

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año **1. Datos generales del Proyecto**

Código del proyecto: 2919			
Título del proyecto: "Detección de fallas en paneles solares a partir de imágenes termográficas tomadas por un drone con navegación autónoma."			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería Eléctrica y Electrónica.			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.			
Grupo (s) de investigación: Percepción y Sistemas Inteligentes (PSI).			
Entidades: Universidad del Valle			
Palabras claves: Termografía, inspección de fallas, paneles solares, vehículo aéreo no tripulado, clasificación de las fallas.			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Humberto Loaiza Correa	220	220
Coinvestigadores	Sandra Esperanza Nope R.	110	110
	Andrés David Restrepo	55	55
Otros participantes			

2. Resumen ejecutivo:

Las energías renovables son una solución adecuada a los actuales problemas de déficit energéticos, el uso de fuentes inagotables a escala humana como el sol, el viento, el calor de la tierra y los mares se presentan como una alternativa no contaminante, a diferencia de la extracción de combustibles fósiles. La energía solar es una fuente limpia y aprovechable mediante paneles solares (PV), compuestos de celdas fotovoltaicas que permiten captar la energía de la radiación solar, donde las celdas se conforman por dispositivos semiconductores como el silicio y el arseniuro de galio. Existen diferentes tipos de tecnologías de celdas solares, como las constituidas por

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.

semiconductores y por materiales orgánicos. Dentro de esta primera categoría se subclasifican en monocristalinas y policristalinas, las celdas monocristalinas son de mayor uso en los sistemas fotovoltaicos en la actualidad, con eficiencias del 29% en condiciones de laboratorio [1].

Los PV pueden presentar fallas durante tres fases: la fabricación, la instalación y la operación. Debido a que algunas de las fallas son invisibles al ojo humano y a la dificultad de acceso por parte de los operarios (paneles ubicados en zonas altas, dispersos en grandes extensiones y con poco espacio entre ellos), la inspección manual no es eficaz. Lo anterior puede solucionarse utilizando UAV y análisis de imágenes infrarrojas debido a que las fallas generan gradientes de temperatura que pueden detectarse en el espectro infrarrojo.

Este proyecto se enfocó en la detección de fallas que se presentan en la fase de operación de los sistemas fotovoltaicos, para lo cual se desarrolló una metodología para la inspección de paneles solares a partir del análisis de las imágenes termográficas aéreas captadas por un UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Se adoptó un abordaje científico-experimental dividido en cinco etapas, cada una apuntando al cumplimiento de un objetivo específico.

Se propuso un protocolo para la adquisición de las imágenes termográficas desde un UAV, debido a que en la actualidad no existe una guía o estándar para la inspección aérea de paneles solares con imágenes termográficas. El protocolo propuesto recomienda las condiciones ambientales para realizar la inspección (velocidad del viento, temperatura externa e irradiancia). También recomienda condiciones de vuelo del AUV (altura, posición y velocidad), así como el ángulo de la cámara respecto a los paneles para la captura de las imágenes y la franja horaria para realizar la inspección.

Siguiendo el protocolo propuesto, se construyó un *dataset* con 277 imágenes termográficas de paneles de silicio monocristalino ubicados en la terraza del edificio E52 de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (EIEE) de la Universidad del Valle, sede Meléndez. El *dataset* además de las imágenes IR, incluye información de fecha, hora, irradiancia, temperatura externa y velocidad del viento; así como el estado de las celdas (sanas, defectuosas). También se obtuvo un *dataset* con 950 imágenes del parque solar de Celsia ubicado en Yumbo (Figura 1).

Las celdas presentes en las imágenes IR fueron preprocesadas y segmentadas. En la clasificación del estado de las celdas de los paneles solares se utilizaron las técnicas KNN, Mezcla de gaussianas y SVM. El sistema propuesto alcanzó un desempeño de 68.32% con el método KNN y para los métodos de mezcla de gaussianas se obtuvo un desempeño de 72.14%. El mejor desempeño se obtuvo empleando el método supervisado de la SVM para la clasificación de las celdas con defecto del 77%.

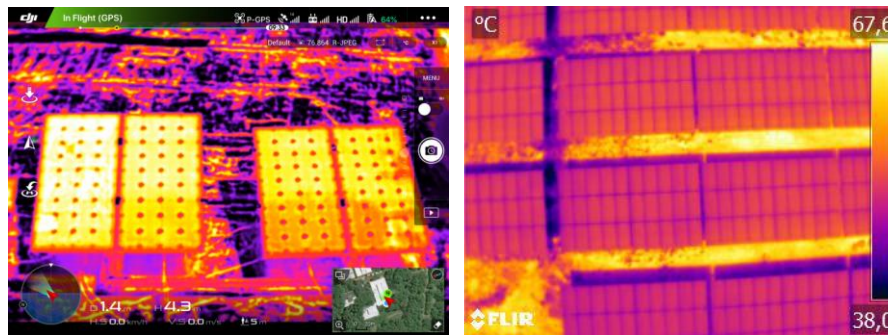


Figura 1. Termografías de paneles en instalaciones de la EIEE y Celsia (Yumbo)

El sistema desarrollado constituye una herramienta importante para realizar inspección de los paneles solares con el fin de detectar oportunamente condiciones que afecten la generación de energía eléctrica, la seguridad de las instalaciones y del personal. Un factor relevante es que el sistema propuesto permite determinar el estado sano/defectuoso a nivel de las celdas que componen el panel, a diferencia de los trabajos reportados en la literatura que clasifican el estado global del panel [2],[3].

Para mejorar la detección e identificar los tipos de fallas, se propone explorar a futuro la integración de la información termográfica con la generada por curvas V-I, y/o imágenes de electroluminiscencia y fotoluminiscencia.

2. Síntesis del proyecto:

Tema: Detección de fallas en paneles solares monocristalinos a partir del análisis de imágenes termográficas captadas desde un UAV.

Se desarrolló un sistema de visión artificial que, a partir de imágenes termográficas tomadas desde un UAV, permite la inspección de paneles solares de Si monocristalino en busca de fallas a nivel de celda, a través de una metodología integrada que inicia con el protocolo de navegación del UAV y captura de las imágenes IR, continúa con el procesamiento tipo pipeline de las imágenes obtenidas, y termina con el diagnóstico de las celdas de los paneles inspeccionados gracias a la acción de un clasificador de patrones (Figura 2).

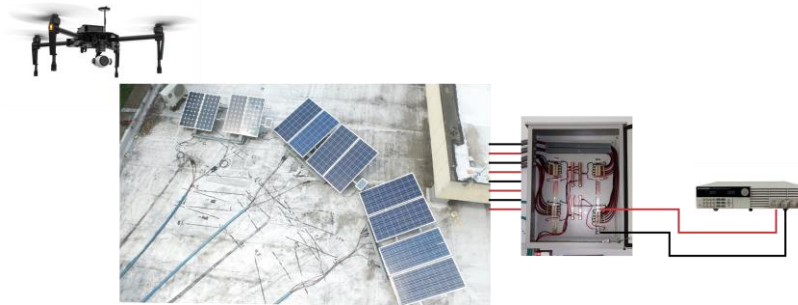


Figura 2. UAV, Paneles solares, tablero de conexiones y carga electrónica

En cuanto al protocolo de navegación y captura de imágenes, se utilizó el dron Matrice 100 que cuenta con 20 min de autonomía a plena carga, para sobrevolar de forma estacionaria un arreglo en serie de 4 paneles de Si monocristalino conectados a una carga emulada al 80% del voltaje nominal del panel, y una inclinación de entre 8 y 13°, de tal forma que a una altura del UAV de entre 2.3 y 2.7 m, y un ángulo de cabeceo de la cámara embarcada IR Zenmuse XT de alrededor de 45°, con lo que se aseguró la visualización de dos paneles consecutivos (118x55.1x3.5 cm) y un área de 50x50 pixeles por celda. El procedimiento de adquisición de imágenes se realizó considerando condiciones ambientales caracterizadas por carencia de lluvia y nubosidad aparente, velocidad del viento entre 2 y 5 m/s, temperatura ambiente entre 26 y 30 °C, y franjas horarias de mayor intensidad solar (de 10:00 a 11:30 am y de 1:00 a 2:00 pm para Cali) con el fin de mantener el experimento dentro de niveles de irradiancia en el rango de 500 a 1000 W/m², de acuerdo con las recomendaciones del estado del arte.

En lo que se refiere al procesamiento de las imágenes termográficas adquiridas, cabe resaltar que su segmentación, llevada a cabo para recuperar únicamente las áreas que corresponden a las superficies de los paneles solares y la definición de los contornos de sus celdas, se ejecutó de manera automática a través de una metodología secuencial de funciones de procesamiento (pipeline). Dicha metodología inicia con un filtrado *high boost* para eliminación de ruido, prosigue con una primera fase de segmentación (*Level Sets*) para recuperar las áreas de los paneles, continúa con la aplicación de técnicas morfológicas (dilatación, elemento estructural cuadrado) y la transformación de Hough para determinar las rectas principales, y termina con la detección de las intersecciones entre rectas, llevando así a la definición de los contornos de cada celda utilizando una plantilla de 40x40 pixeles. Se obtuvieron coeficientes DICE de segmentación de 0.98 y 0.92 para los paneles y celdas respectivamente. (Ver figura 3)

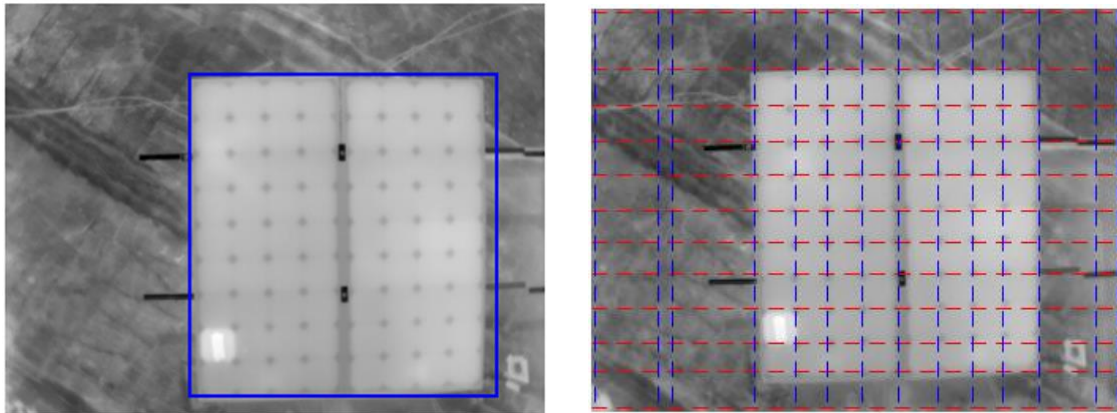


Figura 3. Segmentación de panel y celdas en imágenes IR.

Luego de la segmentación, fue necesaria la corrección de la distorsión de perspectiva generada por las inclinaciones relativas entre la cámara y los paneles, y la eliminación del calentamiento no-uniforme de los paneles con la técnica CTFF (fluctuaciones térmicas de fondo de baja frecuencia espacial) ocasionado por la inclinación del sol, reflejos, sombras o cambios de emisividad, entre otras causas, con el fin de resaltar únicamente las alteraciones de la temperatura debida a fallas localizadas. Los beneficios de estas dos correcciones se reflejaron en un conjunto de características más invariantes a los cambios del entorno.

Por último, la experimentación con diferentes métodos de clasificación, tanto supervisados (SVM, kernel RBF) como no-supervisados (KNN, Mezcla de Gaussianas) usando un vector de 5 características (momentos estadísticos 1 al 4 y la entropía), arrojó como mejor resultado un desempeño de 77% en la detección de fallas (Figura 4), lo que demuestra la viabilidad de la propuesta como sistema de visión artificial para la inspección de paneles solares a nivel de celda; el hecho de que el sistema sea capaz de determinar la condición de una celda individual dentro de un panel solar, constituye un aporte muy relevante de esta investigación, dado que el estado del arte indica que lo usual es la evaluación de la condición de todo el panel como un solo elemento.

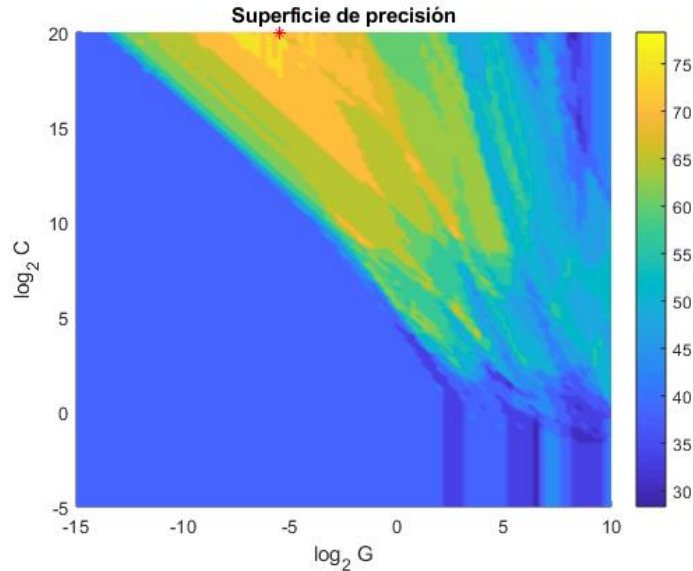


Figura 4. Superficie de precisión del clasificador SVM.

Objetivo general: Desarrollar un sistema para el reconocimiento de fallas en paneles solares a partir de imágenes aéreas termográficas captadas por un drone en navegación autónoma.

Objetivos específicos:

- i. Determinar la configuración del vehículo aéreo para realizar navegación autónoma para propósitos de inspección visual de paneles solares.
- ii. Establecer las características y condiciones de captura de las imágenes termográficas aéreas para detección de fallas en paneles solares.
- iii. Adaptar un algoritmo de navegación autónoma para el drone adecuado para la inspección de paneles solares
- iv. Implementar el algoritmo de detección de fallas en los paneles solares a partir de imágenes termográficas aéreas.
- v. Establecer los alcances y limitaciones del sistema desarrollado.

Metodología:

En este proyecto se desarrolló con el enfoque de la termografía infrarroja aérea como método de diagnóstico *offline* de fallas en paneles solares. La propuesta de investigación aplicada, descrita tiene como base el método científico experimental y se

desarrollaron por actividades por objetivos específicos, que se resumen a continuación:

Objetivo Específico 1. Determinar la configuración del vehículo aéreo para realizar la navegación autónoma para propósitos de inspección visual de paneles solares.

Se inició con una amplia revisión de la literatura sobre los UAV y paneles solares para identificar las características, equipos y sensórica que permitieron seleccionar, adquirir y probar los equipos (UAV, Cámara IR, Estación Base) para realizar la inspección aérea con imágenes IR. Se seleccionó el tipo paneles objeto de estudio.

Objetivo Específico 2. Establecer las características y condiciones de captura de las imágenes termográficas aéreas para detección de fallas en paneles solares.

De la revisión bibliográfica se identificaron los daños en las celdas de los paneles solares detectables a partir de termografías y se definió un protocolo de captura de las imágenes aéreas. Se definieron, implementaron y probaron algoritmos automáticos de realce del contraste térmico y de segmentación de los paneles y sus celdas. En cada uno de ellos se definieron porcentajes de desempeño.

Objetivo Específico 3. Adaptar un algoritmo de navegación autónoma para el *drone* adecuado para la inspección de paneles solares.

Se definieron los ajustes y realizaron pruebas al algoritmo de navegación para posicionar el AUV sobre los paneles y realizar la captura de las imágenes infrarrojas utilizadas para la inspección.

Objetivo Específico 4. Implementar el algoritmo de detección de fallas de los paneles solares a partir de imágenes termográficas aéreas.

Se caracterizaron la respuesta térmica de los paneles solares que permitieron diferenciar el estado de las celdas. Se definieron, implementaron y probaron algoritmos automáticos de clasificación de celdas sanas-defectuosas. En cada uno de ellos se reportó porcentajes de desempeño.

Objetivo Específico 5. Establecer los alcances y limitaciones del sistema desarrollado

Se definió un conjunto de pruebas del sistema de navegación autónoma que permitieron establecer los alcances y limitaciones en: la navegación, captura de las imágenes y procesamiento en la estación base, inmersas en el protocolo de captura, de acuerdo con las especificaciones del AUV, la cámara IR, la posición geográfica de Cali y las características de los paneles a inspeccionar.

Resultados obtenidos:

i. Relacionados con la generación de conocimiento y/o nuevos desarrollos tecnológicos

- Protocolo de navegación y captura de imágenes desde el UAV que considera condiciones ambientales (velocidad del viento, temperatura externa e irradiancia), condiciones de vuelo del AUV (altura, posicionamiento y velocidad); el ángulo, distancia y campo de visión de la cámara respecto a los paneles solares; y la franja horaria recomendada para realizar la inspección de acuerdo con la ubicación geográfica en Cali.
- *Dataset* con 277 imágenes termográficas de paneles de silicio monocristalino, que incluye además información de fecha, hora, irradiancia, temperatura externa y velocidad del viento; así como el estado de las celdas (sanas, defectuosas).
- Metodología para el análisis de imágenes termográficas aéreas de paneles solares.
- Análisis del desempeño de algoritmos para el realce térmico y segmentación automática de celdas y paneles solares.
- Sistema de detección de condición sana-defectuosa a nivel de celdas permite obtener una mejor apreciación de la magnitud de la falla. Este procedimiento es innovador debido a que en la literatura solo se encontraron trabajos orientados a la inspección del panel completo.

ii. Conducentes al fortalecimiento de la capacidad científica nacional

Se vincularon seis (6) estudiantes de pregrado, cuatro (4) maestría y dos (2) de doctorado para realizar actividades específicas del proyecto y/o trabajos de grado o de investigación derivados o relacionados con las temáticas del proyecto (Análisis de imágenes en espectro visible e infrarrojo, Inspección termográfica de materiales, UAV, Electroluminiscencia/Fluorescencia). Los nombres de los estudiantes y trabajos de grado/investigación aprobados en sus respectivos programas académicos se listan a continuación.

Nombre	Trabajo Grado	Nivel Formación
Carlos Javier Rengifo Méndez	Detección de zonas defectuosas en láminas de material compuesto mediante análisis de componentes independientes (ICA) aplicadas a secuencias de imágenes térmicas.	Pregrado
Carlos Andrés Osorio Serna	Detección de defectos mecánicos en láminas de plástico reforzado con fibra de Carbono (CFRP) mediante análisis IR y clasificadores probabilísticos bayesianos.	Pregrado
Juan Pablo Pulgarín Gómez	Detección de la falla “hot spot” en paneles solares utilizando imágenes termográficas.	Pregrado
Cristhian Camilo Guevara	Detección de la falla “celda fracturada” en paneles solares utilizando imágenes termográficas.	Pregrado
David Cabal Ordoñez	Fusión de imágenes visibles e infrarrojas para interpretación de distribuciones térmicas.	Pregrado
Marcel Felipe Jaramillo	Evaluación de descriptores para el registro de Ortoimágenes.	Pregrado
Estefanía Alfaro Mejía	Detección y determinación de fallas en paneles solares a partir de imágenes aéreas termográficas.	Maestría
Brian Ospina Agudelo	Estimación de la degradación de parámetros eléctricos asociado al desempeño de módulos fotovoltaicos mediante el análisis de las curvas corriente-voltaje de un arreglo serie.	Maestría
Lina Marcela García Moreno	Fusión de imágenes aéreas en los espectros visibles e infrarrojo térmico para la generación de mosaicos georeferenciados.	Maestría

César Augusto Millán Torres	Identificación de objetos en imágenes captadas desde un vehículo aéreo no tripulado.	Maestría
Manuel Hurtado Gómez	Propuesta para implementación de un banco de pruebas para inspección de paneles solares con técnicas de fotoluminiscencia y electroluminiscencia.	Maestría
Jean Pierre Díaz	Aporte al problema de correspondencia en estereoscopía de múltiples vistas en imágenes aéreas.	Doctorado
Jorge H. Erazo Aux	Detección y caracterización de defectos en materiales compuestos mediante análisis de secuencias de imágenes termográficas.	Doctorado

iii. Dirigidos a la apropiación social del conocimiento

Se listan las ponencias y artículos derivados del proyecto de investigación. Detalles de las publicaciones se encuentran en las tablas al final del informe.

Título	Ponencia/ Artículo	Nacional/ Internacional	Estado
Method of selecting independent components for detection in carbón fiber-reinforced polymer sheets via pulsed thermography	Artículo en revista Applied Optics	Internacional	Publicado

Dataset for recognition of snail trails and hot spot failures in monocrystalline Si solar panels	Artículo en revista <i>Data in Brief</i> , de Elsevier.	Internacional	Sometido
Aerial thermographic inspection of photovoltaic plants: analysis and selection of the equipment	Ponencia en IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry ISES	Internacional	Publicado
Detección de fallas en paneles solares a partir de imágenes termográficas tomadas por un drone con navegación autónoma	Ponencia en IX simposio de investigaciones, Universidad del Valle	Nacional	Realizado
Caracterización termográfica de paneles solares de Si monocristalino que presentan la falla tipo celda fracturada	Ponencia en X simposio de investigaciones, Universidad del Valle	Nacional	Realizado
Fusión de imágenes aéreas en los espectros visible e infrarrojo térmico	Ponencia en X simposio de investigaciones, Universidad del Valle	Nacional	Realizado

Principales conclusiones y/o recomendaciones:

Para el desarrollo de los sistemas FV en Colombia es tan importante las políticas estatales que promueven los proyectos de plantas solares a cualquier escala, como el conocimiento y desarrollo de técnicas de inspección para viabilizar la operación y el mantenimiento de los sistemas FV, con el fin de garantizar la confiabilidad y la mitigación de los riesgos humanos y económicos en todas las etapas de su

implementación y operación.

En este sentido, se concibió e implementó un sistema de captura imágenes termográficas de paneles solares desde un UAV que, mediante técnicas de visión artificial y reconocimiento de patrones, permite detectar automáticamente fallas en las celdas individuales que constituyen el panel.

Con base en un estudio sobre las características y usos de UAV, se definieron las configuraciones del vehículo (capacidad de carga, autonomía de vuelo, velocidades, control de posición, tipo y alcance de la comunicación inalámbrica, etc.), la cámara IR (peso, resolución, sensibilidad térmica, rango de temperatura, ancho de banda, resolución espacial, parámetros PTZ, etc.), y la estación base (procesador, memoria, comunicación, software de procesamiento, etc.) para realizar la inspección aérea de paneles solares.

Se estableció un protocolo de navegación y captura de imágenes desde el UAV que considera condiciones ambientales (velocidad del viento, temperatura externa e irradiancia), condiciones de vuelo del AUV (altura, posicionamiento y velocidad), ángulo, distancia y campo de visión de la cámara respecto a los paneles solares, y la franja horaria recomendada para realizar la inspección de acuerdo con la ubicación geográfica en Cali.

Con base en el protocolo establecido, se definieron los ajustes al algoritmo de navegación que permitieron posicionar el AUV sobre los paneles y realizar la captura de las imágenes infrarrojas utilizadas para la inspección.

Se implementaron y probaron algoritmos para el realce de termografías, la segmentación de paneles y celdas, y máquinas de aprendizaje. En cada etapa se identificó la de mejor desempeño para la detección de fallas.

Se especificaron alcances y limitaciones en las condiciones de navegación, captura de la imagen y estación base (reflejadas en el protocolo de captura) de acuerdo con las especificaciones del AUV, la cámara IR, la posición geográfica de Cali y características de los paneles a inspeccionar. Igualmente se especificó el desempeño de los algoritmos de segmentación, clasificación y performance global del sistema de detección de fallas.

Se vincularon estudiantes de pregrado, maestría y doctorado cuyos trabajos de grado e investigación se centran en el estudio de técnicas de ensayo no destructivo de materiales con termografía y la realización de inspección con vehículos aéreos no tripulados aplicados a los sistemas de generación fotovoltaica; los cuales se encuentran en pleno auge para aumentar la demanda energética y paliar los problemas ambientales ocasionados por los combustibles fósiles.

Recomendaciones

- La utilización de protocolos de captura de termografías aéreas es fundamental para garantizar el desempeño del sistema en la detección de fallas en paneles solares.
- Elementos ajenos a los paneles, como suciedad, humedad y sombras pueden conducir a falsas detecciones de fallas. El protocolo de captura de imágenes también debe considerar la eliminación de estos factores antes de la inspección.
- Debe realizarse un proceso de ajuste de parámetros del sistema (irradiancia, altura, temperatura, velocidad del viento, tamaño de paneles y celdas, etc.) de acuerdo con el tipo y topografía del lugar de la instalación.
- El sistema puede escalarse para aumentar la capacidad de cómputo y almacenamiento de imágenes, con el fin de realizar procesamiento en línea y reducir los tiempos de generación de reportes y programación de mantenimiento de los paneles.
- Para realizar la inspección de grandes instalaciones de generación fotovoltaica y disminuir los intervalos de recarga de la batería, es preciso utilizar UAV con más capacidad de carga y mayor autonomía de vuelo.

4. Impactos actual o potencial:

El sistema desarrollado contribuye a:

- Promover la realización de inspecciones automatizadas para proteger las personas e instalaciones, y mejorar la continuidad de la operación de los sistemas FV al definir intervenciones de mantenimiento programadas luego de la detección oportuna de las fallas.
- Disminuir riesgos de cortocircuitos y electrocución de los operarios cuando realizan la inspección visual con los sistemas eléctricos en operación.
- Disminuir accidentes de los operarios cuando se desplazan por las instalaciones en terrenos extensos, terrazas o lugares aislados o de difícil acceso.
- Mejorar la precisión de la detección debido a que inspección visual no permite detectar un gran número de fallas, y está sujeta a la experticia y fatiga del operario.
- Producir diagnósticos más rápidos que el método de análisis visual.
- Disminuir los costos de las inspecciones por ser automatizadas.
- Inspeccionar mayores superficies en menor tiempo que el del desplazamiento

terrestre.

Desarrollos futuros

Establecer pruebas en otros escenarios y con otros tipos de paneles para validar/ajustar el protocolo de adquisición y el método de detección de fallas en los paneles a partir de imágenes termográficas.

Fusionar información obtenida con las imágenes infrarrojas, con la generada por otras técnicas como las curvas I-V, las imágenes de electroluminiscencia y fotoluminiscencia, para mejorar la detección, identificación y caracterización de fallas tanto en paneles como en celdas individuales.

Explorar la potencialidad de las técnicas de aprendizaje profundo para la detección, identificación y caracterización de las fallas en paneles a partir de imágenes infrarrojas, electroluminiscentes y fotoluminiscentes.

Desarrollar técnicas de análisis automático de imágenes infrarrojas, electroluminiscentes y fotoluminiscentes para determinar la severidad de las fallas y su correlación con la generación de energía en los paneles.

Establecer la periodicidad del mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones FV de acuerdo con las fallas detectadas.

Utilizar sistemas embebidos de alto poder de procesamiento en UAV de mayor capacidad de carga y autonomía, para desarrollar un prototipo comercial de inspección y generación de reporte en línea de paneles solares.

5. 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 en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
		2			2			
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
Libros de autor que publiquen resultados de investigación								
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados								
• Prototipos y patentes								
• Software								
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial								
Normas basadas en resultados de investigación								
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados		No. de tesis		No. De estudiantes Vinculados		No. De tesis	
Estudiantes de pregrado	2				6		2	
Semillero de Investigación	1				4			

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Estudiantes de maestría	1		2*	
Estudiantes de doctorado	1		2	
Joven investigador	0		0	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
	1	1	3	1
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	

*los dos trabajos de maestría se encuentran en proceso de evaluación.

Tabla No. 2. Detalle de productos

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para la revisión de informes finales y productos

Artículos:

Tipo de producto:	Artículo aceptado
Nombre General:	Method of selecting independent components for detection in carbón fiber-reinforced polymer sheets via pulsed thermography.
Nombre Particular:	Artículo Method of selecting independent components for detection in carbón fiber-reinforced polymer sheets via pulsed thermography.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Carlos Javier Rengifo Méndez, Andrés David Restrepo Girón, Sandra Esperanza Nope.
Sitio de información:	https://www.osapublishing.org/ao/viewmedia.cfm?uri=ao-57-33-9746&seq=0&html=true
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Artículo Sometido
Nombre General:	Dataset for recognition of snail trails and hot spot failures in monocrystalline Si solar panels
Nombre Particular:	Artículo Dataset for recognition of snail trails and hot spot failures in monocrystalline Si solar panels
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Estefanía Alfaro Mejía, Humberto Loaiza Correa, Sandra Esperanza Nope, Andrés David Restrepo Girón, Edinson Franco Mejía
Sitio de información:	Revista Data in Brief (DIB) https://www.journals.elsevier.com/data-in-brief
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Ponencia Internacional:

Tipo de producto:	Ponencia Internacional
Nombre General:	"Aerial thermographic inspection of photovoltaic plants: analysis and selection of the equipment", doi:10.18086/swc.2017.20.03 Available at http://proceedings.ises.org
Nombre Particular:	IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry ISES Solar World Congress 2017
Ciudad y fechas:	AbuDhabi, UAE; 29 October - 02 November, 2017
Participantes:	Sara Gallardo-Saavedra, Estefanía Alfaro-Mejía, Luis Hernández-Callejo Óscar Duque-Pérez, Humberto Loaiza-Correa, Edinson Franco-Mejía
Sitio de información:	http://proceedings.ises.org/paper/swc2017/swc2017-0125-GallardoSaavedra.pdf http://www.shc2017.org/
Formas organizativas:	Universidad de Valladolid (Spain) School of Forestry, Agronomic and Bioenergy Industry Engineering Department of Agricultural and Forestry Engineering, Industrial Engineering School, Department of Electrical Engineering Universidad del Valle (Colombia) Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Ponencias Nacionales:

Tipo de producto:	Ponencia Regional
Nombre General:	Caracterización termográfica de paneles solares de Si monocristalino que presentan la falla tipo celda fracturada
Nombre Particular:	X simposio de investigaciones, Universidad del Valle
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Colombia; 2, 3, y 4 de mayo 2018

Participantes:	Relacionar los autores del producto.
Sitio de información:	http://ingenieria.univalle.edu.co/simposio-investigaciones
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Ponencia Regional
Nombre General:	Fusión de Imágenes Aéreas En Los Espectros Visible e Infrarrojo Térmico
Nombre Particular:	X Simposio de Investigaciones, Universidad del Valle
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Colombia; 2, 3, y 4 de mayo 2018
Participantes:	Lina Marcela García Moreno, Humberto Loaiza Correa
Sitio de información:	http://ingenieria.univalle.edu.co/simposio-investigaciones
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Ponencia Nacional
Nombre General:	Realidad aumentada como herramienta para entornos geográficos virtuales.
Nombre Particular:	7 semana Geomática Internacional 2017.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, Colombia; 14 al 18 de agosto 2017
Participantes:	Lina Marcela García Moreno, Humberto Loaiza Correa.
Sitio de información:	https://semanageomatica.igac.gov.co/es/contenido/7a-semana-geomatica-internacional
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tesis de pregrado:

Tipo de producto:	Tesis pregrado (Finalizada)
Nombre General:	Detección de zonas defectuosas en láminas de material compuesto mediante análisis de componentes independientes (ICA) aplicadas a secuencia de imágenes térmicas
Nombre Particular:	Tesis: Detección de zonas defectuosas en láminas de material compuesto mediante análisis de componentes independientes (ICA) aplicadas a secuencia de imágenes térmicas
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali 23 de mayo de 2018.
Participantes:	Carlos Javier Rengifo Méndez tesista, Sandra Esperanza Nope Rodríguez, Directora
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Tesis pregrado (Finalizada)
Nombre General:	Detección de defectos mecánicos en láminas de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) mediante análisis IR y clasificadores probabilísticos bayesianos.
Nombre Particular:	Tesis: Detección de defectos mecánicos en láminas de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) mediante análisis IR y clasificadores probabilísticos bayesianos.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 2 de octubre 2018
Participantes:	Carlos Andrés Osorio Serna, tesista, Sandra Esperanza Nope, Andrés David Restrepo Girón .
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Tesis Pregrado (En Ejecución)
Nombre General:	Detección de la falla conocida como “celda fracturada” en paneles solares utilizando imágenes termográficas .
Nombre Particular:	Tesis: Detección de la falla conocida como “celda fracturada” en paneles solares utilizando imágenes termográficas.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Cristhian Camilo Guevara Marín, tesista, Humberto Loaiza Correa, Estefanía Alfaro Mejía.
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Tesis Pregrado (En Ejecución)
Nombre General:	Detección de la falla conocida como “ <i>hot spot</i> ” en paneles solares utilizando imágenes termográficas .
Nombre Particular:	Tesis: Detección de la falla conocida como “ <i>hot spot</i> ” en paneles solares utilizando imágenes termográficas.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Juan Pablo Pulgarín Gómez, tesista, Humberto Loaiza Correa, Estefanía Alfaro Mejía.
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Tipo de producto:	Tesis Pregrado (En Ejecución)
Nombre General:	Fusión De Imágenes Visibles E Infrarrojas Para Interpretación De Distribuciones Térmicas
Nombre Particular:	Tesis de Fusión De Imágenes Visibles E Infrarrojas Para Interpretación De Distribuciones Térmicas
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	David Cabal Ordoñez, Humberto Loaiza Correa, Lina Marcela García Moreno
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Tesis Pregrado (En Ejecución)
Nombre General:	Evaluación de Descriptores Para El Registro De Ortoimágenes
Nombre Particular:	Tesis de Evaluación de Descriptores Para El Registro De Ortoimágenes
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Marcel Felipe Jaramillo Correa, Humberto Loaiza Correa, Lina Marcela García Moreno.
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tesis de maestría:

Tipo de producto:	Tesis Maestría (En Ejecución)
Nombre General:	Detección y determinación de severidad de fallas en paneles solares a partir de imágenes aéreas termográficas
Nombre Particular:	Tesis Detección y determinación de severidad de fallas en paneles solares a partir de imágenes aéreas termográficas
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Estefanía Alfaro Mejía , Humberto Loaiza Correa, Edinson Franco Mejía
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Grupo GICI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Tesis Maestría (En evaluación)
Nombre General:	Propuesta para implementación de un banco d pruebas para inspección de paneles solares con técnicas de fotoluminiscencia y electroluminiscencia.
Nombre Particular:	Tesis: propuesta para implementación de un banco d pruebas para inspección de paneles solares con técnicas de fotoluminiscencia y electroluminiscencia.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Manuel Alejandro Hurtado Gómez, Humberto Loaiza Correa.
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Tesis Maestría (En evaluación)
Nombre General:	Identificación de objetos en imágenes captadas desde un vehículo aéreo no tripulado.
Nombre Particular:	Tesis: Identificación de objetos en imágenes captadas desde un vehículo aéreo no tripulado.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	César Augusto Millán Torres, Humberto Loaiza Correa.
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tipo de producto:	Tesis Maestría (En Ejecución)
Nombre General:	Fusión De Imágenes Aéreas En Los Espectros Visible E Infrarrojo Térmico Para La Generación De Mosaicos Georreferenciados
Nombre Particular:	Tesis de Fusión De Imágenes Aéreas En Los Espectros Visible E Infrarrojo Térmico Para La Generación De Mosaicos Georreferenciados
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Lina Marcela García Moreno. , Humberto Loaiza Correa, Andrés David Restrepo Girón
Sitio de información:	Biblioteca Digital Universidad del Valle, Tesis y Trabajos de Grado, http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/99
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Propuesta de investigación externa:

Tipo de producto:	Proyecto de convocatoria externa
Nombre General:	Detección de minas antipersona mediante inspección aérea del suelo, a partir de imágenes termográficas. Fue sometida a la evaluación en el marco de la convocatoria 808-2018, proyecto de ciencia tecnología e innovación y su contribución a los retos del país, Colciencias.
Nombre Particular:	Proyecto convocatoria externa: Detección de minas antipersona mediante inspección aérea del suelo, a partir de imágenes termográficas. Fue sometida a la evaluación en el marco de la convocatoria 808-2018, proyecto de ciencia tecnología e innovación y su contribución a los retos del país, Colciencias.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Andrés David Restrepo Girón.
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo PSI, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

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

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2

- [1] A. Blakers, N. Zin, K. R. McIntosh, and K. Fong, "High Efficiency Silicon Solar Cells," vol. 33, pp. 1–10, 2013.
- [2] P. Addabbo, A. Angrisano, and M. L. Bernardi, "A UAV Infrared Measurement Approach for Defect Detection in Photovoltaic Plants," pp. 345–350, 2017.
- [3] D. Kim, J. Youn, and C. Kim, "Automatic fault recognition of photovoltaic modules based on statistical analysis of UAV thermography," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 42, no. 2W6, pp. 179–182, 2017.
- [4] X. Li, Q. Yang, Z. Chen, X. Luo, and W. Yan, "Visible defects detection based on UAV-based inspection in large-scale photovoltaic systems," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 11, no. 10, pp. 1234–1244, 2017.
- [5] P. Zhang, L. Zhang, T. Wu, H. Zhang, and X. Sun, "Detection and location of fouling on photovoltaic panels using a drone-mounted infrared thermography system," *J. Appl. Remote Sens.*, vol. 11, no. 1, p. 016026, 2017.
- [6] S. Leva, M. Aghaei, and F. Grimaccia, "PV power plant inspection by UAS: Correlation between altitude and detection of defects on PV modules," *2015 IEEE 15th Int. Conf. Environ. Electr. Eng. EEEIC 2015 - Conf. Proc.*, pp. 1921–1926, 2015.
- [7] E. Workswell, "Thermo diagnosis of photovoltaic power plants." .
- [8] C. Buerhop *et al.*, "A Quality Inspection of PV-Power Plants without Operation Interruption," pp. 1677–1681, 2016.
- [9] C. Buerhop, H. Scheuerpflug, and R. Weissmann, "according to Fresnel ' s law of glass OPTIMAL CONDITIONS FOR IR- IMAGING OF PV-PLANTS," *26th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib.*, pp. 6–9, 2011.
- [10] S. Dotenco *et al.*, "Automatic Detection and Analysis of Photovoltaic Modules in Aerial Infrared Imagery."