabilidad del polígrafo (Clifton, 1991).

2.3.5 Otros métodos para la detección de mentiras

Numerosos estudios de la actualidad muestran que medidas directas del procesamiento cognitivo, como las ondas cerebrales, pueden convertirse en una herramienta altamente calificada para deducir la culpabilidad de un interrogado. La onda P300 parece ser la más procedente para realizar esta función, ya que puede ser excitada bajo condiciones experimentales concretas.

Las ondas cerebrales presentan dificultad en su captura por ser señales débiles y suelen mezclar diferentes tipos de procesos cognitivos, además de no poseer un comportamiento estándar entre diferentes individuos.

Sin embargo, en (Gao, Rao, Yang, & Wei, 2012) se propone un método de detección de mentiras haciendo uso del análisis de componentes independientes (ICA) para separar las señales de EEG, un algoritmo de reconstrucción para reconocer los componentes P300 automáticamente, y luego reconstruir el P300 en el electrodo *Pz*. Se extrajeron dos grupos de características basadas en los dominios del tiempo y frecuencia de las señales reconstruidas *Pz*. Se utiliza SVM para clasificar a los dos tipos de vectores de características. Este trabajo logra una tasa de acierto en la detección del 82,45%, lo cual sugiere que el método presentado puede detectar con eficacia las respuestas engañosas y veraces.

También en (Xiong et al., 2014) se propone un modelo de clasificación basado en un análisis de componentes independientes (ICA) y una “*Extreme Learning Machine*” (ELM) para detectar la mentira. En primer lugar, el análisis ICA se usó para identificar automáticamente los ICs P300. A continuación, las características de tiempo y de frecuencia se extrajeron de las ondas P300 reconstruidas. Por último, se utilizaron dos tipos de características para entrenar la ELM, para la comparación se hace uso de una red con aprendizaje tipo “*backpropagation*” (BPNN) y una máquina de soporte vectorial (SVM). El número óptimo de P300 ICs y los valores de parámetro clasificador fueron optimizados por los procedimientos de validación cruzada. Los resultados experimentales muestran que el método presentado logra un porcentaje de acierto del 95,40%.

De manera similar en (Abootalebi, Moradi, & Khalilzadeh, 2009) basado en la onda P300 y el test de conocimiento culpable (GKT) se extiende un método de reconocimiento de patrones introducido previamente. En esta extensión se amplía conjunto de características y también se emplea un método para la selección de características óptimas. Para la evaluación del método, varios sujetos pasaron por un interrogatorio GKT diseñado para la situación, registrando sus respectivas señales cerebrales. A continuación, se puso en práctica un enfoque de detección P300 basado en algunas de las características y un clasificador estadístico. El conjunto de características óptimo fue seleccionado mediante un algoritmo genético de un conjunto de características primarias incluyendo algunas de las características morfológicas, frecuencia y wavelet, este fue utilizado para la clasificación de los datos. Las tasas de detección correcta en sujetos culpables e inocentes fueron del 86%.

2.3.6 Técnicas de Interrogación

La confiabilidad y eficacia en la detección de la mentira, no solo obedece a los avances tecnológicos que permitan medir con mayor exactitud las funciones psicofisiológicas, sino que es de vital importancia el protocolo de interrogación y el papel del interrogador. Por tal motivo, y enfocado en la aplicación del polígrafo, ha habido una evolución en la forma de detectar con mayor eficacia y confiabilidad la mentira a través del polígrafo (Lykken, 1998).

Los procedimientos de interrogación parten de la idea de que la respuesta fisiológica ante las preguntas críticas del interrogador es desmesurada con respecto a la respuesta frente a las preguntas de control introducidas al inicio del interrogatorio, creando un indicio de culpabilidad del interrogado.

Un referente de este tipo de técnicas de interrogación es la técnica *Relevante-Irrelevante (RIT)*, en donde se comparan las respuestas fisiológicas ante preguntas relevantes, con aquéllas frente a preguntas irrelevantes de la vida cotidiana y que pueden verificarse fácilmente. Las preguntas irrelevantes tienen como objetivo establecer una línea base (*arousal*) del interrogado. Se cree que la gran diferencia existente entre los dos tipos de preguntas induce a que tanto las personas culpables como las inocentes respondan de manera distinta ante las preguntas relevantes e irrelevantes, pues se introduce un alto contenido emocional a las personas inocentes.

Otra técnica es la Técnica de la pregunta control (CQT), desarrollada por Reid en 1947, en la que se mantienen tanto las preguntas relevantes como las irrelevantes, pero se añaden preguntas de control sobre transgresiones similares al motivo del interrogatorio para provocar un alto nivel base en los interrogados sinceros. Estas preguntas son realizadas de modo tal que por conveniencia social el interrogado se sienta obligado a responderlas mintiendo.

Por ejemplo, al estar indagando sobre un robo se menciona que algunas de las preguntas del interrogatorio no están directamente relacionadas con el robo del que se le acusa, pero que éstas permitirán distinguir si él es la clase de persona que sería capaz de cometer un delito de ese tipo. Así, se pretende poner a la defensiva al interrogado, con el objetivo de que mienta respondiendo “NO” si la pregunta de control fuese “En sus primeros 18 años de vida, ¿alguna vez tomó algo que no le perteneciera?” (Ekman, 1993; Honts, Kircher, & Raskin, 1995).

De esta manera el procedimiento se basa en que un interrogado sincero estará más preocupado por las preguntas de control que por las relevantes relacionadas con un delito que no ha cometido, presentando mayor alteración fisiológica en las primeras. Por el contrario, un verdadero culpable se vería más alterado por las preguntas relevantes del delito del cual se le acusa (Clifton, 1991; W. Iacono, 1995; Lykken, 1998; Raskin & Podlesny, 1979).

En (Lykken, 1979) se ponen de manifiesto las falencias teóricas de esta técnica, rechazando que una persona que responda sinceramente a las preguntas relevantes sienta mayor arousal frente a las preguntas de control, y que una persona que miente en las preguntas relevantes sienta mayor arousal en éstas que en las preguntas de control. Afirma que es imposible predecir en qué preguntas una persona va a sentir mayor emoción, por lo que invalida ese argumento. Además, indica que cuando se diseñan las preguntas de control para que el sujeto se sienta obligado a mentir, se asume que éste efectivamente miente.

En (Lykken, 1959, 1960) se diseñó un procedimiento para la aplicación del polígrafo: el *Test de Conocimiento Culpable* (GTK). Esta técnica consiste en realizar preguntas con varias alternativas de respuesta relacionadas con aspectos

del delito que sólo conocen la policía, la víctima y el agresor. De acuerdo con lo anterior, si se indaga sobre el asesinato de Juan, algunas preguntas podrían ser:

¿El color de la vestimenta de Juan era rojo?

De esta manera si la pregunta se formula teniendo en cuenta que la respuesta verdadera a la pregunta sólo es conocida por el agresor, la pregunta sólo tiene sentido para éste y no para un interrogado inocente. Precisamente, un interrogado inocente no responderá diferencialmente ante el color verdadero de la vestimenta de Juan.

El Test de Conocimiento Culpable al realizar las comparaciones entre las respuestas a los ítems relevantes de cada pregunta, y las respuestas a los ítems irrelevantes, supone una base científica más sólida debido a que la única diferencia entre los ítems relevantes e irrelevantes está en la experiencia previa del interrogado culpable, mientras que para el interrogado inocente los dos tipos de ítems son equivalentes (Ben-Shakhar & Furedy, 1990; Furedy & Ben-Shakhar, 1991; Lykken, 1998).

El GKT, pese a tener detrás una base lógica más válida que la CQT (Elaad & Ben-Shakhar, 1989), no se utiliza prácticamente en campo, debido a que los interrogadores se encuentran convencidos de la validez de la CQT, que se requiere un arduo trabajo para construir un test con el nivel de detalle que requiere el GKT y la imposibilidad de usar el GKT si han sido expuestos los detalles relevantes de la situación sujeto de interrogación.

En (Bradley & Rettinger, 1992) durante la investigación de los efectos que puede tener conocer información relevante de la situación sujeto del interrogatorio, se plantea un procedimiento de interrogatorio que corresponde a una versión mejorada del GKT, el *Test de Acciones Culpables* (GAT). La mejora planteada

consiste en añadir preguntas sobre las acciones o la participación relacionada con los ítems relevantes; de esta manera, los interrogados culpables que conocen detalles del delito y participaron en él mentirán al respecto, mientras que los interrogados inocentes que conocen información sobre el delito se clasificarán como sinceros al responder a las preguntas sobre las acciones.

En (Honts et al., 1995) se detalla una versión del Test de la Pregunta Control que sopesa muchas de las críticas relacionadas con su validez y eficacia: el *Test de la Mentira Dirigida (directed-lie test)*. En este procedimiento se obliga al interrogado a mentir de manera explícita, sin la manipulación o presión del evaluador sobre el interrogado. La forma de aplicación consiste en que el entrevistador explica al interrogado que es necesario tener una muestra de sus registros fisiológicos cuando está mintiendo, de esta manera se realiza una pregunta básica, como ¿alguna vez ha dicho una mentira?, explicándole que cuando aparezcan este tipo de preguntas, debe responder mintiendo, debe pensar en alguna ocasión en la que mintió a alguien, debe ser consciente de que está mintiendo, y, por último, debe prestar atención a lo que siente, ya que estas respuestas serán de vital importancia para el resultado del interrogatorio.

El objetivo de esta versión del Test de la Pregunta Control es enfocar la atención del interrogado a las preguntas de mentiras dirigidas; de este modo, el presunto inocente mostrará mayores alteraciones en las preguntas dirigidas que en las relevantes, y el culpable parecerá con un patrón inverso, debido a que prestará mayor atención a las preguntas relevantes.

Independientemente de la técnica de interrogación aplicada, o de la sofisticación de la técnica de medición, el principio subyacente a ellos es común; al mentir se produce una reacción fisiológica que puede ser medida y evaluada. Para explicar cómo estas reacciones pueden ser cuantificadas con el uso de cámaras térmicas,

se analizara cuál es la relación de las reacciones fisiológicas de la mentira con la temperatura corporal.

2.4 Biometría y detección de Mentiras

2.4.1 Introducción

La biometría es el área de la ingeniería biomédica que trata sobre la medición de características relacionadas con la biología de los organismos vivos, ya sea a nivel de estructuras, de funcionamiento o de comportamiento. La biometría ha encontrado un rol de suma importancia como herramienta fundamental de muchos sistemas de seguridad relacionados principalmente con la banca, el comercio y los servicios fronterizos, sustentándose en su capacidad de identificar a individuos unívocamente, con una baja tasa de falsas alarmas. No obstante, los sistemas biométricos actuales, basados fundamentalmente en la medición de estructuras irrepetibles entre los seres humanos (como las huellas digitales, el iris o la red capilar sanguínea), no tienen en cuenta la posibilidad de que el individuo cuya información biométrica es necesaria para acceder a un servicio restringido, sea obligado a someterse a la valoración biométrica del sistema de seguridad, convirtiéndose en el medio para conseguir un acceso no permitido (De Santos, 2011).

2.4.2 Relación de la temperatura con la ansiedad y las alteraciones del estrés

Muchos investigadores han volcado su atención en concebir técnicas adecuadas para la detección y valoración de estados de ansiedad y estrés, dado que resulta muy difícil para un sujeto controlar las reacciones fisiológicas que se generan, brindando una alternativa de identificación de situaciones en las que la información biométrica haya sido entregada de forma forzada, o en las que, incluso, un

individuo tenga intenciones de atentar contra la seguridad o la integridad de las personas. Aunque el nivel de estrés depende no sólo del tipo de situación desafiante a la que se enfrente una persona sino también de su propia percepción de la demanda de esfuerzo, existe un conjunto de consecuencias biológicas más o menos comunes a todos los individuos y a las diversas situaciones (Nogareda, 1992); en este punto se encuentran dos enfoques de trabajo en cuanto al tipo de información biométrica adquirida:

- La detección de estrés basada en los cambios de comportamiento, como en (Andrén & Funk, 2005) donde se expone un sistema que opera a partir de la manera y de la velocidad en la que una persona escribe sobre un teclado, o en (Dinges & Venkataraman, 2007) donde se describe una detección de ansiedad basada en el reconocimiento de gestos faciales.
- La detección de estrés basada en señales fisiológicas, que por sí solas, o preferiblemente en una combinación de ellas, reflejen los efectos físicos de la reacción corporal ante una situación de estrés.

En este último enfoque, se ha focalizado el esfuerzo investigativo en las principales señales fisiológicas, a saber:

- Presión volumétrica de la sangre
- Respuesta galvánica de la piel (conductividad eléctrica)
- Dilatación de pupila
- Temperatura de la piel
- Ritmo respiratorio
- Electrocardiograma (ECG)
- Electromiograma (EMG)
- Electroencefalograma (EEG)

En la literatura puede encontrarse un buen número de trabajos realizados con el fin de detectar emociones y estados de ansiedad, generalmente a partir de la fusión de dos o más señales fisiológicas, como en (De Santos, 2011; Picard & Healey, 2000; Prendinger & Ishizuka, 2007; Sarkar & Smith, 2002; Zhai, Barreto, Chin, & Li, 2005), en donde también se hace uso de diferentes herramientas de inteligencia computacional (lógica difusa, redes neuronales, máquinas de soporte vectorial, clasificadores bayesianos) para determinar la presencia o no de un estado de estrés.

Aunque una de las motivaciones comunes en las investigaciones previas, conforme transcurren los años, es la de lograr concebir procedimientos biométricos de detección de ansiedad de carácter no-invasivo, aún la mayoría de los desarrollos se basan en sensores de contacto directo con el cuerpo. En ese sentido, la termografía infrarroja como técnica basada en la captura del calor irradiado por un cuerpo que genera energía térmica mediante algún mecanismo físico, en este caso, metabólico, brinda la oportunidad de desarrollar sistemas biométricos no-invasivos y de no-contacto. En este sentido, un sistema termográfico podría brindar discreción (importante para el aspecto de la seguridad) y confortabilidad para el sujeto bajo estudio. Otro enfoque de la detección de ansiedad se orienta hacia las aplicaciones de valoración psiquiátrica o de estrés laboral.

2.5 Estudio comparativo de zonas del rostro susceptibles a cambios de temperatura bajo el proceso de mentir

Diferentes investigaciones han demostrado la relación entre algunas funciones fisiológicas (tasa de flujo sanguíneo de la piel, volumen de la sangre en los lechos vasculares cutáneos y subcutáneos) y los cambios de temperatura, en particular del rostro, para la detección de estados de ansiedad. A continuación se describen

algunos trabajos enfocados en la determinación de la mejor zona del rostro para un análisis térmico.

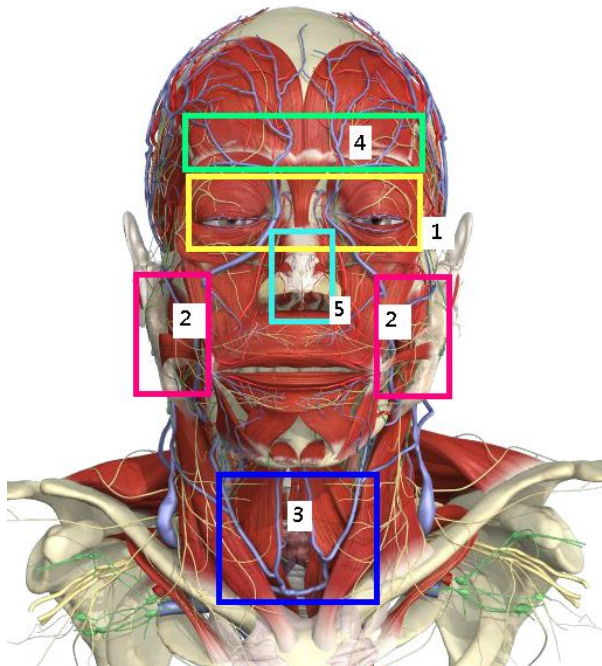
Para el estudio termográfico de la relación entre las situaciones de estrés y los cambios fisiológicos del cuerpo humano, es necesario establecer una relación entre las variaciones de la temperatura corporal (respuesta fisiológica) y el estado mental asociado a la mentira. (Genno et al., 1997) reconoció que la temperatura de la piel tiene un gran potencial como medida fisiológica sin la necesidad de tener contacto físico con el sujeto. Las zonas descritas a continuación han sido abordadas para la detección de ansiedad.

- En la zona periorbital se presenta un aumento de temperatura superficial asociado con el aumento del flujo sanguíneo alrededor de los ojos. Este patrón fisiológico encuentra validez en el sentido evolutivo, ya que facilita movimientos oculares rápidos como preparación a la huida(I Pavlidis, Levine and Baukol, 2000)Ilustración 2-1 Zona 1.
- En la zona de las mejillas hay una disminución de la temperatura superficial debido a que la sangre adicional direccionada a la zona periorbital proviene principalmente de esta zona (I Pavlidis, Levine and Baukol, 2000)Ilustración 2-1 Zona 2.
- Al igual que en el caso anterior, el exceso de sangre direccionada a la zona periorbital, provoca que en la zona del cuello se presente un aumento de la temperatura superficial debido al aumento de flujo sanguíneo en la vena carótida (I Pavlidis, Levine and Baukol, 2000)Ilustración 2-1 Zona 3.
- En la zona supraorbital se presenta un aumento de temperatura a causa de la activación del músculo corrugador, que está estrechamente relacionado con el estrés mental. La intensidad de las huellas de los vasos

supraorbitales puede ser utilizada para medir la activación del músculo corrugador.(Larson, Hazlett, Chaparro, & Picard, 2007; Zhu et al., 2008)Ilustración 2-1 Zona 4.

- En la zona de la nariz ocurre un descenso de temperatura en respuesta a una situación de estrés, ya que la vasoconstricción conduce a una reducción del flujo sanguíneo en los capilares periféricos de la nariz (Genno et al., 1997)Ilustración 2-1 Zona 5.

Ilustración 2-1. Zonas del rostro susceptibles a cambios de temperatura bajo el proceso de mentir. Fuente: Primal Pictures 2014



Considerando que la convección del calor, producto del flujo de sangre a través de las arterias en la red superficial, se irradia sobre la superficie de la piel en la banda infrarroja, y que esta información es susceptible de ser capturada y analizada por medio de un sensor de imagen térmica con suficiente sensibilidad, todas las zonas objetivo de análisis en los últimos años son elegibles para el desarrollo del sistema.

Sin embargo, no todas las zonas han sido utilizadas por sistemas de detección de mentiras, como el cuello y las mejillas. En la Tabla 2-2 se resumen los resultados reportados por estos sistemas de acuerdo con la zona facial utilizada. Se destaca la zona periorbital como la región con la que se ha logrado el mayor porcentaje de acierto en la detección de mentiras.

Tabla 2-2. Porcentaje de acierto de detección de mentiras en las zonas estudiadas.

ZONA	DETECCIÓN DE MENTIRAS % DE ACIERTO		
	(I Pavlidis & Levine, 2001)	(Shastri et al., 2008)	(Jain et al., 2012)
ZONA PERIORBITAL	78%	80%	83.5%
ZONA SUPRAORBITAL	(Zhu et al., 2007)	(Zhu et al., 2008)	
	76.3%	78.5%	

Sin embargo, se selecciona la zona periorbital, decisión respaldada por los trabajos anteriores en los cuales se ha demostrado que el aumento del flujo sanguíneo en dicha región es una manifestación omnipresente del esfuerzo instantáneo(I Pavlidis & Levine, 2001). Cuando una persona está bajo amenaza percibida, la división simpática del sistema nervioso autónomo (SNA) prepara el cuerpo para reaccionar, en consecuencia las funciones oculares se incrementan para recoger información visual exacta, de igual manera las funciones cerebrales se aceleran para procesar esa información de forma rápida. Así el músculo ocular ahora con mayor actividad requiere de más combustible metabólico, el cual es proporcionado a través del aumento del flujo sanguíneo en los vasos faciales oftálmicos, los cuales son el suministro predominante de sangre en el músculo orbicular ocular (Shastri et al., 2008).

Como consecuencia de lo anterior y en concordancia con los resultados de acierto de los trabajos previos presentados en la Tabla 2-2, la zona periorbital es en consideración la zona más apropiada para desarrollar el sistema propuesto.

2.6 Estudio comparativo de los experimentos de provocación de ansiedad e incitación a mentir recreables

A lo largo de la historia han sido realizados diversos experimentos de manipulación de la ansiedad, entre los que se destaca la ansiedad ante la evaluación (un examen académico importante o la provocación de fracaso en pruebas de aptitud). Otros experimentos se centran en la presentación de imágenes fuertes sobre peligros.

Una vez estudiados los experimentos de provocación de ansiedad conocidos se plasman diversos experimentos validados de incitación a mentir, en los que se tiene como eje principal un crimen simulado (*mock crime*). Este experimento involucra diversos factores emocionales y niveles de detalle, que unidos recrean una situación en la cual mentir podría significar el escape a las consecuencias por los actos cometidos, o ganar una recompensa.

2.6.1 Experimentos de provocación de ansiedad recreables

Ansiedad ante la evaluación: Interacción de Ansiedad y Rasgo de Estrés

(MacLeod & Mathews, 1988) manipularon la ansiedad de evaluación por la proximidad de un examen académico importante. En este experimento a los participantes se les da a leer un documento sobre una temática compleja fuera de su área de aplicación; se informa a la mitad de los participantes que habrá una evaluación académica importante sobre lo leído en el documento, y a la segunda

parte del grupo se les dice que se trata solo de una lectura informativa, luego se cuantifica el nivel de ansiedad alcanzado por los sujetos de prueba usando sus puntuaciones según el Inventario de Rasgos de Ansiedad (STAI/R) desarrollado por Spielberger, Gorsuch y Lushene (1970). Los resultados mostraron que una predisposición emocional es suficiente para que los sujetos informados sobre una falsa evaluación, se mostraran mucho más ansiosos que el resto del grupo.

Provocación de Fracaso: efecto principal de la ansiedad

(Mogg & Mathews, 1990) utilizaron como condición de ansiedad la realimentación de fracaso. Para provocar la condición de ansiedad, se pedía a los sujetos realizar ejercicios difíciles o irresolubles; y en repetidas ocasiones se les informaba que su rendimiento estaba por debajo de lo normal. En contraste, para la condición sin ansiedad, los ejercicios eran fácilmente resolubles y a los sujetos se les informaba que su rendimiento era superior a la media. Los niveles de ansiedad alcanzados por los participantes fueron medidos mediante la prueba de Stroop, en donde la provocación de fracaso ralentizó la respuesta del grupo en condición de ansiedad en comparación con la condición sin ansiedad, ante las palabras de amenaza evaluativa. No hubo diferencias frente a las palabras neutras o las de amenaza general, lo que se considera un indicador del nivel de ansiedad del sujeto de prueba.

Presentación de imágenes sobre peligros

Se estudia el efecto de aumento de la ansiedad que se refleja en las respuestas del tiempo de observación y valoración de la emocionalidad de las imágenes, usando la escala *Likert*. En el estudio un grupo de sujetos observó una serie de fotografías clasificadas como placenteras de alta activación del Sistema Internacional de Imagen Afectiva (International Affective Picture System; IAPS) y luego, placenteras de baja activación. Otro grupo observó solamente imágenes

placenteras de baja activación; en este caso, no hubo efectos en el tiempo de observación de las imágenes pero sí en su valoración emocional. Estos resultados indican que la valoración afectiva de las imágenes está modulada por efectos de contraste negativo generadores de ansiedad.(Cuenya, Kamenetzky, & Fosachea, 2013)

2.6.2 Experimentos de incitación a mentir recreables

Crimen simulado por computador

Los participantes fueron asignados a uno de los siguientes grupos: culpables, inocentes con información, e inocentes sin información. El grupo de culpables llevó a cabo una simulación de un delito por ordenador. El grupo de inocentes con información leyó un artículo de periódico en el que se relataba un crimen similar al de la simulación. Por último, el tercer grupo no tuvo información alguna.

El programa planteaba una situación inicial en la cual la persona se veía, de manera imaginaria, abocada a cometer un delito (robo, secuestro, asesinato...). A partir de ahí, se le permitía tomar una serie de decisiones, las cuales, a su vez, implicaban diferentes consecuencias y ofrecían nuevas elecciones. Las decisiones que debía tomar hacían referencia al lugar donde se cometía el robo, el arma utilizada, el rehén a quien se tomaba, el botín obtenido y la persona que era asesinada. Finalizado el programa, el participante llenaba un cuestionario de memoria a fin de evaluar si recordaba correctamente las opciones elegidas, y al mismo tiempo, reforzar la implicación en las escenas que componían el delito imaginario. En el grupo de inocentes con información, a los participantes se les entregaba una copia de una noticia supuestamente aparecida en un periódico local y se les pedía que la leyeran atentamente. La noticia relataba un suceso en el que una persona cometía un delito. La narración de dicho delito seguía el mismo esquema que el programa que realizaban los culpables (lugar donde se

comete el delito, arma utilizada, persona que se toma como rehén, botín que se obtiene y persona asesinada)

Todos los participantes recibieron una hoja de acusación formal. Esto implicaba que debían someterse a un interrogatorio mientras se registraban sus respuestas fisiológicas. A continuación se les explicaban las características del interrogatorio y a los culpables se les indicaba que, a pesar de ser muy poco lo que podían hacer para engañar al polígrafo, deberían intentar parecer inocentes, contestando como si lo fueran.

En el interrogatorio, que seguía la línea del GAT, fue utilizada la siguiente secuencia: 2 preguntas neutras (tres alternativas), 1 relevante (cinco alternativas), 1 neutra, 1 relevante, 1 neutra, 1 relevante, 1 neutra, 1 relevante, 1 neutra, 1 relevante. Las preguntas neutras (y sus tres alternativas) tenían la función de reducir la respuesta de orientación de la persona que estaba siendo interrogada y facilitar su habituación al formato del interrogatorio. En cuanto a las preguntas relevantes, la primera hacía referencia al lugar donde se cometía el robo, la segunda al arma utilizada, la tercera al rehén que se tomaba, la cuarta al botín obtenido y la última a la persona asesinada. Cada una de estas preguntas tenía cinco respuestas todas igualmente posibles, a las que el sujeto tenía que responder. (Corral, Otero, Barrenetxea, & Landeta, 1998).

Películas grabadas “a través de los ojos del criminal”

Sesenta estudiantes del género masculino participaron en un experimento diseñado para investigar los efectos de ansiolíticos y drogas estimulantes en un interrogatorio poligráfico. Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de cuatro grupos. Tres de los grupos vieron un video de 12 minutos que representa el robo de un apartamento a través de los ojos del ladrón. Además a cada uno se le

pidió imaginar que fue él quien cometía el delito y se le dio instrucciones para enfocarse y ser absorbido en la cinta. Posteriormente, fueron acusados de cometer este crimen. Cada sujeto recibió una de tres cápsulas de imitación que contiene una droga que, dijeron, les ayudaría a escapar de la detección. Las cápsulas para el primer grupo contienen 10 mg de Diazepam; para el segundo grupo, 20 mg de Metilfenidato; el tercer grupo recibió un placebo. El cuarto grupo, bajo la condición de inocencia, vieron una secuencia de vídeo de 10 minutos que muestra el interior de otro apartamento, esta vez con ningún crimen cometido, tampoco recibieron medicamento o placebo, pero fueron acusados de cometer el crimen.

Después de una hora de espera, todos los sujetos fueron interrogados por el experimentador, el cual desconocía su culpabilidad o inocencia y el medicamento. La conductancia de la piel, el ritmo cardíaco y la respiración fueron objeto de supervisión poligráfica. No se encontraron efectos de las drogas en la clasificación de culpabilidad/inocencia en cualquiera de los canales fisiológicos monitoreados. La tasa de éxito global fue de 81.7%. (W. G. Iacono, Boisvenu, & Fleming, 1984).

En esta línea se encuentra también el trabajo de (Mihalcea, Narvaez, & Burzo, 2014) quienes presentan la construcción de un conjunto de datos multimodal para la detección de engaño, incluyendo las respuestas fisiológicas, térmicas y visuales de los sujetos humanos bajo tres escenarios engañosos. A continuación se presenta el protocolo de los tres experimentos planteados para incitar a mentir.

Robo simulado

En este experimento, a los participantes se les pidió que fueran mentiroso o no en un escenario de delito simulado donde presuntamente robaron un billete de \$20 dólares. A cada participante se le dijo que con el fin de completar la tarea con éxito, no se debe admitir al examinador que ha visto o tomado el dinero. Por lo

tanto, los participantes que no tomaron el dinero estaban diciendo la verdad, mientras que aquellos que habían tomado el dinero estaban mintiendo.

Las instrucciones del experimento para cada participante fueron:

1. Ir a un área privada del laboratorio y buscar un sobre blanco oculto, y (probablemente) un billete de 20 dólares de esta zona.
2. Volver a la estación de grabación para una entrevista cara a cara.

Antes de la entrevista, los sensores fisiológicos fueron calibrados durante un minuto para obtener una muestra exacta de las tasas de respiración y la tasa cardíaca. Después, el examinador señaló las siguientes instrucciones: "Por favor, escuche y responda a cada pregunta con sinceridad. Por favor responda claramente y en voz alta. Trate de no mover la cabeza y los hombros durante la entrevista, para que los sensores no se vean afectados por sus movimientos".

Luego de estas instrucciones se le realiza al sujeto de prueba la siguiente entrevista:

1. ¿Las luces están encendidas en esta sala?
2. En cuanto al dinero perdido, pretende responder ¿sinceramente cada pregunta sobre esto?
3. ¿Antes de este año, alguna vez le mintió a alguien de confianza?
4. ¿Tomo usted el dinero?
5. ¿Alguna vez usted mintió para evitarse problemas?
6. ¿Tomo usted el dinero del área privada del laboratorio?
7. ¿Antes de este año, mintió para beneficio personal?
8. ¿Qué contenía el sobre blanco?
9. Por favor describa paso a paso, tan detalladamente como pueda, lo que hizo mientras usted estaba en la zona privada. Por favor, haga una descripción clara de unos 2-3 minutos.
10. ¿Sabe usted dónde está ese dinero ahora?

Mejor Amigo

En este experimento, se les pidió a los participantes que proporcionaran tanto una descripción verdadera de su mejor amigo, como una descripción engañosa acerca de una persona que no pueden soportar. Se pidió a cada participante hablar libremente durante unos 2-3 minutos. La sesión del experimento consistió en dos grabaciones independientes para cada descripción. Antes de cada grabación, el examinador explicó lo siguiente:

1. En primer lugar, piense en su mejor amigo. Hable acerca de su amistad con él o ella, mencionando las razones por las cuales ustedes son tan buenos amigos, incluya anécdotas o cualquier cosa que le parezca relevante para describir su relación y lo que los mantiene unidos. Por lo tanto, en esta descripción tendrá que decir la verdad sobre lo que siente acerca de su mejor amigo. Trate de ser claro, detallado y sincero. Por favor, aspirar a una descripción de unos 2-3 minutos.
2. Ahora piense en una persona que no soporta, y hable de esta persona al describirla como si él/ella fuera su mejor amigo. Es decir, en esta descripción tendrá que mentir sobre lo que realmente siente acerca de esta persona. Una vez más, por favor, trate de ser lo más detallado posible. Por favor apuntar a una descripción de alrededor de 2 - 3 minutos.

Aborto

En este experimento se pidió a los participantes proporcionar una opinión verdadera y una opinión engañosa acerca de sus sentimientos con respecto al aborto. Se pidió a los participantes imaginar un escenario en el que tomaron parte

en un debate sobre el aborto, en el que tenían una ranura de tiempo disponible de 2-3 minutos para expresar sus opiniones.

La sesión del experimento consistió en dos grabaciones independientes para cada caso, cuando el participante estaba diciendo ya sea la verdad o la mentira. En la primera parte del experimento, el participante tenía que defender su punto de vista con respecto al aborto. En la segunda parte del experimento, se pidió a los participantes dar una declaración convincente defendiendo el punto de vista contrario a sus creencias; en otras palabras, se le pidió al participante que mintiera acerca de lo que él o ella realmente piensa sobre el aborto. Antes de cada grabación, el examinador repite las siguientes instrucciones:

1. Prepare un breve discurso acerca de su verdadera opinión sobre el aborto. Por lo tanto, en este discurso tendrá que decir la verdad sobre lo que usted cree acerca del aborto. Recuerde que usted va a permanecer en el anonimato (su nombre no se grabará), así que por favor sea realmente honesto al expresar su opinión. Trate de explicar las razones que lo empujan a tomar esa posición en la forma más clara, más detallada y más sincera posible. Por favor, redactar un discurso de unos 2-3 minutos.
2. Prepare un breve discurso que exprese lo contrario de su opinión sobre el aborto. Es decir, en este discurso tendrá que mentir sobre lo que realmente cree acerca del aborto. Una vez más, por favor, trate de ser lo más detallado posible. Por favor, redactar un discurso de unos 2-3 minutos.

2.6.3 Estudio comparativo y resultados

En la Tabla 2-3 se presenta una comparación de los experimentos de provocación de ansiedad recreables que han sido estudiadas, mostrando las ventajas y las

limitaciones de los métodos expuestos, esto enfocado a descubrir su aplicabilidad en un sistema termográfico.

Tabla 2-3. Comparación de experimentos de provocación de ansiedad recreables.

Método	Ventajas	Limitaciones
Ansiedad ante la evaluación	▪ Fácilmente recreable con el público disponible. ▪ Se necesitan pocos recursos para su aplicación. ▪ Sencilla elaboración del experimento. ▪ Trasfondo psicológico válido.	▪ Para observar las reacciones con termografía es necesario tener una muestra antes y otra después de la lectura, lo que implica una diferencia temporal que puede afectar los resultados. ▪ Poca información disponible acerca de los resultados previos del experimento.
Provocación de fracaso	▪ Fácilmente recreable con el público disponible. ▪ Se necesitan pocos recursos para su aplicación.	▪ Diferencia temporal necesaria para observar el antes y el después que puede alterar los resultados. ▪ Dificultad para observar la evolución de la ansiedad en el procedimiento debido a la obligatoriedad de realizar el test al final del experimento.
Presentación de Imágenes Adversas	▪ Es posible observar el aumento de la ansiedad en el tiempo. ▪ No se presenta atemporalidad en la captura de datos. ▪ Requiere concentración visual del participante en el experimento lo cual facilita la captura termográfica. ▪ Desarrollo simple del experimento. ▪ Trasfondo psicológico válido.	▪ Se requiere de equipos adicionales y más recursos para la presentación de las imágenes.

Teniendo en cuenta que desarrollar un experimento para la detección de estados de ansiedad es la antesala que permitirá comprobar la posibilidad de detectar mentiras haciendo uso de termografía, el experimento base para el diseño del protocolo de provocación de estados de ansiedad, es la presentación de imágenes

adversas, ya que resulta fácilmente aplicable, tiene un trasfondo psicológico válido, presenta una forma donde no existen atemporalidades entre las tomas de datos, con este es posible ver la evolución de ansiedad, y exige una postura física compatible con el objetivo de obtener termogramas del rostro durante el transcurso del experimento.

En la Tabla 2-4 se realiza una comparación de las fuentes de incitación a mentir recreables, mostrando las ventajas y las limitaciones de los métodos expuestos.

Tabla 2-4. Comparación de experimentos de incitación a mentir recreables.

Método	Ventajas	Limitaciones
Crimen Simulado por Computador	▪ Involucra emotivamente al sujeto de prueba. ▪ Valida la concentración en el experimento con un ejercicio posterior a éste. ▪ Hace uso de un método de interrogación estudiado.	▪ Es necesario el desarrollo de software adicional de simulación. ▪ El sujeto de pruebas no desarrolla acciones físicas durante el experimento. ▪ La motivación con la cual el sujeto decide mentir no es clara. ▪ Se le exige al sujeto mentir.
A través de los ojos del criminal	▪ Involucra emotivamente al sujeto de prueba. ▪ Demanda un engaño psicológico que hace creer al sujeto que puede mentir sin ser descubierto. ▪ Valida la concentración en el experimento con un ejercicio posterior a este.	▪ Es necesario la producción de un video con las características de detalle suficientes. ▪ El sujeto no desarrolla acciones físicas. ▪ No existe una motivación clara para mentir. ▪ Se le exige al sujeto mentir.
Robo Simulado	▪ Se le da la libertad al sujeto de mentir o no mentir. ▪ El sujeto de prueba realiza acciones físicas lo que lo involucra más a fondo en el experimento. ▪ No es necesario la elaboración de tecnologías adicionales para el desarrollo del experimento.	▪ No existe motivación para mentir.

	▪ Presenta un escenario sencillo y fácilmente repetible.	
Mejor Amigo	▪ Involucra de manera sentimental al sujeto ▪ No es necesario la elaboración de tecnologías adicionales para el desarrollo del experimento. ▪ Presenta un escenario sencillo y fácilmente repetible.	▪ No existe una motivación clara para mentir. ▪ Se le exige al sujeto mentir.
Aborto	▪ Involucra de manera sentimental al sujeto ▪ No es necesario la elaboración de tecnologías adicionales para el desarrollo del experimento. ▪ Presenta un escenario sencillo y fácilmente repetible.	▪ No existe una motivación clara para mentir. ▪ Se le exige al sujeto mentir.

Una vez comprobada la posibilidad de detectar los estados psicológicos de ansiedad con termografía, se desarrolla un protocolo para la detección de mentiras basado en el experimento del robo simulado, ya que éste le da la libertad al sujeto de prueba de mentir o decir la verdad, lo involucra con acciones físicas en el experimento creando conexiones musculares y emocionales con la situación, no requiere de desarrollos adicionales y una motivación a mentir es fácilmente aplicable como modificación al experimento, por ejemplo, el que el sujeto pueda quedarse con el dinero si logra burlar la detección.

Como consecuencia de lo anterior y en concordancia con las ventajas y las limitaciones de los experimentos, presentadas en la Tabla 2-3 y en la Tabla 2-4, el experimento de “Presentación de Imágenes Adversas” será la base del protocolo de provocación de estados de ansiedad, y el experimento de “Robo Simulado” será la base del protocolo de incitación a mentir.

CAPITULO 3

3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

3.1 Introducción

En esta sección, se exponen las características físicas y técnicas del hardware de adquisición de imágenes termográficas utilizados en el desarrollo de este trabajo. Iniciando con las especificaciones técnicas de la cámara termográfica, con el propósito de destacar las características que deben ser tenidas en cuenta a la hora de escoger estos dispositivos para la aplicación planteada.

3.2 Descripción de la cámara

La sensibilidad de la cámara térmica es el principal elemento a ser considerado, pues dependiendo de esta característica, será posible sensor con suficiente resolución los pequeños cambios de temperatura que se presentan en la superficie de la piel, producidas por variaciones en la presión sanguínea o el ritmo cardiaco, ante una situación que produzca ansiedad como cuando se miente. Dichas variaciones de temperatura no superan los 1.2°C, y depender de las condiciones físicas, edad y actividades del interrogado previas a la captura.

Las cámaras térmicas tienen asociados altos costos, en particular, entre mayor sensibilidad cuente mayores serán los costos. La cámara *ThermaCAM E320* marca FLIR (ver Ilustración 3-1), disponible en el laboratorio de Visión de la Universidad del Valle, posee una sensibilidad de 0.08°C (ver Ilustración 3-2) a 30°C. La temperatura corporal de los humanos está entre 36,5°C y 37,5°C en adultos; Valores por debajo de 36°C es un indicados de hipotermia, por lo que son

improbables para el propósito del presente trabajo, mientras que valores superiores a 38°C es indicativo de hipertermia o fiebre.

En (I Pavlidis & Levine, 2001) se buscaba detectar la temperatura ocular durante la realización de pruebas de polígrafo, para lo que se utilizó una cámara en un rango de temperatura de 29°C a 38°C y con una sensibilidad de 0.025°C. La sensibilidad de esta cámara supera considerablemente la de la cámara disponible en el laboratorio; sin embargo, como se describirá más adelante, se lograron buenos resultados que obviamente mejoraría en la medida que se tenga disponible una cámara con mayores prestaciones.

Ilustración 3-1. Cámara térmica utilizada. Fuente: FLIR ®.



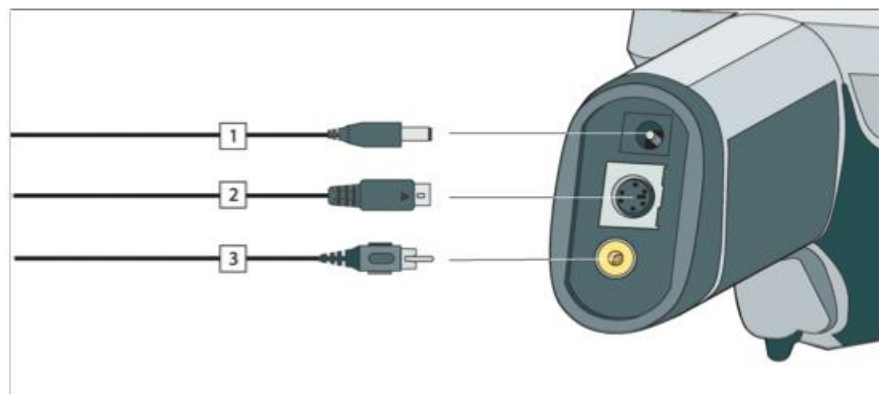
Ilustración 3-2. Especificaciones técnicas de la cámara térmica usada. Fuente: FLIR®.

IMAGING PERFORMANCE	
Field of view/min focus distance	25° X 19°/0.3 m
Thermal sensitivity	0.08°C at 30°C
Image frequency	25/30 Hz non-interlaced
Focus	Manual
Detector type	Focal Plane Array (FPA), uncooled microbolometer
	320 x 240 pixels ← EXTRAORDINARY IMAGE QUALITY
Digital Zoom	1 x, 2 x or 4 x
Spectral range	7.5 to 13 µm
IMAGE PRESENTATION	
Video output	PAL or NTSC, standard RCA composite video
External display	2.5" color LCD, 16K colors
PHYSICAL CHARACTERISTICS	
Weight	<800 g, incl. battery (with 25° lens)
Size	272 mm x 80 mm x 105 mm
Tripod Mounting	1/4" - 20
Cover case	Plastic and rubber
INTERFACES	
USB	Image and text transfer to PC
RS-232 cable (optional)	Image and text transfer to PC
Video Output	Standard RCA composite video

3.3 Descripción del Hardware de Adquisición

La Ilustración 3-3 muestra la salida de video de la cámara (conexión 3) que puede ser codificada en los formatos NTSC o PAL, y reproducidas por una entrada RCA común.

Ilustración 3-3. Parte posterior de la cámara. Fuente: www.flir.com



Para adquirir las imágenes térmicas desde la cámara y posteriormente procesarlas en un computador que carece de entrada RCA, es necesario utilizar un conversor RCA a USB, específicamente el *ENMVG USB Audio/Video Grabber* de la marca ENCORE disponible en el laboratorio. Las especificaciones técnicas del conversor se muestran en la Ilustración 3-4 y la disposición física del mismo en la Ilustración 3-5.

Ilustración 3-4. Especificaciones técnicas del conversor RCA a USB

Device Interface	USB 2.0, backward compatible with USB 1.x
Dimension	93 x 30 x 15 mm (excluding cables)
Video	
Signal Format	NTSC and PAL
Input	Composite RCA and S-Video
Resolution	NTSC — 720x480, 352x480, 352x240 PAL — 720x576, 352x576, 352x288
AD Converter	10-bit Analog-to-Digital Converter
File Format	AVI, MPEG-1(VCD), MPEG-2 (DVD), MPEG-4** (XVID) and WMV**
Audio	
Audio Channel	Stereo
Input	L/R RCA
AD Converter	16-bit Analog-to-Digital Converter
Sample Rate	44.1KHz / 48KHz
Audio Data Rate	128k ~ 192k bit/second

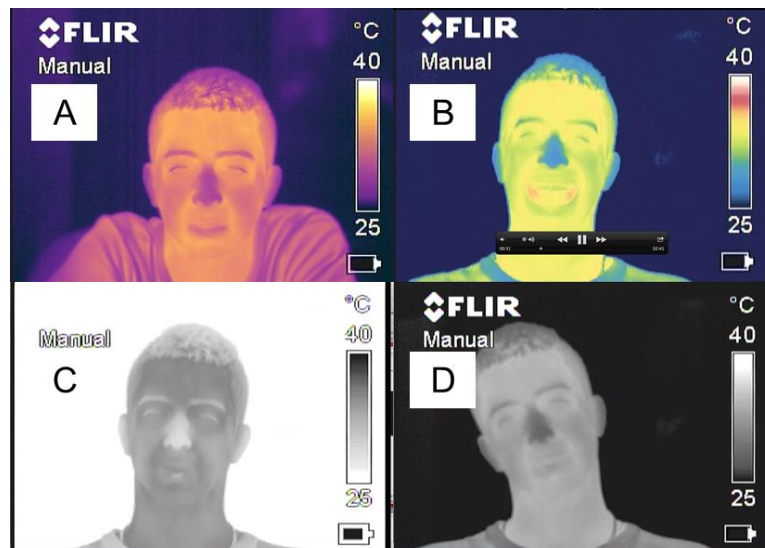
Ilustración 3-5. Conversor RCA - USB Fuente: www.encore-usa.com



3.4 Relación Color-Temperatura

La cámara termográfica utilizada interpreta el calor radiado o reflejado por infrarrojos mediante la asignación de una graduación visible de colores o una escala de grises a un retrato radiado de la escena enfocada por el lente. De manera particular, esta cámara cuenta con cuatro modos de visualización del espectro térmico observado que se muestran en la Ilustración. La Ilustración 3-6A utiliza la paleta “Hierro” en donde los puntos en blanco corresponden a los puntos más calientes pasando por amarillo-naranja-rojo-violeta cuanto más baja sea la temperatura. La Ilustración 3-6B corresponde a la paleta “Arcoíris” en donde los puntos calientes también aparecen en blanco. La Ilustración 3-6C utiliza la paleta de “Escala de grises-Negro Caliente”, en donde los puntos más calientes aparecen oscuros, al contrario de los que ocurre en la Ilustración 3-6D donde se usa la paleta de “Escala de grises-Blanco Caliente”, donde los puntos más calientes en blanco aparecen en blanco.

Ilustración 3-6 Representación de la temperatura en la cámara. Fuente: Autor.



Para simplificar el procesamiento se eligió la paleta “Escala de grises-Blanco Caliente” (Ilustración 3-6D), ya que con esta configuración, se obtienen imágenes de intensidad con un menor costo de procesamiento (Gómez, 1995).

3.5 Descripción del Software

Se seleccionó el *software* de libre distribución *Free2X Webcam Recorder*, que cuenta con una interfaz sencilla para grabar en tiempo real los videos adquiridos por la cámara en formato AVI a una frecuencia de adquisición de 30 fps.

El desarrollo de este trabajo se encuentra bajo el entorno de MATLAB 8.1® (R2013a), el cual es un entorno de cómputo científico cuyo lenguaje está enfocado al manejo matricial. Contiene una serie de *toolboxes* (o librerías) especializadas que permiten un fácil manejo de las variables presentes en el proyecto.

CAPITULO 4

4. PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN

A continuación se describe el protocolo establecido para la captura de las imágenes térmicas en la experimentación propuesta tanto para la incitación a mentir como para la provocación de estados de ansiedad.

Así como una descripción detallada del experimento de incitación a mentir realizado junto con el protocolo de interrogación asociado al mismo, también se muestra la descripción del experimento de provocación de ansiedad

4.1 Protocolo de captura de los videos

Para la realización de la captura de vídeos se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

- El lugar para la captura debe contar con aire acondicionado, con el objeto de que la temperatura del ambiente esté alrededor de 25°C, y, de este modo, garantizar contraste térmico. Adicionalmente, en esta temperatura el cuerpo no precisa realizar una regulación térmica a través de escalofríos, ni mucho menos producir sudor para disminuir su temperatura.
- Dado que el sudor sobre la piel resulta ser un aislante térmico que distorsiona las imágenes capturadas, se garantizó que los interrogados permanecieran en reposo por 5 minutos antes de iniciar el experimento de generación de ansiedad.

- Para el correcto funcionamiento de los algoritmos que se describirán más adelante, los interrogados no deben usar gafas, bufandas o tener el cabello suelto. Adicionalmente, la zona de los ojos, debe permanecer descubierta durante toda la captura del video.
- Las capturas deben realizarse con el sujeto sentado, con el torso erguido y en una posición cómoda en la que pueda mantenerse durante todo el experimento manteniendo la mirada en dirección a la cámara. Están permitidos los movimientos naturales del habla, siempre que en el campo de visión de la cámara permanezca completamente visible el área periorbital del rostro; esto incluye taparse el rostro con las manos u objetos durante la realización de ademanes.
- La cámara se sitúa aproximadamente a 1,5m de del sujeto, y a una altura aproximadamente de 1,3 m. Esta altura debe ser ajustada a la estatura de los interrogados, de tal forma que el campo de visión de la cámara incluya el rostro y el busto; así mismo, con un espacio suficiente en la parte superior del rostro que permita recortar el logo del fabricante (marca de agua), que no debe ser considerado dentro del análisis, y cuya aparición no es posible eliminar por configuración. Por otro lado, configurar la cámara para que no aparezca información como la fecha, el valor de la temperatura en la mira, etc.

En la Ilustración 4-1 se muestra una imagen en condiciones óptimas mencionadas anteriormente. La Ilustración 4-2 presenta un ejemplo de imagen en donde el sujeto tiene sudor en el rostro y además, la marca de agua se solapa con la cabeza. La Ilustración 4-3 hay oclusión de las manos con el rostro. Finalmente, en la Ilustración 4-4 se presentan oclusiones con accesorios como lentes y cabello.

Ilustración 4-1. Captura siguiendo las consideraciones planteadas. Fuente: Autor.



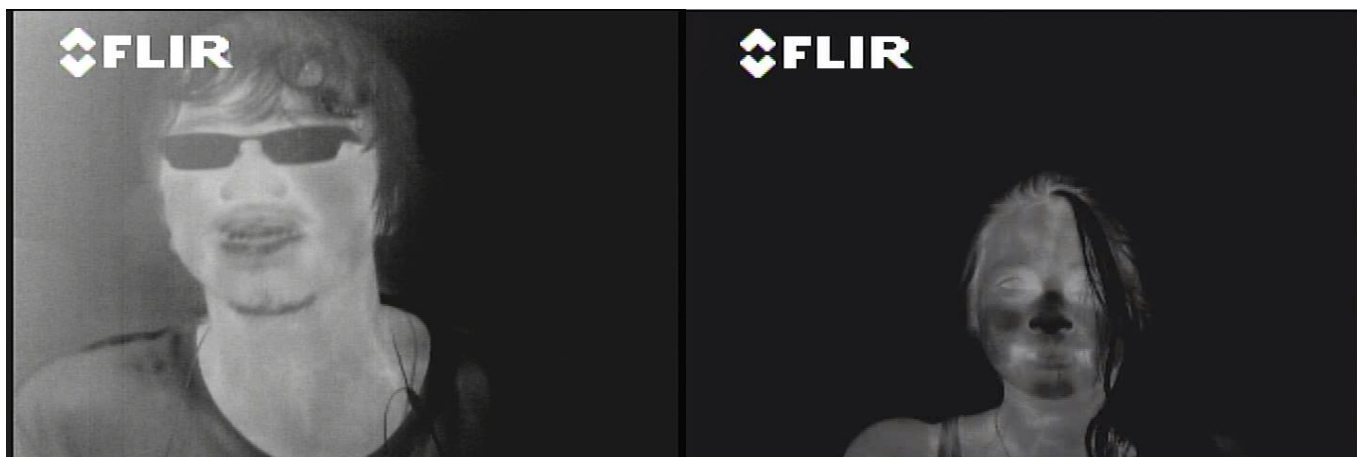
Ilustración 4-2. Captura de sujeto sudando y mal posicionado. Fuente: Autor.



Ilustración 4-3. Captura con oclusión de la toma por parte del sujeto. Fuente: Autor.

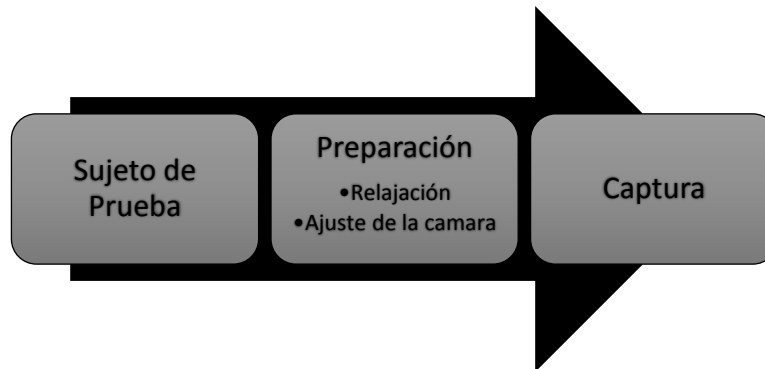


Ilustración 4-4. Captura con oclusión por lentes (derecha) y cabello del sujeto (izquierda). Fuente: Autor



En la Ilustración 4-5 se muestra el resumen del protocolo para la toma de imágenes.

Ilustración 4-5. Diagrama resumen protocolo de toma de imágenes.



A continuación se describen 2 protocolos de experimentación. El primero con el propósito de validar la posibilidad de detección de mentiras, objetivo de este trabajo; y el segundo, realizar un acercamiento a la detección de estados de ansiedad. La detección de ansiedad corresponde a concepto más general, mientras que la mentira es sólo una de las fuentes de ansiedad.

4.2 Diseño del experimento de incitación a mentir e interrogatorio para la detección de mentiras

4.2.1 Descripción del experimento de incitación a mentir

Con base en el experimento “Robo Simulado” descrito en la Sección 2.6.2, se plantea un experimento modificado con el ánimo de motivar al interrogado a mentir, manteniendo las siguientes consideraciones:

- El interrogado debe tener la libertad de elegir si miente o no, pues ese factor de decisión crea conexiones emocionales con el experimento.
- El interrogado, durante el experimento, debe realizar una acción sobre la que será interrogado posteriormente.

- Debe incluirse una motivación clara que incite al interrogado a mentir, y que preferiblemente cuestione su ética y su moral.
- Debe ser un escenario sencillo, donde los cuestionamientos sobre la ética y la moral se enfrenten con la motivación a mentir restando importancia a los demás detalles.

La convocatoria al experimento se realizó mediante correo electrónico a los estudiantes de la Universidad del Valle. En el mensaje, sólo se explicó que se trataba de un experimento de habilidades comunicativas (ver Anexo 1). En la selección, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Que los voluntarios pertenecieran a diferentes facultades y programas académicos de la Universidad del Valle, con el fin que la información se filtrara lo menos posible.
- Durante la sesión experimental ningún participante sabía, ni podía observar lo que sucedía con el participante precedente.
- Teniendo en cuenta que los participantes serían grabados, a cada uno se le solicitó que firmara una cláusula de aceptación de participación y derechos de uso de imagen (ver Anexo 3).
- Cada participante se sometió a una encuesta médica con el fin de constatar su “normalidad psicológica” o la ingestión de alguna sustancia que genere reacciones fisiológicas incompatibles con el experimento (ver Anexo 4).

De este modo, la muestra correspondió a grabaciones de 27 hombres y mujeres de edades comprendidas entre los 18 y los 29 años ($\mu=22.3$, $\sigma=1.21$).

A los participantes se les suministra la siguiente información antes de iniciar el experimento:

“Solo por el hecho de participar en la prueba tendrás una recompensa económica, esto es:

- *Si dices la verdad en el interrogatorio obtendrás el doble del dinero que tomaste.*
- *Si decides mentir y logras engañar al experto interrogador obtendrás el triple del dinero que tomaste.*
- *Si decides mentir y no logras engañar al experto interrogador sólo obtendrás la recompensa base del experimento.”*

Las instrucciones entregadas a cada uno de los participantes del experimento pueden verse en el Anexo 2.

Posteriormente, a cada participante se lo lleva a un espacio en donde permanece solo por dos minutos. En ese espacio encontrará, en un lugar visible, una caja con múltiples objetos fáciles de recordar, entre ellos, un billete de un valor de \$5.000 pesos. En ese momento, el participante toma la decisión de hurtar o no el dinero, con tiempo de sobra para que reflexione sobre lo que debe y lo que quiere hacer. Nadie aparte del participante conoce si se tomó o no el dinero de la caja.

Luego con el fin de elevar la presión emocional sobre la decisión de mentir o decir la verdad, a los participantes se les informo que la entrevistadora era una psicóloga experta a la cual es prácticamente imposible engañar y con esta información fueron sometidos al interrogatorio, cuyo protocolo de aplicación se describe a continuación.

4.2.2 Descripción del protocolo de interrogación

Basado en el modelo de interrogatorio “Técnica de la pregunta control (CQT)” para la detección de mentiras descrito en la Sección 2.3.6, con las siguientes consideraciones:

Para el cuestionario

- Las primeras preguntas del interrogatorio deben desviar la mente del participante acerca de la decisión tomada. En estas preguntas se le pide al participante que suministre respuestas tan largas como sea posible.
- Usar varias preguntas de control para alargar la ventana temporal de detección de mentiras del sistema, ya que la temperatura tiene una tasa de cambio baja. En este experimento se realizaron 3 preguntas de control que el participante puede responder libremente, pero el interrogador debe ser rudo e insistente para causar mayor emoción al momento de responder
- Las preguntas que se formulen a continuación de las de control, deben procurar que el sujeto deje de sentirse atacado y regrese a un estado de tranquilidad. Estas preguntas van dirigidas a cuestionar generalidades sobre un robo, sin embargo no cuestionan directamente al participante.

Durante el proceso de interrogación:

- Se le deben proporcionar al participante todas las instrucciones.
- El interrogador debe actuar con total firmeza al pronunciar cada palabra del interrogatorio.
- Se deben registrar los tiempos de las respuestas a las preguntas de control, con el fin de poder analizarlos posteriormente.
- Como resultado del cuestionario, el interrogador (experto) debe emitir un juicio de valor sobre si el interrogado mintió o no.

Durante la sesión de interrogación los únicos presentes en la sala deben ser: el interrogado, el interrogador y el controlador de equipos quien se encarga de que el protocolo de toma de imágenes se cumpla, de registrar los tiempos de las preguntas de control, de realizar las capturas y de realizar el pago en recompensa

al desempeño de cada participante. La muestra la disposición del espacio durante una sesión de interrogación.

Ilustración 4-6. Distribución del espacio durante una sesión de interrogación. Fuente: Autor



Con la intención de tener una base de datos de las preguntas y las respuestas, teniendo en cuenta que al grabar el espectro infrarrojo del participante no se realiza adquisición de audio, paralelas a las grabaciones con la cámara térmica, se realizaron grabaciones de video y audio en el espectro visible.

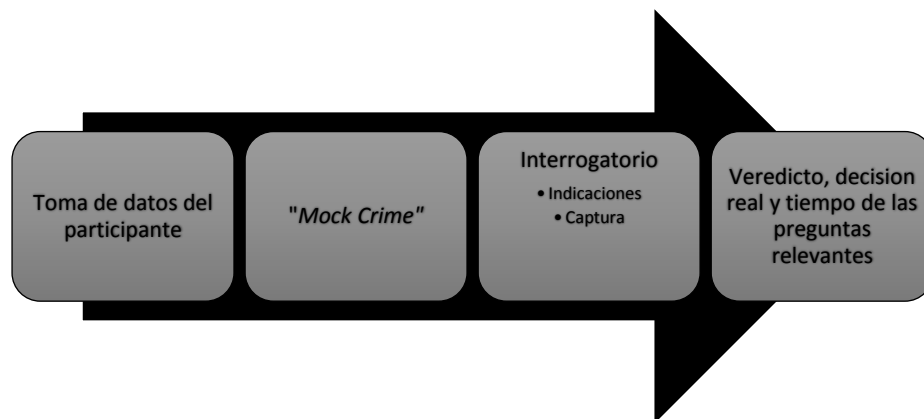
Una vez se termina el interrogatorio, se coteja la información de lo que pasó en el salón del experimento con el veredicto emitido por el interrogador. Los resultados se consignan en el formulario del veredicto (Anexo 6), en el que también se plasma la siguiente información:

- Fecha del experimento.
- Nombre del participante.
- Veredicto del entrevistador.
- Firma del entrevistador.
- Comentarios (Resultado real, Numero del video en el computador)
- Tiempo de duración de las preguntas de control (4 a 6).

El interrogador de este experimento fue la psicóloga de la Universidad del Valle Paula Quijano, quien fue remunerada por su trabajo.

En la Ilustración 4-7 se muestra el resumen del experimento de incitación a mentir.

Ilustración 4-7. Diagrama resumen del experimento de incitación a mentir.



4.3 Protocolo del experimento para provocación de ansiedad

El siguiente experimento pretende extrapolar los resultados en la detección de mentiras, a otros casos de detección de la ansiedad que va más allá de los objetivos planteados en el desarrollo de este trabajo de grado.

Ver películas de terror produce miedo, insomnio, fobias y traumas mentales, que pueden asociarse a estados de ansiedad; lo que se relaciona al experimento psicológico de imágenes adversas que se explicó en la Sección 2, pero con algunas variaciones, estas son:

- Los videos presentados deben provocar un estado de ansiedad elevado sin ser perturbador para el voluntario. En este caso, el sonido (adverso) incluido en el video, contribuye a generar el estado de ansiedad.
- Se debe tener muestras de comparación con sujetos a los que no se muestre imágenes adversas.
- Los siguientes voluntarios no deben conocer con antelación lo que sucederá en el recito de experimentación.

Es importante tener en cuenta que si el sujeto se expone a este tipo de estímulos, pierde un poco de sensibilización; y en todo caso, depende de las características psicológicas del sujeto y hasta del estado de ánimo a la hora de la experimentación.

Para verificar el efecto que puede producir este tipo de películas, se eligió el cortometraje de terror "*Lights Out*"¹ de David Sandberg ganador del premio al mejor director en "*Who's There Film Challenge 2013*" para inducir el estado de ansiedad. En contraposición, para inducir un estado de relajación se usaron imágenes relajantes con una combinación de colores azules y verdes que se asocian a la parte emocional del cuerpo, pecho y garganta, mientras que el rojo, naranja o amarillo se asocian a partes del cuerpo de los pies al estómago y con mucha actividad. Las imágenes se acompañan de sonidos del mar, viento y caídas de agua, ya que son sonidos "armónicos" que inducen al cerebro a entrar en un estado de tranquilidad, esta secuencia de imágenes y sonidos se ajusta a una duración igual a la del cortometraje de terror. Además, los videos fueron ajustados con una resolución de 720x480 pixeles que permite visualizarlos con la mayor nitidez posible al ser proyectados a través de un "*Video Beam*", para la proyección de los videos, también se acondiciono al espacio el sistema de audio con *subwoofer*SW-2.1 330 marca Genius® con una potencia total de 10watts (RMS) para reproducir el audio de ambos videos.

¹ Video original en: <https://youtu.be/FUQhNGEu2KA>

El recinto escogido para la emisión de los videos, al igual que en el caso del experimento para la detección de mentiras cuenta con aire acondicionado, con el objeto de que la temperatura del ambiente esté alrededor de 25°C, y, de este modo, garantizar contraste térmico. Adicionalmente, en esta temperatura el cuerpo no precisa realizar una regulación térmica a través de escalofríos, ni mucho menos producir sudor para disminuir su temperatura. La distribución física del recinto en el cual se desarrolló el experimento puede observarse en la .

Ilustración 4-8 Distribución del espacio experimental. Fuente: Autor.



Los participantes eran estudiantes universitarios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle, que aceptaron participar voluntariamente en el estudio sin algún tipo de recompensa. De este modo, se capturaron 27 sesiones en las que participaron tanto hombres y mujeres de edades comprendidas entre los 18 y los 29 años ($\mu=21.73$, $\sigma=2.73$).

Antes de someter a los participantes a los videos, se les dieron las siguientes instrucciones:

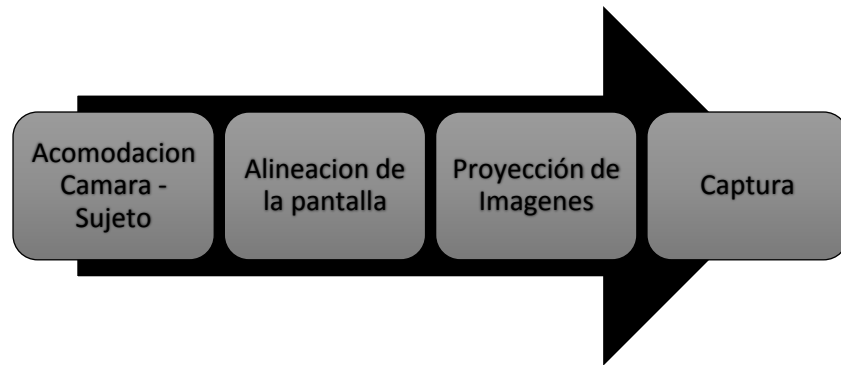
- Reposar en el recinto por 5 minutos antes de exponerse al video.
- Permanecer con la mirada hacia la pantalla durante todo el experimento.
- Tratar de permanecer en la misma postura durante todo el experimento.
- Evitar taparse el rostro con las manos u otros objetos.

Los participantes fueron reunidos a la espera de su turno en un sitio alejado del recinto del experimento, con el fin de que no tuviesen la oportunidad de ver o escuchar lo que sucedía. Los participantes fueron sometidos al experimento aleatoriamente; esto es: ver uno de los dos videos (relajación o miedo). Catorce (14) participantes observaron el video de miedo (provocación de ansiedad) y trece (13) observaron el video relajante.

A pesar de las indicaciones, hubo participantes que no pudieron evitar tener la reacción de taparse el rostro o moverse bruscamente, por lo que necesariamente, sus grabaciones fueron descartadas. También hubo dificultades con la cámara termográfica que en algunos momentos, a causa de la carga y descarga, altera bruscamente los niveles de grises asociados a los cambios de temperatura. Al final, sólo quedaron un total de 18 grabaciones en buenas condiciones para realizar el sub-secuente análisis, 9 de provocación de ansiedad y 9 de relajación.

En la Ilustración 4-9 se muestra el resumen del experimento de provocación de estados de ansiedad

Ilustración 4-9. Diagrama resumen experimento provocación de estados de ansiedad.



CAPÍTULO 5

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

5.1 Desarrollo del procedimiento de segmentación automática de la zona de interés

5.1.1 Introducción

En el análisis de imágenes, la segmentación resulta ser uno de los pasos más importantes, su objetivo es extraer de la imagen original todos los objetos o partes de interés. Los algoritmos más destacados de segmentación se apoyan en técnicas como la umbralización, el crecimiento de regiones y la expansión y comprensión de regiones. (Gonzalez & Woods, 2007).

No existe un método estándar de segmentación. Los algoritmos basados en la discontinuidad son utilizados para la detección puntos aislados, líneas y bordes. Por otro lado, los algoritmos basados en la propiedad de similitud dividen la imagen en regiones con características similares.

5.1.2 Segmentación del rostro

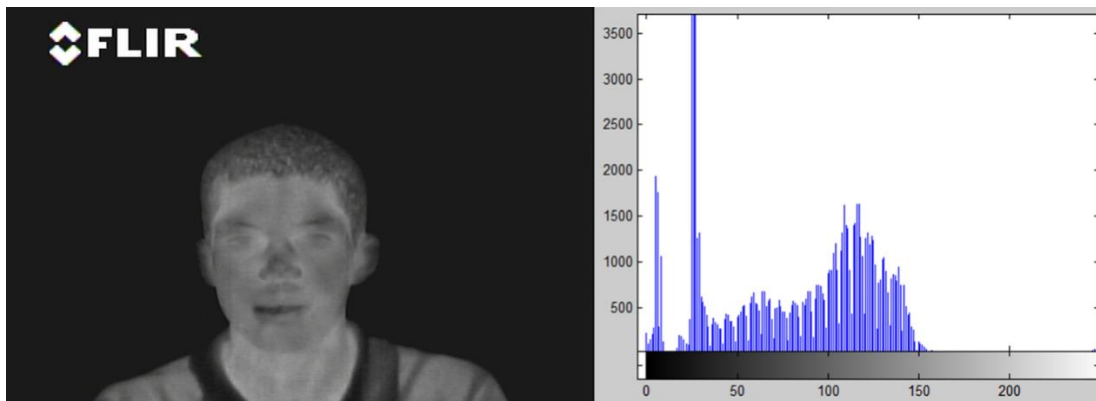
Teniendo en cuenta que se eligió la zona periorbital del rostro para realizar el análisis termográfico, se parte de la segmentación del rostro. La segmentación del rostro se realiza a partir del histograma de la imagen térmica, como se muestra en la Ilustración 5-1. Se puede verificar que los puntos más oscuros del histograma corresponden al fondo, mientras que el resto más claro corresponden al rostro y el busto del sujeto. Por lo tanto, una técnica simple como la definición de un umbral

(Gonzalez & Woods, 2007) permitiría realizar la segmentación; esto es transformar una imagen de entrada $f(x,y)$ en una imagen de salida binaria $g(i,j)$, en conformidad con la siguiente relación:

$$g(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{si } f(i,j) \geq T \\ 0 & \text{si } f(i,j) < T \end{cases} \quad \text{ec. (5-1)}$$

Donde, T es el punto umbral, y los elementos de $g(i,j)$ es la imagen segmentada, en donde los de valores iguales a 1 corresponden a los elementos de interés.

Ilustración 5-1. Histograma de una captura realizada bajo el protocolo de toma de imágenes. Fuente: Autor.



Para definir el umbral se utiliza el método de Otsu (Xu, Xu, Jin, & Song, 2011), que es una técnica de umbralización adaptativa que se basa en la suposición que las funciones de densidad que representan el fondo C_f y el objeto C_o , pueden representarse por el modelo Gaussiano, $N(\mu_f, \sigma_f^2)$ y $N(\mu_o, \sigma_o^2)$, respectivamente. De esta manera, el objetivo es aproximar el histograma de la imagen mediante una suma ponderada de varias distribuciones de probabilidad pertenecientes a cada uno de los objetos de la imagen, y por lo tanto, el valor umbral se fija en el punto de mínima probabilidad (Xu, Xu, Jin, & Song, 2011).

La

Ilustración 5-2 muestra una captura umbralizada a partir del método de Otsu, en donde pueden identificarse diferentes zonas blancas (objetos), entre ellas, el rostro del sujeto. En este punto, se realizan los siguientes pasos para la extracción de la región de interés:

- Cada una de estas regiones se encierra en un rectángulo (ver Ilustración 5-3).
- Las condiciones de captura garantizan que la región de mayor tamaño corresponde a la zona del rostro y el cuello. Por lo tanto la segmentación del rostro queda definida por el rectángulo de mayor proporción, el cual está graficado en color rojo ver (Ilustración 5-4).
- La ubicación del anterior rectángulo permite recortar la imagen original para su posterior análisis (ver Ilustración 5-5).

Ilustración 5-2. Captura del Rostro binarizada con umbral definido por el método de Otsu.
Fuente: Autor.



Ilustración 5-3. Rectángulos que contienen los objetos de la captura binarizada. Fuente: Autor.



Ilustración 5-4. Rectángulo de área mayor correspondiente al rostro en la captura binarizada. Fuente: Autor.



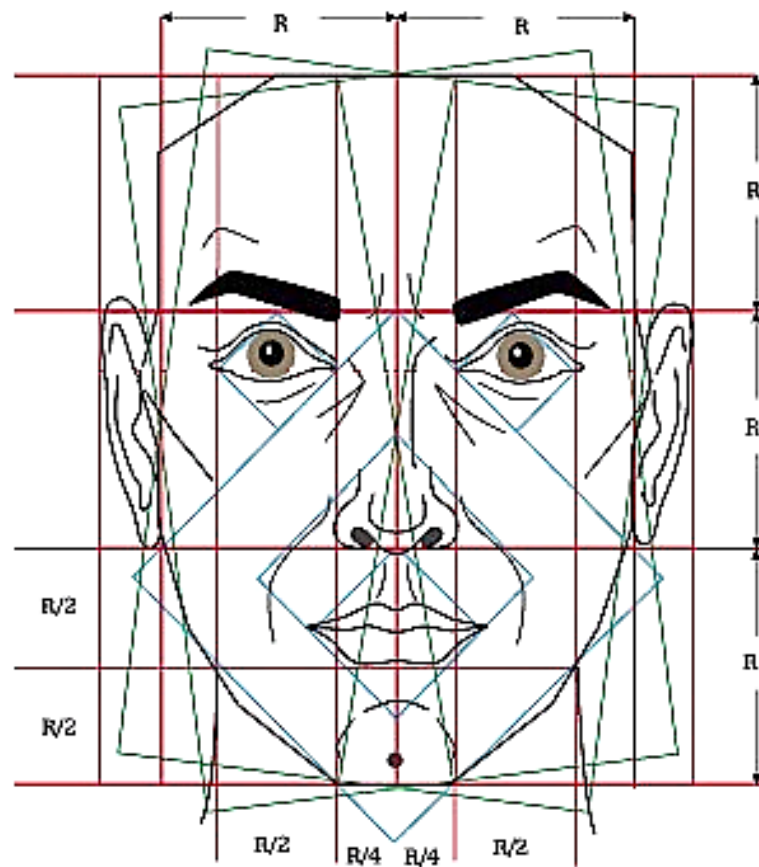
Ilustración 5-5. Segmentación efectiva del rostro del sujeto. Fuente: Autor.



5.1.3 Segmentación de la zona periorbital

Con la segmentación del rostro es posible concentrarse en la ubicación de la zona periorbital, utilizando como conocimiento de base las características antropomórficas del rostro, las cuales se pueden evidenciar en el canon del rostro humano (ver Ilustración 5-6). Sin embargo, el canon es un concepto que se refiere a las proporciones perfectas o ideales del cuerpo humano y las relaciones armónicas entre las distintas partes del rostro.

Ilustración 5-6. Canon del Rostro según Dr. G. Perseo. Fuente: <http://www.caborian.com/>



Lo anterior permite concentrarse en una proporción de la parte superior del rostro en la que se encuentra la zona periorbital. En este canon, el rostro se reparte verticalmente en tres partes iguales: el primer tercio corresponde a la frente y las cejas quedando justo por encima de los ojos; el segundo corresponde a los ojos, las orejas y la nariz; y el último a la boca y al mentón. En la Ilustración 5-6 se muestran estas proporciones aplicadas a un rostro.

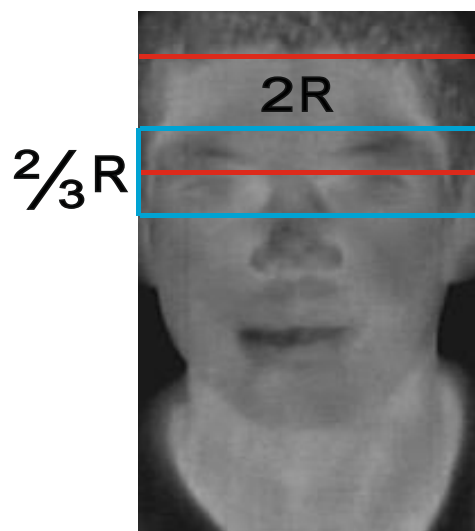
En la Ilustración 5-7 se muestra la aplicación de este canon a una imagen segmentada por el método de Otsu, ahora el trabajo es buscar estas líneas divisorias computacionalmente, de esta manera, para realizar una segmentación efectiva de la zona periorbital se define tomando como línea media el primer tercio

del rostro de un rectángulo de base $2R$ y de altura $\frac{2}{3}R$, como se muestra en la Ilustración 5-8 en color azul.

Ilustración 5-7. Canon del rostro aplicado a una captura termográfica. Fuente: Autor.



Ilustración 5-8. Segmentación de la zona periorbitan basada en el canon del Dr. G. Perseo. Fuente: Autor.



Para obtener automáticamente el valor de R , sobre la imagen binaria correspondiente a la segmentación del rostro, se identifica realizando un barrido de derecha a izquierda (Color Verde - Ilustración 5-9) y de izquierda a derecha (Color Cyan - Ilustración 5-9), la ubicación del primer y el último pixel del rostro en cada fila; de esta manera, R queda definido por el promedio (Color Amarillo vertical - Ilustración 5-9) de la diferencia (Color Azul - Ilustración 5-9) entre los extremos del rostro a lo largo de la imagen, a saber:

Sea $g(i, j)$ la imagen binaria segmentada de tamaño $m \times n$:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m I_i - D_i}{m} \text{ ec. (5-2)}$$

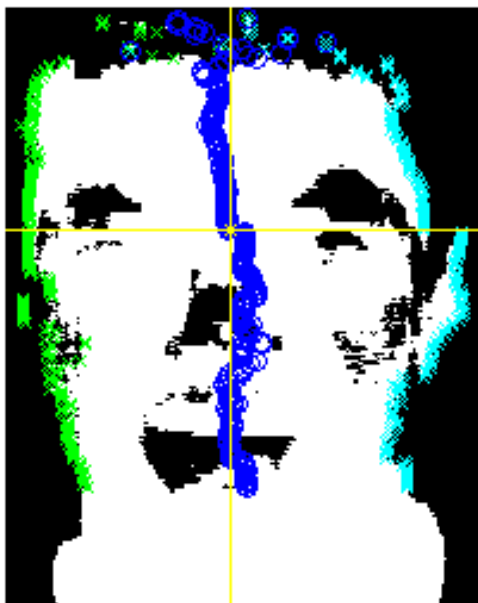
Dónde:

$$D_i = j \Rightarrow g(i, j) = 1 \wedge j \rightarrow n \text{ ec. (5-3)}$$

$$I_i = j \Rightarrow g(i, j) = 1 \wedge j \rightarrow 1 \text{ ec. (5-4)}$$

En la Ilustración 5-9 se muestra en verde el primer pixel con valor de 255 encontrado en cada fila (inicio horizontal del rostro), en cyan el ultimo valor de 255 en cada fila (fin horizontal del rostro), la mitad de la diferencia entre ambos se muestra en azul (R), el inicio vertical del rostro está dado por el primer pixel con valor de 255 encontrado entre las columnas de la imagen. Así mismo las líneas amarillas representan el primer tercio vertical y la mitad horizontal, línea amarilla horizontal y línea vertical respectivamente.

Ilustración 5-9. Obtención de la medida de R y del primer tercio del rostro. Fuente: Autor.



De esta manera, se puede definir el rectángulo que contiene la zona periorbital Ilustración 5-10, y extraerlo de la imagen del rostro Ilustración 5-11.

Ilustración 5-10. Rectángulo contenedor de la zona periorbital. Fuente: Autor.

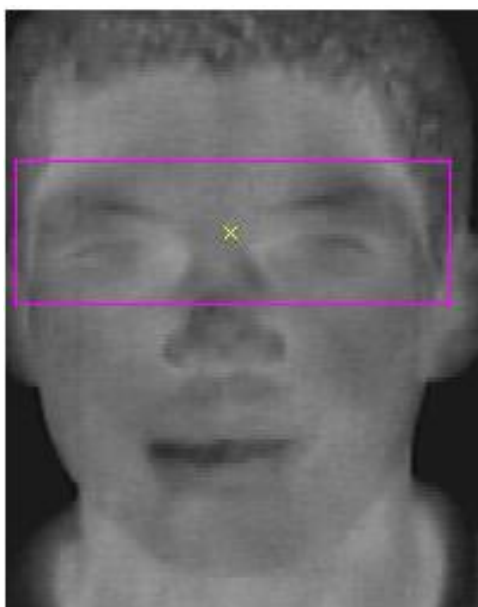


Ilustración 5-11. Segmentación efectiva de la zona periorbital. Fuente: Autor.



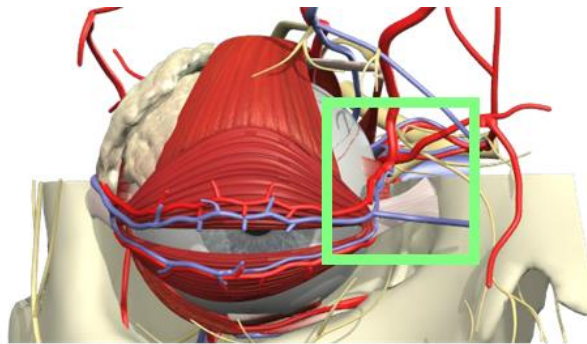
5.1.4 Obtención de los puntos de interés en la zona periorbital

Para obtener la temperatura de la zona periorbital y así tener una señal del comportamiento durante los experimentos, se utiliza la información de temperatura sobre los lagrimales dentro de un recuadro, debido a que en este punto se encuentra la mayor concentración de venas y arterias de la zona periorbital (ver Ilustración 5-12), por lo cual los cambios de temperatura en estos puntos son mayores que en otras regiones (I Pavlidis et al., 2000) (ver Ilustración 5-13).

Ilustración 5-12. Distribución de venas y arterias en la zona periorbital. Fuente: Primal Pictures 2014.



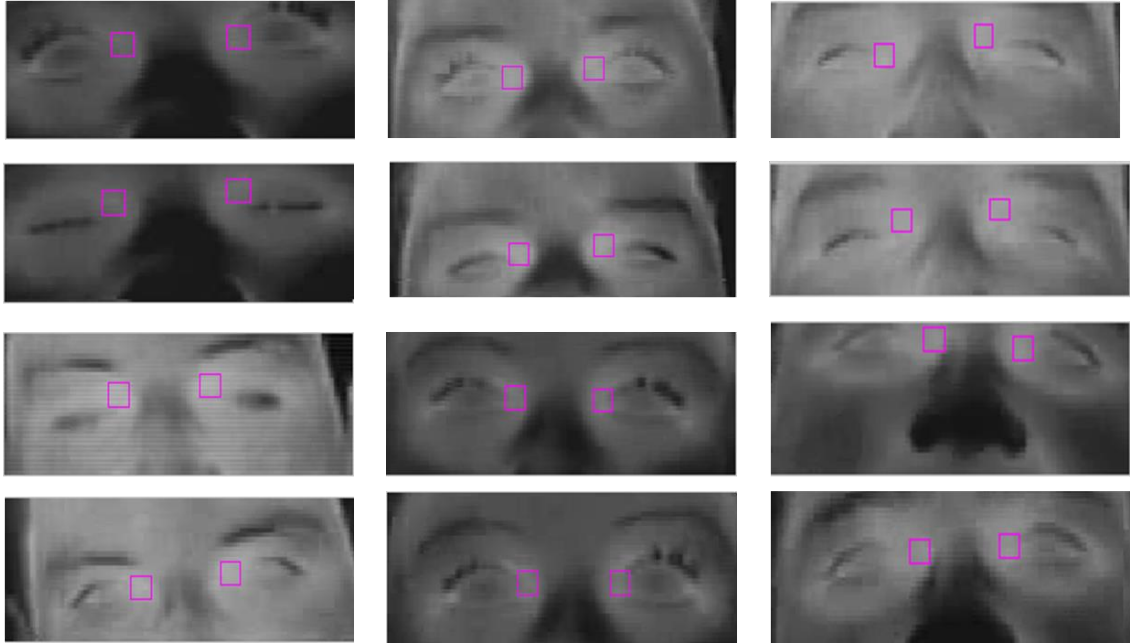
Ilustración 5-13. Objetivo para extraer la temperatura de la zona periorbital. Fuente: Primal Pictures 2014.



Para ubicar los lagrimales se aplica el filtro promedio de tamaño 9x9a cada mitad de la imagen de la zona periorbital, y se elige como lagrimal el punto con mayor valor promedio de temperatura. La máscara promedio de tamaño 9x9 garantiza que abarca el lacrimal completo y guarda proporción con la distancia establecida en el protocolo de captura de imágenes. La Ilustración 5-14 muestra algunos ejemplos de la ubicación automática de los lagrimales sobre la imagen original.

$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} ec. (55)$$

Ilustración 5-15. Característica de temperatura de la zona periorbital. Fuente: Autor.



5.1.5 Seguimiento de la zona periorbital durante el video

Para disminuir el tiempo de procesamiento, posterior a la ubicación de los lagrimales en la primera imagen, se emplea la técnica de Kanade-Lucas-Tomasi (Tomasi & Kanade, 1991) para el seguimiento de la zona periorbital. El algoritmo de Kanade-Lucas-Tomasi se basa en el cálculo de mínimos locales de la suma de las diferencias al cuadrado. Es una técnica que utiliza el gradiente espacial de intensidad para dirigir la búsqueda de los puntos homólogos. Es capaz de encontrar la mejor posición para los puntos de control en un número reducido de operaciones, partiendo de la base de que en muchas aplicaciones las dos imágenes de trabajo están alineadas.

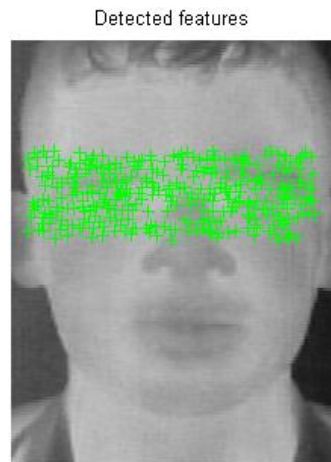
El algoritmo de seguimiento requiere el cálculo características singulares que distinga al objeto de interés trama a trama. Como características para distinguir la zona periorbital se usaron los eigenvalores de acuerdo con el algoritmo descrito en (Shi & Tomasi, 1994).

Para obtener estas regiones primero se calcula la matriz de autocorrelación 2×2 de la imagen a procesar, en este caso la zona periorbital ya segmentada. Para ello, previamente se obtienen las derivadas horizontal y vertical de primer orden para cada punto de la imagen, es decir el gradiente de cada punto. La idea es analizar los eigenvalores de la matriz de autocorrelación y así saber si un punto en concreto es una esquina, un borde o una región plana (García, 2010).

EL algoritmo de Shi y Tomasi también propone un filtrado de estas esquinas para obtener así solo las más significativas en los entornos locales. Sin embargo el umbral del filtro para esta aplicación es bastante pequeño ya que se busca obtener la mayor cantidad de puntos característicos posibles.

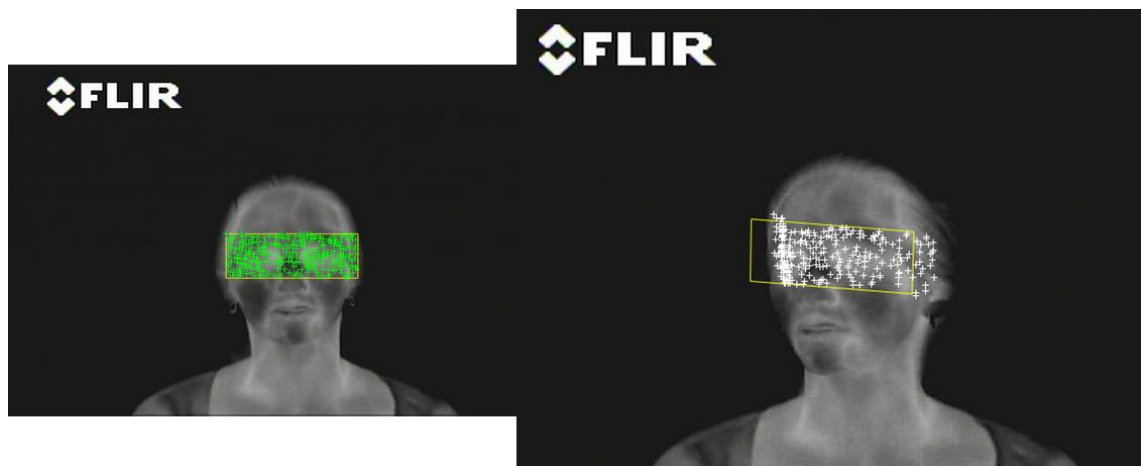
En la Ilustración 5-16 se presenta un ejemplo de las características encontradas dentro de la zona periorbital, a partir de los eigenvalores con el algoritmo de Shi y Tomasi.

Ilustración 5-16. Puntos característicos en la zona periorbital. Fuente: Autor.



La ilustración 5-17 presenta un ejemplo del resultado en el seguimiento de la zona periorbital entre dos tramas, en donde como caso particular , hay un movimiento pronunciado de la cabeza, usando el algoritmo de Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) descrito en(Tomasi & Kanade, 1991) con las características definidas a partir de los eigenvalores.

Ilustración 5-17. Resultados del seguidor de objetos, con algoritmo KLT. Fuente: Autor.



El costo de usar la técnica de seguimiento para disminuir el tiempo de procesamiento, es que precisión en la ubicación de los lagrimales. Por lo anterior, cada 150 fotogramas se repite el procedimiento obtención de los puntos de interés en la zona periorbital, de tal forma que se actualicen las características que deben ser ubicadas en las siguientes tramas. El periodo de actualización cada 150 tramas se determinó heurísticamente, y se verificó que hay una buena relación entre precisión y velocidad de cómputo que proveen cada una de las dos técnicas.

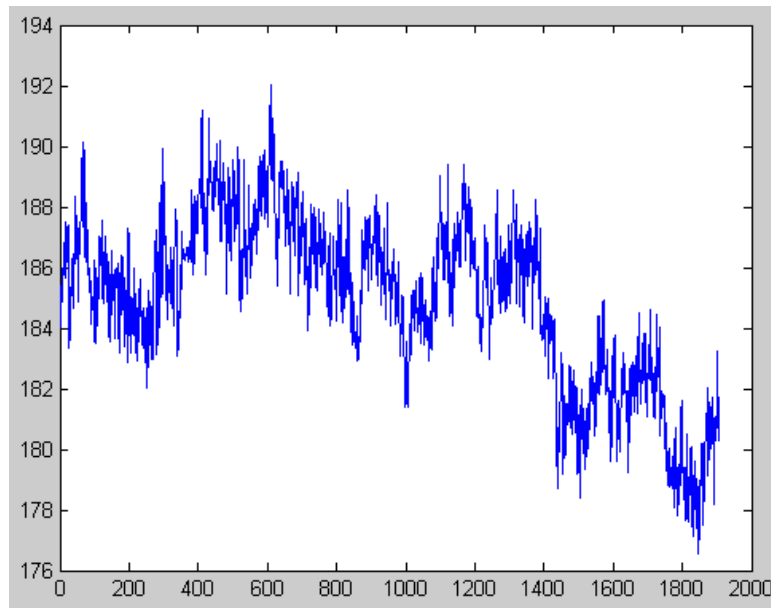
5.1.6 Obtención de la señal característica de temperatura de los puntos de interés durante el video.

A partir de la ubicación de la zona periorbital en una secuencia de video, se obtiene la señal de temperatura a lo largo del experimento, la cual se relaciona con el nivel de gris en el eje de las abscisas, mientras que las ordenadas dependen de la duración de la grabación. La Ilustración 5-18 corresponde a un ejemplo de señal de temperatura en uno de los experimentos realizados. Se puede observar que se trata de una señal ruidosa. Así mismo, (Ioannis Pavlidis, Eberhardt, & Levine, 2002) describieron que está compuesta por los siguientes componentes:

- Un componente de baja variación indicativo de la tendencia de los niveles de flujo de sanguíneo, lo que es de gran valor informativo.
- Un componente de frecuencia media, que se asocia con alteraciones temporales en el flujo sanguíneo causado por el estrés mismo que causa el experimento. Al igual que en el caso anterior, es de gran valor informativo.

- Un componente de alta frecuencia causado principalmente por la inestabilidad del seguimiento y el ruido sistemático.

Ilustración 5-18. Señal de un participante sometido al experimento de provocación de estados de ansiedad. Fuente: Autor.



De esta manera, es necesario suprimir el ruido eliminando el componente de alta frecuencia. La frecuencia de corte del filtro se estableció a través de un análisis frecuencial al transformar la señal mediante la Transformada de Fourier. La frecuencia de corte se definió alrededor de 0.2 Hz para todos los casos.

Se examinaron dos posibilidades para realizar el filtrado: con filtros FIR y con la transformada wavelet. La Ilustración 5-19 representa un ejemplo de diagrama de magnitud y fase para este tipo de filtros y la Ilustración 5-20 el resultado de filtrar la señal con el filtro de Ilustración 5-19. Como se muestra en la Ilustración 5-20, para este tipo de filtros se tiene un retraso de grupo considerable e inevitable que distorsiona la señal original; esto significa que se alteran los valores de temperatura de la zona periorbital; por lo que se descarta esta solución.

Ilustración 5-19. Filtro FIR paso bajo de fase lineal con frecuencia de corte 0.2Hz. Fuente: Autor.

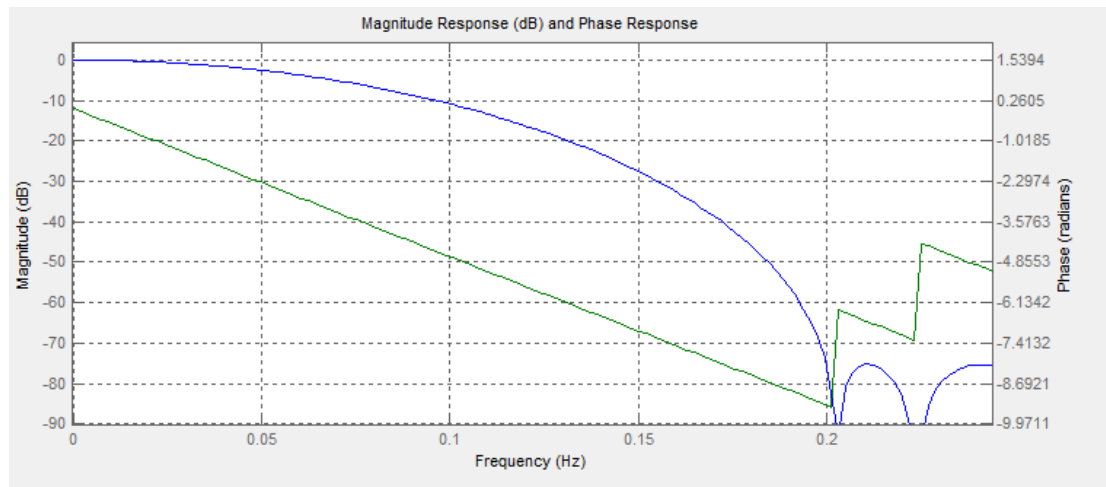
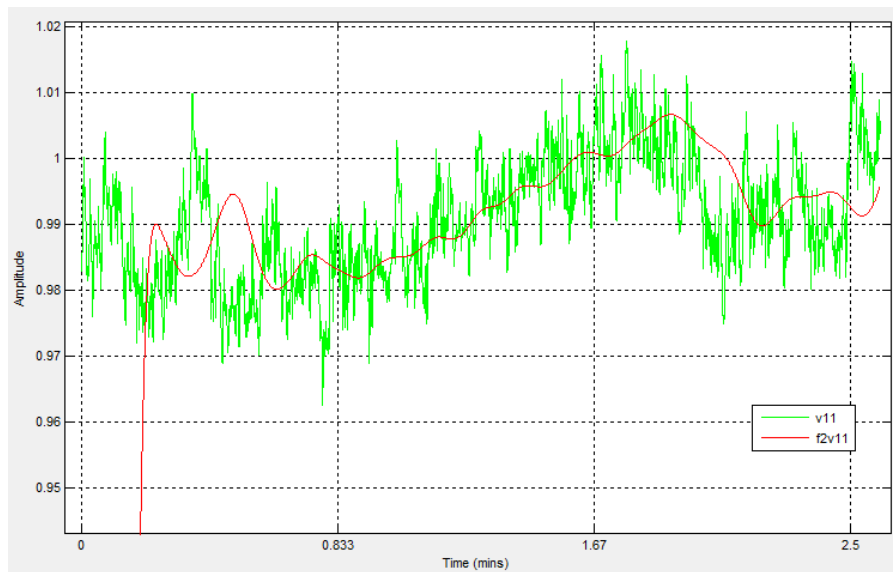


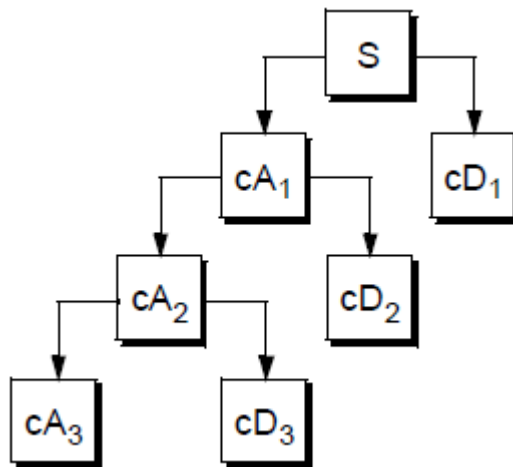
Ilustración 5-20. Filtrado de la señal con filtros FIR de fase lineal. Fuente: Autor.



(Zamorano, 2010) encontró que la transformada *wavelet* es capaz de mapear una señal en una representación tiempo-escala. Por otro lado, a través de la transformada *wavelet* se tiene también la capacidad de compresión o filtrado de señales sin degradaciones apreciables de la misma (Misiti & Misiti, 1996).

Teniendo en cuenta el análisis de (Zamorano, 2010) y las consideraciones expuestas en (Misiti & Misiti, 1996), se probó el filtrado de la señal de temperatura en la zona periorbital mediante el análisis de los coeficientes de aproximación⁵ de la transformada *wavelet*, con una *wavelet* madre *Meyer*. En la Ilustración 5-21 se muestra el árbol de descomposición *wavelet* de nivel 3 de la señal S , en la cual los coeficientes de las señales de detalle cD_n , corresponden al ruido de alta frecuencia, mientras que los coeficientes de la señal de aproximación cA_n , contienen menos ruido que la señal original y menos que el cA_{n-1} .

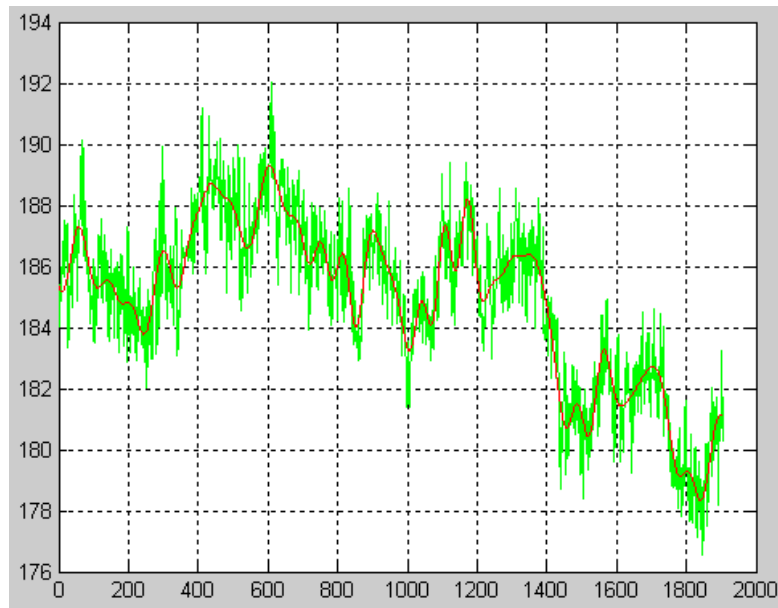
Ilustración 5-21. Árbol de descomposición *wavelet* de nivel 3 de la señal S . Fuente: (Misiti & Misiti, 1996)



En la Ilustración 5-22 aparece en verde la señal original y en rojo la señal cA_5 , de la transformada *wavelet*, como se puede ver, es una representación suavizada de la

curva original, sin retraso de grupo ni deformaciones, en contraposición a los ocurrido con los filtros FIR.

Ilustración 5-22. Señal filtrada de la señal de un participante sometido al experimento de provocación de estados de ansiedad. Fuente: Autor.



Con esta señal filtrada es posible reducir el problema a uno de tratamiento de señales digitales, así obtener características que permitan tratar la información y determinar según sea el experimento, si se trata de una mentira o una verdad o de una reacción de ansiedad o de relajación.

5.2 Clasificación

5.2.1 Clasificación de Mentiras

Para la clasificación se debe desarrollar un esquema de decisión que permita separar cada una de las señales obtenidas de los videos, en las categorías de “miente” y “no miente”. Sin embargo, el grado de elevación de la temperatura depende no sólo de la intensidad de estrés que expresa el participante, sino también de la propia psicofisiología del sujeto, de esta manera cada persona reaccionara de manera diferente y con diferente intensidad a los mismos estímulos. Por lo tanto, un esquema de decisión efectivo debe normalizar la variabilidad entre individuos a través de una medida intraindividual.

Para la realización de este trabajo resulta de interés particular, debido a la estructura del problema y al tipo de datos a analizar, los clasificadores por reconocimiento sintáctico. El reconocimiento sintáctico: se basa en encontrar las relaciones estructurales que tienen las muestras que pretenden ser clasificadas, utilizando la teoría de lenguajes formales, teoría de autómatas o una descripción empírica de dicha estructura. El objetivo es construir una “gramática” que describa la estructura de cada una de las clases.

Teniendo en cuenta el esquema de interrogación planteado en la Sección 4.2.2, es de esperar la posibilidad de observar en la señal de temperatura las siguientes características:

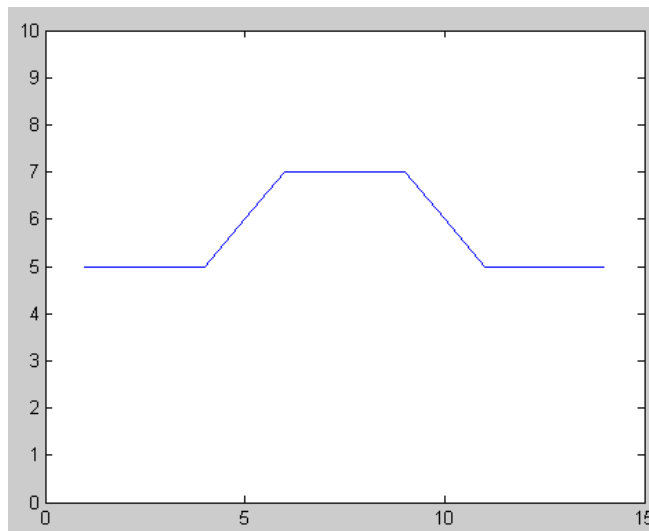
- Antes de la serie de preguntas de control acusativas, la representación del nivel de temperatura correspondiente a la propia fisiología del sujeto, ya que en esta sección del interrogatorio se pretende, desviar la mente del participante acerca de la decisión tomada provocando bajos niveles de

estrés, lo cual será tomado como la línea de base del sujeto para el experimento.

- Durante la serie de preguntas de control acusativas, se espera tener un incremento del nivel de la señal, definido como el nivel de estrés psicológico percibido por unidad de tiempo, mientras se miente o no se miente.
- Después de las preguntas de control acusativas, se espera volver de nuevo a la línea de base del sujeto para el experimento, en donde los niveles de estrés son bajos.

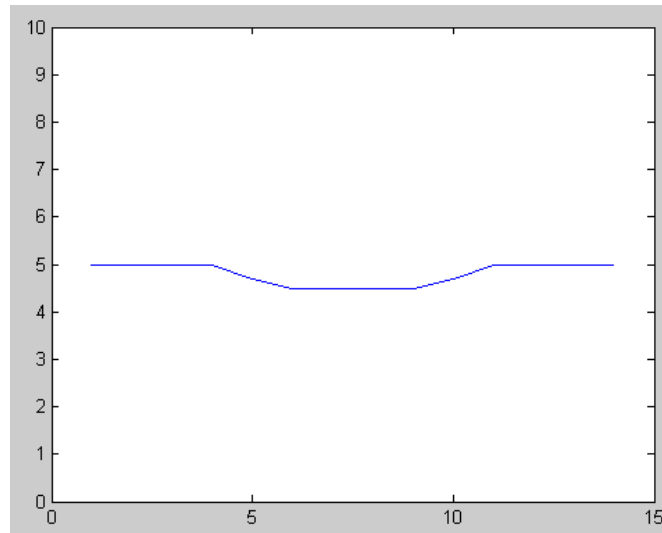
De este modo se espera que la temperatura sea mayor entre las preguntas 4 y 7 que en el resto del interrogatorio. De acuerdo con lo anterior en la Ilustración 5-23 se muestra el modelo sintáctico que se espera que siga la curva de temperatura de un interrogatorio clasificado como “miente”.

Ilustración 5-23. Representación sintáctica esperada de la curva de temperatura de un video clasificado como "miente".



Mientras que para un video clasificado como “no miente” no deberá presentar una tendencia de alta temperatura en las preguntas de control, sino una temperatura estable o inclusive menor, ya que cuando se dice la verdad el nivel de estrés cae y en consecuencia la temperatura también.

Ilustración 5-24. Representación sintáctica esperada de la curva de temperatura un video clasificado como "no miente"



De esta manera es posible resumir el esquema de decisión de con la siguiente ecuación:

$$T_{Pcontrol} - T_{Total} \rightarrow \begin{cases} < 0 \text{ "miente"} \\ \leq 0 \text{ "no miente"} \end{cases} \quad \text{ec. (5-6)}$$

Donde $T_{Pcontrol}$ es el promedio de los valores de la señal durante el lapso de tiempo entre las preguntas 4 y 6 anotados en el Anexo 1 y T_{Total} es el promedio de todos los valores de la señal de temperatura. En otras palabras, si el cambio fisiológico durante la serie de preguntas de control acusativas es mayor que el cambio de línea de base, entonces el video es clasificado como “miente”.

5.2.2 Clasificación de estados de ansiedad

Adicional a la experimentación para la detección de mentiras, se realizó el procedimiento de clasificación para identificar cambios entre los estados de ansiedad y relajación, con las muestras obtenidas de acuerdo al protocolo experimental para provocación de ansiedad descrito en la Sección 4.3.

Para esta clasificación se realizó un procedimiento de extracción de características, el cual es: el proceso de tratamiento de información mediante el cual se elimina para el análisis la información redundante, y se preserva la relevante.

Según algunas de las características más usadas para la clasificación de señales son:

1. Media o Promedio

Permite hallar los valores centrales de la señal, partiendo del principio del valor esperado, y se calcula a partir de la suma de todos los valores de la señal dividida entre la longitud de la señal ec. (5-7)

$$MeanR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{ec. (5-7)}$$

2. Valor RMS

Permite obtener el valor medio cuadrático de la señal sin tener en cuenta los efectos del signo ec. (5-8)

$$RMS_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad \text{ec. (5-8)}$$

3. Potencia

Es la cantidad de energía entregada o absorbida en un período de tiempo ec. (5-9).

$$PowerR = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N X_i \text{ ec. (5-9)}$$

4. Máximo pico sobre longitud de la onda

Es un indicador de la distribución de las temperaturas en la señal).

$$MaxPR = \frac{1}{N-1} Max(X_i), 1 < i < N \text{ ec. (5-10)}$$

5. Entropía

Permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo ec. (5-11).

$$EntropyR = - \sum_{i=1}^N X_i^2 \log(X_i^2) \text{ ec. (5-11)}$$

6. Característica de pendiente

Permite obtener información sobre la tendencia (crecimiento o decrecimiento) de la señal, y corresponde a restarle al promedio de la segunda mitad de los datos el promedio de los datos de la primera mitad, como lo expresa la ec. (5-12).

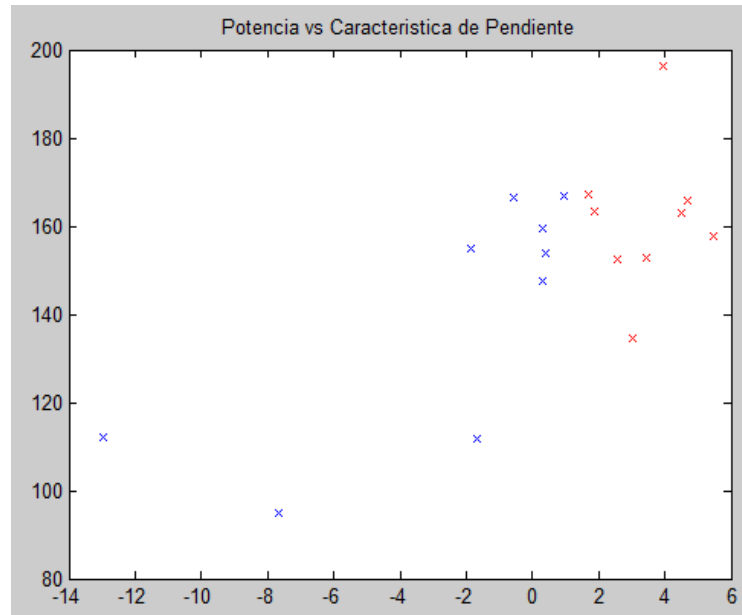
$$DifR = \frac{2}{N} \left(\sum_{i=\left(\frac{N}{2}\right)+1}^N X_i - \sum_{i=1}^{N/2} X_i \right) \quad \text{ec. (5-12)}$$

Análisis multivariado para la selección de las características a utilizar

Para identificar cuáles de estas características son las más discriminantes, se aplicó análisis multivariado, de tal forma que con el menor número posible de características se logre la mejor clasificación. En otras palabras, la reducción de la dimensión de datos permite retener la información que es realmente importante sobre la que no lo es, para incrementar el desempeño y simplificar la tarea del clasificador.

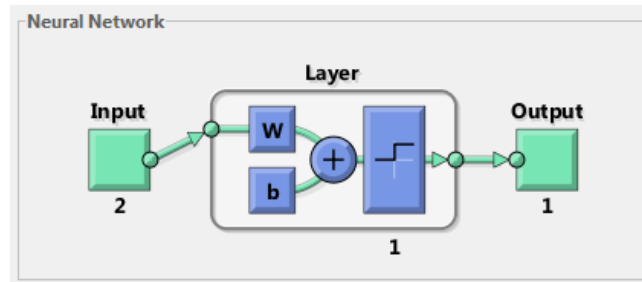
Para la selección de características se utilizaron 18 muestras validas de los estados de ansiedad y de relajación, y se verificó la mayor separabilidad entre clases por característica. Posteriormente, se analizó la discriminación de clase por parejas y se encontró que la mejor combinación es la Potencia y la Pendiente. La ilustración 5-23 muestra la gráfica de estas dos características para las 18 muestras, para las cuales al analizar su comportamiento se encontró que las clases pueden separarse mediante una superficie lineal. El clasificador empleado en este experimento corresponde a una red neuronal tipo perceptron, debido a su amplia capacidad de clasificar entre dos categorías cuando estas resultan ser linealmente separables.

Ilustración 5-25. Característica de Potencia vs Característica de pendiente. Fuente: Autor.



Este tipo de red es una red monocapa, en donde la capa de entrada no realiza procesamiento alguno sobre la señal de estímulo, por lo tanto la capa de procesamiento es la misma capa de salida. Así, el perceptron en su entrada posee varias neuronas lineales que se encargan de recibir el estímulo externo de la red y a la salida presenta una única capa de neuronas con una función de activación binaria, con lo que la salida de cada neurona solo este entre dos posibles valores (Caicedo, 2003). La arquitectura de la red usada se muestra en la Ilustración 5-26.

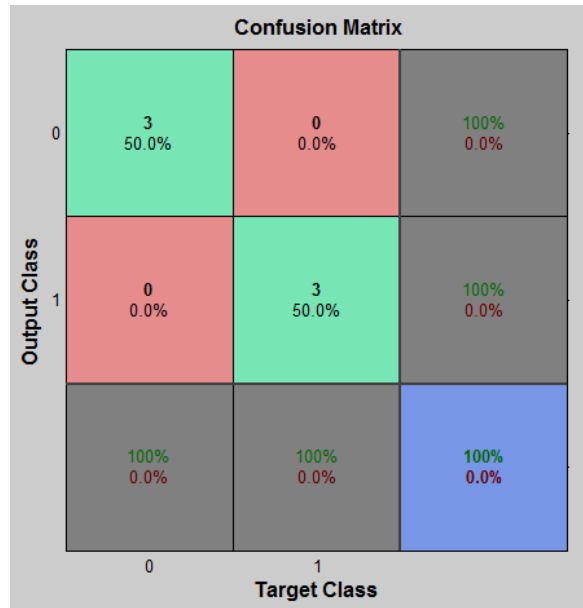
Ilustración 5-26. Arquitectura de la red neuronal para clasificar estados de ansiedad.



Como consecuencia de lo anterior esta arquitectura de red, solo es capaz de clasificar patrones que son linealmente separables, lo cual es suficiente para el problema que supone el experimento de provocación de estados de ansiedad.

Para el entrenamiento se emplearon 6 de las 18 muestras, 3 de ansiedad y 3 de relajación, seleccionadas al azar. La matriz de confusión obtenida en el entrenamiento se muestra en la Ilustración 5-27 revelando un porcentaje de desempeño exitoso del 100%

Ilustración 5-27. Matriz de confusión de entrenamiento.



5.3 Resultados

En el siguiente apartado se muestran los resultados de clasificación de detección de mentiras y de detección de estados de ansiedad con los datos de validación.

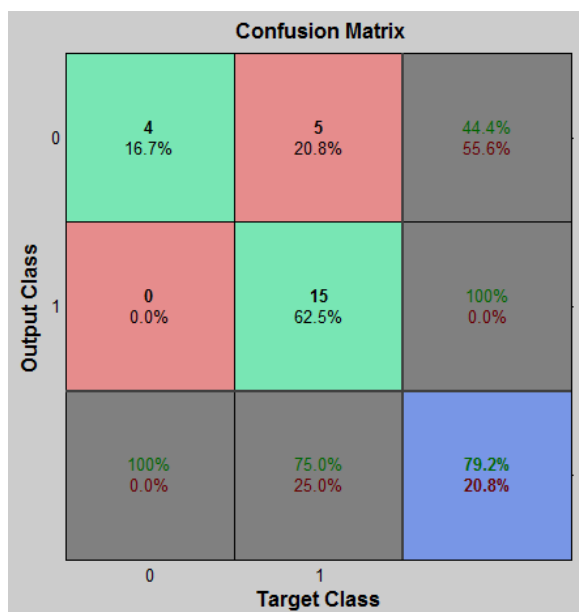
5.3.1 Resultados de clasificación de mentiras

En la Tabla 5-1 se muestran los resultados de clasificación de cada una de las 24 muestras, en azul las muestras mal clasificadas y en la Ilustración 5-28 se muestra la matriz de confusión de estos resultados.

Tabla 5-1. Resultados de clasificación del experimento de incitación a mentir.

No	Id del Participante	Respuesta dada	Clasificación
1	S1	Miente	Miente
2	S2	Miente	Miente
3	S3	Dice la Verdad	Dice la Verdad
4	S4	Miente	Miente
5	S5	Miente	Miente
6	S6	Miente	Miente
7	S7	Miente	Dice la Verdad
8	S8	Miente	Miente
9	S9	Miente	Dice la Verdad
10	S10	Miente	Miente
11	S11	Miente	Miente
12	S12	Miente	Miente
13	S14	Dice la Verdad	Dice la Verdad
14	S15	Dice la Verdad	Dice la Verdad
15	S16	Miente	Miente
16	S17	Miente	Dice la Verdad
17	S18	Miente	Dice la Verdad
18	S19	Miente	Miente
19	S20	Miente	Miente
20	S21	Dice la Verdad	Dice la Verdad
21	S22	Miente	Miente
22	S23	Miente	Miente
23	S24	Miente	Dice la Verdad
24	S25	Miente	Miente

Ilustración 5-28. Matriz de confusión para la clasificación del experimento de provocación de incitación a mentir.



De esta manera, el sistema propuesto logra un 100% en el reconocimiento de las personas que dicen la verdad y una efectividad del 79.2% en la detección de mentiras.

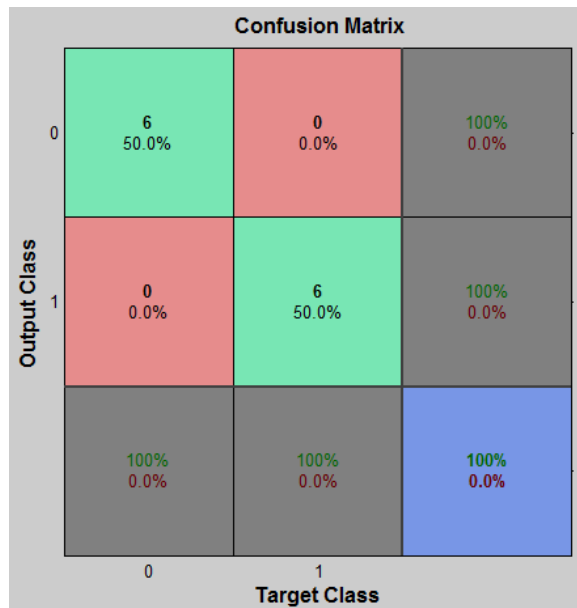
5.3.2 Resultados de clasificación de Estados de ansiedad

Los resultados de clasificación de las 12 muestras restantes se muestran en la Tabla 5-2, y en la Ilustración 5-29 la matriz de confusión asociada.

Tabla 5-2. Resultados de clasificación de las muestras de validación del experimento provocación de ansiedad.

Id del participante	Video Observado	Clasificación
1	Terror	Ansioso
2	Terror	Ansioso
3	Terror	Ansioso
4	Terror	Ansioso
5	Terror	Ansioso
6	Terror	Ansioso
7	Relajación	No Ansioso
8	Relajación	No Ansioso
9	Relajación	No Ansioso
10	Relajación	No Ansioso
11	Relajación	No Ansioso
12	Relajación	No Ansioso

Ilustración 5-29. Matriz de confusión para la clasificación de las muestras de validación del experimento de provocación de estados de ansiedad.



Como se observa, se logra clasificar con un 100% de efectividad los estados de ansiedad y de relajación bajo el experimento de provocación de ansiedad realizado en el marco del experimento psicológico de imágenes adversas, presentado en la Sección 4.3.

Los resultados anteriores permiten concluir que es posible detectar con mayor precisión los estados de ansiedad provocados por situaciones de miedo que la ansiedad causada a partir del acto de mentir. También es de esperar que en situaciones reales en las cuales esté en juego aspectos como la libertad, la reputación, etc. sea más fácil detectar la mentira que en el experimento de robo simulado que se recreó.

CAPITULO 6

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1 Alcances

Dentro de la investigación previa que se hizo acerca del estado del arte se encontraron diferentes prototipos de sistemas para detección de ansiedad y de mentiras, tanto en aeropuerto como en productos sustitos del polígrafo. Es posible que a medida que se hagan mejoras en el sistema pueda resultar siendo un producto viable para sacar al mercado y además de eso útil a la sociedad. Es el caso de reino unido que en 2011 se puso en prueba un sistema similar para ayudar con la seguridad de inmigración.

Por otro lado, la eficiencia del sistema puede ser mayor. Entre las bibliografías consultadas se encuentran porcentajes de acierto de 80% (Shastri et al., 2008) y hasta 87.2% (Buddharaju et al., 2005). De continuar con la investigación y el mejoramiento del experimento se podría alcanzar o incluso llegar a mejorar a algunas de las bibliografía.

6.2 Limitaciones

Las limitaciones de este proyecto son reducidas ya que la plataforma puede crecer en grandes cantidades y la actualización de los protocolos puede ser constante. Las verdaderas limitaciones no están en el sistema en si, sino en su posible implementación o desarrollo como producto. Esto se debe al alto costo que

conlleven las cámaras termográficas y la dificultad que tienen algunas para el enfoque en ciertos objetivos. Muchas de las cámaras térmicas no tienen los sistemas de autofocus esto porque los sistemas de autofocus se basan en la luz reflejada en un objeto o en sistemas activos que triangulan la posición por medio de una luz infrarroja o ultrasonido. Esto no es conveniente pues la persona que será analizada debe estar a una distancia específica de la cámara durante el análisis.

La detección en este caso en particular, solo funciona si la persona está de frente a la cámara. Lo que representa una gran limitante para su futura implementación a gran escala o en otro ámbito que no sea de investigación. Además de eso están las exigencias del protocolo, si una persona tiene la cara mojada, bien sea por sudor o simplemente se echó agua en la cara, el sistema queda inhabilitado ya que la temperatura que ve la cámara no tendrá los cambios de temperatura esperados e incluso puede afectar el tracking del rostro pues puede ocultar partes del rostro tras el agua.

Mencionado el tracking, se determinó que puede ser un limitante, el tracking es aún muy sensible a movimientos bruscos de la cabeza por lo que en una situación de comportamiento natural de algún sujeto sería difícil de realizar la prueba ya que en muchos casos las personas hacen bastantes gestos con el cuerpo. Si el tracking falla en algún punto, en ese punto la gráfica de temperatura va a tener una discontinuidad que no podrá ser corregida. Si se quisiera ser corregida el algoritmo sería más complicado haciendo más lento el procesamiento. De cualquier modo si la gráfica de temperatura falla la detección y la eficiencia del sistema ya no sería muy veraz.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se desarrolló un sistema de visión artificial que, mediante el análisis de imágenes infrarrojas del rostro, detecta automáticamente mentiras con un porcentaje de éxito del 79.2%.

Adicionalmente se llevaron a cabo pruebas preliminares de detección de estados de ansiedad generados por situaciones de miedo, usando la misma metodología de procesamiento de la información térmica capturada, logrando una efectividad del 100% en las 18 muestras de video disponibles.

Los experimentos planteados guardan concordancia con las teorías psicológicas de la mentira, las reacciones fisiológicas cuando un proceso de mentir ocurre en el cuerpo, y la detección de cambios de temperatura asociados a estas reacciones mediante imágenes infrarrojas del rostro, siguiendo el protocolo propuesto para la captura de imágenes y el desarrollo de los experimentos

Se validaron los hallazgos fisiológicos sobre la viabilidad del uso de la zona periorbital para la detección de cambios térmicos causados por situaciones de ansiedad ligadas a la mentira y al miedo.

Se modificó el experimento original de robo simulado (Mihalcea, Narvaez, & Burzo, 2014) con el fin de provocar reacciones fisiológicas equivalentes a situaciones donde el proceso de mentir es realizado de manera premeditada y consciente. Igualmente se implementó un experimento preliminar para generar estados de ansiedad, inspirado en la proyección de imágenes adversas para

visualizar su posible aplicación en la detección de ansiedad producto de otras fuentes.

Se diseñó un sencillo pero ingenioso método de segmentación del rostro y de la zona periorbital en una imagen térmica, con el que se logran obtener características que permiten discriminar entre los diferentes estados de ansiedad analizados.

El análisis multivariado de las características permite reducir la información sin deteriorar el desempeño del sistema, y sin la necesidad de realizar una búsqueda exhaustiva de todas las combinaciones posibles de características.

7.1 TRABAJOS FUTUROS

- Migrar el sistema software a una aplicación abierta, liberando la ejecución del sistema de un programa licenciado.
- Mejorar el método de seguimiento de la zona periorbital, con técnicas enfocadas a aplicaciones con imágenes térmicas, para permitir mayor libertad de movimiento en el interrogatorio.
- Diseñar un procedimiento para obtener de forma autónoma los tiempos en los cuales ocurren las preguntas de control.
- Implementar una interfaz gráfica que permita una retroalimentación visual instantánea del proceso.

- Evaluar la posibilidad de fusionar el sistema desarrollado con otros sistemas de detección de mentiras para lograr una tasa de detección mucho mayor.
- Profundizar en la detección de estados de ansiedad, no solo como un preámbulo a la detección de mentiras, si no como una alternativa a la detección de emociones.

8. REFERENCIAS

- Abootalebi, V., Moradi, M. H., & Khalilzadeh, M. A. (2009). A new approach for EEG feature extraction in P300-based lie detection. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 94(1), 48–57.
<http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.10.001>
- Agnew, Z., & Wise, R. J. S. (2008). Separate areas for mirror responses and agency within the parietal operculum. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 28(47), 12268–73.
<http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2836-08.2008>
- Andrén, J., & Funk, P. (2005). A Case-Based Approach Using Behavioural Biometrics to Determine a User's Stress Level. *ICCBR Workshops*, 5. Retrieved from
http://pdf.aminer.org/000/284/088/a_case_based_approach_using_behavioural_biometrics_to_determine_a.pdf
- Arumalla, R. (2009). Medical Infrared Image Analysis for detecting skin temperature disparities. Retrieved from
<http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1306&context=theses>
- Barnes, J. A. (1994). *A Pack of Lies: Towards a Sociology of Lying* (p. 200). Cambridge University Press. Retrieved from
https://books.google.com.co/books/about/A_Pack_of_Lies.html?id=6rEdWVBHhUgC&pgis=1
- Benitez-Restrepo, H. D. (2008). *Contribución a la caracterización de defectos en termografía infraroja mediante máquinas de aprendizaje*.
- Ben-Shakhar, G. (1977). A further study of the dichotomization theory in detection of information. *Psychophysiology*. Retrieved from
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8986.1977.tb02974.x/abstract>
- Ben-Shakhar, G., & Furedy, J. J. (1990). *Theories and Applications in the Detection of Deception*. New York, NY: Springer New York.
<http://doi.org/10.1007/978-1-4612-3282-7>
- Berlyne, D. (1960). Conflict, arousal, and curiosity. Retrieved from
<http://psycnet.apa.org/psycinfo/2006-09643-000>

- Binet, A. (1896). Psychology of prestidigitation. *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*, 555–571.
- Bradley, M., & Rettinger, J. (1992). Awareness of crime-relevant information and the Guilty Knowledge Test. *Journal of Applied Psychology*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/apl/77/1/55/>
- Buddharaju, P., Dowdall, J., Tsiamyrtzis, P., Shastri, D., Pavlidis, I., & Frank, M. G. (2005). Automatic Thermal Monitoring System (ATHEMOS) for Deception Detection. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, 2, 1179–1179. <http://doi.org/10.1109/CVPR.2005.82>
- Caicedo, E. (2003). *Guías de Clase de Redes Neuronales Artificiales*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Carpintero Capell, H., & Rechea Alberola, M. C. (1998). La Psicología Jurídica en España: su evolución. *Fundamentos de La Psicología Jurídica*. Ediciones Pirámide. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=995429>
- Chandler, M. J., & Afifi, J. (1996). On Making a Virtue Out of Telling Lies. Retrieved from <http://philpapers.org/rec/CHAOMA-2>
- Chiu, W., Lin, P., Chiou, H. Y., Lee, W. S., Lee, C. N., Yang, Y. Y., ... Hsu, C. Y. (2005). Infrared Thermography to Mass-Screen Suspected Sars Patients with Fever. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 17(1), 26–28. <http://doi.org/10.1177/101053950501700107>
- Clifton, C. (1991). *Deception Detection: Winning the Polygraph Game* (p. 145). Paladin Press. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Deception_Detection.html?id=J6gEAAACAAJ&pgis=1
- Corral, S., Otero, J., Barrenetxea, A., & Landeta, O. (1998). Información y Test de Conocimiento Culpable en la Detección del Engaño. *Psicológica*, 19, 187–199.
- Cuenya, L., Kamenetzky, G., & Fosachea, S. (2013). Efecto del contraste sucesivo negativo en la valoración emocional de imágenes. *Anales de Psicología*, 29, 944–952. <http://doi.org/10.6018/analesps.29.3.150861>

- Davidson, P. (1968). Validity of the guilty-knowledge technique: the effects of motivation. *Journal of Applied Psychology*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1968-05079-001>
- De Santos, A. (2011). Real-Time Stress Detection by Means of Physiological Signals. *Group of Biometrics*, Retrieved from <http://cdn.intechweb.org/pdfs/17036.pdf>
- Dennett, D. C. (1981). *Brainstorms: Philosophical Essays on Mind and Psychology*. Retrieved from https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=_xwObaAZEwoC&pgis=1
- Dessoir, M. (1893). The psychology of legerdemain. *The Open Court*, 7.
- Dinges, D., & Venkataraman, S. (2007). Monitoring of facial stress during space flight: Optical computer recognition combining discriminative and generative methods. *Acta Astronautica*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576506003079>
- Eddy, A. L., Van Hoogmoed, L. M., & Snyder, J. R. (2001). The role of thermography in the management of equine lameness. *Veterinary Journal (London, England : 1997)*, 162(3), 172–81. <http://doi.org/10.1053/tvjl.2001.0618>
- Ekman, P. (1993). *Telling Lies*. Peter Smith Publisher, Incorporated. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Telling_Lies.html?id=WpVEPwAACA-AJ&pgis=1
- Elaad, E., & Ben-Shakhar, G. (1989). Effects of motivation and verbal response type on psychophysiological detection of information. *Psychophysiology*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8986.1989.tb01950.x/abstract>
- Fendt, M., & Fanselow, M. S. (1999). The neuroanatomical and neurochemical basis of conditioned fear. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23(5), 743–60. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10392663>
- Fernández Corcobado, I. C. (2009). La Microbiología Forense se renueva: bioindicadores de data de muerte. *Biólogos: Revista Del Colegio Oficial de Biólogos de La Comunidad de Madrid*. Colegio Oficial de Biólogos de la Comunidad de Madrid. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4424421>

- Fujimasa, I., Chinzei, T., & Saito, I. (2000). Converting Far Infrared Image Information to Other Physiological Data, (June).
- Furedy, J., & Ben-Shakhar, G. (1991). The roles of deception, intention to deceive, and motivation to avoid detection in the psychophysiological detection of guilty knowledge. *Psychophysiology*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8986.1991.tb00407.x/abstract>
- Gao, J., Rao, N., Yang, Y., & Wei, W. (2012). A New Lie Detection Method Based on Small-number of P300 Responses. In *2012 International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology* (pp. 662–665). IEEE. <http://doi.org/10.1109/iCBEB.2012.31>
- Garbey, M., Merla, a., & Pavlidis, I. (2004). Estimation of blood flow speed and vessel location from thermal video. *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004.*, 1, 356–363. <http://doi.org/10.1109/CVPR.2004.1315054>
- García, D. O. (2010). Fusión de secuencias de vídeo de alta velocidad procedentes de cámaras desplazadas espacial o temporalmente.
- Genno, H., Ishikawa, K., Kanbara, O., Kikumoto, M., Fujiwara, Y., Suzuki, R., & Osumi, M. (1997). Using facial skin temperature to objectively evaluate sensations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(2), 161–171. [http://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00011-X](http://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00011-X)
- Gómez, S. de P. (1995). *Arquitecturas y Algoritmos para el Tratamiento y la Segmentación de Imágenes en Tiempo Real*. Universidad de Valladolid.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2007). *Digital Image Processing* (p. 976). Prentice Hall.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). *Human Mental Workload. Advances in Psychology* (Vol. 52, pp. 139–183). Elsevier. [http://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](http://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Hernández Fernaud, E. (1999). La detección de la mentira: perspectiva científica versus perspectiva lega. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=905&info=resumen&idioma=SPA>
- Hildebrandt, C., & Raschner, C. (2009). An intra-examiner reliability study of knee temperature patterns with medical infrared thermal imaging. *Thermology International*, 19, 73–77.

- Honts, C., Kircher, J., & Raskin, D. (1995). Polygrapher's dilemma or psychologist's chimaera: A reply to Furedy's logico-ethical considerations for psychophysiological practitioners and researchers. *International Journal of ...* Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167876095000380>
- Horneman, C., & O'Gorman, J. (1985). Detectability in the card test as a function of the subject's verbal response. *Psychophysiology*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8986.1985.tb01609.x/abstract>
- Horvath, F. (1978). An experimental comparison of the psychological stress evaluator and the galvanic skin response in detection of deception. *Journal of Applied Psychology*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/apl/63/3/338/>
- Iacono, W. (1995). Offender testimony: Detection of deception and guilty knowledge. *Psychology and Policing*. Retrieved from https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=QgsMvvLspPQC&oi=fnd&pg=PA155&dq=Offender+testimony:+Detection+of+deception+and+guilty+knowledge.&ots=lixZGS7nlt&sig=8mVnBbBFvyQjQqq4I_AriUnPTIU
- Iacono, W. G., Boisvenu, G. A., & Fleming, J. A. (1984). Effects of diazepam and methylphenidate on the electrodermal detection of guilty knowledge. *The Journal of Applied Psychology*, 69(6), 289–299. <http://doi.org/10.1037/0021-9010.69.2.289>
- Jain, U., Tan, B., Li, Q. P., Technologies, L. C., & Park, F. (2012). Concealed knowledge identification using facial thermal imaging, 1677–1680.
- JANISSE, M., & Bradley, M. (1980). Deception, information and the pupillary response. *Perceptual and Motor Skills*. Retrieved from <http://www.amsciepub.com/doi/pdf/10.2466/pms.1980.50.3.748>
- Jastrow, J. (1900). *Fact and Fable in Psychology* (p. 375). Houghton, Mifflin and Company. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Fact_and_Fable_in_Psychology.html?id=xPiiv3SCOacC&pgis=1
- Jones, B. F. (1998). A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 17(6), 1019–27. <http://doi.org/10.1109/42.746635>

- Kleinmuntz, B., & Szucko, J. (1984). Lie detection in ancient and modern times: A call for contemporary scientific study. *American Psychologist*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/amp/39/7/766/>
- Larson, K., Hazlett, R. L., Chaparro, S., & Picard, R. W. (2007). Measuring the Aesthetics of Reading. *People and Computers XX—Engage: Proceedings of Human-Computer Interactions 2006*, 41–56. http://doi.org/10.1007/978-1-84628-664-3_4
- Liebligh, I., Kugelmass, S., & Ben-Shakhar, G. (1970). Efficiency of GSR detection of information as a function of stimulus set size. *Psychophysiology*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8986.1970.tb02249.x/abstract>
- Lykken, D. (1959). The GSR in the detection of guilt. *Journal of Applied Psychology*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/apl/43/6/385/>
- Lykken, D. (1960). The validity of the guilty knowledge technique: The effects of faking. *Journal of Applied Psychology*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/apl/44/4/258/>
- Lykken, D. (1979). The detection of deception. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/bul/86/1/47/>
- Lykken, D. (1998). A tremor in the blood: Uses and abuses of the lie detector. Retrieved from <http://doi.apa.org/psycinfo/1998-07613-000>
- MacLeod, C., & Mathews, A. (1988). Anxiety and the allocation of attention to threat. *The Quarterly Journal of Experimental* Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14640748808402292>
- Maldague, X. (2001). *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing* (p. 684). Wiley. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Theory_and_practice_of_infrared_technolo.html?id=ts9RAAAAMAAJ&pgis=1
- Martínez, D. (2008). Combinación de técnicas de reconocimiento de rostros con imágenes infrarrojas empleando algoritmos genéticos. *IEEE Latin America Transactions*, 6(2), 201–206. <http://doi.org/10.1109/TLA.2008.4609918>
- Martínez, D. (2011). Una propuesta para incrementar la capacidad discriminante de las técnicas PCA y LDA aplicadas al reconocimiento de rostros con imágenes IR. *Ingeniería Y Ciencia*- Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/403>

- Mihalcea, R., Narvaez, A., & Burzo, M. (2014). A Multimodal Dataset for Deception Detection. *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 3118–3122. Retrieved from <http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2014/summaries/869.html>
- Misiti, M., & Misiti, Y. (1996). Wavelet toolbox. *The MathWorks Inc.*, Retrieved from http://feihu.eng.ua.edu/NSF_TUES/w7_1a.pdf
- Mitchell, R. W., & Thompson, N. S. (1986). *Deception: Perspectives on Human and Nonhuman Deceit*. Retrieved from https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=eHV_8YC_NL0C&pgis=1
- Mogg, K., & Mathews, A. (1990). Effects of stress and anxiety on the processing of threat stimuli. *Journal of Personality* Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1991-09881-001>
- Motato, Ó., & Loaiza, H. (2009). Identificación biométrica utilizando imágenes infrarrojas de la red vascular de la cara dorsal de la mano. *Revista Ingeniería E Investigación*. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n1/v29n1a12>
- Nogareda, S. (1992). Fisiología del estrés. *Instituto Nacional de Seguridad E Higiene En El Trabajo, Ministerio de Trabajo Y Asuntos Sociales, España*. Retrieved from http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/301a400/ntp_355.pdf
- Núñez, M., & Rivière, Á. (2014). Engaño, intenciones y creencias en el desarrollo y evolución de una psicología natural. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1174/021093900320380758?journalCode=redp20>
- Or, C. K., & Duffy, V. G. (2007). Development of a facial skin temperature-based methodology for non-intrusive mental workload measurement. *Occupational Ergonomics*, 7, 83–94. Retrieved from <http://iospress.metapress.com/index/P0242781M4067KG1.pdf>
- Owayjan, M., Kashour, A., Al Haddad, N., Fadel, M., & Al Souki, G. (2012). The design and development of a Lie Detection System using facial micro-expressions. *2012 2nd International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)*, 33–38. <http://doi.org/10.1109/ICTEA.2012.6462897>

- Pavlidis, I., Eberhardt, N. L., & Levine, J. a. (2002). Seeing through the face of deception. *Nature*, 415(6867), 35. <http://doi.org/10.1038/415035a>
- Pavlidis, I., & Levine, J. (2001). MONITORING OF PERIORBITAL BLOOD FLOW RATE THROUGH THERMAL IMAGE ANALYSIS AND ITS APPLICATION TO POLYGRAPH TESTING, 2826–2829.
- Pavlidis, I., & Levine, J. (2002). Thermal image analysis for polygraph testing. ... in *Medicine and Biology Magazine, IEEE*. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1175139
- Pavlidis, I., Levine, J., & Baukol, P. (2000). Thermal imaging for anxiety detection. *Proceedings IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications (Cat. No.PR00640)*, 104–109. <http://doi.org/10.1109/CVBVS.2000.855255>
- Perez Garcia, P. (2004). COMPOSICIÓN DE IMÁGENES DIGITALES, 126.
- Picard, W., & Healey, J. (2000). Wearable and automotive systems for affect recognition from physiology. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.30.1519>
- Pichot, C. (2001). Aplicación de la termografía en el dolor lumbar crónico. *Dolor*, 43–47.
- Plassman, P., & E.F, R. (1997). An open system for the acquisition and evaluation of medical thermological images. *European Journal of Thermology*, 7, 216–220.
- Prendinger, H., & Ishizuka, M. (2007). Symmetric multimodality revisited: Unveiling users' physiological activity. *Industrial Electronics, IEEE* Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4118390
- Raskin, D., & Podlesny, J. (1979). Truth and deception: A reply to Lykken. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/bul/86/1/54/>
- Restrepo, A. (2013). NON-UNIFORM HEATING COMPENSATION FOR SEQUENCES OF THERMAL IMAGES USING MEDIAN FILTERING. *Dyna*. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532013000600009&script=sci_arttext&tlng=pt
- Ring, E. F. J. (2007). The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Physics & Technology*, 49(3), 297–301. <http://doi.org/10.1016/j.infrared.2006.06.029>

- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement*.
- Sarkar, N., & Smith, C. (2002). A novel interface system for seamlessly integrating human-robot cooperative activities in space. *NASA Institute for Advanced Concepts, Tech.* Retrieved from http://www.niac.usra.edu/files/studies/final_report/756Sarkar.pdf
- Shastri, D., Tsiamyrtzis, P., & Pavlidis, I. (2008). Periorbital thermal signal extraction and applications. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, 2008*, 102–5. <http://doi.org/10.1109/IEMBS.2008.4649101>
- Shi, J. S. J., & Tomasi, C. (1994). Good features to track. *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94., 1994 IEEE Computer Society Conference on*.
- Sommer, V. (1995). *Elogio de la mentira: engaño y autoengaño en hombres y otros animales* (p. 287). Galaxia Gutenberg. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Elogio_de_la_mentira.html?id=F2BKAAAACAAJ&pgis=1
- THACKRAY, R., & ORNE, M. (1968). Effects of the type of stimulus employed and the level of subject awareness on the detection of deception. *Journal of Applied Psychology*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/apl/52/3/234/>
- Tomasi, C., & Kanade, T. (1991). Detection and Tracking of Point Features. *International Journal of Computer Vision*.
- Triplett, N. (1900). The psychology of conjuring deceptions. *American Journal of Psychology*, 11, 439–510.
- Turner, T. A. (2001). Diagnostic thermography. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 17(1), 95–113. Retrieved from <http://europepmc.org/abstract/med/11488048>
- Valdemar, E., & Jimenez, C. (2007). Visión por Computador utilizando MatLAB Y el Toolbox de Procesamiento Digital de Imágenes, 1–35. Retrieved from <http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/vision/cursovision.pdf>

- Waid, W., & Orne, E. (1978). Effects of attention, as indexed by subsequent memory, on electrodermal detection of information. *Journal of Applied ...*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/apl/63/6/728/>
- Waidd, W., & Orne, M. (1981). Cognitive, social, and personality processes in the physiological detection of deception. *Advances in Experimental Social Psychology*. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065260108603706/pdf?md5=d93dea598b8d124d7854bebefd429281&pid=1-s2.0-S0065260108603706-main.pdf&_valck=1
- Whiten, A., & Byrne, R. W. (2010). Tactical deception in primates. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(02), 233. <http://doi.org/10.1017/S0140525X00049682>
- Xiong, Y., Luo, Y., Huang, W., Zhang, W., Yang, Y., & Gao, J. (2014). A novel classification method based on ICA and ELM: a case study in lie detection. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 24(1), 357–63. <http://doi.org/10.3233/BME-130818>
- Xu, X., Xu, S., Jin, L., & Song, E. (2011). Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications. *Pattern Recognition Letters*, 32(7), 956–961.
- Yuen, P., Tsitiridis, a., Kam, F., Jackman, J., James, D., Richardson, M., ... Lightman, S. (2009). Emotional & physical stress detection and classification using thermal imaging technique. *3rd International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP 2009)*, P13–P13. <http://doi.org/10.1049/ic.2009.0241>
- Yuille, J. C. (1989). *Credibility Assessment* (p. 195). Springer Science & Business Media. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Credibility_Assessment.html?id=NpaehYQ-5YsC&pgis=1
- Zagorin, P. (1996). The Historical Significance of Lying and Dissimulation. Retrieved from <http://philpapers.org/rec/ZAGTHS>
- Zamorano, M. (2010). Analisis de Señales Mediante STFT y Wavelet. Aplicación a Defectología en Rodamientos, 429. Retrieved from http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10849/PFC_Miguel_Zamorano_Castano.pdf?sequence=1
- Zhai, J., Barreto, A., Chin, C., & Li, C. (2005). Realization of stress detection using psychophysiological signals for improvement of human-computer interactions.

... , 2005. *Proceedings. IEEE*. Retrieved from
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1423280

Zhu, Z., Tsiamyrtzis, P., & Pavlidis, I. (2007). Forehead thermal signature extraction in lie detection. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 2007, 243–6.
<http://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4352269>

Zhu, Z., Tsiamyrtzis, P., & Pavlidis, I. (2008). The Segmentation of the Supraorbital Vessels in Thermal Imagery. *2008 IEEE Fifth International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 237–244.
<http://doi.org/10.1109/AVSS.2008.36>

Zuckerman, M., DePaulo, B., & Rosenthal, R. (1981). Verbal and nonverbal communication of deception. *Advances in Experimental ...*. Retrieved from
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S006526010860369X/pdf?md5=db8f93228625eae54b13b1a113cbc05d&pid=1-s2.0-S006526010860369X-main.pdf&_valck=1

ANEXOS

Anexo 1. Convocatoria para participar del experimento.

Saludos Compañer@

Como parte un proyecto de investigación del grupo P.S.I, te invitamos a participar de una prueba de habilidades comunicativas, con el fin de documentar en audio y vídeo las reacciones ante situaciones de ansiedad, como estímulo por la participación en este proyecto la recompensa será monetaria y estará entre los \$5.000 (por participación) y los \$15.000 según su desempeño.

Fecha:

Hora:

Lugar:

Con el fin de preparar la logística de la prueba por favor confirmar asistencia respondiendo este correo.

Sebastian Bedoya
Hernan Belalcazar
Universidad del Valle
Grupo P.S.I

Anexo 2. Instrucciones para el experimento de incitación a mentir.

INSTRUCCIONES

Como parte del proyecto de investigación del grupo P.S.I titulado “DETECCIÓN DE ESTADOS DE ANSIEDAD MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES TÉRMICAS DEL ROSTRO”, has aceptado participar de una prueba de habilidades comunicativas, con el fin de documentar en audio y vídeo las reacciones ante situaciones de ansiedad.

Teniendo en cuenta que mentir es una habilidad comunicativa útil cuando de librarse de situaciones graves o incómodas se trata, decidir si se miente o no es el objetivo de esta prueba.

Actividades a realizar en la prueba:

1. Diligenciar la encuesta de aptitud médica y aceptar los términos y condiciones.
2. Serás llevado a un espacio en el cual deberás observar todo lo que está a tu alrededor en detalle, especialmente una caja de tamaño mediano ubicada en un lugar visible.
3. Dentro de la caja se encuentran diferentes objetos, entre estos un billete de \$5.000 el cual decidirás si tomar o no, esta decisión debes mantenerla confidencial.
4. Cuando estés listo serás llevado a otro espacio en el cual serás interrogado, por personal capacitado en la detección de mentiras, en donde serás grabado, tú decides si mentir o no.

Como ganar la recompensa:

- Solo por el hecho de participar en la prueba tendrás \$5.000.
- Si decides decir la verdad tendrás \$10.000.
- Si decides mentir y engañas al entrevistador tendrás \$15.000.
- Si decides mentir y no engañas al entrevistador tendrás \$5.000.

Anexo 3. Aceptación de participación y autorización de uso de imagen.

AUTORIZACIÓN DE USO DE IMAGEN Y ACEPTACIÓN DE PARTICIPACIÓN

Yo, _____, identificado(a) con cédula de ciudadanía N° _____, *acepto la participacion en el proyecto* “DETECCIÓN DE ESTADOS DE ANSIEDAD MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES TÉRMICAS DEL ROSTRO” y su trabajo de grado asociado “DETECCIÓN DE MENTIRAS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES TÉRMICAS DEL ROSTRO” y autorizo a la Universidad del Valle para que reproduzca en todas sus modalidades, adapte, distribuya y comunique públicamente en cualquier medio escrito, analógico, digital y/o en cualquier plataforma o publicaciones mi imagen para los fines y dentro de los propósitos establecidos por el proyecto, de igual manera, es mi deseo establecer que esta autorización es voluntaria y gratuita.

Firmado en la ciudad de _____ a los ____ días el mes de _____ de 2014.

Nombre:

Cedula:

Anexo 4. Encuesta de Estudio Médico para participar del experimento.

Universidad del Valle
Grupo de investigación P.S.I

Estudio Medico

Nombre: _____ R.H

Edad: _____ Fecha de Nacimiento:

E-mail: _____ Tel:

En pro de que para usted será seguro participar en este estudio, es necesario que nos suministre información acerca de su estado de salud en general. Por favor conteste las siguientes preguntas en el espacio asignado bajo cada uno o en la opción que más se ajuste a su respuesta. Toda la información que aquí sea consignada es confidencial. Gracias por su cooperación.

1. ¿En los últimos dos años ha estado bajo cuidado hospitalario (hospitalizado/a)?
- NO ☐ ☐
- SI ☐ ☐
- Si la respuesta es SI, ¿cuál fue el motivo de la hospitalización?

2. Ha estado usted bajo cuidado médico por problemas emocionales o nerviosos? ☐ ☐
- (Depresion, Ansiedad, etc)
- Si la respuesta es sí, ¿actualmente se encuentra en tratamiento? ☐ ☐

3. ¿Ha tenido reacciones inusuales a medicamentos, o alergias de cualquier tipo? ☐ ☐

4. ¿Ha presentado alguna de las siguientes condiciones médicas?

Convulsiones o pérdida del conocimiento
 Dolores de cabeza persistentes
 Lesiones en la cabeza con pérdida del conocimiento
 Vértigo o Mareos
 Debilidad muscular persistente

5. ¿Cuántos tragos de alcohol bebe a la semana en promedio?

- a. _____ botellas de cerveza a la semana.
- b. _____ copas de vino por semana.
- c. _____ copas de licor por semana.

6. ¿Usted usa alguna o algunas de las siguientes drogas? ¿Qué tan seguido?

	NUNCA	UNA VEZ AL AÑO	UNA VEZ AL MES	UNA VEZ A LA SEMANA	A DIARIO
Tranquilizantes Mayores					
Tranquilizantes Menores					
Sedantes					
Anfetaminas o estimulantes					
Otros (Cocaína, Marihuana, Hashish)					

Anexo 5. Cuestionario del Interrogatorio.

Cuestionario

Instrucciones

Léale al entrevistado todas las preguntas del cuestionario y no intervenga en sus respuestas. Sea bastante rudo en la formulación de las preguntas 4,5 y 6 y haga pausas largas entre estas, y algo relajado pero serio en el resto de las preguntas. Después de escuchar todas las respuestas del entrevistado, emita un juicio de valor e imparcial acerca de la veracidad o no de sus afirmaciones y consígnelo en uno de los formatos adjuntos junto con el nombre del entrevistado.

Preguntas

1. Describa detalladamente todo lo que pudo ver en el salón.
2. Describa sus acciones mientras estuvo en el salón.
3. Qué pasaba por su mente acerca de tomar o no el dinero?

4. Tomo usted el dinero de la caja? (Toma de tiempo inicial)

5. Hay algo más que quiera decir sobre el dinero o lo que hizo?

6. Es todo lo que usted ha dicho acerca del dinero la verdad? (Toma de tiempo final)

7. Qué pensaría si determino que ha mentido sobre el dinero?
8. Donde pondría alguien el dinero?
9. Que debería pasar con una persona que miente sobre esto?
10. Alguna vez ha mentido para salir de un problema serio?
11. Si fuera a tomar una prueba de polígrafo (detector de mentiras), cuál cree usted que sería el resultado de esta?
12. Por qué cree usted que alguien tomaría el dinero de la caja.

Anexo 6. Formulario del veredicto.

VEREDICTO DEL ENTREVISTADOR		
FECHA :	INICIO PREGUNTA 4	INICIO PREGUNTA 7
NOMBRE DEL ENTREVISTADO:		
VEREDICTO		
FIRMA	COMENTARIOS:	

Anexo 7. Contenido del CD Anexo

- Carpeta con los documentos consultados en formato PDF, información utilizada como base para el desarrollo del trabajo de grado.
- Copia editable de este documento.
- Copia en formato no editable de este documento PDF.
- Poster del proyecto.
- Carpeta con los códigos fuente de *Mathworks Matlab* de los *scripts* realizados para implementar los sistemas de clasificación de ansiedad y clasificación de mentiras, organizados en una carpeta correspondiente a cada experimento.
- Carpeta con los videos de los experimentos realizados y la información descrita en los Anexos 2 al 6 recopilada durante el experimento para cada participante escaneada en formato PDF.