



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2799			
Título del proyecto: “Detección de estados de ansiedad a partir del análisis de imágenes infrarrojas de rostros”			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica			
Grupo (s) de investigación: Percepción y Sistemas Inteligentes - PSI			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Carlos Rafael Pinedo Jaramillo	5h/semana 12 meses	5h/semana 18 meses
Coinvestigadores	Humberto Loaiza Correa	5h/semana 12 meses	5h/semana 18 meses
	Sandra Esperanza Nope Rodríguez	5h/semana 12 meses	5h/semana 18 meses
	Andrés David Restrepo Girón	5h/semana 12 meses	5h/semana 18 meses
Otros participantes	Sebastián Bedoya – Estudiante de pregrado	20h/semana 12 meses	20h/semana 12 meses
	Hernán Belalcázar – Estudiante de pregrado	20h/semana 12 meses	20h/semana 12 meses
	Alejandro Tenorio – Monitoria de investigación pregrado	20h/semana 12 meses	20h/semana 18 meses
	Bryan García – Monitoria de investigación pregrado	20h/semana 12 meses	20h/semana 18 meses
	Edgar Fajardo – Monitoria de investigación pregrado	20h/semana 3 meses	20h/semana 3 meses
	Jose García – Monitoria de investigación pregrado	20h/semana 3 meses	20h/semana 3 meses
	Julián Quintero– Estudiante de Maestría	20h/semana 6 meses	20h/semana 6 meses

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

1. Resumen ejecutivo:

Los sistemas de seguridad se mantienen en evolución permanente debido a los cambios de estrategia de las organizaciones al margen de la ley. Actividades de gran presencia de personas, como: conciertos, eventos deportivos, celebraciones religiosas y transporte masivo; se han convertido en blanco del accionar delictivo. Ante la imposibilidad de realizar detecciones tempranas y crear alertas con los sistemas de seguridad convencionales, se hace necesario el desarrollo de técnicas de no-contacto que permitan un campo de vigilancia amplio, y que detecten y analicen cambios fisiológicos y de comportamiento en las personas con el fin de generar alertas viables para tomar decisiones de reacción.

El diseño de un sistema para determinar las posibles reacciones de una persona 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 alteración emocional, ante determinadas situaciones, 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 son: dilatación de las pupilas, sudoración, tensión muscular, ritmo cardíaco, presión arterial y temperatura corporal, entre otras. Producto de la dificultad de controlar las reacciones internas del cuerpo por parte de las personas, aquellas constituyen excelentes indicadores para generar alarmas de seguridad.

Los antecedentes investigativos referentes a la detección de ansiedad 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.

Dado lo anterior, se hizo un sistema de visión artificial termográfico para analizar imágenes infrarrojas de rostros, que permitiera determinar la alteración emocional, con el fin de vislumbrar a futuro prototipos comerciales que superen las limitaciones de los sistemas actuales. El desarrollo logrado en este proyecto constituye una primera aproximación hacia la identificación de estados de ansiedad mediante técnicas de procesamiento digital de señales, desarrollado en Colombia, y 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, 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.

2. Síntesis del proyecto:

Tema:

DETECCIÓN DE ESTADOS DE ANSIEDAD A PARTIR DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES INFRARROJAS DE ROSTROS.

Objetivos:

Objetivo General

Desarrollar un sistema de visión artificial que detecte estados de ansiedad de las personas a partir de imágenes térmicas del rostro.

Objetivos específicos

1. Identificar zonas del rostro que registren un cambio detectable y cuantificable de temperatura frente a condiciones de ansiedad.
2. Construir una base de imágenes infrarrojas del rostro a partir de la inspección térmica de sujetos de prueba.
3. Desarrollar un procedimiento de segmentación automática de las regiones de interés.
4. Definir un conjunto de características térmicas a medir en las zonas de interés.
5. Concebir un algoritmo de clasificación de las fuentes de ansiedad en función de las características térmicas medidas.
6. Definir un protocolo de pruebas para establecer alcances y limitaciones de la propuesta.

Metodología:

La metodología desarrollada está basada en el método empírico-analítico. Se partió de un amplio estudio bibliográfico de sistemas similares o afines donde se emplean las variaciones térmicas del cuerpo humano y su relación con las condiciones de ansiedad. Posteriormente, se identificaron los requerimientos del sistema de visión artificial para

captar las variaciones de temperatura del rostro en humanos y se especificaron las condiciones de ansiedad a los cuales se sometieron los sujetos de prueba. Igualmente se definieron los protocolos de prueba para validar las hipótesis planteadas, y finalmente se hizo la evaluación del desempeño del sistema.

Para lograr los objetivos, se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Identificación de las zonas del rostro que registran un cambio detectable y cuantificable de temperatura frente a condiciones de ansiedad.

1.1. Recopilación minuciosa y la correspondiente lectura de antecedentes investigativos alrededor de la aplicación de la termografía infrarroja a la caracterización biométrica del rostro con diferentes fines.

1.2. Sistematización de la información reunida, de acuerdo con las zonas del rostro analizadas en los diferentes trabajos.

1.3. Reconocimiento de las ventajas y desventajas del uso de cada región de interés, según su incidencia en el desempeño de las propuestas consultadas.

1.4. Reporte sobre el análisis de la información recopilada y las identificaciones logradas.

2. Construcción de una base de imágenes infrarrojas del rostro a partir de la inspección térmica de sujetos de prueba.

2.1. Recopilación y lectura de antecedentes investigativos alrededor de la detección de estados de ansiedad mediante técnicas biométricas diferentes a la termografía.

2.2. Sistematización de la información reunida en las actividades 1.1 y 2.1 de acuerdo con las fuentes de ansiedad y estrés tenidas en cuenta en los desarrollos e investigaciones previas.

2.3. Definición de dos fuentes de ansiedad, viables de recrear y con impacto fisiológico apreciable pero seguro en los sujetos de prueba.

2.4. Diseño del protocolo de toma de imágenes térmicas del rostro de los sujetos seleccionados bajo las condiciones de ansiedad definidas.

2.5. Ejecución de los experimentos termográficos para la creación de la base de imágenes infrarrojas.

2.6. Reporte escrito de la información recopilada y de los desarrollos realizados.

3. *Desarrollo de un procedimiento de segmentación automática de las regiones de interés.*

3.1. Revisión de las diferentes técnicas de segmentación empleadas en la visión artificial.

3.2. Sistematización de la información reunida en las actividades 1.1 y 2.1 de acuerdo con las técnicas de segmentación empleadas.

3.3. Definición de las regiones faciales analizadas.

3.4. Desarrollo y prueba del procedimiento de segmentación de las regiones de interés definidas.

3.5. Documentación de la información recopilada y de los desarrollos realizados.

4. *Definición de las características térmicas a medir en las zonas de interés.*

4.1. Revisión de diferentes mediciones típicas sobre las imágenes captadas a través de termografía infrarroja.

4.2. Sistematización de la información reunida en las actividades 1.1 y 2.1 de acuerdo con las características seleccionadas y representación de la información sensada.

4.3. Empleo de técnicas de análisis multivariado y definición del conjunto de características.

4.4. Documentación de la información recopilada y de los desarrollos realizados.

5. *Concepción e implementación algorítmica de la clasificación de las fuentes de ansiedad en función de las características térmicas medidas.*

5.1. Revisión de diferentes clasificadores empleados en el tratamiento de imágenes térmicas.

5.2. Sistematización de la información reunida en las actividades 1.1 y 2.1 de acuerdo con los clasificadores seleccionados y determinación del estado de ansiedad o el nivel de estrés.

5.3. Desarrollo y prueba de un procedimiento de clasificación de estados de ansiedad basado en las características determinadas en la actividad 4.3.

5.4. Documentación de la información recopilada y de los desarrollos realizados.

6. Construcción de un *protocolo de pruebas y medición de los alcances y limitaciones del desarrollo.*

6.1. Definición del protocolo de pruebas y evaluación de la metodología propuesta.

6.2. Pruebas de detección de estados de ansiedad a partir de la base de imágenes obtenida en la actividad 2.5.

6.3. Análisis de resultados de las pruebas y determinación de alcances y limitaciones metodológicas.

6.4. Documentación de la información recopilada y de los desarrollos realizados.

Resultados obtenidos:

En el proyecto de investigación se exploraron dos fuentes de generación de estados de ansiedad: la mentira y el miedo.

Los experimentos planteados guardan concordancia con las teorías psicológicas, las reacciones fisiológicas durante estados de ansiedad, y la detección de cambios de temperatura asociados a estas reacciones mediante imágenes infrarrojas del rostro. De este modo, 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.

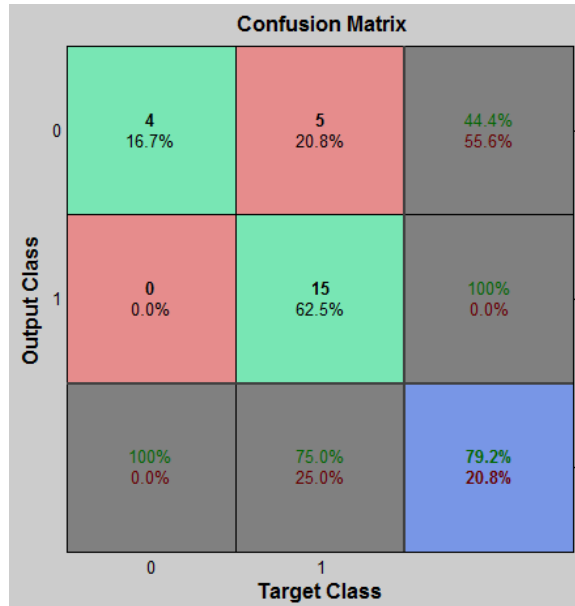
Para la detección de mentiras se modificó el experimento original de robo simulado (Mihalcea, Narvaez, & Burzo, 2014) con el fin de provocar reacciones fisiológicas equivalentes a situaciones donde el proceso de mentir de manera premeditada y consciente.

En el caso la mentira, se validaron los resultados en 24 grabaciones y en ellas, 4 sujetos dijeron la verdad y el resto mintieron. Los resultados se resumen a través de la matriz de confusión de la Figura 1. El sistema logró un 100% en el reconocimiento de las personas que dicen la verdad y, sólo en 5 de los 20 casos de mentira, el sistema no logró hacer el reconocimiento.

Estos resultados son muy cercanos al 80% reportado por (Shastri et al., 2008) y al 87.2% (Buddharaju et al., 2005) quienes hicieron uso de cámaras termográficas con mayor sensibilidad a la usada en este proyecto; por lo que de continuar con la investigación y el mejoramiento del experimento se podría alcanzar o superar estos

resultados.

Figura 1. Matriz de confusión para la clasificación de las muestras de validación del experimento de provocación de estados de ansiedad por mentiras.

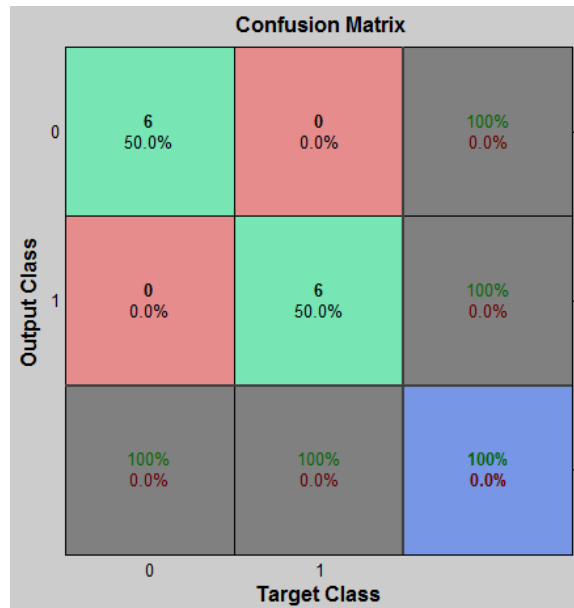


En el caso de la detección del miedo, se implementó un experimento inspirado en la proyección de imágenes, en donde se expusieron a 12 sujetos de prueba a dos tipos de videos; la mitad a videos de relajación y el resto a un video que iniciaba con imágenes relajantes y en un momento determinado aparecía una escena de miedo.

Los resultados se resumen en la tabla de confusión de la Figura 2. 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.

Los resultados anteriores permitieron concluir que es posible detectar con mayor precisión los estados de ansiedad provocados por situaciones de miedo que los de 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 en el desarrollo del proyecto.

Figura 2. Matriz de confusión para la clasificación de las muestras de validación del experimento de provocación de estados de ansiedad por miedo.



Dentro de los alcances y limitaciones es importante mencionar que las verdaderas limitaciones no están en el sistema en sí, sino que están relacionadas con el alto costo de 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, lo que significa que la persona analizada debe estar a una distancia específica de la cámara durante el análisis.

Por ahora el sistema sólo 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. Así mismo, hay mecanismos que podrían utilizar las personas para no ser detectados como tener la cara mojada, bien sea por sudor o simplemente echándose agua, pues para estos sistemas se convierten en aislantes térmicos o que por lo menos, alteraría las lecturas realizadas por el sistema.

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>

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>

Conclusiones:

Con el desarrollo de este proyecto se logró implementar un sistema de visión artificial que, mediante el análisis de imágenes infrarrojas del rostro, realiza una aproximación a la detección automatizada de mentiras y a la identificación de estados de ansiedad.

Se validó la posibilidad de identificar estados de ansiedad y detectar mentiras mediante el análisis de imágenes térmicas del rostro, a través de las teorías psicológicas de la mentira, la detección de ésta y las reacciones fisiológicas cuando un proceso de mentir ocurre en el cuerpo.

Se identificaron las zonas de rostro que registran un cambio detectable y cuantificable de temperatura frente a condiciones de mentira, mediante un estudio comparativo se determina que la mejor zona para desarrollar el trabajo es la zona periorbital del rostro.

Con el diseño de un protocolo específico para la toma de imágenes se validó la posibilidad de capturar las reacciones fisiológicas del cuerpo ante situaciones de ansiedad y ante el proceso de mentir con la cámara térmica disponible en la zona del rostro seleccionada.

Se diseñó un experimento para la provocación de estados de ansiedad inspirado en la proyección de imágenes adversas, se logró provocar estados de ansiedad que registraron cambios fisiológicos registrables en termogramas.

Se diseñó un experimento de incitación a mentir que de manera planeada logra provocar reacciones fisiológicas equivalentes a situaciones donde el proceso de mentir es realizado de manera premeditada y consiente.

Se diseñó un sencillo pero ingenioso método de segmentación del rostro y de la zona periorbital del mismo en una imagen térmica, y con la implementación de un algoritmo de seguimiento fotograma a fotograma conocido, se logran obtener las características térmicas que permiten servir de indicadores de una mentira.

Con la realización de un análisis multivariado de las características térmicas que se obtienen las que permiten modelar el comportamiento de las señales resultado de exposición a condiciones de ansiedad.

El diseño de los clasificadores para la detección de estados de ansiedad y para la detección de mentiras, elaborados teniendo en cuenta que el costo computacional para su realización sea el mínimo, permitió una tasa de acierto del 79.2%, lo cual representa un desempeño satisfactorio según los objetivos planteados para este trabajo.

Recomendaciones:

- 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, para permitir mayor libertad de movimiento en el interrogatorio.
- Diseñar un sistema para obtener de forma autónoma los tiempos en los cuales ocurren las preguntas de control.
- Implementación de una interfaz gráfica que permita una retroalimentación visual del proceso.
- Implementación del sistema desarrollado bajo un esquema que permita la detección en tiempo real.
- Integración del sistema desarrollado con otros sistemas de detección de mentiras para lograr una tasa de detección mucho mayor.
- Enriquecer las bases de datos, para de esta manera tener una perspectiva más amplia de los alcances y limitaciones del desarrollo.
- 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.

3. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de nuevos conocimientos				
Artículo - Tipo A, publindex a la fecha de apertura de la Convocatoria, o en revistas científicas indexadas en la base de datos SCOPUS	1		1	
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	1	2	1
Semillero de Investigación	1		4	
Estudiantes de maestría	1		1	
Productos de divulgación				
	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	1	0	1	
Presentación de resultados en eventos de orden institucional	1	0	1	
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado en Ingeniería Electrónica, Programa Académico de Ingeniería Electrónica, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (EIEE), Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 2015.
Nombre Particular:	Tesis: "Detección de mentiras por análisis de imágenes térmicas de rostros".
Ciudad y fechas:	Cali, noviembre 20 de 2015.
Participantes:	Hernán Belalcázar Ramírez y Sebastián Bedoya Echeverry
Sitio de información:	Biblioteca Central Mario Carvajal, Universidad del Valle, Cali.
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes - PSI

Tipo de producto:	Ponencia en evento institucional
Nombre General:	XIV Jornada Regional de Electrónica, Universidad del Valle, Cartago, 2015
Nombre Particular:	Ponencia: "Detección de estados de ansiedad"
Ciudad y fechas:	Cartago, junio 6 de 2015.
Participantes:	Hernán Belalcázar y Sebastián Bedoya
Sitio de información:	Centro de Documentación sede Cartago
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes - PSI



Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Revista Facultad de Ingeniería – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC - ISSN: 01211129.
Nombre Particular:	Artículo: “Detección de mentiras mediante análisis de imágenes térmicas de rostros”.
Ciudad y fechas:	Sometimiento 4481
Participantes:	Sebastián Bedoya, Hernán Belalcázar, Humberto Loaiza, Sandra Nope, Carlos Pinedo y Andres Restrepo.
Sitio de información:	http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/author/submission/4481
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes - PSI

Tipo de producto:	Convocatoria Externa
Nombre General:	Investigación y desarrollo usando termografía para aplicaciones en analisis remoto de comportamiento fisiológico vegetal.
Nombre Particular:	Estación autónoma para evaluación fisiológica de cultivos de gramíneas en la estación experimental CIAT - Palmira
Ciudad y fechas:	Cali, septiembre 19 de 2015
Participantes:	Humberto Loaiza, Asfur Barandica, Sandra Nope, Andres Restrepo, Carlos Pinedo, Michael Selvarej, Maria Camila Rebolledo, Joe Thome, Juan Cardoso.
Sitio de información:	https://ciat.cgiar.org/es/
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes – PSI Grupo de Investigación en Fisiología vegetal - CGIAR

Tipo de producto:	Foro sobre termografía infraroja
Nombre General:	Discusiones etiquetadas como Termografía Infraroja
Nombre Particular:	Ponencia: "Uso de la termografía infrarroja en la detección de lesiones en halterofilia"
Ciudad y fechas:	Cartago, junio 6 de 2015.
Participantes:	Julian David Quintero Ospina
Sitio de información:	http://tic-tac.teleco.uvigo.es/forum/topic/listForTag?tag=Termograf%C3%ADa+Infrarroja
Formas organizativas:	Grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes - PSI

4. Impactos actual o potencial:

El proyecto contribuye al avance en el empleo de una técnica no invasiva, de no-contacto y segura como la termografía en situaciones en las que es deseable la discreción en el proceso de adquisición de las señales biométricas (caso de los sistemas de seguridad), o la confortabilidad para el sujeto bajo estudio, en el caso de las aplicaciones médicas. Sumando estas cualidades a la metodología usada para la detección de estados de ansiedad, se está colaborando con los demás investigadores dedicados a este tema a nivel mundial, en impactar positivamente en la prevención de las consecuencias nocivas de los niveles alterados de ansiedad y estrés, así como en el diagnóstico, el reconocimiento o la valoración de aquellas circunstancias que disparan la ansiedad y el estrés, y que aportan información valiosa acerca de lo que está sintiendo o pensando un individuo.

4.1 Generación de conocimiento y nuevos desarrollos tecnológicos.

Los resultados del proyecto ofrecen un aporte valioso en el área de la termografía pasiva aplicada a la biometría del rostro humano para reconocer condiciones de ansiedad, que puede enfocarse al desarrollo de prototipos tecnológicos destinados a la seguridad pública o privada, pero también a su uso en la psicología clínica y la psiquiatría para un establecimiento más rápido y certero de factores desencadenantes de estrés en pacientes. Por ese motivo, es importante la metodología desarrollada y las especificaciones algorítmicas y técnicas, validadas en la ejecución de este proyecto, para proyectar las bases hacia la construcción de dispositivos tecnológicos complejos patentables y comercializables.

De otro lado, el proyecto incrementa la experiencia adquirida en el grupo en los campos de ensayo no destructivo y biometría. De aquí que el conocimiento adquirido durante la ejecución de este trabajo, contribuye a la continuidad y al fortalecimiento de las líneas de investigación en visión artificial y procesamiento digital de señales.

4.2 Fortalecimiento de la capacidad científica nacional.

El proyecto se ejecutó respaldando, en todo momento, la formación científica, técnica e investigativa de los estudiantes de pregrado y posgrado involucrados en su desarrollo, y se logró la actualización, la expansión del conocimiento y el incremento en la experiencia de los integrantes del grupo PSI, primordialmente aquéllos involucrados con la línea de visión artificial.

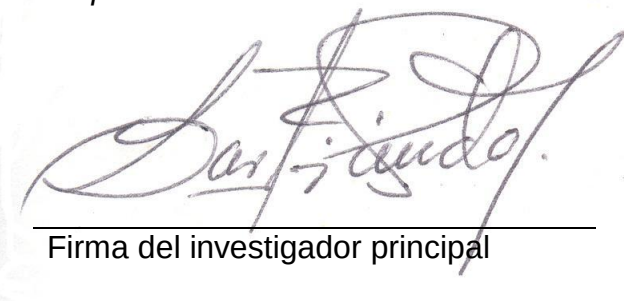
Adicionalmente, la divulgación de los resultados de este trabajo representa una oportunidad, tanto para dar a conocer a la comunidad científica y académica, nacional e internacional, los desarrollos del grupo PSI, como para difundir las potencialidades del uso de la termografía y los avances de la ingeniería nacional en este tema.

4.3 Apropiación social del conocimiento.

Los resultados obtenidos sirven de base para la creación de nuevos trabajos de grado, proyectos de investigación y tesis; y su divulgación en eventos académicos y en revistas científicas nacionales o internacionales, permite conectar el grupo con otros pares académicos interesados en los desarrollos logrados en el tema y en los aportes puestos en público.

Por otro lado, los estudiantes de los programas de pregrado y posgrado de la EIEE podrán integrarse al desarrollo del proyecto, y el conocimiento generado servirá también como insumo para los cursos relacionados con la visión artificial y el procesamiento digital de señales de los programas académicos.

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:



Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones