



ELSEVIER

Listas de contenidos disponibles en [ScienceDirect](#)

## Datos resumidos

revista Página de inicio: [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com) / [localizar](#) / [dib](#)



Artículo de datos

### Conjunto de datos para el reconocimiento de rastros de caracoles y fallas de puntos calientes en paneles solares monocristalinos de Si



Estefanía Alfaro-Mejía\*, Humberto Loaiza-Correa\*\*,  
Edinson Franco-Mejía, Andres David Restrepo-Giron,  
Sandra Esperanza Nope-Rodríguez

Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (EIEE), Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia

#### información del artículo

##### Historia del artículo:

Recibido el 28 de mayo de 2019

Recibido en forma revisada el 14 de agosto de 2019

Aceptado el 20 de agosto de 2019

On-line el 28 de agosto de 2019

##### Palabras clave:

Inspección de paneles fotovoltaicos

Paneles de Si monocristalinos Rastros de caracol

Defectos de puntos calientes

Análisis de imágenes termográficas

Vehículos aéreos no tripulados

#### abstracto

Este artículo presenta un conjunto de datos para la caracterización térmica de sistemas fotovoltaicos para identificar rastros de caracoles y fallas en puntos calientes. Este conjunto de datos tiene 277 imágenes aéreas termográficas que fueron adquiridas por una cámara IR Zenmuse XT (7mi13 metrometro longitud de onda) de un DJI Matrice 100 1drone (quadcopter). Además, nuestro conjunto de datos incluye las siguientes medidas ambientales: temperatura, velocidad del viento e irradiancia. El montaje experimental consistió en una matriz fotovoltaica de 4 paneles de Si monocristalinos en serie (string) y un equipo electrónico emulando una carga real. Las condiciones para la adquisición de imágenes se establecieron en un protocolo de vuelo en el que definimos altitud, actitud y condiciones climáticas.

© 2019 El autor (es). Publicado por Elsevier Inc. Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

[org / licencias / por / 4.0 /](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### 1. Datos

El conjunto de datos se genera para caracterizar térmicamente los rastros de los caracoles y las fallas de los puntos calientes en los paneles solares de "Si monocristalino" y se compone de 277 imágenes termográficas. Las especificaciones de los equipos utilizados en esta investigación se presentan en [Tablas 1mi6](#). La información sobre el conjunto de datos es

\* Autor correspondiente.

\*\* Autor correspondiente.

Correos electrónicos: [estefania.alfaro@correounivalle.edu.co](mailto:estefania.alfaro@correounivalle.edu.co) (E. Alfaro-Mejía), [humberto.loaiza@correounivalle.edu.co](mailto:humberto.loaiza@correounivalle.edu.co) (H. Loaiza-Correa), [edinson.franco@correounivalle.edu.co](mailto:edinson.franco@correounivalle.edu.co) (E. Franco-Mejía), [andres.david.restrepo@correounivalle.edu.co](mailto:andres.david.restrepo@correounivalle.edu.co) (AD Restrepo-Girón), [sandra.nope@correounivalle.edu.co](mailto:sandra.nope@correounivalle.edu.co) (SE Nope-Rodríguez).

Tabla de especificaciones

Área temática	Ciencias de la Computación
Área temática más específica	Tablas de reconocimiento de patrones y visión por
Tipo de datos	computadora, archivos JPG
Cómo se adquirieron los datos	Panel fotovoltaico ERDM Solar 85W <sup>2</sup> Cámara de infrarrojos Zemmuse XT, a bordo del UAV Matrice 100 <sup>3</sup> Piranómetro SP110 Apogee <sup>4</sup> Carga electrónica B&K Precision 8514 <sup>5</sup> Estación meteorológica WS-2090 <sup>6</sup>
Formato de datos	Imágenes térmicas sin procesar (resolución de 336x256 píxeles), formato jpg. Temperatura en grados C Irradiancia en W / m <sup>2</sup> Velocidad del viento en m / s
Factores experimentales	Condiciones meteorológicas y de funcionamiento (irradiancia, temperatura, velocidad del viento, altitud, actitud) Ubicación geográfica: 3 22o30 N, 76 32o04 W Ventana de tiempo: 10:00 a 14:00 hora local. Temperatura (26mi32 C) Irradiancia (500mi1000 W / m <sup>2</sup> ) Velocidad del viento (3mi5 m / s)
Funciones experimentales	
	Imágenes IR (7.5-13.5 metrobanda m) Se utilizó un dron con una cámara de infrarrojos medios para inspeccionar la matriz fotovoltaica (PV) de 4 paneles de Si monocristalinos en serie (cadena) que suministran una carga emulada, con el fin de identificar rastros de caracoles y fallas de puntos calientes mediante el procesamiento de secuencias de imágenes termográficas. La baja altura de la posición estacionaria del UAV permite la inspección de celdas individuales, y la información meteorológica complementaria es útil para las condiciones experimentales establecidas.
Ubicación de la fuente de datos	Cali, Valle del Cauca, Colombia, Sur America
Accesibilidad de datos	<a href="https://data.mendeley.com/datasets/82vzccxb6y/2">https://data.mendeley.com/datasets/82vzccxb6y/2</a>
Artículo de investigación relacionado	[1] S. Gallardo-Saavedra, E. Franco-Mejía, L. Hernandez-Callejo, O. Duque-Perez, H. Loaiza-Correa y E. Alfaro-Mejía, "Inspección aérea termográfica de plantas fotovoltaicas: Análisis y selección de equipo "en ISES Solar World Congress 2017 - IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2017, Proceedings, 2017

<sup>2</sup> <http://www.erdm-solar.com/>.

<sup>3</sup> <https://www.dji.com/matrice100>.

<sup>4</sup> <https://www.apogeeinstruments.com/sp-110-ss-self-powered-pyranometer/>.

<sup>5</sup> <http://www.bkprecision.com/products/dc-electronic-loads/8514-1200-w-programmable-dc-electronic-load.html>.

<sup>6</sup> <https://www.ambientweather.com/amws2090ip.html>

Valor de los datos
El conjunto de datos de imágenes se puede utilizar para clasificar puntos calientes, senderos de caracoles y células de sonido en paneles solares.
El conjunto de datos se puede utilizar para el procesamiento de imágenes para implementar diferentes técnicas de filtrado y segmentación.
La resolución de las imágenes es lo suficientemente alta para la segmentación de celdas en paneles, lo que permite la clasificación de diferentes condiciones de cada celda.
El conjunto de datos se puede utilizar para caracterizar térmicamente las células solares dentro de los paneles con respecto al clima y las condiciones de vuelo.

resumido en [Tabla 7](#). Este conjunto de datos está organizado en carpetas nombradas según la fecha de adquisición. Las carpetas entre el 28 de abril y el 4 de mayo contienen dos subcarpetas: "Imágenes" e "Irradiancia\_Hora"; la subcarpeta "Imágenes" solo tiene imágenes del panel izquierdo. Sin embargo, la carpeta del 4 de mayo contiene una tercera subcarpeta llamada: "Temperature\_WindSpeed". Las carpetas entre el 20 de diciembre y el 11 de enero contienen tres subcarpetas: "Imágenes", "Irradiancia\_Hora" y "Temperatura\_velocidad del viento"; la subcarpeta "Imágenes" tiene las subcarpetas "Panels\_right" y "Panels\_left" que contienen imágenes etiquetadas como se ilustra en [Figura 1](#); "Paneles\_derechos" corresponden a los paneles (1,2), "Paneles\_derechos" corresponden a los paneles (3,4) del [Figura 1\(a\)](#). Todos los datos sin procesar se presentan con la extensión ".csv". La subcarpeta "Irradiance\_Hour" contiene un vector con información de la medición de irradiancia, y la subcarpeta "Temperature\_WindSpeed" contiene la medición de la velocidad del viento, así como la temperatura externa e interna.

Por su parte, en [Figura 1\(a\)](#) las condiciones de las celdas para los 4 paneles inspeccionados están resaltadas por colores; en [Figura 1\(b\)](#) se muestra una imagen térmica real de los paneles. En [Figura 2](#) se esquematiza el protocolo de adquisición de imágenes utilizado. En [Fig. 3](#) Se ilustra la posición relativa entre UAV y paneles solares.

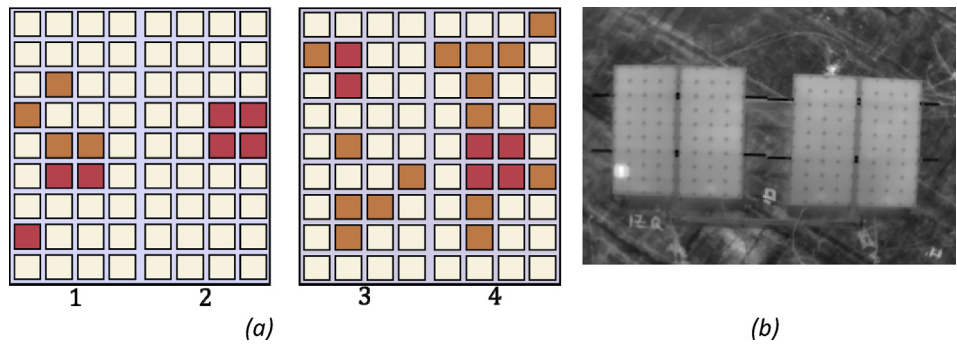


Figura 1. Cuatro paneles de Si monocristalino utilizados para el experimento: (a) esquema de paneles con 4 celdas en diferentes condiciones: fallas de puntos calientes (rojo) y rastros de caracol (naranja), y celdas de sonido (blanco), rotulación de los paneles, (b) Imagen térmica de los paneles solares reales.

2. Diseño, materiales y métodos experimentales

2.1. Materiales

Para la adquisición de la base de datos se necesitaron los siguientes materiales y equipos:

- Cadena de 4 paneles solares monocristalinos ERDMSi conectados en serie, con 85W de potencia máxima para cada panel ([tabla 1](#)).
- Carga electrónica B&K Precision 8514 a 1200 W de potencia máxima, para emular un comportamiento de carga real ([Tabla 2](#)).
- Piranómetro Apogee SP110, colocado junto a la cadena de paneles solares, para medir la irradiancia ([Tabla 3](#)).
- Estación meteorológica Ambient Weather SW-2090, colocada a 3 m de altura de la superficie de los paneles solares, para medir la temperatura y la velocidad del viento ([Cuadro 4](#)).
- Cámara térmica Zenmuse XT, para adquirir imágenes termográficas ([Cuadro 5](#)).

tabla 1  
Especificaciones del panel solar.

Número de celdas	Dimensiones (mm)			Peso (kilogramo)	Voltaje de circuito abierto (V)	Corriente de cortocircuito (A)
36	1186	551	35	9	21,78	5.13

Tabla 2  
Especificaciones de carga electrónica.

Resolución (mV / mA)	Voltaje mínimo de funcionamiento (V)	Rango de voltaje (V)
1 / 0,1	0,1	0mi120

Tabla 3  
Especificaciones del piranómetro.

Rango espectral (nm)	Sensibilidad (mV W = m2)	Factor de calibracion (W = m2 mV)	Campo de visión (grados)	Operación Medio ambiente (C)
360mi1120	0,2	5	180	40 a 70

Cuadro 4  
Especificaciones de la estación meteorológica.

Medición	Distancia	Precisión	Resolución
Temperatura exterior	-23,3 a 65 C (10 a 149 F)	± 2 F ( ± 1,1 C)	0,1 F (0,06 C)
Temperatura interior	C (32 a 140 F) 0-360	± 2 F ( ± 1,1 C)	0,1 F (0,06 C)
Dirección del viento		22,5	22,5
Velocidad del viento	0 a 112 mph (0 a 180,3 km / h)	± 2,2 mph ( ± 3,5 km / h)	0,1 mph (0,16 km / h)

Cuadro 5  
Especificaciones de la cámara térmica.

Píxeles	Rango espectral (metrometro)	Rango de vibración angular	Sensibilidad térmica (mK)	Peso (gramos)
336x256	7.5mi13	± 0,03	<50	270

Tabla 6  
Especificaciones de UAV.

Escribe	Carga útil completa de tiempo de vuelo estacionario (min)	Velocidad máxima de ascenso (m / s) s) (C)	Velocidad máxima de descenso (m / s) s) (C)	Temperatura de funcionamiento
Cuadricóptero 20	5	4		10 hasta 40

Dron Matrice 100, para inspección aérea de paneles solares (Tabla 6).  
Software de aplicación DJI Go, para visualizar variables de vuelo<sup>7</sup>

2.2. Método

Se diseñó un protocolo experimental con 5 etapas para adquirir las imágenes térmicas, como se muestra en

Figura 2.

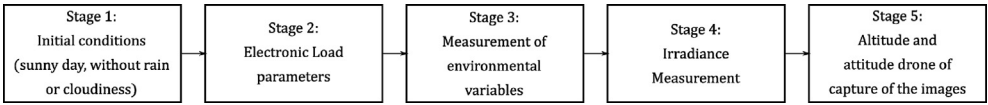


Figura 2. Protocolo de adquisición de imágenes.

2.2.1. NIVEL 1

De acuerdo a [2,3] el nivel de irradiancia sugerido para adquirir imágenes térmicas de sistemas fotovoltaicos (PV) debe ser de al menos 500W = m2. Por lo tanto, la adquisición de imágenes se realizó en días soleados ya que las nubes disminuyen los niveles de irradiancia y la lluvia es una restricción de vuelo para los UAV. Las imágenes se capturaron entre las 10:00 y las 11:30 y entre las 13:00 y las 14:00 horas, con el fin de utilizar el pico máximo de niveles de irradiancia (~ 800 W / m2) en Cali-Colombia. Se excluyó el intervalo de 11:30 a 13:00 horas para evitar sombras en los paneles solares.

2.2.2. ETAPA 2

Después de verificar las condiciones climáticas, configuramos el valor de voltaje en la carga electrónica B&K Precision 8514 (modo de operación de voltaje constante) al 80% del voltaje de circuito abierto entregado por la cadena de paneles solares, para aproximar el punto de operación de poder maximo [4,5].

2.2.3. ETAPA 3

Es necesario verificar que las variables ambientales se encuentren dentro de rangos adecuados, así:

<sup>7</sup> <https://www.dji.com/goapp>.

Velocidad del viento a las 3mi5 m / s, para garantizar la especificación de precisión en la medición de temperatura calculada por el sensor de la cámara térmica en este tipo de experimentos [6].

Temperatura ambiente en un rango de 26-30 C, como se sugiere en [7].

#### 2.2.4. ETAPA 4

En esta etapa, se verifica que la medición de irradiancia se encuentre dentro del rango: 500mi1000 W / m<sup>2</sup>, como sugerido en experimentos similares [8].

#### 2.2.5. ETAPA 5

Una vez que se verificó que las condiciones ambientales son adecuadas para la inspección termográfica, el UAV se colocó horizontalmente a 2.0 m de distancia del lado más bajo de los paneles, y a 2.3mi2,7 m de altura desde la base de los paneles, como indica Fig. 3. Con el objetivo de hacer que la cámara IFOV (1.889 mrad) cubra 2 veces el área de una celda de panel, se estableció una altura ideal de hasta 2.3 m, similar a lo realizado en [9], aunque no consideraron la cámara IFOV. En consecuencia, la resolución de los termogramas (336 256 píxeles) es lo suficientemente alta como para obtener información sobre el estado de las células, a diferencia de otros trabajos similares.

[10,11] donde solo se pueden detectar daños globales de los paneles porque las alturas reportadas son superiores a 20 m.

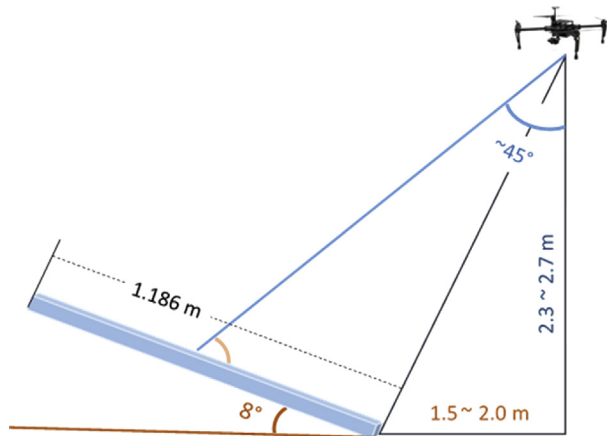


Fig. 3. Posicionamiento de UAV con respecto a paneles solares.

Además, la inclinación de los paneles solares es de 8, lo cual es posible debido a la posición geográfica de Cali, Colombia, cerca de la línea ecuatorial. Esta condición y una actitud del dron (ángulo de inclinación) alrededor de 45 hacen que el ángulo de observación (entre el eje óptico de la cámara y el vector normal de la superficie del panel) sea mayor que 0 y menor que 60 (45 aproximadamente), para asegurar que las variaciones de emisividad son insignificantes [11].

Finalmente, debido a que el dron se coloca a una distancia de hasta 2 metros junto al panel, el efecto de enfriamiento de las palas de los rotores del UAV es insignificante y, en consecuencia, no se tiene en cuenta.

### 2.3. Diseño experimental

Consideramos que las imágenes del conjunto de datos son espacialmente estáticas porque el dron se colocó en coordenadas fijas georreferenciadas, el ángulo de inclinación de la cámara IR era constante y las fluctuaciones de altura con respecto a la base de los paneles solares (2.3mi2,7 m) eran bajas, causadas por vibraciones del cardán o inestabilidad del dron. Sin embargo, la adquisición se distribuyó en 7 sesiones experimentales, lo que provocó importantes variaciones en la irradiancia, la velocidad del viento y la temperatura ambiente, aunque todas dentro de lo permitido.

Tabla 7  
Información sobre diferentes grupos de imágenes que conforman el conjunto de datos.

Fecha de Adquisición	Número de variables ambientales imágenes		Altitud (m)	Actitud (°)	Imágenes del archivo de referencia
27-abril-2018	13	Irradiancia y temperatura.	2.3mi2,7	45mi60	27-abril-2018
28-abril-2018	13	Irradiancia y temperatura	2.3mi2,7	45mi60	28-abril-2018
04-mayo-2018	29	Irradiancia y temperatura, velocidad del viento	2.3mi2,7	45mi60	04-mayo-2018
20-diciembre-2018	60	Irradiancia y temperatura, velocidad del viento	2.3mi2,7	45mi60	20-diciembre-2018
21-diciembre-2018	48	Irradiancia y temperatura, velocidad del viento	2.3mi2,7	45mi60	21-diciembre-2018
16-enero-2019	48	Irradiancia y temperatura, velocidad del viento	2.3mi2,7	45mi60	16-enero-2019
19-enero-2019	66	Irradiancia y temperatura, velocidad del viento	2.3mi2,7	45mi60	19-enero-2019

rangos. Esta situación tenía como objetivo recrear un entorno no controlado similar al que se encuentra en las instalaciones de paneles solares al aire libre. [Tabla 7](#) especifica los valores de vuelo y variables ambientales para cada grupo de imágenes térmicas capturadas durante sesiones experimentales independientes.

Expresiones de gratitud

Los autores agradecen a la Universidad del Valle por financiar el proyecto “Detección de fallas en paneles solares a partir de imágenes termográficas tomadas por un dron con navegación autónoma” 2919, Laboratorios VAPS, PSI (Percepción y Sistemas Inteligentes) y GICI (Grupo de Investigación en Control Industrial) ) grupos de investigación, por su apoyo a este trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses económicos en competencia o relaciones personales conocidas que puedan haber influido en el trabajo informado en este documento.

Referencias

[1] S. Gallardo-Saavedra, E. Franco-Mejía, L. Hernandez-Callejo, O. Duque-Perez, H. Loaiza-Correa, E. Alfaro-Mejía, Inspección aérea termográfica de plantas fotovoltaicas: análisis y selección de los equipos, en: ISES Solar World Congress 2017 - IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2017, Proceedings, 2017.

[2] F. Grimaccia, M. Aghaei, M. Mussetta, S. Leva, PB Quater, Planificación de la supervisión del rendimiento de una planta fotovoltaica mediante sistemas aéreos no tripulados (UAS), *Int. J. Energy Environ. Eng.* 6 (1) (2015) 47mi54.

[3] PB Quater, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, M. Aghaei, Vehículos aéreos no tripulados ligeros (UAV) para la inspección cooperativa de plantas fotovoltaicas, *IEEE J. Fotovoltaica* 4 (4) (2014) 1107mi1113.

[4] M. Kontges, S. Kurtz, J. Ulrike, KA Berger, K. Kato, T. Friesen, en: Revisión de fallas de módulos fotovoltaicos, vol. 1911, 2015, 2016.

[5] JD Bastidas-Rodríguez, E. Franco, G. Petrone, CA Ramos-Paja, G. Spagnuolo, Cuantificación de la degradación de módulos fotovoltaicos utilizando indicadores basados en modelos, *Matemáticas. Computación. Simulat.* 131 (2017) 101mi113.

[6] S. Leva, M. Aghaei, F. Grimaccia, Inspección de plantas de energía fotovoltaica por UAS: correlación entre altitud y detección de defectos en módulos fotovoltaicos, 2015.

[7] T. Kauppinen, PE Panouillot, S. Siikanen, E. Athanasakou, P. Baltas, B. Nikopoulous, en: Acerca del escaneo infrarrojo de la planta solar fotovoltaica, vol. 9485, 2015, 948517.

[8] S. Dotenco et al., “Detección y análisis automático de módulos fotovoltaicos en imágenes aéreas infrarrojas”.

[9] G. Alvarez-Tey, R. Jiménez-Castan ~eda, J. Carpio, Análisis de la configuración y ubicación de equipos termográficos para la inspección en sistemas fotovoltaicos, *Infrarrojos Phys. Technol.* 87 (2017) 40mi46.

[10] P. Zhang, L. Zhang, T. Wu, H. Zhang, X. Sun, Detección y ubicación de incrustaciones en paneles fotovoltaicos utilizando un sistema de termografía infrarroja montado en drones, *J. Appl. Sensores remotos* 11 (1) (2017), 016026.

[11] C. Buerhop, H. Scheuerpflug, R. Weissmann, De acuerdo con la ley de Fresnel de condiciones óptimas de vidrio para imágenes IR de plantas fotovoltaicas, en: 26th Eur. Fotovoltaic. Sol. Energy Conf. Exhíb., 2011, págs.6mi9.