



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS PARA LA MONITORIZACIÓN DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

Alumno/a: De Sousa Cardoso, Andressa

Tutor: Prof. D. Ángel Inocencio Aguilera García

Cotutor: D. Juan Manuel Jurado Rodríguez

Dpto: Departamento Informática

Septiembre, 2021



Universidad de Jaén
Centro de Estudios de Postgrado

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación

Estudiante:

Andressa de Sousa Cardoso

Fdo. Nombre estudiante

Tutor/es

Prof. D. Ángel Inocencio Aguilera
García

D. Juan Manuel Jurado Rodríguez

Fdo. Nombre/s tutores

Jaén, 15 de septiembre de 2021

ÍNDICE

1.	RESUMEN /ABSTRACT	9
2.	INTRODUCCIÓN	11
2.1	Estructura del Trabajo.....	12
3.	OBJETIVOS	13
4.	ESTADO DEL ARTE	14
4.1	La Energía Solar Fotovoltaica	14
4.2	Situación actual de la fotovoltaica en el mundo	15
4.3	Tipos de módulos fotovoltaicos.....	17
4.3.1	Monocristalino.....	17
4.3.2	Policristalino.....	18
4.3.3	Capa fina.....	18
4.4	Tipos de Instalación Fotovoltaica.....	18
4.4.1	Instalaciones sobre el tejado.....	18
4.4.2	Instalaciones sobre el terreno	19
4.4.3	Instalaciones con o sin seguidores solares.....	19
4.5	Componentes de una instalación fotovoltaica.....	21
4.6	Distribución de una instalación FV	22
4.7	Anomalías en las celdas fotovoltaicas	23
4.8	Definición de UAV.....	27
4.9	Sensores e imágenes termográficas.....	28
4.10	Aplicaciones de los UAV en las plantas fotovoltaicas	29
4.11	Plan de vuelo fotogramétrico (direccionado a la inspección de plantas fotovoltaicas).....	31
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1	Descripción de la zona de trabajo.....	33
5.2	Instrumentación utilizada	36

5.2.1	Dron	36
5.2.2	Sensores.....	37
5.3	Softwares utilizados	39
5.3.1	Pix4Dmapper	39
5.3.2	QGis.....	39
5.3.3	Geoserver	39
5.3.4	Leaflet	39
5.3.5	PostgreSQL + PostGis + PgAdmin	40
5.4	Captura de datos	41
5.4.1	Plan del vuelo	41
5.4.2	Realización del vuelo	43
5.5	Procesado de las imágenes.....	45
5.6	Solución integral del proyecto	56
5.6.1	Integración y visualización de los datos en un SIG (QGis)	56
5.6.2	Almacenamiento de la información en una base de datos	67
5.6.3	Importación de los datos en Geoserver	75
5.6.4	Creación del visualizador web de mapas.....	79
6.	CONCLUSIONES	83
	BIBLIOGRAFIA	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Estructura del trabajo	12
Figura 2-Generación de la Energía Solar Fotovoltaica.....	14
Figura 3-Evolución de los costes de diversas tecnologías renovables en la última década. Fuente: IRENA; Renewable Power Costs 2018	16
Figura 4-Mayor planta Fotovoltaica de Europa - Badajoz	17
Figura 5-Panel Monocristalino.....	17
Figura 6-Panel Policristalino.....	18
Figura 7-Panel Fotovoltaico de Capa Fina	18
Figura 8-Instalación Fotovoltaica sobre el tejado	19
Figura 9-Instalación Fotovoltaica sobre el terreno.....	19
Figura 10-Instalaciones Fotovoltaicas con seguidores a 1 y a 2 ejes.....	20
Figura 11-Estructura con seguimiento a 1 eje (Azimutal).....	21
Figura 12-Componentes de una instalación fotovoltaica.....	21
Figura 13-Composición de una instalación fotovoltaica sobre el terreno	22
Figura 14-Sistema Fotovoltaico.....	23
Figura 15-Panel fotovoltaica con suciedad.....	24
Figura 16-Panel solar con fractura	25
Figura 17-Placa con corrosión.....	26
Figura 18-Paneles solares con hotspots	26
Figura 19-Dron Ala Fija y multirrotor	28
Figura 20-Dron haciendo una inspección en una planta fotovoltaica	30
Figura 21-Resumen ilustrativo de la Metodología empleada	32
Figura 22-Mapa de localización.....	33
Figura 23-Pantallazo Página Web del Catastro de España	34
Figura 24-Pantallazo Página Web del Catastro de España	34
Figura 25-Pantallazo del Geoportal ENAIRE.....	35
Figura 26-Dron DJI Matrice 210	36
Figura 27-Cámara Zenmuse XT2.....	37
Figura 28-Flujo de trabajo de Pix4DMapper.....	45
Figura 29-Pantallazo Pix4D.....	46
Figura 30-Pantallazo Pix4D.....	46
Figura 31-Nube de Puntos poco densa (Pix4D)	47

Figura 32-Nube de puntos densa	48
Figura 33-Modelo Digital de Superficie	49
Figura 34-Ortoimagen RGB.....	49
Figura 35-Parámetros cámaras térmicas en Pix4D	50
Figura 36-Plantilla de procesamiento Cámara térmica.....	51
Figura 37-Nube de puntos dispersa (Pix4D)	51
Figura 38-Nube de Puntos densa.....	52
Figura 39-Ortoimagen térmica.....	52
Figura 40-Informe de calidad del procesamiento (Pix4D)	53
Figura 41-Informe de calidad (Sobreposición).....	54
Figura 42-Informe de calidad del procesamiento (Pix4D)	55
Figura 43-Informe de calidad (Superposición).....	55
Figura 44-Solución integral del proyecto	56
Figura 45-Pantallazo QGis (Temperatura del pixel)	57
Figura 46-Calculadora ráster de QGis (Ecuación para clasificación del ráster) 58	
Figura 47-Ráster clasificado.....	58
Figura 48-Clasificación de las anomalías en la placa (Extensión).....	59
Figura 49-Herramienta Poligonizar (ráster a vectorial).....	59
Figura 50-Raster clasificado (Vectorial)	60
Figura 51-Anomalías en las placas	60
Figura 52-Generación de información fuera de los módulos.....	61
Figura 53-Herramienta Centroides de QGis.....	61
Figura 54-Resultado del procesamiento.....	62
Figura 55-Herramienta Calculadora de Campo de QGis.....	62
Figura 56-Tabla de atributos (QGis).....	63
Figura 57-Objeto espacial puntal representativos de las anomalías	63
Figura 58-Digitalización de las Celdas en el AutoCAD.....	63
Figura 59-Herramienta “Líneas a polígonos”	64
Figura 60-Herramienta “Estadística de zona”	64
Figura 61-Calculadora de campo QGis	65
Figura 62-Tabla de atributos	65
Figura 63-Porcentaje sobre las celdas.	66
Figura 64-Pantallazo Proyecto QGis	66
Figura 65-Modelo Entidad-Relación	69

Figura 66-Modelo Lógico de la base de datos.....	70
Figura 67-Creación de la base de datos	71
Figura 68-Conexión de la base de datos en QGis.....	72
Figura 69-Administrador de BBDD Fuente: Elaboración Propia.....	73
Figura 70-Complemento PostGIS Raster Import.....	73
Figura 71-Pantallazo de la Base de datos en el PgAdmin	74
Figura 72-Espacio de trabajo en Geoserver	75
Figura 73-Conexión de la base de datos con Geoserver	76
Figura 74-Capas publicadas en GeoServer	77
Figura 75-Guardando el estilo de las capas en formato .sld	77
Figura 76-Importación de los archivos .SLD en Geoserver.....	78
Figura 77-Enlace de los estilos con las capas.....	78
Figura 78-Herramientas de informaciones cartográficas básicas.....	80
Figura 79-Herramienta de Control de Capas.....	80
Figura 80-Herramienta de Dibujo	80
Figura 81-Herramienta de medidas.....	81
Figura 82-Herramienta de extensión	81
Figura 83-Herramienta de zoom.....	81
Figura 84-Herramienta de visualización de leyenda.....	81
Figura 85-Herramienta de impresión.....	82
Figura 86-Pantallazo Visualizador Web	82
Figura 87-Pantallazo Visualizador Web	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Características del Dron DJI Matrice 210	36
Tabla 2- Características de la cámara Zenmuse XT2	38
Tabla 3- Características del vuelo realizado	43
Tabla 4 - Clasificación de los datos	68

1. RESUMEN /ABSTRACT

RESUMEN:

El futuro de la humanidad y del planeta depende de la manera en la que produzcamos energía. En este sentido tenemos las energías renovables, que son fuentes de energía limpia, inagotable y que están teniendo un intenso crecimiento en España.

No obstante, las plantas fotovoltaicas, en su mayoría, son gigantescas y su mantenimiento cuesta mucho trabajo y es costoso. La termografía con drones en instalaciones fotovoltaicas nos permite realizar una monitorización eficaz, ahorrando tiempo y costes, detectando posibles anomalías en los módulos fotovoltaicos.

El objetivo de este TFM es desarrollar una metodología útil para la inspección y mantenimiento de una planta fotovoltaica, utilizando herramientas geomáticas. Será realizado un vuelo utilizando una cámara termográfica y RGB y estos datos serán procesados para generar productos cartográficos que, en seguida, serán subidos a una base de datos y explorados desde un visualizador web de mapas.

Palabras clave: Termografía, Drones, Energía Fotovoltaica, Fotogrametría, Sistema de Información Geográfica.

ABSTRACT:

The future of humanity and the planet depends on the way we produce energy. In this sense we have renewable energies, which are clean, inexhaustible sources of energy that are experiencing intense growth in Spain.

However, photovoltaic plants, for the most part, are gigantic and their maintenance is laborious and expensive. The thermography with drones in photovoltaic installations allows us to carry out a very effective monitoring, saving time and costs, detecting possible anomalies in the photovoltaic modules.

The objective of this TFM is to develop a useful methodology for the inspection and maintenance of a photovoltaic plant, using geomatic tools. A flight will be carried out using a thermographic and RGB camera and this data will be processed to generate cartographic products that will then be uploaded to a database and explored from a web map viewer.

Keywords: Thermography, Drones, Photovoltaic Energy, Photogrammetry, Geographic Information System.

2. INTRODUCCIÓN

Lo esperado es que la energía solar se convierta en la base de la industria energética en España. De acuerdo con la compañía internacional Trina Solar, dentro de ese creciente mercado de la energía solar, España representó en 2019 el 90% de las instalaciones fotovoltaicas realizadas a lo largo de la Unión Europea, pasando de 288 MW a 4.080 MW y liderando a los países europeos en número de instalaciones. Las previsiones para 2021 apuntan que, a final de año, España continuará siendo el mayor mercado fotovoltaico de Europa, por delante de Alemania.

En resumen, la energía solar puede transformarse en energía eléctrica mediante celdas solares fotovoltaicas que, en general, presentan una eficiencia de conversión de entre 12% y 25%. Pero, si estas celdas presentan algún problema o anomalía en su funcionamiento esa eficiencia disminuye, lo que no es deseado para el funcionamiento de una planta solar. Por lo que, la detección temprana de estas anomalías es una tarea fundamental para que la planta opere en su punto máximo de eficiencia en todo momento.

En este sentido, el avance de las herramientas geomáticas es benéfico. En la actualidad, los drones junto a los sensores térmicos y RGB para la toma de imágenes áreas de las plantas solares con el objetivo de generar información de las placas se han mostrado ser una alternativa de bajo costo y de alta resolución temporal y espacial para la inspección de estos emprendimientos. Es importante que podamos disponer siempre de un rendimiento óptimo en estas instalaciones.

Con los mapas de la información térmica se hace posible la realización de análisis e identificación de anomalías o fallos en los sistemas fotovoltaicos, dónde es posible identificar puntos calientes, pérdida térmicas, strings con defectos y otros.

Además de eso, serán exploradas otras tecnologías en este proyecto lo que demuestra que sí es posible hacer una mejor gestión de una planta solar utilizando una fusión de herramientas geomáticas.

En resumen, con la realización de este proyecto lo que se pretende es unificar los conocimientos obtenidos durante el máster en Ingeniería Geomática y Geoinformación, principalmente los relacionados con la planificación y toma de

datos con drones, estructuración de un banco de datos, creación de un visualizador web de mapas y el uso de herramientas de análisis y procesamiento de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y aplicarlos a la gestión de una planta fotovoltaica.

2.1 Estructura del Trabajo

En el diagrama de flujo (Figura 1) es posible ver con más claridad las etapas del proyecto presentado en este trabajo. En el primer capítulo se presenta un resumen del proyecto. En el segundo capítulo se presenta la Introducción y en el tercero los objetivos del proyecto, es decir lo que se pretende lograr y los pasos que fueron llevados a cabo resumidamente.

El cuarto capítulo se trata de una compilación de contenidos teóricos y algunas informaciones adicionales que están directamente relacionados con el proyecto desarrollado y que serán importantes para su comprensión. En el quinto se detalla todo el proceso llevado a cabo en este trabajo, que involucra la descripción de la zona de trabajo, la descripción de los softwares y materiales utilizados, los pasos seguidos en el procesado de las imágenes hasta la obtención de los productos finales. Y en el sexto se presentan las conclusiones sobre la metodología empleada.

Capítulo 1	RESUMEN
Capítulo 2	INTRODUCCIÓN
Capítulo 3	OBJETIVOS
Capítulo 4	ESTADO DEL ARTE
Capítulo 5	MATERIALES Y MÉTODOS
Capítulo 6	CONCLUSIONES

Figura 1-Estructura del trabajo
Fuente: Elaboración Propia

3. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es establecer una metodología de trabajo adecuada para mejor inspeccionar y gestionar de una manera más adecuada una planta fotovoltaica. Para ello se emplearán diferentes herramientas geomáticas, tanto para la fase de adquisición y tratamiento de datos como para la explotación de la información.

Los objetivos de este proyecto serán alcanzados a través de diversas aplicaciones geomáticas, que incluyen técnicas fotogramétricas y el entorno de la Infraestructura de Datos Espaciales (base de datos y geovisualizador web) de manera integrada y aplicada a una mejor gestión de las plantas fotovoltaicas.

Los objetivos secundarios son:

- Capturar información de la planta fotovoltaica de estudio por medio de fotogrametría aérea con drones usando un sensor termográfico y otro RGB;
- Procesar los datos para generar información geográfica;
- Integrar y generar datos geográficos a través de un SIG;
- Diseñar una base de datos espacial en función del tipo de variables capturadas y generadas;
- Analizar los resultados obtenidos.
- Generar un visualizador web de mapas para mejorar la gestión de los datos.

La planta solar de estudio está ubicada en el municipio de Jaén y tiene un área aproximado de 0,20 kilómetros cuadrados.

4. ESTADO DEL ARTE

En este apartado será hecha una breve exposición teórica de los contenidos considerados indispensables para la total comprensión del proyecto desarrollado. Es decir, presenta una compilación de temarios relacionados con la energía fotovoltaica y la definición de las tecnologías e imágenes utilizadas en el proyecto.

4.1 La Energía Solar Fotovoltaica

La Energía Solar Fotovoltaica se genera a partir de los rayos del sol, es decir, los paneles o módulos fotovoltaicos están compuestos principalmente por silicio y cuando los rayos inciden directamente sobre este material, que está compuesto de átomos, que tienen a su vez, electrones, se excitan con los fotones provenientes del rayo del sol, y eso genera una energía, que luego se transformará en energía eléctrica (Figura 2). Es el llamado efecto fotovoltaico, que en resumen consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética y que fue descubierto por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en la que observó el incremento de corriente que causaba la exposición a la luz de uno de los electrodos.

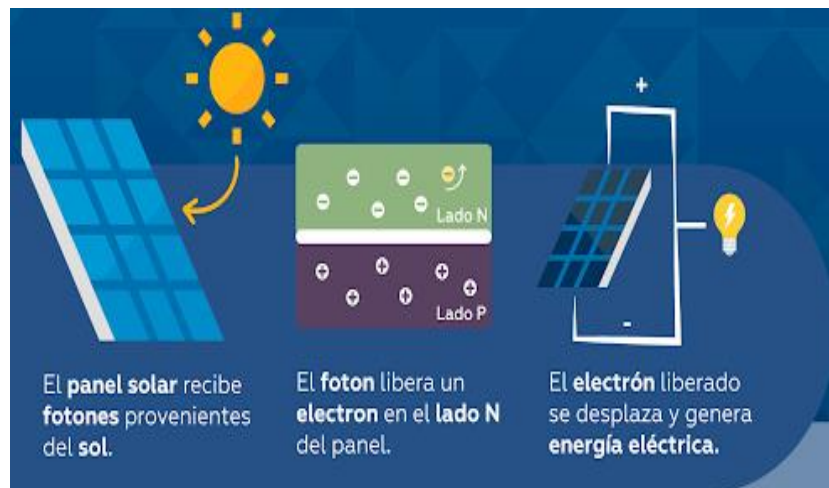


Figura 2-Generación de la Energía Solar Fotovoltaica
Fuente: <http://www.sde.mx/como-funciona-un-panel-solar/>

Su primer caso de uso se dio en Japón y fue utilizada para energizar un faro. La Energía Solar Fotovoltaica es utilizada principalmente para venderla, para autoabastecimiento de casas y edificios, para cargar baterías y, incluso, para la generación de calor.

Sus principales ventajas son:

- Es una energía modular, es decir, hace posible la realización de instalaciones de pequeño tamaño a un coste muy competitivo.
- Tiene un mantenimiento bastante económico

Además, al producirse electricidad con una fuente natural y renovable como el Sol, los paneles solares fotovoltaicos permiten reducir la necesidad de generar electricidad a través de centrales nucleares o térmicas las cuales son muy contaminantes en gases de efecto invernadero y residuos peligrosos.

4.2 Situación actual de la fotovoltaica en el mundo

Uno de los principales motivos del gran crecimiento de la energía solar fotovoltaica, además de los factores ambientales ya mencionados anteriormente, es por el hecho de que sus costes de fabricación e instalación ha disminuido de forma sustancial en la última década, con un descenso aproximado del 77% entre los años 2010 y 2018. Además, según Bloomberg New Energy Finance (BNEF), los costes de la fotovoltaica seguirán disminuyendo un 34% hasta el año 2030.

La disminución de precios de los módulos fotovoltaicos (90% desde 2010) es el principal motivo de la bajada en los costes y añadido a eso, se puede citar también la reducción de los costes operativos, que ha sido un factor muy importante en el aumento de la competitividad de la tecnología (Figura 3).

La implantación y desarrollo de centrales de energía solar fotovoltaica en España ha sido posible por las políticas de fomento de las energías renovables de la Unión Europea, así como por la disponibilidad de abundante radiación solar. Los Planes de Energías Renovables y las medidas de apoyo a esta tecnología por parte del Gobierno de España contribuyeron a su espectacular crecimiento.

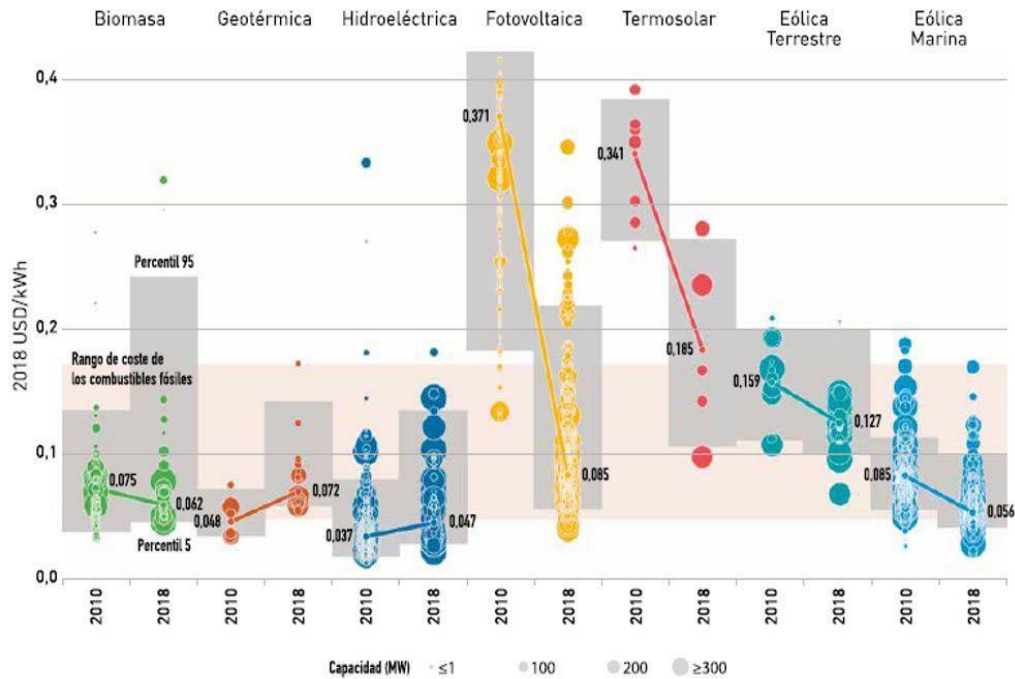


Figura 3-Evolución de los costes de diversas tecnologías renovables en la última década.
Fuente: IRENA; Renewable Power Costs 2018

Por lo tanto, la disminución de todos los precios en el mundo, trajo como consecuencia que las instalaciones de plantas fotovoltaicas sean más y más grandes. La mayor de Europa, incluso, está ubicada en Badajoz (ES), con 500 MW y más de 1.400.000 paneles solares (Figura 4). Su superficie corresponde a aproximadamente 500 estadios de fútbol.

En este sentido podemos hacernos una idea del trabajo que tiene hacer la inspección de un área de esta magnitud de manera manual o individualmente. Por supuesto que es algo factible, pero habría que pensar en el tiempo que se desea gastar y el dinero que será invertido. Es ahí que entra la importancia de los drones, ya que el uso de aviones o imágenes de satélites, no proporciona la calidad geométrica (cm/px) requerida en este tipo de inspección.



Figura 4-Mayor planta Fotovoltaica de Europa - Badajoz

Fuente: <https://www.xataka.com/energia/mayor-planta-fotovoltaica-europa-esta-badajoz-asi-nunez-balboa-500-mw-1-400-000-paneles-solares>

4.3 Tipos de módulos fotovoltaicos

Existen tres tipos de módulos fotovoltaicos: Monocristalino, Policristalino y de Capa fina. En este apartado veremos en qué consiste cada uno de ellos, cuales las diferencias y como se puede identificarlos.

4.3.1 Monocristalino

El módulo monocristalino tiene como principal característica el hecho de ser un panel más oscuro y los bordes de las células que componen el panel son redondos (Figura 5). Es el que tiene mayor rendimiento, pero también es el más costoso.



Figura 5-Panel Monocristalino

Fuente: <https://solarmat.es/pt/paneles-monocristalinos/panel-solar-eoply-ep125m-72-190w-35v-monocristalino.html>

4.3.2 Policristalino

El panel Policristalino (Figura 6) tiene un color más claro y no presentan la característica de que sus celdas tiene los bordes redondos. Es completamente cuadrado.



Figura 6-Panel Policristalino
Fuente: <https://www.tiendaocceanis.com/>

4.3.3 Capa fina

El panel de Capa Fina (Figura 7) también oscuro y es uniforme. Además, son menos frecuentes y tienen un rendimiento ligeramente inferior a Monocristalino y Policristalino.



Figura 7-Panel Fotovoltaico de Capa Fina
Fuente: <https://solarmat.es/es/conexion-a-red/panel-solar-axitec-axipremium-300w-monocristalino-60-celulas.html>

4.4 Tipos de Instalación Fotovoltaica

En este apartado serán expuestos los dos principales tipos de instalaciones fotovoltaicas que existen en el mercado: Instalaciones sobre el tejado e instalaciones sobre el terreno. A continuación, serán expuestas otras dos clasificaciones, que son las Instalaciones con seguidores y sin seguidores solares.

4.4.1 Instalaciones sobre el tejado

Las instalaciones sobre el tejado son las ubicadas en la parte alta de un solar, una nave industrial o bien de una casa (Figura 8). Suelen ser más pequeñas y la manera de hacer la inspección varia. Es importante definir las diferencias y elegir

el dron y la cámara en función de la instalación, ya que eso influencia en el presupuesto.



Figura 8-Instalación Fotovoltaica sobre el tejado

Fuente: <https://www.geinor.com/tejados-e-instalaciones-fotovoltaicas/>

4.4.2 Instalaciones sobre el terreno

Las instalaciones sobre el terreno son las que están ocupando grandes extensiones de terreno, superando, a veces, las 1000 hectáreas (Figura 9). En este caso, el 96% de las inspecciones en nuevas instalaciones se hacen con drones.



Figura 9-Instalación Fotovoltaica sobre el terreno

Fuente: <https://albarenova.com/huerto-solar/>

4.4.3 Instalaciones con o sin seguidores solares

Una superficie recibe la mayor cantidad posible de energía si es perpendicular a la dirección del Sol. Como la posición del Sol varía a lo largo del día, la posición

óptima de la superficie también tendrá que ser variable. Por eso, algunas instalaciones fotovoltaicas ya poseen seguidores solares.

Las instalaciones con seguidores solares pueden ser clasificadas en instalaciones con seguidores a dos ejes o a un solo eje, este último presenta en el mercado 3 opciones (Figura 10).

Las instalaciones con seguidores a dos ejes son aquellas dónde se puede hacer un seguimiento solar en el eje horizontal y vertical. En el caso de la de 1 eje, existen 3 tipos, en los cuales el seguimiento solar se puede hacer sobre el eje polar, azimutal o horizontal, que es la más común en las grandes instalaciones.

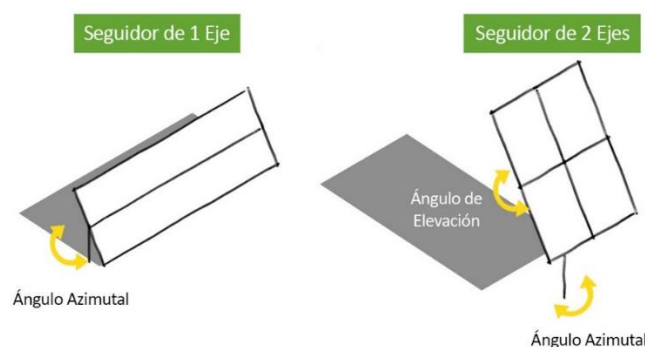


Figura 10-Instalaciones Fotovoltaicas con seguidores a 1 y a 2 ejes

Fuente: <http://www.valldoreix-gp.com/las-ventajas-de-los-seguidores-solares/>

Las instalaciones sin seguidores solares o con estructura fija, como también son conocida, son las que está puestas sobre piezas metálicas clavadas directamente en el suelo.

Actualmente, en las grandes extensiones, se utiliza una estructura que es una mezcla, entre la estructura fija que es como un anclaje de incas sobre el terreno y sobre ellas se colocan los motores, para que las instalaciones puedan hacer el seguimiento solar en el eje horizontal (Figura 11).



Figura 11-Estructura con seguimiento a 1 eje (Azimutal)

Fuente: <https://www.udemy.com/course/emprende-tu-negocio-inspeccionando-fotovoltaicas-con-drones/learn/quiz/5099530#questions/10342086>

4.5 Componentes de una instalación fotovoltaica

En este apartado será expuesto como está compuesta la instalación fotovoltaica. La Figura 12, describe básicamente cómo funciona una instalación fotovoltaica en una vivienda. En la parte superior están los paneles solares fotovoltaicos ligados a un Inversor y en seguida a un banco de baterías (opcional), a través de cables de corriente continua. De acuerdo con Salas et al. 2014, los inversores transforman la corriente continua (energía producida por las placas solares) en corriente alterna (electricidad que podemos utilizar).

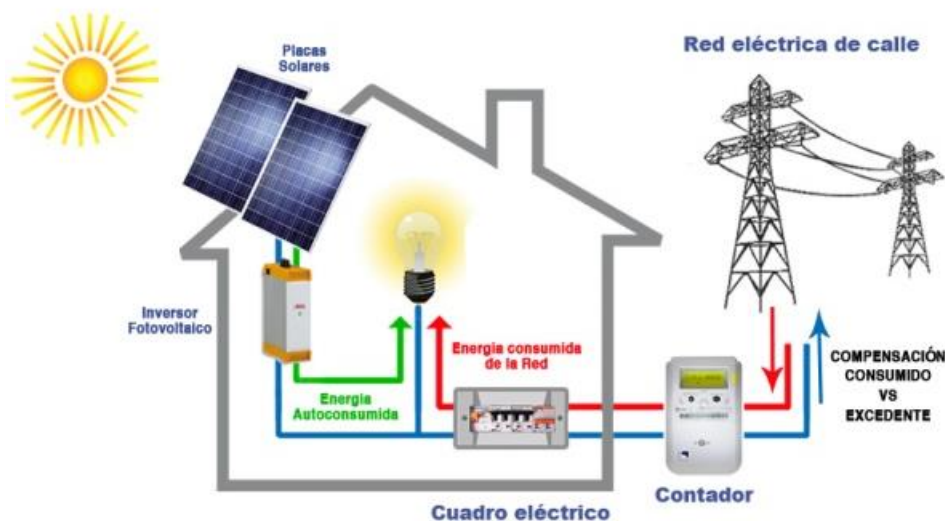


Figura 12-Componentes de una instalación fotovoltaica

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/energia-solar-fotovoltaica.htm>

En el caso de una instalación fotovoltaica sobre el terreno (Figura 13), hay una estructura metálica y por encima de ellas estarán los paneles fotovoltaicos, que estarán conectados entre sí. Toda la electricidad generada es llevada en corriente continua hasta una caja de conexión y desde ahí hasta un Inversor. En seguida, en función de la configuración, son llevadas hasta el transformador que es el encargado de transformar la energía eléctrica de un nivel de tensión a otro. Desde ahí sale todo el cableado hacia la zona de distribución.

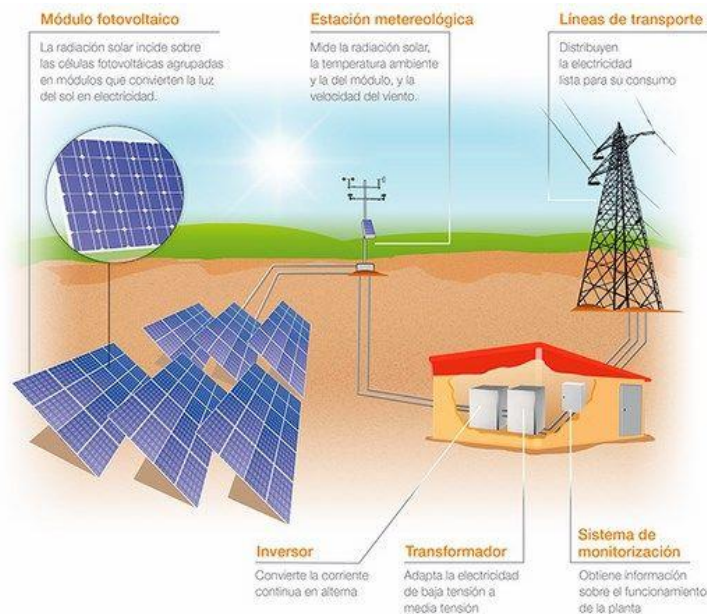


Figura 13-Composición de una instalación fotovoltaica sobre el terreno

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/energia-solar-fotovoltaica.htm>

4.6 Distribución de una instalación FV

Es importante conocer la configuración de la instalación fotovoltaica dónde se hará una inspección, es decir, cual es la estructura, como están distribuidos los módulos solares dentro de la instalación.

Es decir, una instalación de 50 MW, tiene aproximadamente 130.000 paneles. El trabajo para identificar/localizar un daño dentro de esta gran cantidad de paneles es una tarea complicada, si no existe una estructura y un orden que permita seguir los mismos criterios siempre.

Por eso, para facilitar los trabajos, las plantas fotovoltaicas pueden ser comparadas a una tabla en el Excell, compuesta por filas, columnas, strings/celdas y módulos (Figura 14).

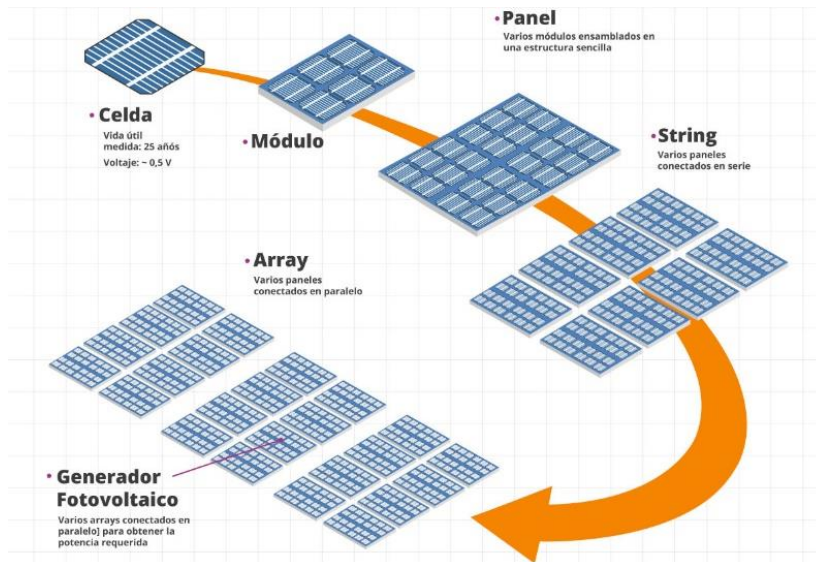


Figura 14-Sistema Fotovoltaico

Fuente: <https://feriaexposolar.com/wp-content/uploads/2018/12/ABB-SKP-Consideraciones-t%C3%A9cnicas-y-Dimensionamiento.pdf>

4.7 Anomalías en las celdas fotovoltaicas

De acuerdo con Morales et al. 2020, típicamente, las celdas fotovoltaicas presentan una eficiencia de conversión de entre 12% y 25 %, donde el porcentaje restante es disipado como energía calórica sobre su estructura, lo que incrementa su nivel de temperatura. La acumulación de polvo, roturas, fatiga de materiales, sombras parciales, entre otros, también facilitan el aumento de temperatura en las celdas, lo que, de perdurar en el tiempo, genera anomalías en su funcionamiento.

Como los paneles solares están al aire libre, expuestos a las condiciones climáticas de la zona, su rendimiento es influenciado por la presencia de polvos, vientos, lluvias, lo que produce a lo largo del tiempo, sombras parciales, fracturas y desgaste de los materiales. Eso, como ya fue comentado, influye directamente en la eficiencia de las celdas.

El resultado de estas anomalías es una menor eficiencia en esta conversión de energía, lo que nos es deseable para el propietario de una planta solar. Así que es muy importante detectar lo antes posible estas anomalías, para que la planta tenga la máxima eficiencia siempre.

Uno de los métodos de detectar estas anomalías es mediante el análisis de imágenes térmicas y RGB, ya que las placas presentaran cambios en la

temperatura si están “sanas o no” y visiblemente indicaran la presencia de fisuras y fracturas. Por supuesto que una celda no sana producirá menor corriente que una que esté sana.

Esta menor producción de corriente, produce calor, por eso las celdas defectuosas presentan una temperatura más alta la del resto de las celdas del panel. Incluso presentan puntos con temperaturas mayores que son denominados hotspots. Por eso, el uso de las cámaras térmicas para la detección de estos fallos es bastante eficiente.

Los principales motivos de fallos en los sistemas fotovoltaicos son los siguientes:

- **Efecto del polvo:** Como los paneles se quedan al aire libre, las placas solares acumulan polvo en su superficie (Figura 15). Esto, impide que los fotones del sol no lleguen en su totalidad a las celdas, lo que consecuentemente, genera una potencia de salida menor. Este efecto también es llamado de efecto sombra.



Figura 15-Panel fotovoltaica con suciedad

Fuente: <https://www.generatuluz.com/generar-electricidad/placas-solares-fotovoltaicas/limpiar-paneles-solares/>

- **Efecto de fisuras y fracturas:** Las fisuras y fracturas son un grave problema para los paneles fotovoltaicos (Figura 16), ya que no se puede limpiar o hacer una reparación, sino que hay que hacer un cambio completo del panel. Generalmente son causadas por golpes con objetos y animales o por lluvia de granizo.

Lo que pasa es que este tipo de fallo afecta directamente el rendimiento de la planta solar, ya que la corriente generada llega a ser casi nula.

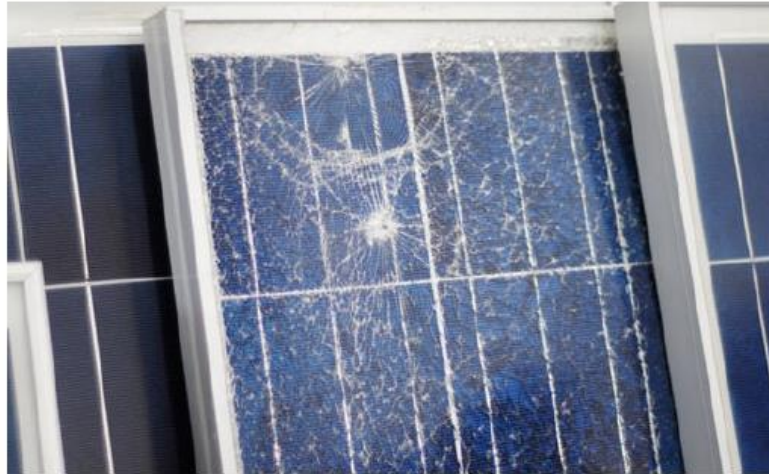


Figura 16-Panel solar con fractura
Fuente: Morales (2020)

- **Efecto de la temperatura:** Es sabido que la producción de una instalación fotovoltaica depende de la cantidad de horas de sol, pero otro punto importante y no tan lógico o conocido por la población en general es que a temperaturas muy altas la producción de las placas disminuye.

De acuerdo con Morales (2020),

“El efecto termal de los paneles fotovoltaicos representa uno de los mayores desafíos en su desarrollo, debido a que mientras mayor es la radiación recibida, mayor es la potencia generada, pero esto a su vez significa un aumento en la temperatura de cada celda, lo que tiene como consecuencia una caída en el desempeño. La mayor producción energética de cada panel está dada por el punto en que ambas condiciones se equilibran.”

- **Efecto de precipitación de especies químicas:** El contacto de la placa con sustancias químicas puede causar su corrosión (Figura 17), lo que provoca un mal funcionamiento o hasta puede dejar de funcionar.



Figura 17-Placa con corrosión
Fuente: Morales (2020)

Efecto de Hotspots: Los hotspots (Figura 18) son áreas de la celda fotovoltaica que presentan una temperatura mayor que la temperatura de operación y que reducen drásticamente la producción energética del panel fotovoltaico. De acuerdo con Morales (2020), la presencia de hotspots en un panel fotovoltaico reduce su rendimiento y el de los paneles con los cuales está relacionado, además de ser capaces de generar incendios sobre sí, llegando a destruir desde el panel defectuoso como incluso los alrededores.

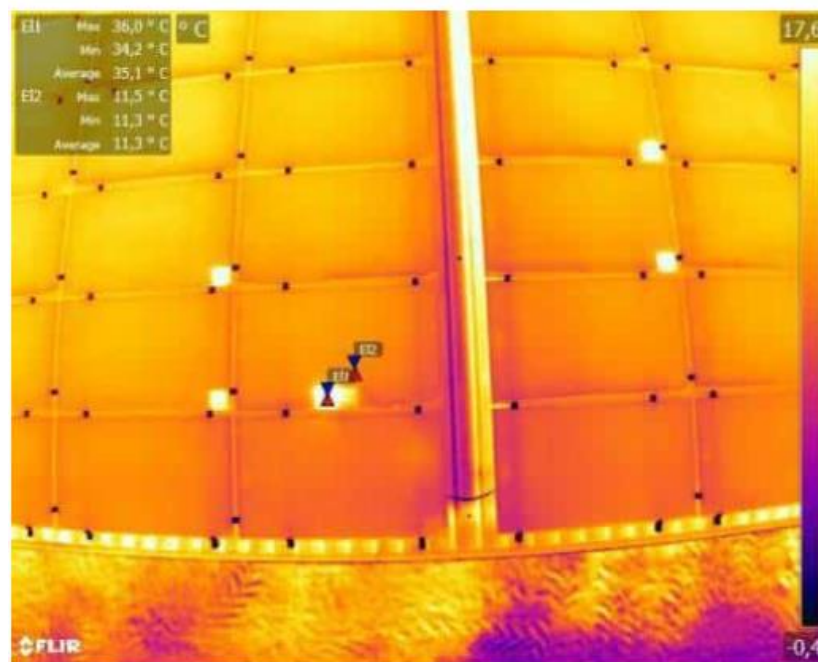


Figura 18-Paneles solares con hotspots
Fuente: Morales (2020)

4.8 Definición de UAV

El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial define los vehículos aéreos no tripulados (UAV) como “aquellos que vuelan sin piloto a bordo y son el elemento principal de los UAS, sistemas aéreos no tripulados, que a su vez engloban la aeronave, la estación en tierra y el enlace de comunicaciones.”

Los UAV pueden ser controlados remotamente por un piloto en tierra o pueden volar de manera autónoma, dónde las características del vuelo son definidas anteriormente y la plataforma es programada para seguirlas.

De acuerdo con Edwin Pino V. (2019),

“En el mercado internacional hay diversos tipos de drones para la agricultura. Los más utilizados en este campo son el multirrotor-cuadricóptero (tiempo de vuelo de 30 minutos y cobertura por vuelo de 65 ha) y el de ala fija (tiempo de vuelo de 30 a 90 minutos y cobertura por vuelo de 120 a 3.800 ha).”

Lo más común es que los drones multirrotores tengan de 3 a ocho motores, los más usados son los de 4. Éstos despegan y aterrizan en el suelo de manera vertical. Si es un vuelo programado, como en la mayoría de los casos, después de alcanzar la altura deseada, él se mueve hasta el punto de partida del vuelo y hace lo mismo cuando la ruta termina. Su principal desventaja es la autonomía de vuelo, de más o menos 30 minutos, lo que es relativamente bajo y también son más inestables dependiendo las condiciones atmosféricas.

Actualmente, los de ala fija presentan una autonomía de vuelo más grande y también son más estables, incluso cuando las condiciones atmosféricas no son las mejores. Ellos también son más rápidos, sin embargo, al cambiar de pasada los giros son bastante amplio, no son como los multirrotores que necesitan de poco espacio para hacer giros. Su despegue se hace un poco más difícil y es necesario más espacio, también para el aterrizaje. En la Figura 19 se puede ver en primer lugar un dron de ala fija y después un multirrotor.



Figura 19-Dron Ala Fija y multirrotor

Fuente: <http://sitep.com/que-tipo-de-dron-escojo-ala-fija-multicoptero-o-helicoptero/>

De acuerdo con Cruz (2017) también existen UAVs híbridos, que montan un sistema mixto con rotores y ala fija, que reúne las ventajas de los dos sistemas. Un dron de este tipo es desarrollado por la empresa FUVEX ubicada en Tudela (NA).

4.9 Sensores e imágenes termográficas

Porras y Carrascosa (2015) afirman que existen dos modalidades de sensores que son capaces de registrar la temperatura: los térmicos y termográficos. Los dos son sensibles a la radiación infrarroja térmica, pero sólo los sensores termográficos miden la temperatura absoluta en cada pixel. Como los cuerpos presentes en una escena presentan temperaturas distintas, los sensores térmicos sólo registran cualitativamente esas diferencias. Además de esto, Porras y Carrascosa (2015) dicen también que

“Además, pensando en el objetivo de generar una ortofotografía un sensor térmico adquiere las imágenes empleando siempre su máximo rango dinámico de manera que cada imagen es independiente de las demás dado que trabaja en modo relativo, por el contrario, un sensor termográfico trabaja en modo absoluto de forma que las imágenes están relacionadas unas con otras, siendo posible su procesado desde un punto de vista fotogramétrico.”

Los sensores termográficos son capaces de detectar y medir la cantidad de radiación infrarroja térmica emitida por un cuerpo, es decir, trabajan en una longitud de onda limitada entre 8 y 14 micras, que corresponden a aproximadamente -20°C y 350°C. Para hacer esto, las cámaras actuales poseen

el microbolómetro que es un sensor que se calienta y cambia su resistencia eléctrica cuando recibe la radiación infrarroja. Esa mudanza es medida y asignada a una temperatura exacta.

Los microbolómetros poseen detectores no refrigerados y de acuerdo con Porras y Carrascosa (2015) esta característica presenta ventajas (menor peso, inmediatez en la toma de la imagen y coste económico menor) y desventajas (mayor ruido en la señal y menor sensibilidad).

Una característica bastante importante de los sensores termográficos es que pueden ser usados en ambientes totalmente oscuros o con neblina, es decir no necesitan de luz, como los sensores RGB por ejemplo. Además de esto, se debe tener en cuenta a la hora de utilizar una cámara termográfica su resolución (que está ligada con la focal de la lente y la altura de vuelo), el núcleo radiométrico (que es lo que posibilita la determinación de la temperatura en cada pixel de la imagen generada) y la lente (porque cuanto mayor sea el campo de visión, más terreno podrá ser capturado).

Porras y Carrascosa (2015) afirma que

“Es necesario volar a velocidades bajas que permitan tener una mínima base aérea debido a las reducidas dimensiones de las imágenes, se necesitan en la mayoría de las ocasiones material auxiliar para el almacenamiento de la información captada debido a que estos sensores están diseñados fundamentalmente para inspecciones en tiempo real de puntos calientes, etc. La consecuencia es un aumento en el peso de la carga de bordo, lo cual reduce los tiempos de vuelo de la plataforma.”

Es decir, generalmente las imágenes generadas por sensores termográficos generalmente poseen menor tamaño y peor resolución espacial que las de los sensores RGB, Multiespectrales, etc, por eso en algunas situaciones ellas se complementan.

4.10 Aplicaciones de los UAV en las plantas fotovoltaicas

Los drones, como ya fue comentado, se han convertido en una herramienta esencial para la inspección de las plantas fotovoltaicas que son cada vez mayores (Figura 20).



Figura 20-Dron haciendo una inspección en una planta fotovoltaica

Fuente: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/eiffage-energia-se-sube-a-los-drones-20180612>

Su uso en las plantas fotovoltaicas puede ser dado en la fase del

- Diseño de una instalación industrial; en la realización del Levantamiento topográfico para nueva instalación o ampliación de la existente
- Diseño de una instalación industrial doméstica: Fotografía e imágenes térmicas de las estructuras y posibles obstáculos.
- Mantenimiento: Inspecciones (como en este proyecto).

Las principales ventajas de su uso en este tipo de trabajo es principalmente la capacidad de operar en grandes extensiones y en un corto espacio de tiempo. Además, los costes son más reducidos, refiriéndose a grandes áreas, los vuelos son automatizados, las inspecciones en tejados (poco accesibles) son posibles y posibilita el análisis automatizado.

Por otro lado, tiene las siguientes desventajas: Son más competitivo cuando las plantas solares son pequeñas, no es posible detectar los fallos en las cajas de conexiones y conectores y son necesarios equipamientos adecuados (que son medianamente caros), además del piloto del dron, que requiere una formación específica.

4.11 Plan de vuelo fotogramétrico (direccionado a la inspección de plantas fotovoltaicas)

El plan de vuelo es la fase principal de un proyecto fotogramétrico e involucra todos los cálculos previos a su realización.

Quinto, Agahei et al. (2018) sugirieron que las condiciones óptimas para realizar el monitoreo de paneles fotovoltaicos utilizando drones eran las siguientes:

- a) el ángulo de la cámara termográfica, debería ser perpendicular al plano del módulo fotovoltaico,
- b) la mínima altitud del dron respecto a la base de los paneles fotovoltaicos debería ser 5 metros para evitar las sombras propias durante la inspección,
- c) el dron debería trabajar en un día soleado, con muchísima claridad y sin nubes,
- d) el dron debería trabajar en un entorno en el cual la velocidad promedio del viento no exceda los 4 m/seg,
- e) el horario para realizar la termografía aérea con drones debería ser alrededor del mediodía y
- f) la irradiación solar debería ser superior a 800 W/m².

Otros dos factores importantes a tenerse en cuenta sería la verificación de las disposiciones legales del país en el que será realizado el vuelo, que en el caso de España están definidas en el Real Decreto 1036/2017 (BOE, nº 316 de 29 de diciembre de 2017). Y, en segundo lugar, verificar si el área de estudio no tiene ninguna limitación, como, por ejemplo, si está cerca de aeropuertos o de zonas militares. En España esto puede ser constatado en la página web de Enaire (<https://drones.enaire.es/>).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo serán expuestas todas las etapas de la metodología establecida para este proyecto y a la misma vez su aplicación práctica, que tiene como objetivo hacer una mejor gestión de una planta fotovoltaica haciendo uso de aplicaciones geomáticas. Los pasos seguidos en el desarrollo y aplicación de la metodología son presentados en la Figura 21.

En el apartado 01, se hará la descripción de la zona de trabajo. A continuación, en el apartado 02, serán descritas la instrumentación utilizada. En el apartado 03 serán descritos los softwares utilizados para el procesamiento de los datos y para alcanzar el objetivo final.

El apartado 04 abarca la ejecución del vuelo con dron y el 05 el procesamiento de las imágenes. Por último, el apartado 06, describe los pasos seguidos para la generación de la solución integral del proyecto, que incluye la integración y visualización de todos los datos en un SIG y la generación de datos secundarios por medio del procesamiento, el diseño de la base de datos, importación de los datos en el Geoserver y la Creación del visualizador Web de Mapas.

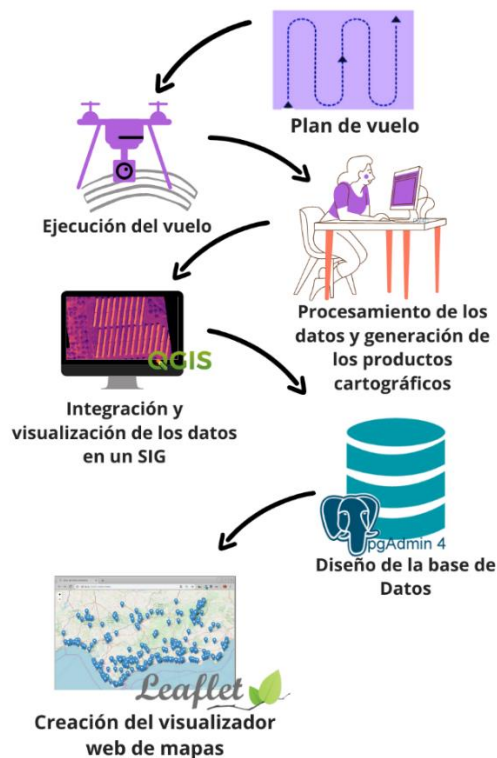


Figura 21-Resumen ilustrativo de la Metodología empleada
Fuente: Elaboración Propia

5.1 Descripción de la zona de trabajo

La zona de estudio está situada en la ciudad de Úbeda, en la provincia de Jaén, en la Comunidad Autónoma de Andalucía (ES), como se puede ver en la Figura 22. Las coordenadas aproximadas del área son:

*Coordenada X: 479744,74 m
Coordenada Y: 4195614,57 m
(Sistema de Referencia: ETRS89 – Huso 30N)*

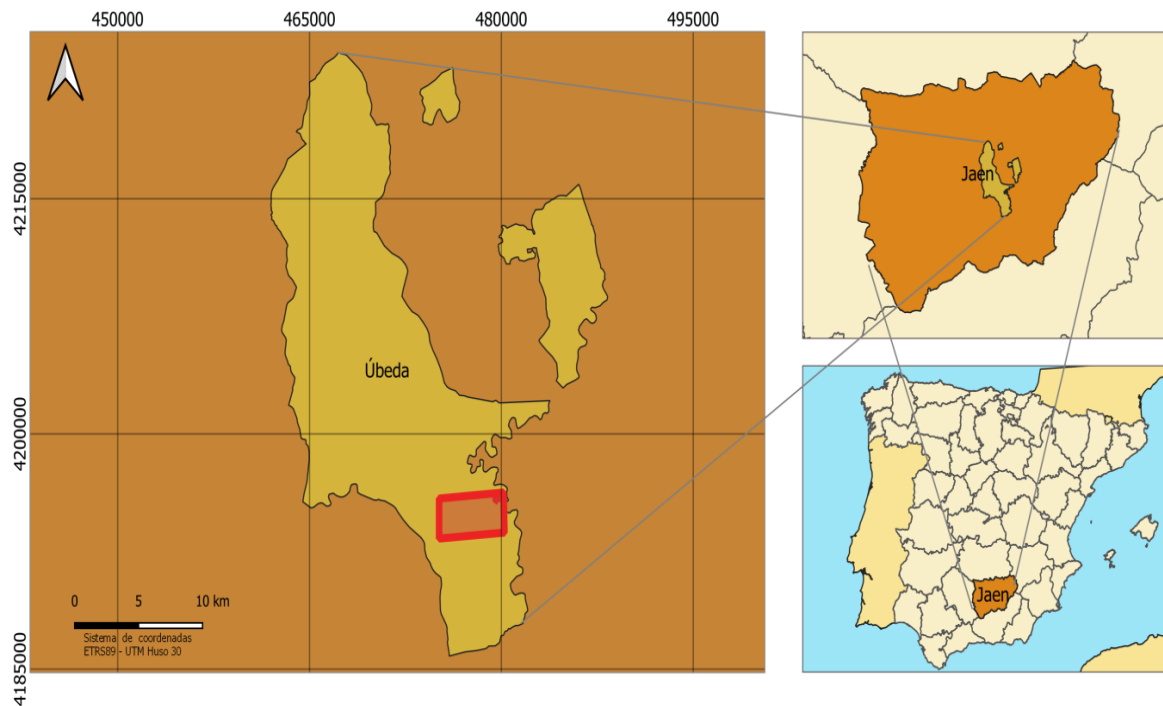


Figura 22-Mapa de localización
Fuente: Elaboración Propia

Se seleccionó esta zona de trabajo porque se disponía de fácil acceso a la misma, por contactos establecidos con la empresa gestora, así como el permiso para la realización del vuelo correspondiente.

Para obtener más detalles de la zona, se hizo una consulta en la página web del catastro de España y el resultado en el de la Figura 23:

Sede Electrónica del Catastro Castellano

Consulta y certificación de Bien Inmueble

CARTOGRAFÍA
CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA
IMPRIMIR DATOS

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Referencia catastral	23092A026000040000EF
Localización	Polígono 26 Parcela 4 GUADIANA, UBEDA (JAÉN)
Clase	Rústico
Uso principal	Agrario
Superficie construida	59,548 m ²
Año construcción	1975

PARCELA CATASTRAL

Parcela construida sin división horizontal

Localización	Polígono 26 Parcela 4 GUADIANA, UBEDA (JAÉN)
Superficie gráfica	145,445 m ²



Figura 23-Pantallazo Página Web del Catastro de España
Fuente: <https://www1.sedecatastro.gob.es>

Además, se pudo descargar un archivo .kml del límite de la zona (Figura 24).



Figura 24-Pantallazo Página Web del Catastro de España
Fuente: <https://www1.sedecatastro.gob.es>

Además, se hizo una búsqueda en la aplicación web gratuita de ENAIRE Drones para averiguar la existencia o no de limitaciones al vuelo. De acuerdo con la propia ENAIRE, “la aplicación presenta sobre un mapa los espacios aéreos de España de relevancia para el vuelo de drones como área de control aéreo o

zonas de seguridad a respetar respecto a los aeropuertos, helipuertos o bases militares que pueden requerir un permiso para volar este tipo de aeronaves.”

Como se puede ver en la Figura 25-Pantallazo del Geoportal ENAIREFigura 25, no hay ninguna limitación en el área del proyecto (representada por el círculo azul) lo que hizo posible la realización del vuelo.

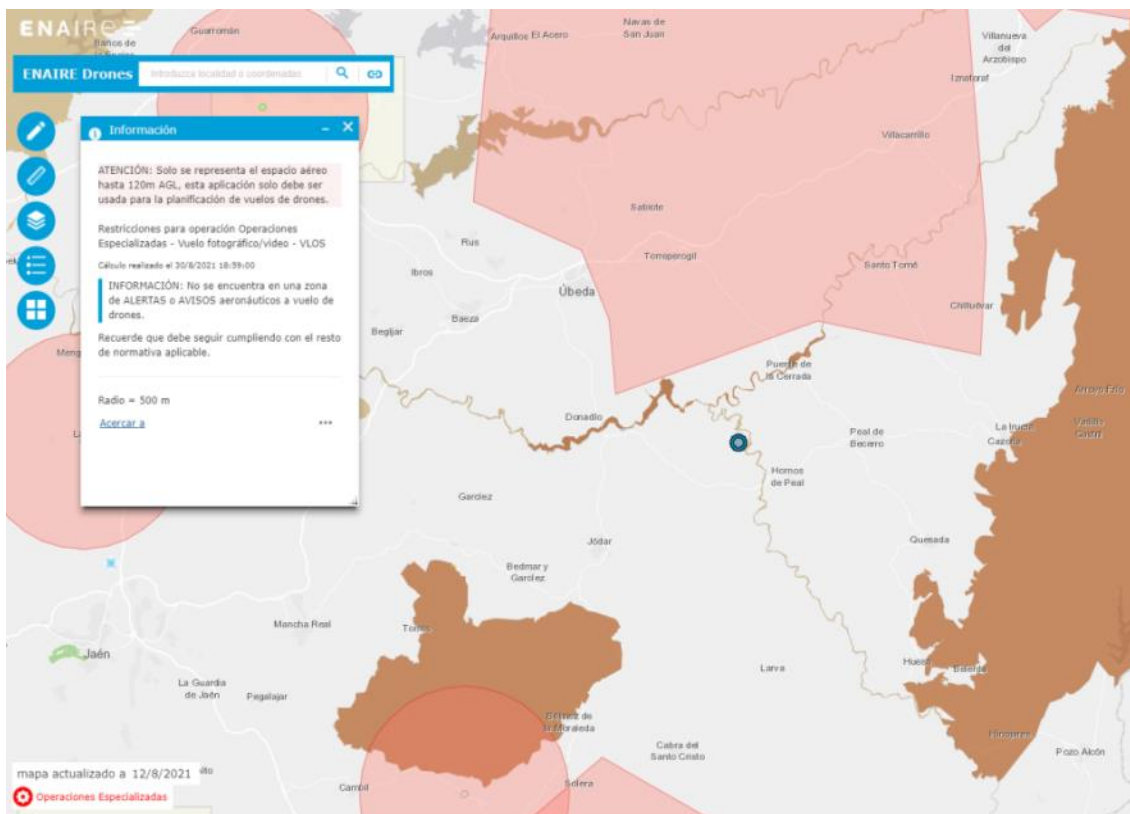


Figura 25-Pantallazo del Geoportal ENAIRE
Fuente: Enaire.com

5.2 Instrumentación utilizada

Para alcanzar los objetivos definidos en este proyecto son necesarios una serie de datos que necesitaran ser colectados en campo. La instrumentación utilizada será descrita en los apartados siguientes.

5.2.1 Dron

El modelo de dron empleado en este proyecto fue el DJI Matrice 210, como puede ser visto en la Figura 26, cuadricóptero guiado por radio control que de acuerdo con sus diseñadores tiene motores de alto rendimiento, unidos a unas hélices de 17 pulgadas, que aseguran un vuelo estable en vientos de velocidades de hasta 35 km/h.



Figura 26-Dron DJI Matrice 210
Fuente: Elaboración Propia

Sus principales características técnicas son descritas en la Tabla 1:

Tabla 1-Características del Dron DJI Matrice 210

Fuente: Elaboración Propia

Distancia máxima de funcionamiento(Km)	7 km
Tiempo de vuelo	38 min
Baterías extras	2 juegos
Grado de protección	IP43
Carga útil máxima	2 kg

5.2.2 Sensores

La elección de los sensores fue limitada a la disponibilidad del Grupo de Investigación de Informática Gráfica y Geomática (TIC-144) de la Universidad de Jaén. Como los datos colectados serán aplicados exclusivamente a las plantas fotovoltaicas, el sensor utilizado fue el sensor termográfico representado por la Zenmuse XT2, junto a una cámara RGB. Las dos vienen en el mismo dron y los datos son colectados en un mismo vuelo.

5.2.2.1 Cámara DJI ZenmuseXT2

La cámara Zenmuse XT2 (Figura 27) fue creada para ser utilizada solamente con drones DJI y es una combinación de un sensor térmico radiométrico Tau 2 de FLIR y una cámara visual de 4K, ubicados dentro de una carcasa resistente al clima.



Figura 27-Cámara Zenmuse XT2

Fuente: <https://grupoacre.es/catalogo-productos/dji-zenmuse-xt2/>

Con este tipo de cámara, que presenta un sensor visual de 12 MP y una sensibilidad térmica (NEDT) de 0.05°C a f/1.0, es posible obtener imágenes térmicas de alta sensibilidad. La Zenmuse XT2 tiene radiometría completa, es decir la medición de temperatura puede ser hecha en cualquier píxel de la imagen. Ella considerada como una de las mejores cámaras térmicas para ser usadas en drones. En la Tabla 2 se puede ver sus principales características. Fueron utilizados ambos sensores en el proyecto.

Tabla 2- Características de la cámara Zenmuse XT2

Fuente Elaboración Propia

	Sensor RGB	Sensor Térmico
Distancia focal(mm)	8	19
Tamaño píxel(μm)	-	17
Tamaño imagen(px)	4000x3000	640x512
Rango de Temperatura	-	-25a +135°C -40a +550°C
Termógrafo	-	Microbolómetro VOx no refrigerado
Rango Espectral	-	7.5-13.5μm

5.3 Softwares utilizados

Para alcanzar los objetivos de este proyecto también fueron utilizados algunos softwares que serán descritos en los apartados siguientes.

5.3.1 Pix4Dmapper

Se trata de un software de fotogrametría profesional para drones que convierte las imágenes capturadas en un vuelo en mapas 2D y modelos 3D georreferenciados y altamente precisos. Por medio de él es posible acompañar todo el proceso fotogramétrico y definir las características deseables para cada proyecto. Además, es posible procesar imágenes de cámaras térmicas.

El Pix4Dmapper fue utilizado para el procesamiento de las imágenes sacadas con las dos cámaras que fueron instaladas en el dron. Como resultado final se obtuvieron ortoimágenes.

5.3.2 QGis

El QGis es un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto utilizado para la visualización, gestión y geoprocesamiento de datos cartográficos.

5.3.3 Geoserver

GeoServer es un servidor de código abierto para compartir datos geoespaciales. Diseñado para la interoperabilidad, publica datos de cualquier fuente de datos espaciales importantes utilizando estándares abiertos.

En este proyecto fue utilizado en la creación de los Servicios Web de Mapas (WMS) para la posterior visualización en el Visualizador Web de Mapas.

5.3.4 Leaflet

Leaflet es una librería JavaScript opensource para crear mapas interactivos en un entorno móvil. En este proyecto fue utilizado para generación del visualizador Web de Mapas.

5.3.5 PostgreSQL + PostGis + PgAdmin

PostgreSQL es una herramienta libre de gestión de bases de datos relacionales que destaca por su robustez, escalabilidad y cumplimiento de los estándares SQL, contando con versiones para una amplia gama de sistemas operativos. PostGIS es una extensión espacial para PostgreSQL que permite gestionar objetos geográficos. Fueron las herramientas utilizadas para el almacenamiento de los productos geográficos creados en una base de datos geográficos.

PgAdmin es la plataforma de administración y desarrollo de código abierto más popular y rica en características para PostgreSQL, la base de datos de código abierto más avanzada del mundo. También permite gestionar bases de datos espaciales (PostGIS). En este proyecto fue utilizado para gestionar la base de datos geoespacial creada, es decir, el PgAdmin permite que tengamos acceso y manipulemos a los datos.

5.4 Captura de datos

Para generar información de manera correcta es necesario capturar datos correctamente. En este apartado serán expuestos todos los pasos de la metodología empleada para la colecta de los datos por medio del vuelo con dron.

5.4.1 Plan del vuelo

Para la captura de los datos, es decir, las imágenes aéreas se utilizó el vehículo aéreo no tripulado DJI Matrice 210 junto a la cámara Zenmuse XT2.

Antes de realizar los cálculos se utilizó el Google Earth Pro para visualizar el área donde se haría el vuelo y para obtener medidas aproximadas de las dimensiones del sitio.

En este apartado serán presentadas las características que fueron usadas para el cálculo de los parámetros del vuelo y el cálculo en sí.

5.4.1.1 Cálculo de los parámetros de vuelo.

La captura de las imágenes aéreas fue hecha por medio de un solo vuelo. La cámara Zenmuse XT2 capturas las imágenes RGB y térmicas a la misma vez. Las siguientes características fueron definidas en gabinete delante de las necesidades del proyecto y de los productos que se quería obtener. Con el uso de ellas se puede hacer el cálculo de los otros parámetros del vuelo.

- Altura de vuelo: 40 m
- Cámara = Zenmuse XT2
- Focal = 19 mm
- Tamaño del sensor = 640x512 px/10.88x8.704 mm
- Tamaño del pixel = 17 μ m
- Recubrimiento longitudinal y transversal = 80%

Eso tuvo en cuenta la duración de la batería del dron (20 minutos) para ver la posibilidad de realización del vuelo utilizando estos parámetros.

Aquí cabe destacar que para obtener buenos resultados con los sensores térmicos son importantes algunos parámetros que serán descritos abajo:

- La superposición debe ser alta.

- Las tomas deben ser completamente verticales
- La resolución espacial de las imágenes suele ser peores (por la focal y altura de vuelo necesaria)

Entonces, basándose en los datos arriba se pudo hacer el cálculo del plan de vuelo.

- **GSD:** El GSD es calculado en función de la distancia focal, altura de vuelo y el tamaño del pixel del sensor utilizado. Es definido también como el tamaño del pixel en el terreno. Su cálculo se hace a través de la ecuación 1 siguiente:

$$GSD(cm) = \frac{\text{altura de vuelo (mm)} * \text{tamaño del pixel (mm)}}{\text{distancia focal (mm)} * 10} \quad (1)$$

$$GSD(cm) = \frac{40000 * 0.0017}{19} = 3,5 \text{ cm}$$

- **Recubrimiento Longitudinal (p%) y Transversal (q%):** El Recubrimiento Longitudinal y Transversal es, de acuerdo con Peña et al. (2011), el recubrimiento es la zona común de terreno obtenida en dos fotografías consecutivas. La diferencia entre ellos está en el lado de la imagen que es usado para el cálculo, es decir, el Recubrimiento Longitudinal utiliza el lado más corto y el Transversal el más largo. Eso porque lo que se busca es la reducción de pasadas de vuelo.

En la práctica estos dos parámetros ya son definidos previamente de acuerdo con las necesidades del proyecto. Para este, se definió un recubrimiento de 80% para los dos.

- **Base aérea (B) y Distancia entre pasadas (A):** La base aérea está relacionada con la distancia entre dos tomas consecutivas y depende del Recubrimiento Longitudinal. La Distancia entre pasadas está relacionada con la distancia entre dos líneas de vuelo y depende del Recubrimiento Transversal. Los valores de estos dos parámetros son calculados a través de las ecuaciones

A continuación, serán presentados en la Tabla 3 los parámetros del vuelo obtenidos en la ejecución.

Tabla 3- Características del vuelo realizado
Fuente: Elaboración propia

Características del vuelo realizado	
Superposición	80%
Altura	40 metros
Tiempo	18m y 56 segundos
Total de imágenes	543
GSD	3,58 cm/pix
Velocidad	2.7m/s

5.4.2 Realización del vuelo

Después de definir el día de la realización del vuelo, es necesario adoptar algunas precauciones con antelación. Es decir, un par de días antes de la fecha prevista se debe buscar los datos meteorológicos de la ciudad dónde el vuelo será hecho para chequear la posibilidad de lluvia y la velocidad aproximada del viento. Estos procedimientos fueron seguidos y se constató que todo estaba en perfectas condiciones.

Además de esto, se intentó salir temprano desde la Universidad de Jaén para que los vuelos fuesen realizados en un momento en que el sol estuviese en una altura ideal y no hubiese mucha sombra, sobre las 12 de la mañana.

El software utilizado para planificación del vuelo fue el DJI Pilot donde se pusieron los parámetros definidos anteriormente.

Otro punto importante es que el dron fue pilotado por una persona perfectamente habilitada para la tarea: un investigador del Grupo de Investigación de Informática Gráfica y Geomática (TIC-144) de la Universidad de Jaén correctamente certificado para este tipo de trabajo.

Para mejor comprensión, cuando se inicia el vuelo en el software DJI Pilot, el Dron empieza a volar hasta llegar a la altura definida (40 m). A continuación, se desplaza hasta el punto inicial definido y se va desplazando en la zona de estudio de manera automática, siguiendo la ruta definida.

Después de terminar la misión, el dron se desplaza nuevamente al punto de inicio y aterriza.

5.5 Procesado de las imágenes

En este apartado serán descritas todas las etapas para el procesamiento de las imágenes RGB y térmicas utilizando el software Pix4D. Se eligió el Pix4D porque es un software de fácil manejo y que presenta una gran gama de usuarios lo que facilita a la hora de consultar dudas que surgen en el procesamiento. La empresa vendedora posee un portal de dudas en su página web, dónde los técnicos auxilian en la resolución de los errores.

Este software presenta un flujo de trabajo para procesar las imágenes como se muestra en la Figura 28.



Figura 28-Flujo de trabajo de Pix4DMapper
Fuente: Elaboración Propia

Una vez en el software, se hace la importación de las imágenes y se define el sistema de referencia en el cual se quiere obtener los productos cartográficos finales que serán generados en el software. A continuación, se hace la definición de las opciones de procesamiento (Figura 29).

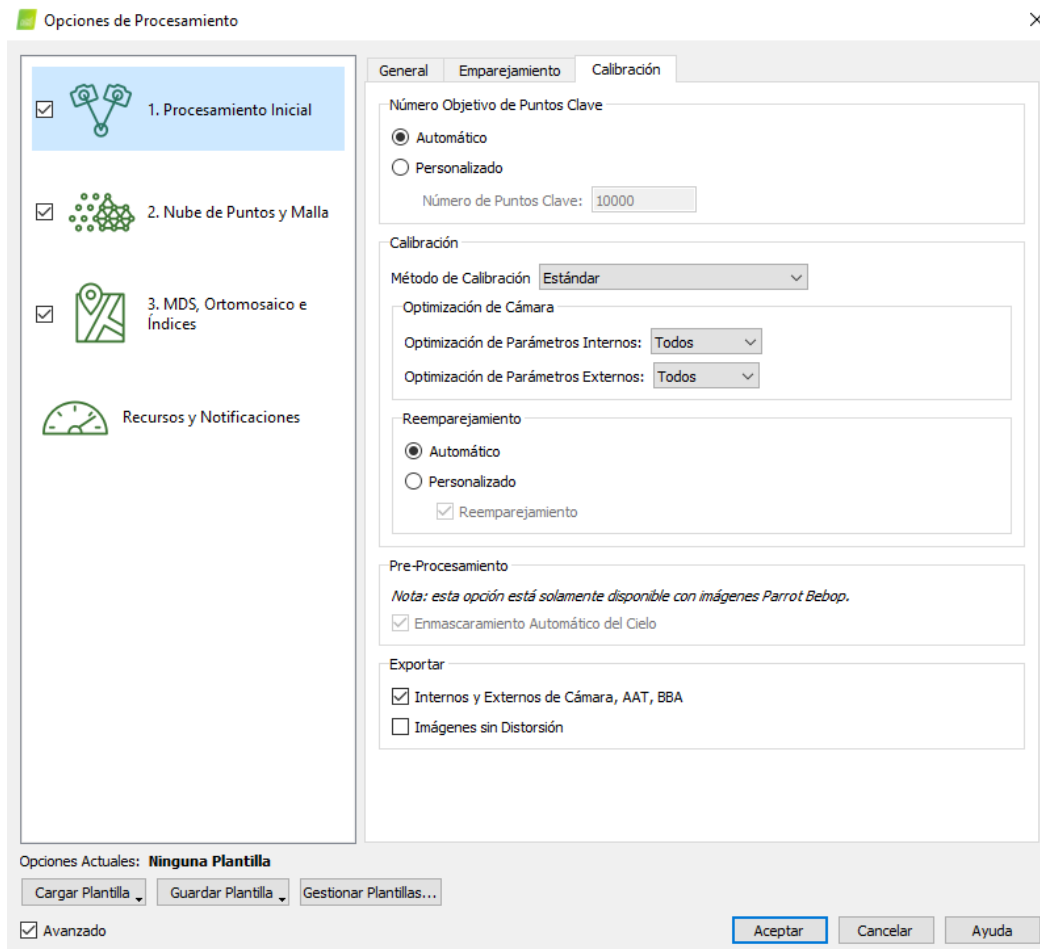


Figura 29-Pantallazo Pix4D
Fuente: Elaboración Propia

Después de eso, ya se puede iniciar el Procesamiento Inicial (Figura 30).

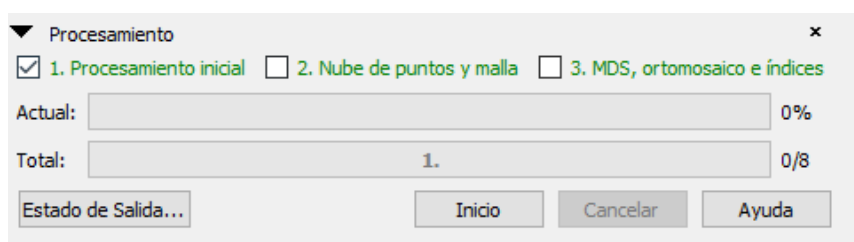


Figura 30-Pantallazo Pix4D
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la descripción puesta en la página de ayuda del software, en esta primera parte lo que se hace es el cálculo de la localización y de los parámetros de las imágenes por medio de una metodología o procesamiento: Aerotriangulación Automática (ATA) y un ajuste de Bloque Simultaneo (ABS).

Lo que hace el software es la extracción y correlación de puntos comunes entre dos o más imágenes. Además de esto se hace una optimización del modelo de la cámara (calibración de la distancia focal y de los parámetros de distorsión).

De acuerdo con Torrado et al. (2016) esto permite conocer la orientación relativa entre imágenes y las áreas comunes registradas del terreno. Como resultado lo que se obtiene es una nube de puntos poco densa (Figura 31).

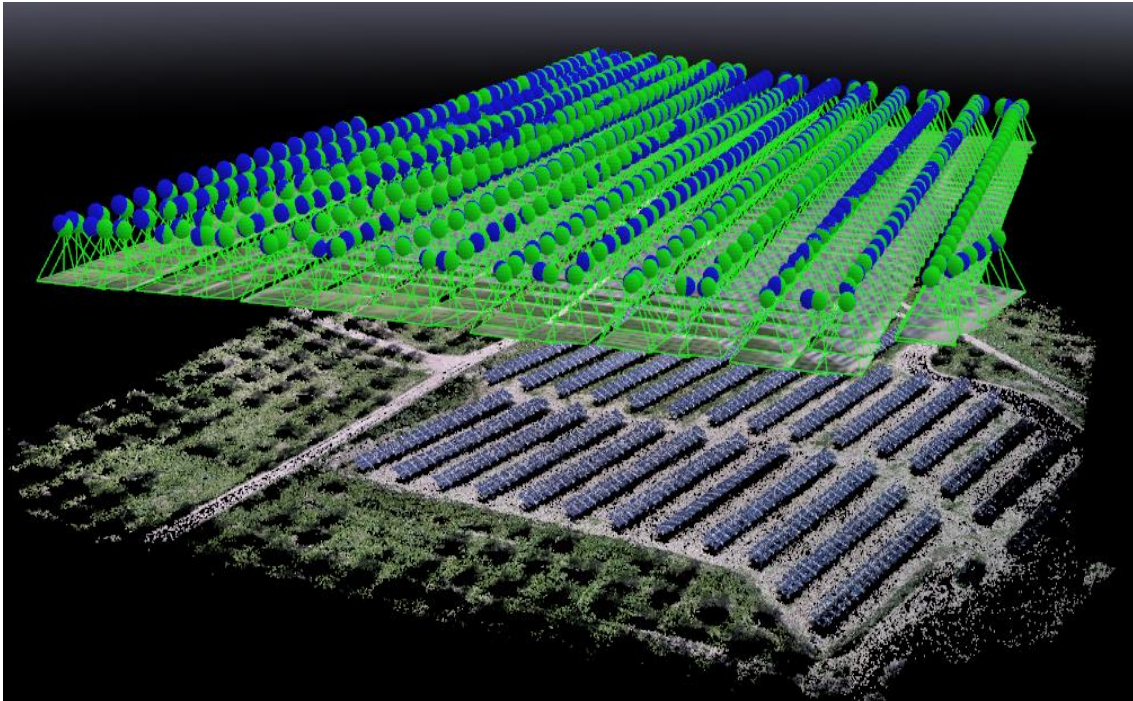


Figura 31-Nube de Puntos poco densa (Pix4D)
Fuente: Elaboración Propia

En el Paso 2: Nube de puntos y malla, se crea la nube de puntos densificada a través de la nube de puntos poco densa creada en el paso anterior.

De acuerdo con Torrado et al. (2016) en esta segunda etapa:

“el objetivo es determinar las coordenadas del terreno de cada uno de los puntos comunes extraídos de las imágenes y posteriormente determinar las coordenadas del terreno para cada uno de los píxeles en las imágenes a través de lo que se denomina densificación de nube de puntos.”

El resultado obtenido en el Paso 2 fue el siguiente (Figura 32):



Figura 32-Nube de puntos densa
Fuente: Elaboración Propia

Los modelos digitales de superficie (DSM) son creados en el Paso 3: DSM, Ortomosaico e Índices. Eso se hace a partir de la rasterización de la nube de puntos.

Un mosaico corresponde al conjunto de imágenes tomadas desde una o varias cámaras, que presentan áreas de solape entre sí, y que son unidas y combinadas en una sola imagen para ampliar el rango de visión de la escena (Cheng, Xue y Li, 2007). Cuando el mosaico es corregido de las distorsiones causadas por el relieve del terreno y los objetos en él, se denomina ortomosaico.

En resumen, Pix4D encuentra los puntos homólogos en las imágenes, después las correlaciona ya que hay las áreas de solape. A continuación, hace la triangulación por medio de la cual se obtienen las coordenadas 3D de cada punto.

En la Figura 33 y Figura 34 se puede ver el DSM creado y la ortoimagen.

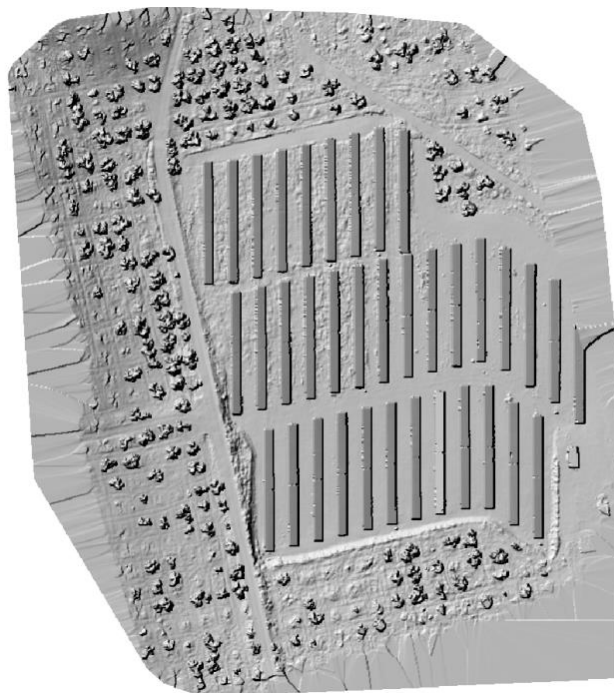


Figura 33-Modelo Digital de Superficie
Fuente: Elaboración Propia



Figura 34-Ortoimagen RGB
Fuente: Elaboración Propia

Para las imágenes térmicas, el proceso fue el mismo, pero con algunos cambios en las opciones de procesamiento. Las imágenes capturadas por la cámara Zenmuse XT2 tienen el formato RJPG, que de acuerdo con el soporte del software usado para el procesamiento (Pix4D) “es una imagen radiométrica JPG, es decir, una imagen .jpg con datos radiométricos incrustados en los metadatos de la imagen. Es el formato de imagen recomendado para imágenes térmicas.”

Además de esto, al procesar imágenes térmicas usando el Pix4D se recomienda una resolución mínima de 640x480, pero esto no ha sido un problema porque la cámara usada presenta una resolución de 640x512.

Entonces, después de añadir las imágenes, como los parámetros de orientación interna no están registrados en el software, éstos fueron añadidos antes del procesamiento (Figura 35), como se indica en la página web de la empresa.

Figura 35-Parámetros cámaras térmicas en Pix4D
Fuente: Elaboración Propia

Además, como también fue indicado por el soporte del software, en las opciones de procesamiento se puso el método de calibración alternativo, generalmente utilizado para procesar imágenes de cámaras térmicas (Figura 36).

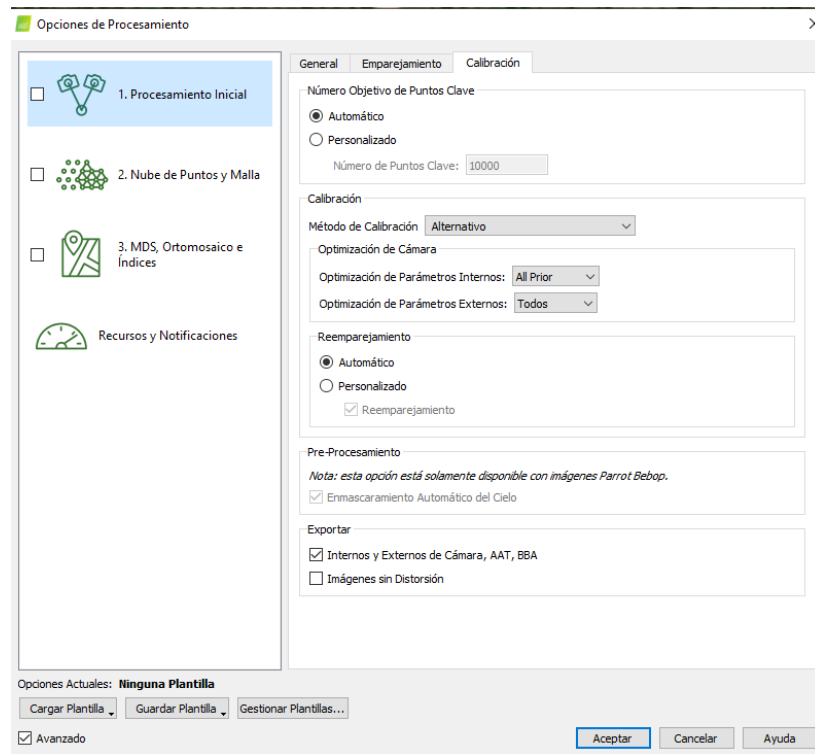


Figura 36-Plantilla de procesamiento Cámara térmica
Fuente: Elaboración propia

El resultado del procesamiento Inicial de las imágenes térmicas (nube de puntos dispersa) puede ser visto abajo (Figura 37).

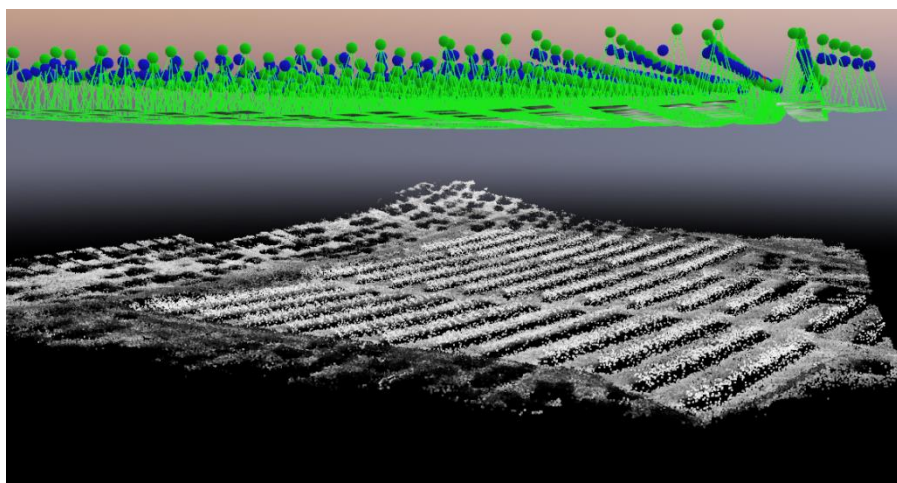


Figura 37-Nube de puntos dispersa (Pix4D)
Fuente: Elaboración Propia

El resultado del Paso 2: Nube de puntos y malla fue el siguiente (Figura 38).

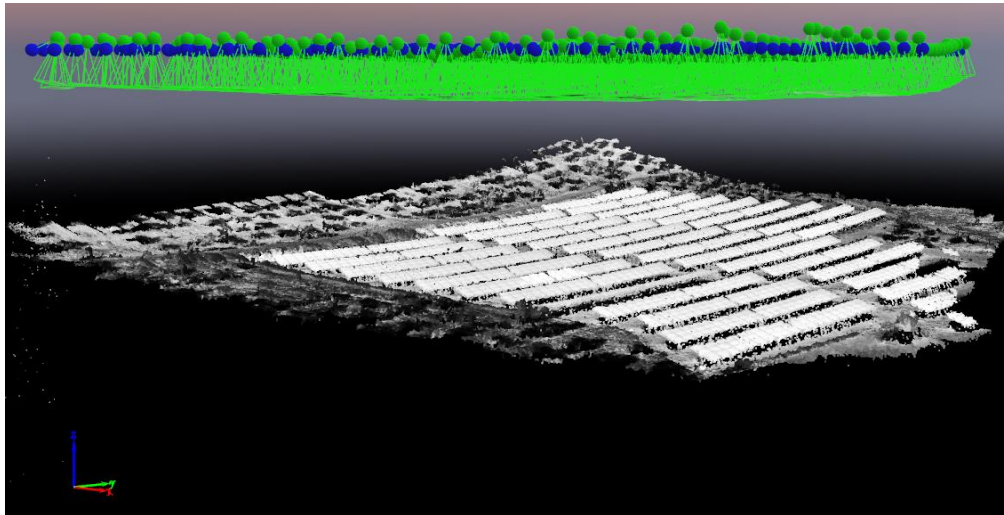


Figura 38-Nube de Puntos densa
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 39, la ortoimagen creada.

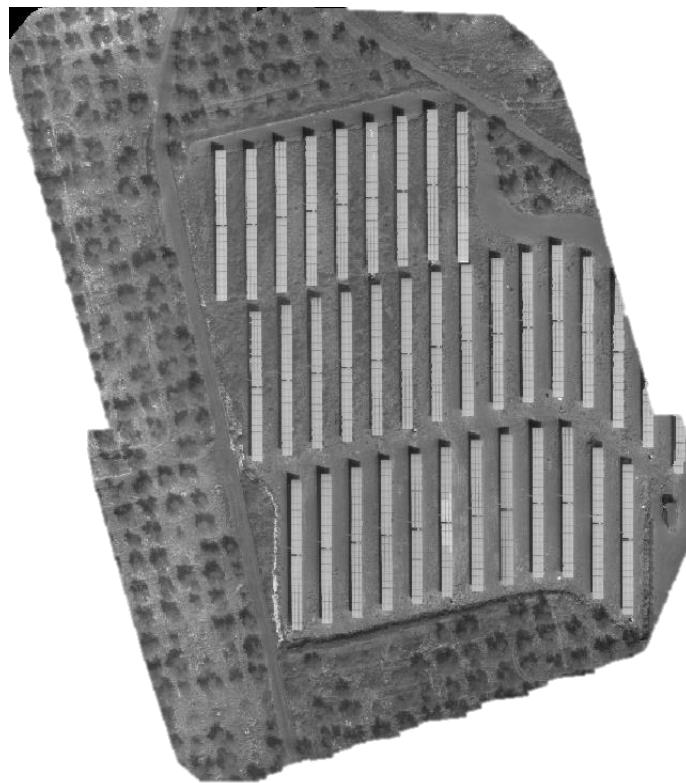


Figura 39-Ortoimagen térmica
Fuente: Elaboración Propia

5.5.1.1 Informe de Calidad (RGB)

El informe de calidad es un documento en formato PDF creado automáticamente por Pix4D tras realizar el procesado. En este apartado serán presentadas las

informaciones consideradas más representativas de la calidad de este procesamiento.

En la Figura 40, presenta el GSD obtenido, que fue 1.0 cm, un valor bastante bueno para el objetivo del proyecto.

En el inicio lo que se verifica primero es si todos los checks  están en color verde. Eso porque si están en color amarillo o rojo es porque hay algo incorrecto y debe ser corregido. De acuerdo con lo que se presenta, los resultados obtenidos fueron bastante buenos ya que se obtuve 100% de las imágenes calibradas y una diferencia relativa entre los parámetros internos iniciales y optimizados de la cámara inferior al 5%. El amarillo indica que no fueron utilizados puntos de control, pero el motivo ya ha sido explicado antes.

Summary



Project	rgb2
Processed	2021-08-30 18:06:37
Camera Model Name(s)	XT2_8.0_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.00 cm / 0.39 in
Area Covered	0.035 km ² / 3.4982 ha / 0.01 sq. mi. / 8.6488 acres
Time for Initial Processing (without report)	58m:19s

Quality Check



 Images	median of 34952 keypoints per image	
 Dataset	499 out of 499 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	4.91% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 14043.1 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, no 3D GCP	

Figura 40-Informe de calidad del procesamiento (Pix4D)
Fuente: Elaboración Propia

Otro dato que hay en el informe es una imagen que representa la superposición entre las imágenes (Figura 41). Cada color representa la cantidad de imágenes superpuestas y lo ideal es que el área presente un color verde, como en la Figura 39, ya que una baja superposición puede generar una reconstrucción 3D de mala calidad. Las áreas rojas indican una superposición demasiado baja.

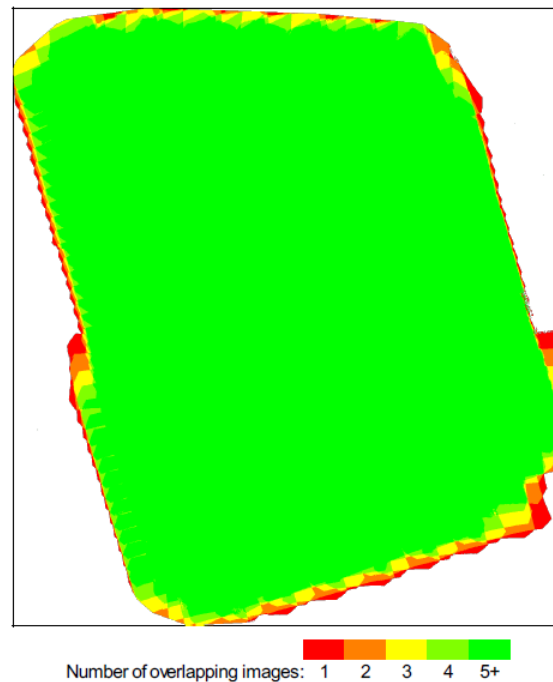


Figura 41-Informe de calidad (Sobreposición)
Fuente: Elaboración Propia

5.5.1.2 Informe de Calidad (Térmica)

El informe de calidad es generado para cada proyecto. En la Figura 42, se puede ver que el GSD obtenido fue 3.50 cm, que también es un valor bueno para el objetivo del proyecto. Es más grande que lo de la RGB, ya que a pesar de ser el mismo vuelo, el sensor térmico presenta una distancia focal más grande.

Además, como se puede ver todos los checks están en color verde, excepto el primero de ellos. Este check en amarillo significa que se han extraído entre 500 y 10000 puntos clave por imagen, estaría en color verde si hubiera extraído más de 10000 puntos. En este caso fueron extraídos 7475 y este valor más bajo se debe a la peor calidad de las imágenes térmicas, lo que hace más difícil la tarea de encontrar puntos homólogos.

A continuación, de acuerdo con lo que se presenta, los resultados obtenidos fueron bastante buenos ya que se obtuvieron el 99% de las imágenes calibradas y una diferencia relativa entre los parámetros internos iniciales y optimizados de la cámara inferior al 5%.

Summary



Project	foto_
Processed	2021-08-20 19:48:57
Camera Model Name(s)	XT2_19.0_640x512_andressa (Grayscale)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.50 cm / 1.38 in
Area Covered	0.029 km ² / 2.9137 ha / 0.01 sq. mi. / 7.2036 acres
Time for Initial Processing (without report)	15m:00s

Quality Check



Images	median of 7475 keypoints per image	⚠️
Dataset	496 out of 500 images calibrated (99%), all images enabled	✅
Camera Optimization	0.18% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
Matching	median of 4257.42 matches per calibrated image	✅
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠️

Figura 42-Informe de calidad del procesamiento (Pix4D)
Fuente: Elaboración Propia

En el informe se añade también una imagen que presenta el número de imágenes superpuestas para cada píxel de ortomosaico (Figura 43). Como se puede ver en la Figura 43, para este procesamiento toda el área está en verde. Lo que es bueno.

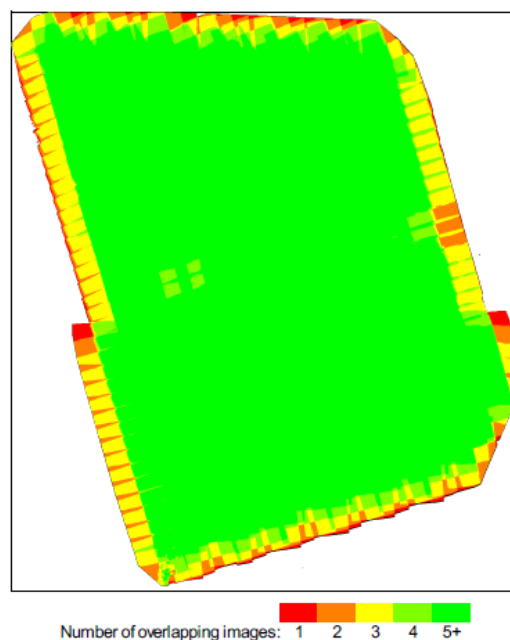


Figura 43-Informe de calidad (Superposición)
Fuente: Elaboración Propia

5.6 Solución integral del proyecto

El objetivo de este apartado es la generación de una solución integral para el proyecto, es decir, una solución que ofrezca una metodología que involucre desde la generación de los datos, hasta su visualización final en un visor web de mapas.

Como se puede ver en la Figura 44, la metodología seguida fue compuesta de los siguientes pasos: **1)** Integración y visualización de los datos en un SIG (QGis); **2)** Almacenamiento de la información bien estructurada en una Base de Datos (PostgreSQL/PostGis); **3)** Importación de los datos a un Servidor Web de Mapas (Geoserver); 4) Generación de un visualizador Web de mapas (Leaflet) y conexión con el Servidor.



Figura 44-Solución integral del proyecto
Fuente: Elaboración Propia

5.6.1 Integración y visualización de los datos en un SIG (QGis)

Todo proyecto cartográfico tiene como base la puesta en marcha de un proyecto SIG, que es lo que posibilita el almacenamiento, la gestión, análisis y visualización de datos espaciales de manera integrada en un software SIG de

escritorio. Además, es por medio del cual se elimina las informaciones que no son necesarias y también se crea nuevos datos.

En este proyecto, el software SIG utilizado fue QGIS (que es un software SIG de escritorio libre y de Código Abierto). Además, se utilizaron sus herramientas de geoprocésamiento para creación de archivos shapefiles importantes en este proyecto, edición de las tablas de los atributos, análisis espaciales y otros procesamientos.

5.6.1.1 Procesado de las imágenes y generación de datos secundarios

Para el procesado de las imágenes y generación de datos vectoriales secundarios fueron utilizadas las herramientas de geoprocésamiento del software QGIS.

El objetivo principal de este apartado es generar información útil al análisis y gestión de la planta fotovoltaica en cuestión. De pronto, lo primero que se hizo fue analizar visualmente las anomalías en los módulos y averiguar la temperatura que presentaban (Figura 45).

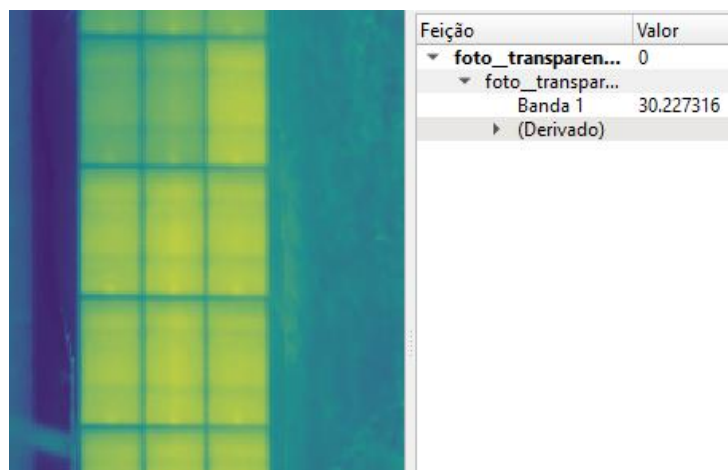


Figura 45-Pantallazo QGIS (Temperatura del pixel)
Fuente: Elaboración Propia

Con eso, se definió un umbral para la temperatura, es decir, todos los pixeles con temperatura mayor que 30°C fueron considerados como “Con posible anomalía”. Utilizando la herramienta de QGIS llamada calculadora ráster se aplicó la siguiente ecuación (Figura 46):

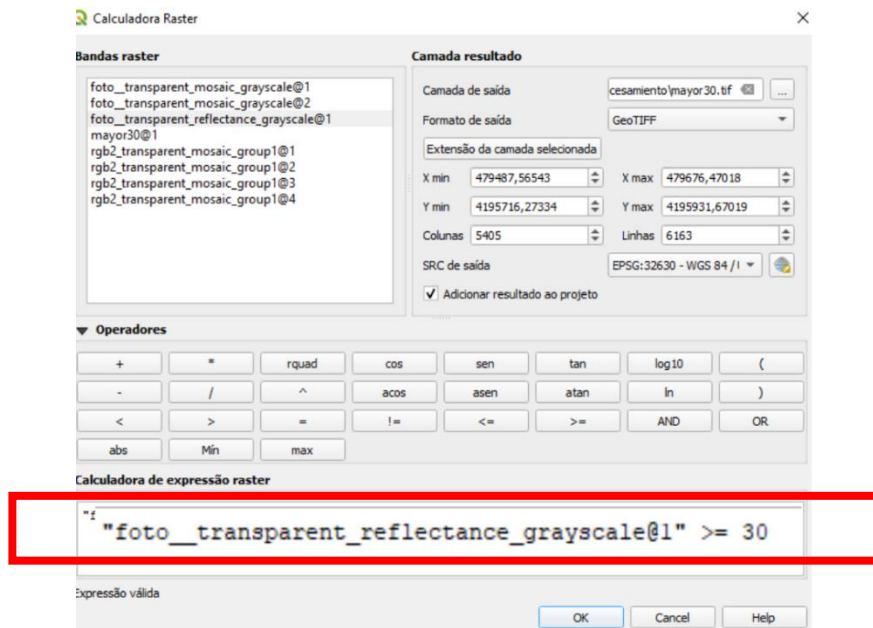


Figura 46-Calculadora ráster de QGis (Ecuación para clasificación del ráster)
Fuente: Elaboración Propia

El resultado fue el presentando en la Figura 47, dónde se obtuvo un nuevo ráster, dónde los pixeles mayores de 30°C son representados por 1 (blanco) y los menores de 30°C son representados por 0 (negro). Es decir, fue generada una imagen binaria.

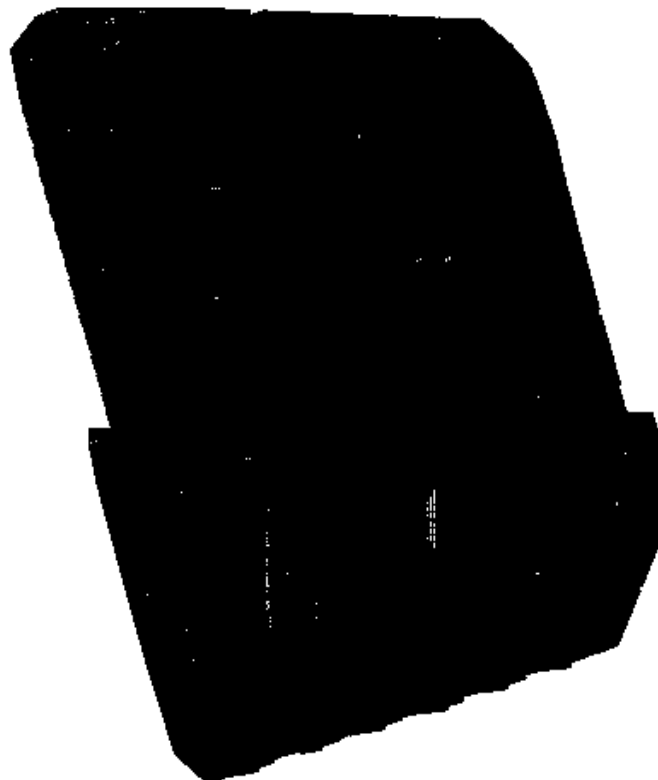


Figura 47-Ráster clasificado
Fuente: Elaboración Propia

Aproximándose a una de las placas fotovoltaica, es posible ver con más detalles como se hizo esta clasificación (Figura 48).



Figura 48-Clasificación de las anomalías en la placa (Extensión)
Fuente: Elaboración Propia

El paso siguiente fue transformar el ráster en un vector, para eso se utilizó la herramienta “Poligonizar” de QGis, presentada en la Figura 49 abajo.

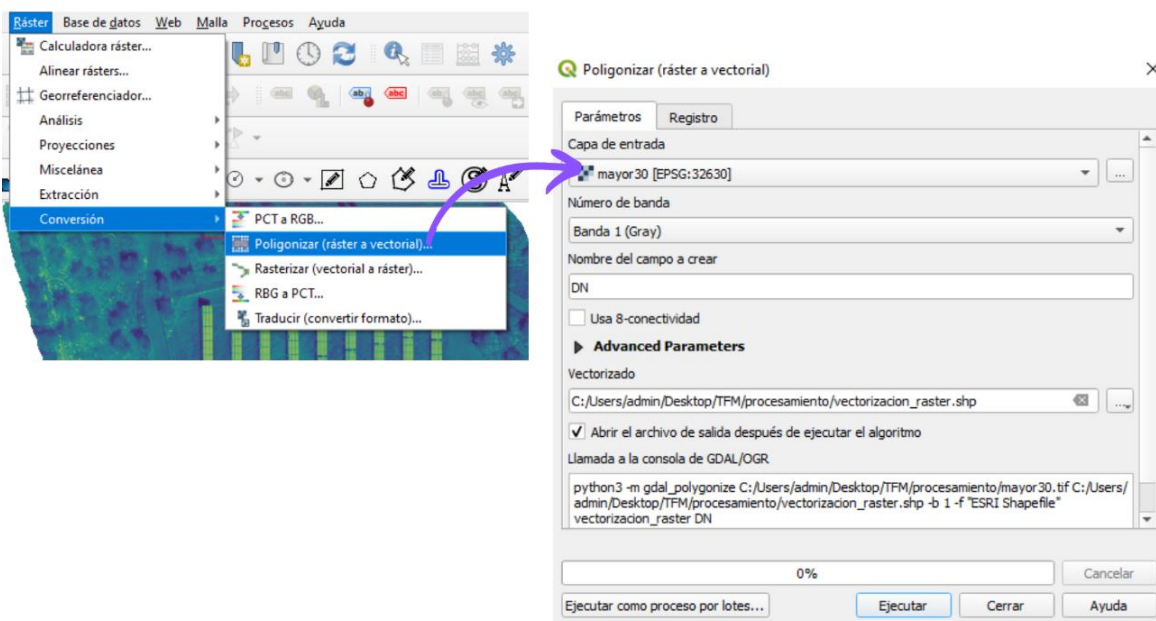


Figura 49-Herramienta Poligonzar (ráster a vectorial)
Fuente: Elaboración Propia

El resultado de este procesamiento fue el de la Figura 50. Igual al de la Figura 47, pero ahora con otro formato, es decir, formato vectorial.



Figura 50-Raster clasificado (Vectorial)
Fuente: Elaboración Propia

En seguida, se borró los vectores correspondientes al DN=0, quedándose solamente los de DN=1 que corresponden a las “posibles anomalías”. El resultado fue lo siguiente (Figura 51):

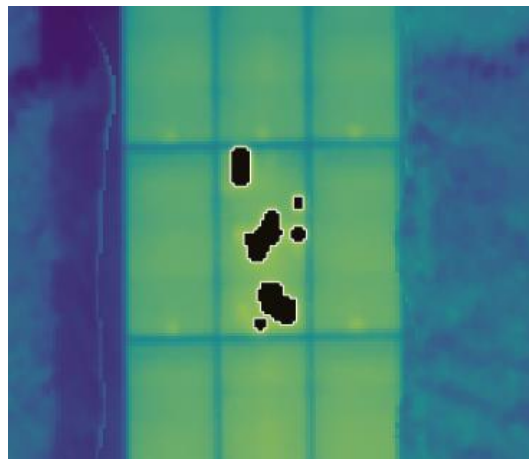


Figura 51-Anomalías en las placas
Fuente: Elaboración Propia

Además, fue necesaria una edición en la capa generada, porque algunos polígonos fueron generados en el suelo o en sitios fuera de los módulos

fotovoltaicos (Figura 52). Lo que es normal en cualquier procesamiento hecho de manera automática.

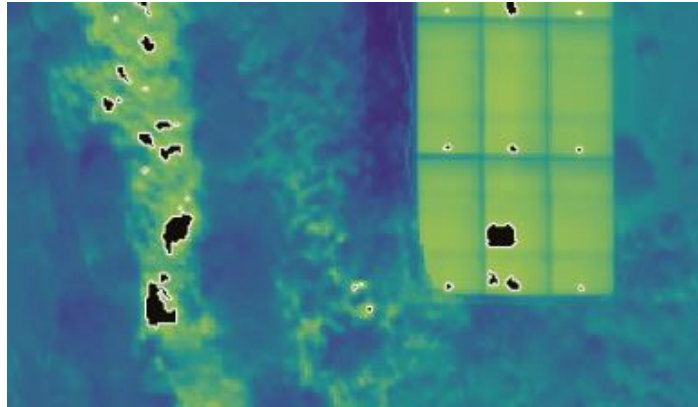


Figura 52-Generación de información fuera de los módulos
Fuente: Elaboración Propia

Como estos datos servirán como base para la gestión de la planta fotovoltaica, es necesario geolocalizar las anomalías para que sean fácilmente encontradas en una inspección situ, es decir cuando los gestores fueren a campo averiguar qué es lo que pasa con las placas que presentan altas temperaturas.

Por eso, antes de generar las coordenadas geográficas de estas anomalías y como la capa generada automáticamente está en formato de polígono, lo que se hizo fue la generación del centróide de cada uno y posteriormente se generó sus coordenadas geográficas. Para la generación del centróide se utilizó la herramienta de QGis llamada “Centróide” presentada en la Figura 53.

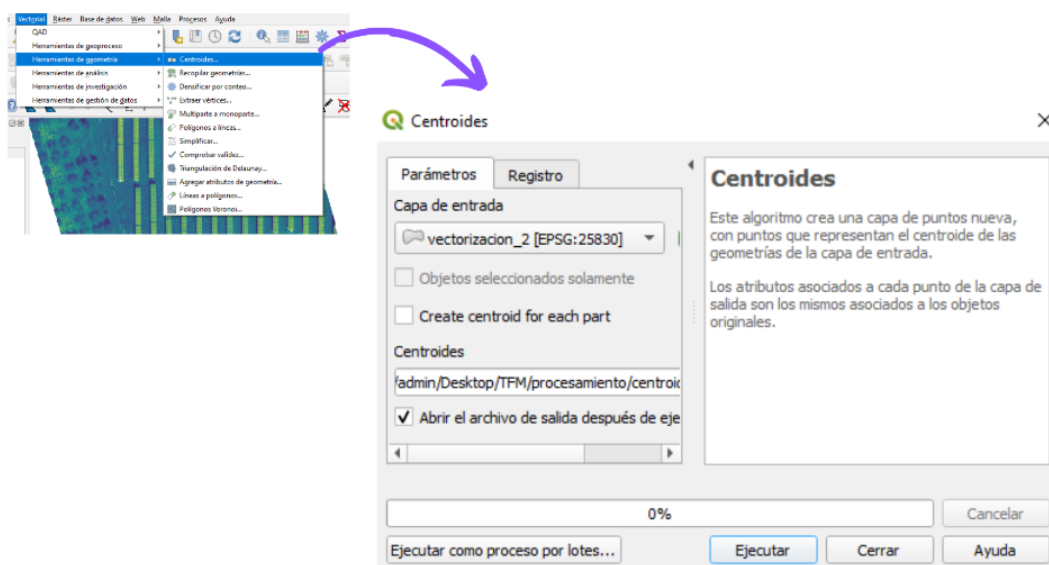


Figura 53-Herramienta Centroides de QGis
Fuente: Elaboración Propia

En resultado fue el siguiente (Figura 54):

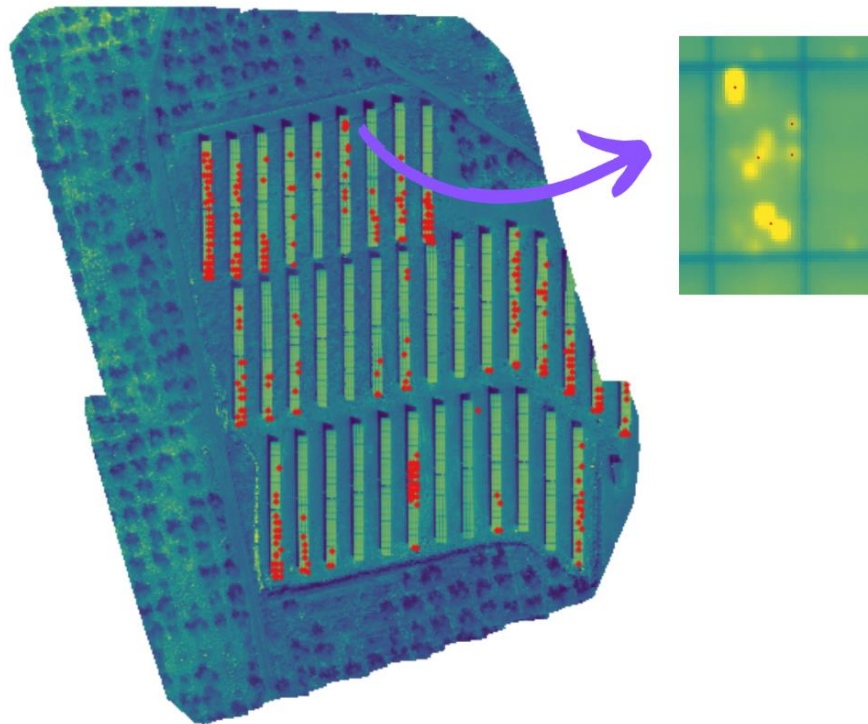


Figura 54-Resultado del procesamiento
Fuente: Elaboración Propia

En seguida, por medio de la herramienta “Calculadora de campo” fue calculado el ID y las coordenadas x e y de todos los puntos, como se ve en las Figura 55 e Figura 56.

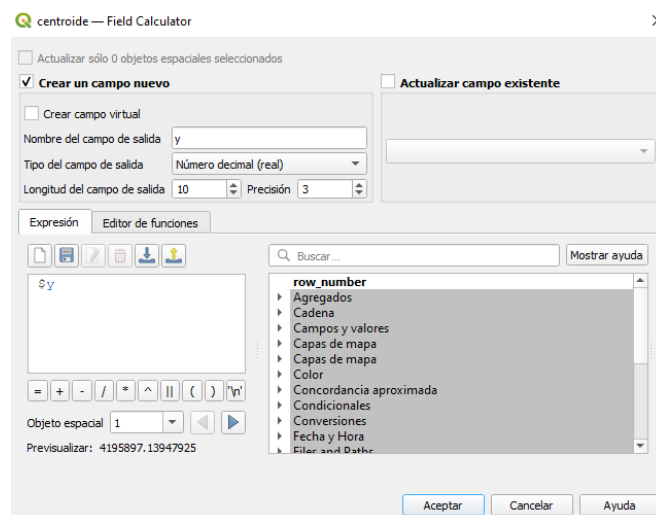


Figura 55-Herramienta Calculadora de Campo de QGIS
Fuente: Elaboración Propia

	ID	x	y
1	0	479587.138	4195897.139
2	1	479587.75	4195896.755
3	2	479587.75	4195896.423
4	3	479587.385	4195896.394
5	4	479587.525	4195895.691
6	5	479588.125	4195890.108
7	6	479588.414	4195889.381
8	7	479589.074	4195897.035

Figura 56-Tabla de atributos (Qgis)
Fuente: Elaboración Propia

El resultado final fue el siguiente (Figura 57). Con eso se obtuvo los puntos de las posibles anomalías identificados y geolocalizados.

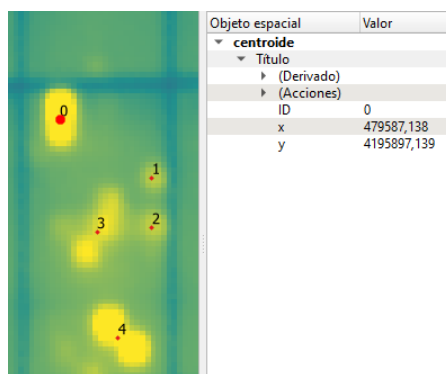


Figura 57-Objeto espacial puntal representativos de las anomalías
Fuente: Elaboración Propia

Otro procesamiento que se hizo con el objetivo de generar más informaciones útiles a la monitorización de la planta fotovoltaica fue la digitalización de las celdas fotovoltaicas utilizando el software AutoCAD (Figura 58). Para eso, lo que se hizo fue la vectorización de cada una después de haber importado la ortoimagen el en software.

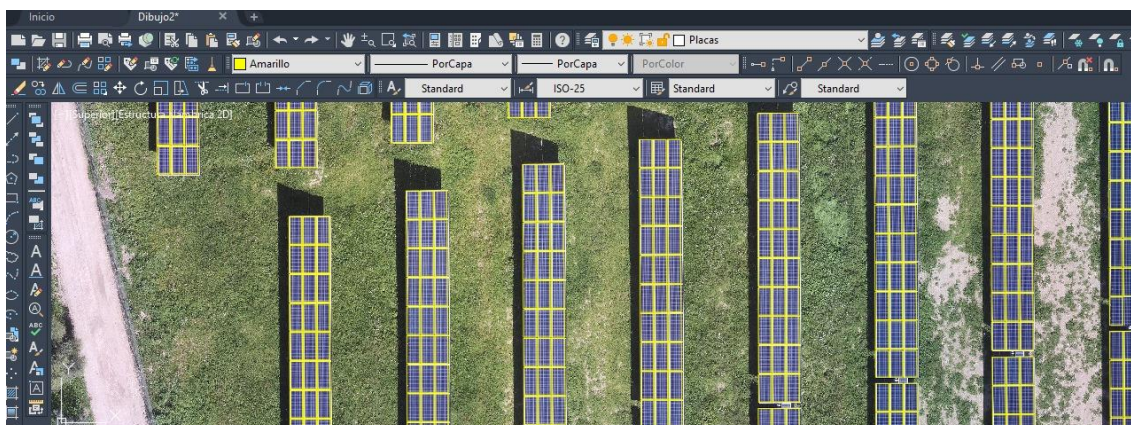


Figura 58-Digitalización de las Celdas en el AutoCAD
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se hizo la exportación de lo que fue vectorizado en formato .dxf y una vez importado en el QGis, se hizo la transformación para el formato Shapefile. Como los vectores estaban en formato lineal, lo que se hizo fue la transformación de línea a polígono usando una herramienta de QGis (Figura 59)

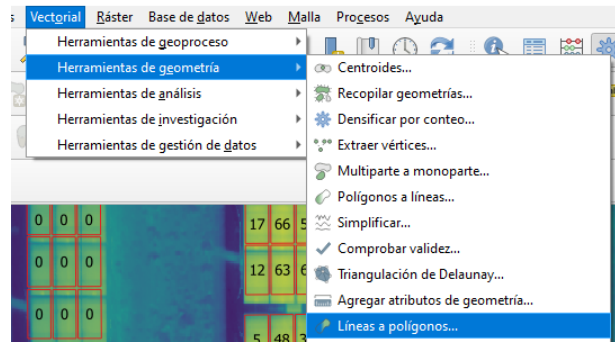


Figura 59-Herramienta "Líneas a polígonos"
Fuente: Elaboración Propia

Hecho esto, se usó otra herramienta de QGis, llamada estadística zonal y se calculó la cantidad total de píxeles dentro de cada celda (vector) y la cantidad de píxeles con temperatura mayor que 30°C (Figura 60). El objetivo es unir la información del ráster al vector de la cuadrícula.

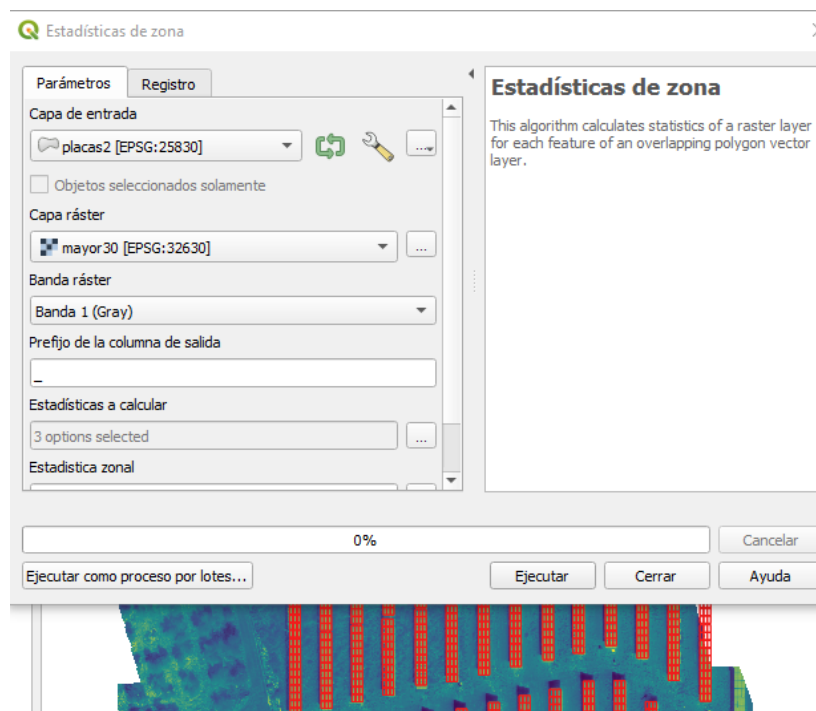


Figura 60-Herramienta "Estadística de zona"
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, utilizando la calculadora de campo (Figura 61) se calculó el “porcentaje de anomalía” de cada celda.

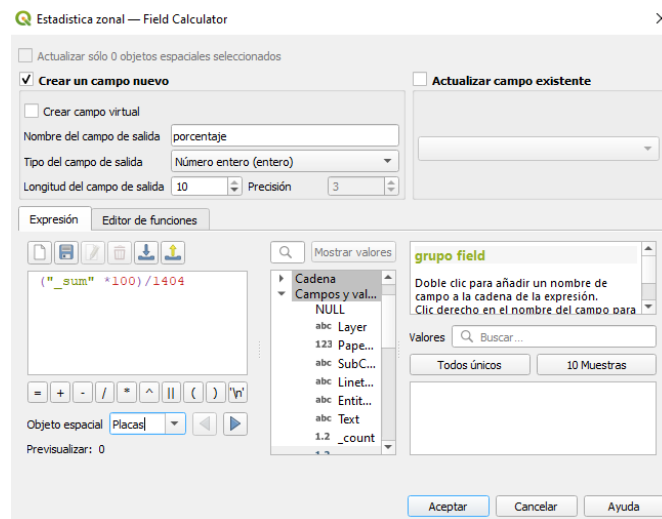


Figura 61-Calculadora de campo QGis

Fuente: Elaboración Propia

El resultado fue el de la tabla de atributos dispuesta en la Figura 62. Estos datos serán añadidos al resultado final y puede ser usado por el gestor de la finca para analizar la productividad de la planta fotovoltaica.

Estadística zonal — Features Total: 2133, Filtered: 2133, Selected: 0

Layer	_count	_sum	_mean	porcentaje
1 Placas	1404	944	0,672364672364...	67
2 Placas	1404	926	0,659544159544...	66
3 Placas	1375	909	0,661090909090...	65
4 Placas	1391	908	0,652767792954...	65
5 Placas	1433	898	0,626657362177...	64
6 Placas	1397	886	0,634216177523...	63
7 Placas	1350	86	0,063703703703...	6
8 Placas	1375	859	0,624727272727...	61
9 Placas	1404	855	0,608974358974...	61
10 Placas	1360	847	0,622794117647...	60
11 Placas	1378	830	0,602322206095...	59
12 Placas	1420	820	0,577464788732...	58
13 Placas	1372	8	0,005830903790...	1

Mostrar todos los objetos espaciales

Figura 62-Tabla de atributos

Fuente: Elaboración propia

El resultado visualmente fue el siguiente (Figura 63), dónde se ve el porcentaje de cada celda.

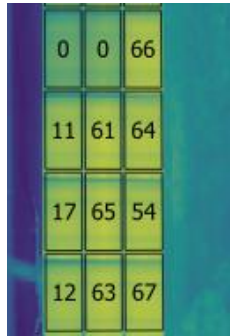


Figura 63- Porcentaje sobre las celdas.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 64 es posible ver el proyecto de Qgis con los datos.

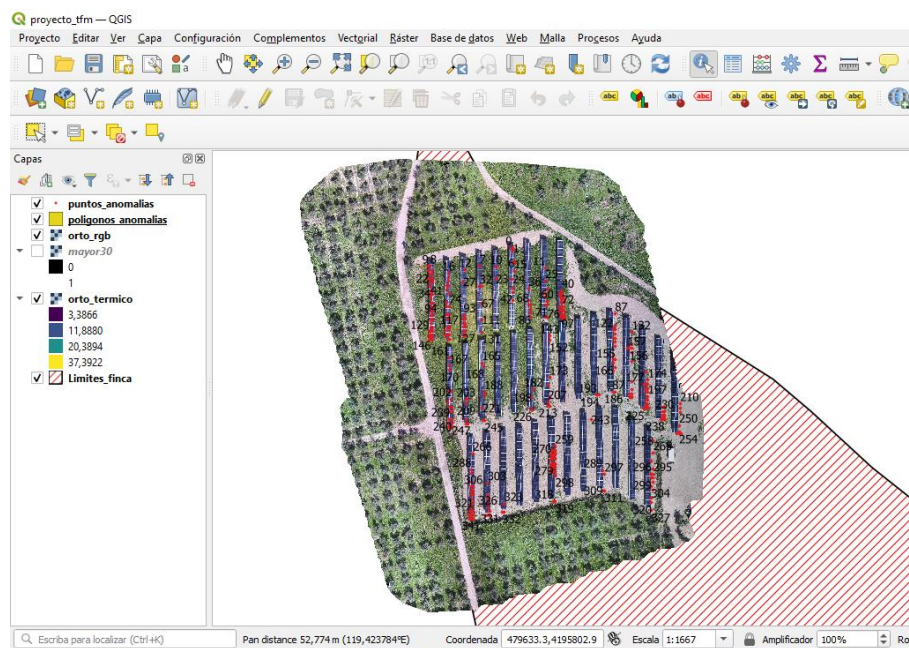


Figura 64- Pantallazo Proyecto QGis
Fuente: Elaboración Propia

5.6.2 Almacenamiento de la información en una base de datos

Antes de la inserción en la base de datos los datos necesitan ser analizados, estructurados y ordenados. Es decir, toda la información innecesaria debe ser borrada y la información importante que ha sido generada debe ser almacenada de manera SEGURA y correcta. En este sentido, hay la opción de hacer el almacenamiento de estos datos en una Base de Datos Georreferenciada.

En este proyecto fue utilizada el Postgre-SQL, junto al PostGis que es una extensión espacial para PostgreSQL que permite gestionar objetos geográficos. La plataforma de administración utilizada fue PGAdmin. Se hizo esta elección porque estos permiten la conexión con el QGis de manera sencilla, además de permitir la edición y actualización continua de las capas y análisis de los datos.

5.6.2.1 Diseño de la Base de Datos Espacial

Diseñar una base de datos significa desarrollar un modelo de datos que represente una realidad detalladamente. Es útil e importante en el almacenamiento de un conjunto de datos espaciales, para que las relaciones entre ellos sean establecidas de manera correcta. **La importancia de almacenar los datos en una base de datos está principalmente en garantizar la seguridad de ellos, además de hacer posible la compartición con otros sistemas.**

De acuerdo con GEOPAISA (2018), en el diseño de una Base de datos espacial, generalmente se distinguen tres fases para la modelización, donde cada fase es una abstracción más avanzada de la anterior. Antes del diseño de la base de datos se hace necesario determinar todos los datos que serán almacenados. Después ya se sigue para el Diseño conceptual (1ª fase), Diseño lógico (2ª fase) y Diseño físico (3ª fase).

5.6.2.2 Estructura de los datos

Cuando se trabaja con datos geográficos en un SIG o en una base de datos, éstos presentan dos tipos de estructura: Vectorial y ráster. Un objeto geográfico presenta sus coordenadas, su sistema de referencia, su forma, tamaño, es decir, su componente espacial o geométrica. Pero presenta también la información no espacial, que describe sus atributos. Lo bueno es que los SIGs y las bases de datos en la actualidad permiten que datos de diferentes tipos sean almacenados en un mismo sitio, o en una misma base de datos.

Hay también la incorporación de una nueva componente: Temporal. Los datos se modifican con el tiempo y es importante actualizarlos, pero a la misma vez mantener los antiguos para la realización de comparaciones. En este proyecto, como fue realizado solamente un vuelo, la componente temporal no será llevada en cuenta.

Existen algunas componentes de los datos que deben ser descritas antes de la generación de la base de datos, para posibilitar una correcta correlación entre ellas. En resumen, los datos a integrar en la base de datos fueron clasificados de acuerdo con su naturaleza discreta o continua. Los datos de naturaleza continua para este proyecto presentan datos con estructura ráster y los de naturaleza discreta, vectorial. La clasificación completa de los datos de este proyecto es presentada en Tabla 4.

Tabla 4 - Clasificación de los datos
Fuente: Elaboración Propia

Variables	Estructura		Naturaleza	
	Ráster	Vectorial	Espacial	Temporal
Ortomosaico Térmico	grid		v. continua	x
Ortomosaico RGB	grid		v. continua	x
Puntos Anomalías		puntos	v. discreta	x
Límite Finca		polígono	v. discreta	x
Polígonos Anomalías		polígono	v. discreta	x
Celdas		polígono	v. discreta	x

La descripción de las entidades son las siguientes:

PUNTOS ANOMALÍAS: esta entidad almacena las coordenadas geográficas de cada punto y su identificador único.

POLIGONOS ANOMALÍAS: esta entidad almacena el área de las anomalías encontradas en las placas y sus coordenadas geográficas.

CELDA: esta entidad almacena el porcentaje de anomalías de cada celda y la cantidad de píxeles con anomalías y total.

LÍMITE FINCA: esta entidad delimita la finca de estudio dónde está ubicada la planta fotovoltaica

ORTOMOSAICOS: esta entidad almacena los datos de los ortomosaicos procesados en el proyecto: RGB y Térmico.

5.6.2.3 Diseño Conceptual

En el diseño conceptual se determinan las relaciones entre los datos, por esto previamente a la definición del modelo es necesario identificar y definir adecuadamente cada una de las entidades que van a conformar la base de datos. En este apartado se expondrá el esquema del modelo entidad relación de la base de datos (BBDD) del proyecto.

Las relaciones existentes entre estas entidades son las presentadas en el diagrama (Figura 65). El modelo utilizado fue el Entidad-Relación, dónde las entidades se ilustran con un **rectángulo**. Por su parte, las relaciones suelen ser un verbo, se representan con un **rombo** y vinculan las entidades, mientras que en **óvalos** se representan los atributos y se subrayan aquellos que son clave primaria.

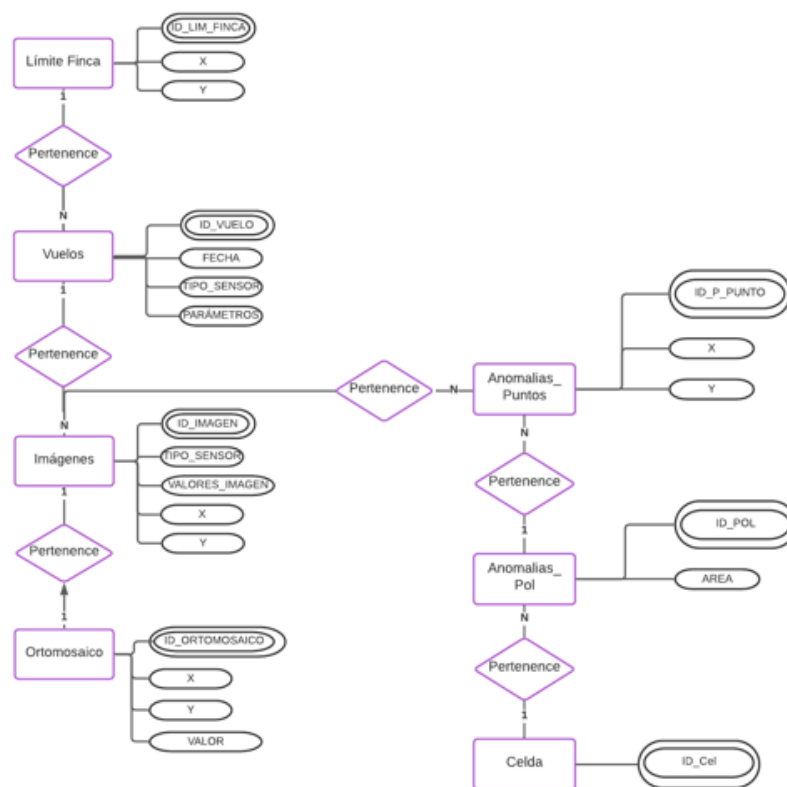


Figura 65-Modelo Entidad-Relación
Fuente: Elaboración Propia

5.6.2.4 Modelo Lógico

La segunda fase es la definición del Modelo Lógico, que “refina” el modelo conceptual. De acuerdo con Plana et al (2009),

“El modelo lógico es el desarrollo completo y detallado del modelo conceptual en el que se encuentra una descripción detallada de cada una de las entidades, el diseño de las tablas con sus atributos, identificadores, relaciones, tipo de datos, que constituyen la base de datos.”

El diseño lógico o Grafo Relacional puede ser visto en la Figura 66. Importante decir que esta es una base de datos inicial y básica, ya que el objetivo es analizar la aplicación de la metodología de Solución Integral del proyecto, más adelante lo ideal es añadir también información “no cartográfica”, como, por ejemplo, la Fecha de revisión técnica, Cantidad de KW producidos, datos de radiación solar y otros.

El Grafo Relacional cumple con la primera, segunda y tercera forma normal (1FN, 2FN, 3FN).

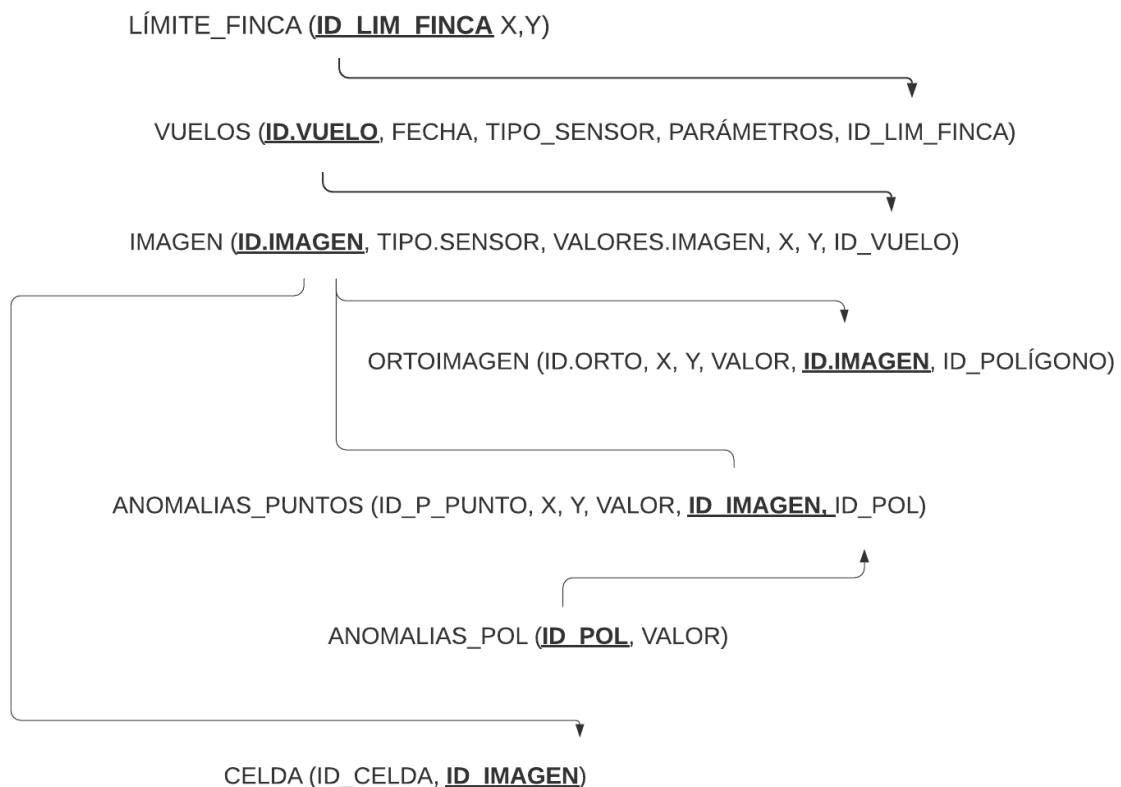


Figura 66-Modelo Lógico de la base de datos
Fuente: Elaboración Propia

5.6.2.5 Modelo Físico

De acuerdo con Plana et al (2009),

“El modelo físico corresponde a la implementación de la base de datos en un programa o software específico. El modelo físico convierte las relaciones del modelo lógico a tablas, y las relaciones foráneas siguiendo el modelo relacional.”

Entonces, diferentemente de las dos fases anteriores, el esquema físico depende del SGBD que se va a trabajar. En este proyecto fue utilizado el Postgres SQL (con la extensión POSTGIS) y el PGAdmin como gestor. La implementación de los datos será descrita en los apartados siguientes.

5.6.2.6 Creación de base de datos en el PGAdmin

El primer paso antes de la inserción de los datos en la base de datos es, obviamente, crear la base de datos.

Para eso se hizo la instalación del PostgreSQL, juntamente con su extensión PostGis (que permite la gestión de datos geográficos). Además, automáticamente se instala el software PGAdmin, que es utilizado para gestionar la base de datos.

En seguida, lo que se hizo fue la creación del servidor y de la base de datos (Figura 67).

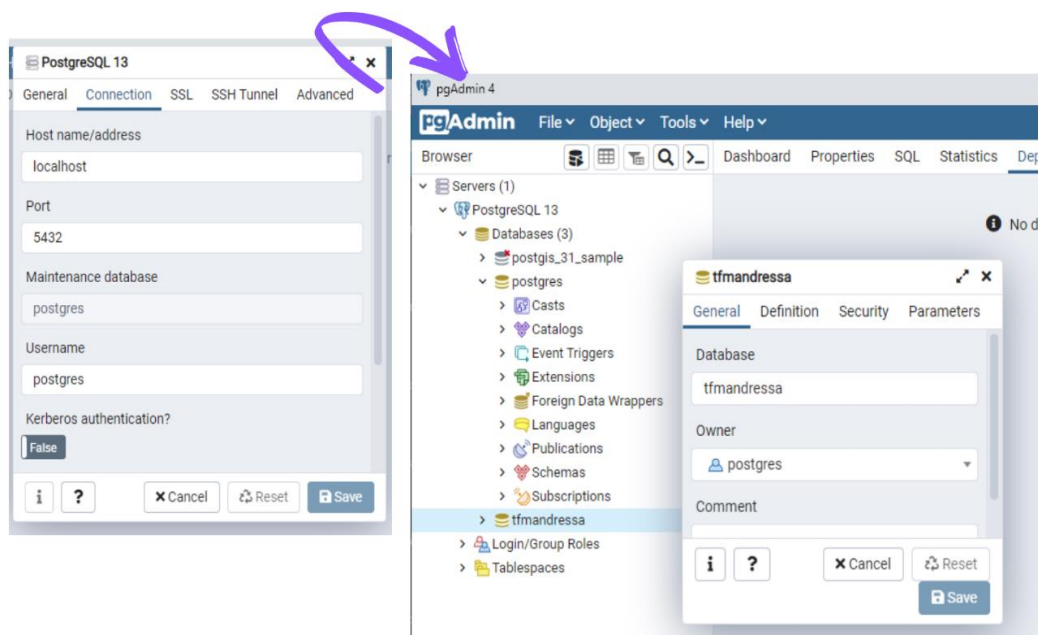


Figura 67-Creación de la base de datos
Fuente: Elaboración Propia

5.6.2.7 Conexión de la base de datos con QGIS para inserción de los datos geográficos

Como ya fue dicho en los apartados anteriores, todos los datos geográficos creados fueron organizados y estructurados en el QGIS. De hecho, este software SIG también incluye una herramienta que hace la conexión directa con PostgreSQL/PostGIS y eso permite la importación de los archivos shapefile y ráster en la base de datos de manera sencilla y rápida. Todas las veces que el proyecto es abierto, QGIS solicita el usuario y contraseña de la base de datos, así que nadie puede manipular las informaciones sin tener las credenciales. Además, este software posee numerosas herramientas de geoprocésamiento que pueden ser usadas para extraer informaciones como se realizó en este proyecto.

Así que, como la base de datos fue creada, se hizo su conexión en QGIS. Para eso se utilizó la herramienta Administrador de Fuente de Datos y en seguida la opción del PostgreSQL. Hecho esto, se puso las credenciales de la base de datos que fueron definidas anteriormente y la conexión fue hecha (Figura 68).

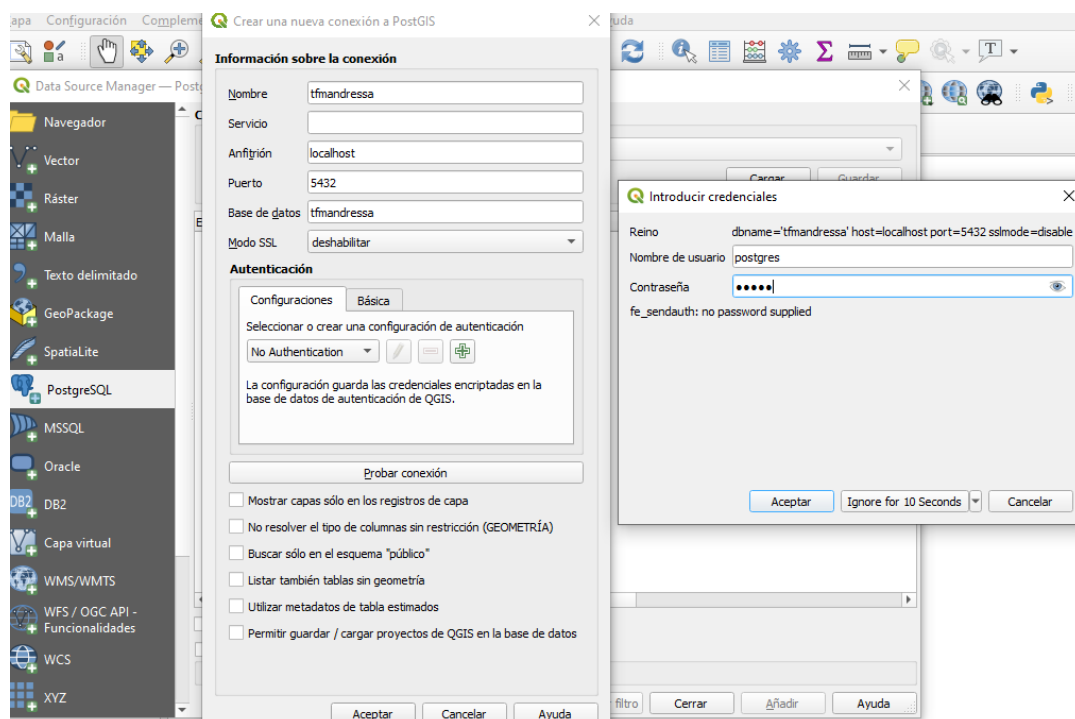


Figura 68-Conexión de la base de datos en QGIS
Fuente: Elaboración Propia

Después de hacer la conexión, se siguieron dos procedimientos distintos para cargar los datos en la base de datos:

- 1) **Importación de los shapefiles (datos vectoriales):** Para inserción de los datos del tipo vectorial (Figura 69), se utilizó la herramienta “Administrador de BBDD” y después de definir la base de datos (tfmandressa) se seleccionó la opción de “Importar capa vectorial”. Se hizo el mismo proceso para todas las capas vectoriales.

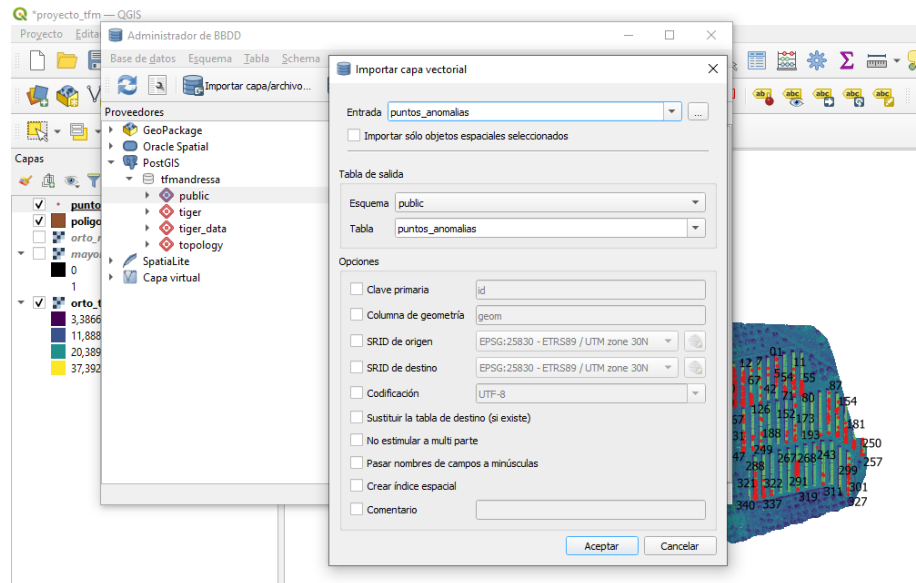


Figura 69-Administrador de BBDD
Fuente: Elaboración Propia

- 2) **Importación de los rásters:** Para inserción de los datos del tipo ráster, se utilizó el Plugin “PostGIS Ráster Import” (Figura 70). Eso porque no es posible subirlos directamente como se hizo con los datos vectoriales arriba. Esa herramienta es útil y rápida para este tipo de proceso.

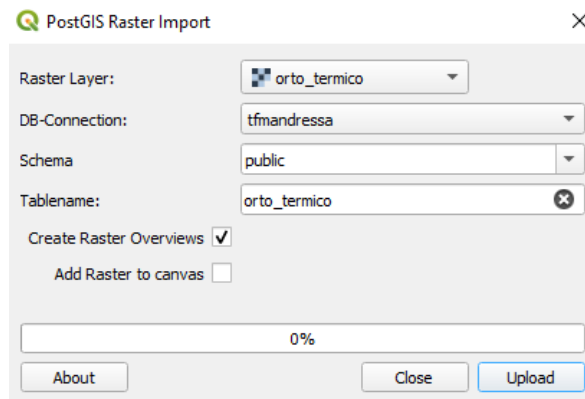


Figura 70-Complemento PostGIS Raster Import
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 71 se puede ver los datos importados en la base de datos.

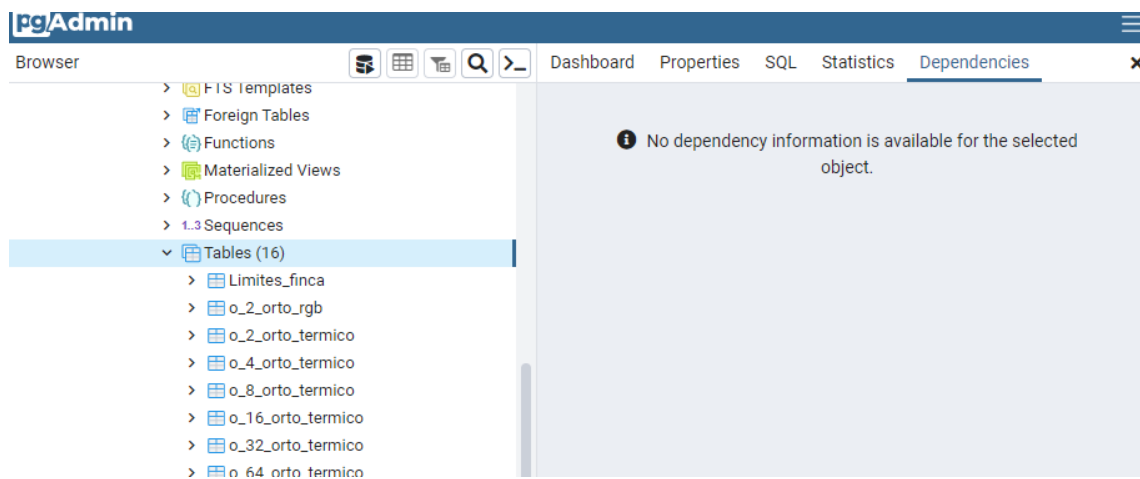


Figura 71-Pantallazo de la Base de datos en el PgAdmin
Fuente: Elaboración Propia

5.6.3 Importación de los datos en Geoserver

Para la importación de los datos en Geoserver se hará su conexión con la base de datos dónde están almacenados los datos.

Pero antes hay algunos pasos que debe ser llevados a cabo. El primer es la construcción de un espacio de trabajo. Este espacio de trabajo cuenta con el servicio WMS, que de acuerdo con Martinez (2017) es lo que

“Permite la reproducción gráfica de la información gráfica y de metadatos almacenada en el servidor según el requerimiento del cliente, en nivel de consulta. Mediante los datos incrustados en la URL del navegador se indica al servidor qué información está solicitando visualizar y se sirve la imagen del mapa. Este servicio está dirigido al usuario que tiene necesidad de consultar de forma simple la información.”

En la Figura 72 se ve el espacio de trabajo creado y a la derecha todos los servicios que él ofrece, incluso el WMS, que va a servir a la hora de exponer los datos en el visualizador web de mapas.

GeoServer

Editar espacio de trabajo

Editar un espacio de trabajo existente

Basic Info **Security**

Nome
tfmandressa

URI del espacio de nombres
tfmandressa

El URI del espacio de nombres asociado con este espacio de trabajo

☒ Espacio de trabajo por defecto

☐ Espaço de trabalho isolado

Ajustes

Habilitado
☒

Primary Contact

Contato
Andressa Cardoso

Organizaçãõ
Ujaen

Posiçãõ
Estudiante

Servicios

☐ WMTS

☒ WCS

☒ WFS

☒ WMS

Guardar **Apply** **Cancelar**

Figura 72-Espacio de trabajo en Geoserver
Fuente: Elaboración Propia

El siguiente paso es la creación de un almacén, responsable por proveer los datos a Geoserver. En este trabajo, el origen de los datos fue el PostGis, ya que Geoserver permite la conexión directa con él (Figura 73). Así que, ponemos las credenciales y hacemos la conexión de la base de datos en el Geoserver.



GeoServer

Servidor

- Status do servidor
- Logs do GeoServer
- Informações de contato
- Sobre o GeoServer

Dados

- Visualizador de Camada
- Espacios de trabalho
- Almacenes
- Camadas
- Grupos de camadas
- Estilos

Servicios

- WMTS
- WCS
- WFS
- WMS

Ajustes

- Global
- JAI
- Acceso de cobertura

Tile Caching

- Tile Layers
- Configurações de cache (GeoWebCache)
- Grid Sets
- Limite de cota
- BlobStores

Segurança

Editar fonte de dados vetorial

Editar uma fonte de dados vetorial existente

PostGIS
PostGIS Database

Informações básica del almacén

Espaço de trabalho *

tfmandressa

Nome da fonte de dados *

tfmandressa

Descrição

☒ Habilitado

Parâmetros de conexão

host *

localhost

port *

5432

database

tfmandressa

schema

public

user *

postgres

passwd

.....

Espacio de nombres *

tfmandressa

Guardar **Apply** **Cancelar**

Figura 73-Conexión de la base de datos con Geoserver
Fuente: Elaboración Propia

Después de conectarse a la base de datos, se hizo la publicación de todas las capas individualmente. En la Figura 74 podemos ver todos los datos del proyecto publicados en Geoserver.

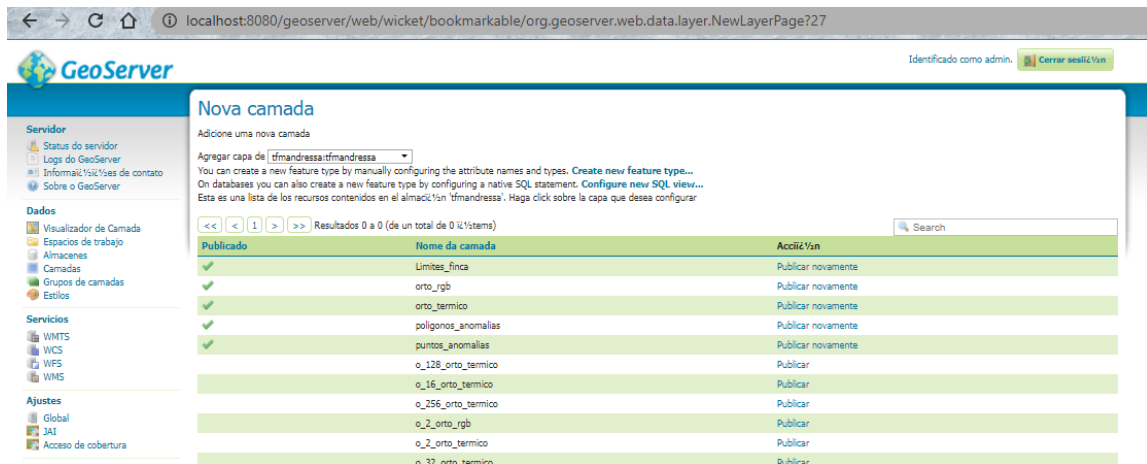


Figura 74-Capas publicadas en GeoServer
Fuente: Elaboración Propia

5.6.3.1 Definición de los estilos de las capas en GeoServer

Después de publicar las capas, es necesario definir sus estilos, para que cuando publicadas en el visualizador, presenten el color y las características de visualización que fueran definidas en QGIS.

Para eso, lo que se hace es la exportación del estilo desde QGIS, en formato .sld (Figura 75). Para hacer esto, se accede a las propiedades de la capa, luego, en la opción de definición de Simbología tendrá la opción de guardar en el formato deseado.

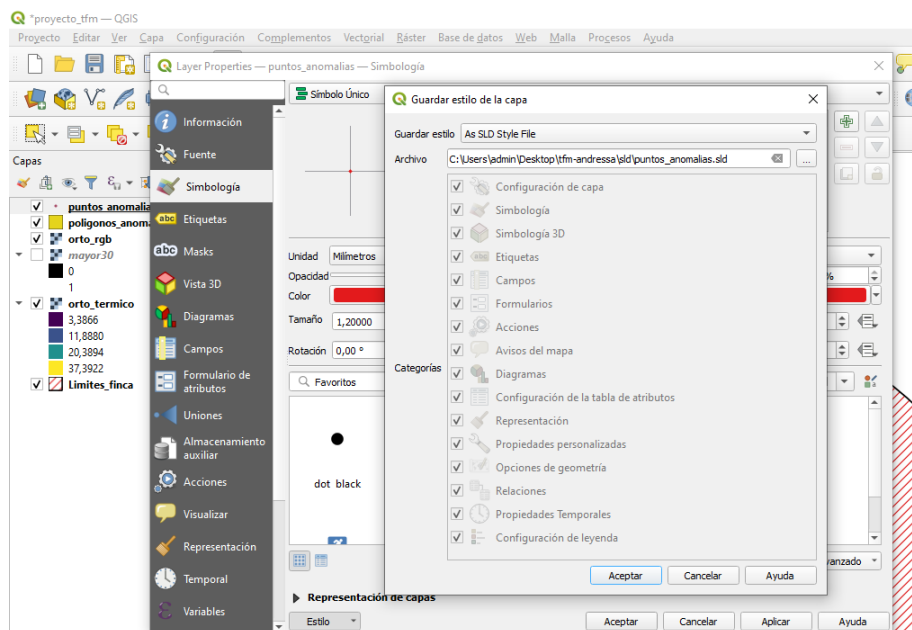


Figura 75-Guardando el estilo de las capas en formato .sld
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se hace Importación de los estilos en Geoserver, uno para cada capa (Figura 76).

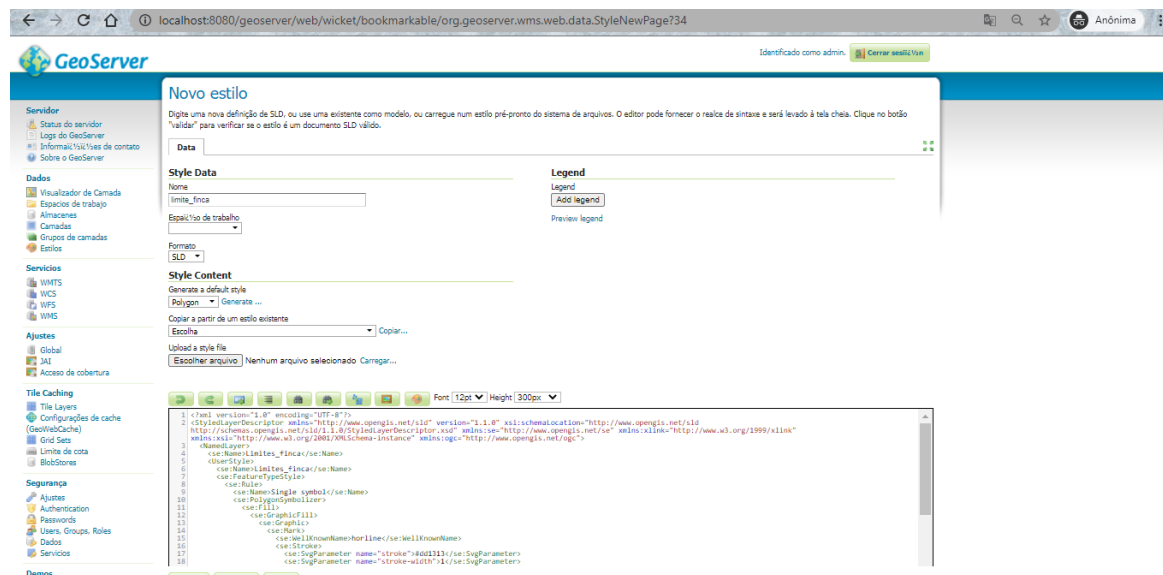


Figura 76-Importación de los archivos .SLD en Geoserver
Fuente: Elaboración Propia

Después se hace la asociación de cada estilo con la capa que le corresponde (Figura 77). Esto se hace a la hora de publicar la capa.

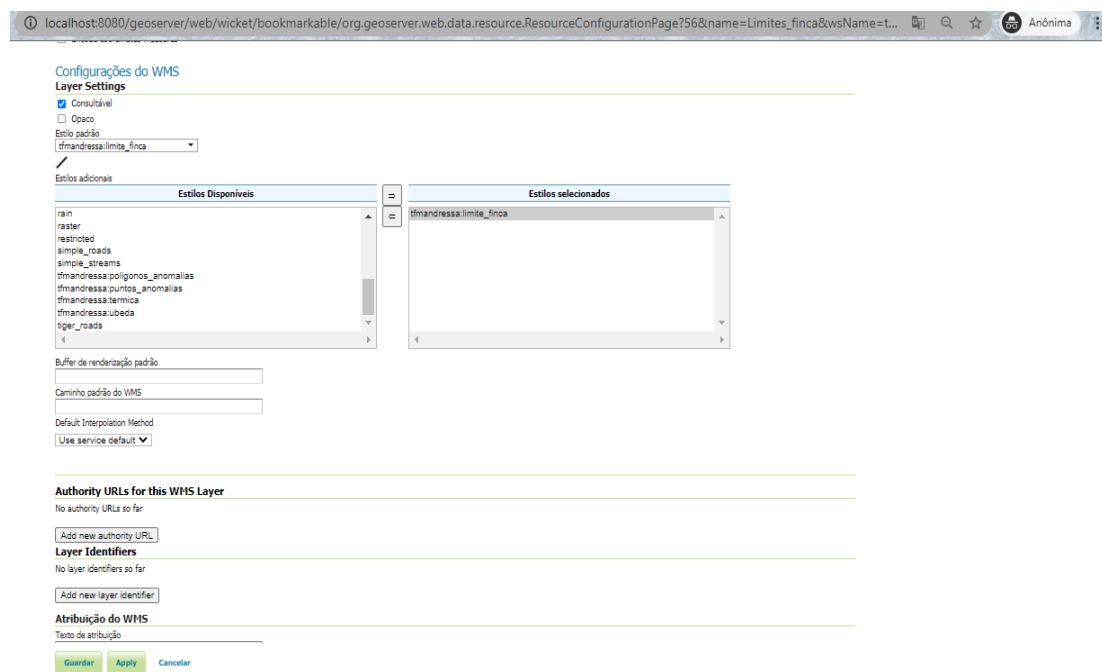


Figura 77-Enlace de los estilos con las capas.
Fuente: Elaboración Propia

5.6.4 Creación del visualizador web de mapas

El objetivo de hacer un visualizador web de mapas es simplemente por la idea de facilitar la inspección en campo por parte de los gestores. Eso porque al generar los puntos de las anomalías y pasarlos al cliente, este necesitará ir a campo averiguar qué es lo que pasa con las placas. Por eso, es interesante disponer de estos datos en una Tablet con datos geolocalizados, porque así a medida que va caminando por la planta, podrá actualizar y ver los datos de cada módulo o placa fotovoltaica.

Además de eso, en el visualizador todas las informaciones generadas pueden ser vistas sobrepuestas, organizadas, con sus estilos establecidos de manera simples y útil, además de no exigir del usuario ningún conocimiento en base de datos o softwares SIG. Para la creación del visualizador web fue utilizada la librería JavaScript opensource Leaflet.

Para edición de la página web fueron utilizadas el lenguaje HTML (para inserción de los elementos, como el mapa, las imágenes) y CSS (para definición de los estilos, como colores, tamaños, posición de estos elementos). Fue utilizado el software Notepad++ para desarrollo de la programación. El código se encuentra disponible en Anexo.

5.6.4.2 Herramientas implementadas y sus funciones

Para definición de las herramientas que serían implementadas, la idea general fue tener un visualizador lo más simple y útil posible para un administrador de una planta fotovoltaica. Entonces, los aspectos requeridos para el diseño fueron:

- Disponer de los elementos cartográficos más importantes para la visualización: Coordenadas, Escala y Sistema de Referencia (Figura 78). Para eso se utilizó una escala linear, una herramienta que dispone las coordenadas al pinchar sobre el mapa con el ratón y el sistema de referencia está ubicado en la parte de abajo del mapa.



Figura 78-Herramientas de informaciones cartográficas básicas
Fuente: Elaboración Propia

- Posibilidad de controlar las capas que se quiere visualizar: Permite la elección por parte del usuario de las capas que será en el visualizador (Figura 79).



Figura 79-Herramienta de Control de Capas
Fuente: Elaboración propia

- Posibilidad de dibujar en el mapa: Se añadió al visualizador una caja con varias herramientas de dibujo, dónde el usuario podrá dibujar puntos, líneas, polígonos, geometrías regulares, borrar o deshacer el dibujo, colorear (Figura 80).



Figura 80-Herramienta de Dibujo
Fuente: Elaboración Propia

- Posibilidad de medida de áreas y distancias: Al dibujar lineal e polígonos se enseña automáticamente la distancia o el área (Figura 81).

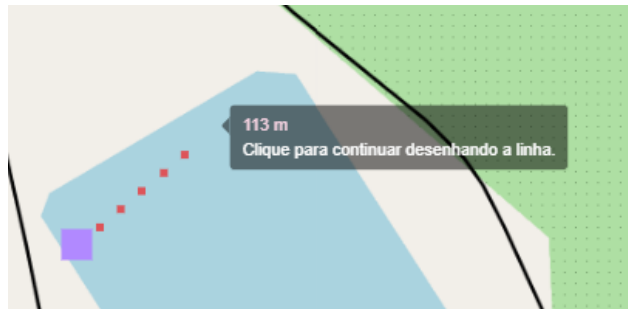


Figura 81-Herramienta de medidas
Fuente: Elaboración Propia

- Ver el mapa en pantalla completa: Se añadió una herramienta de extensión (Figura 82).

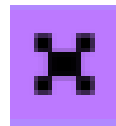


Figura 82-Herramienta de extensión
Fuente: Elaboración Propia

- Posibilidad de cambiar el zoom: Fueron puestas herramientas de zoom. En una el usuario podrá pinchar en el “+” para acercarse o en “-” para alejarse (Figura 83).

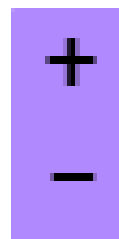


Figura 83-Herramienta de zoom
Fuente: Elaboración propia

- Leyenda: Permite que el usuario visualice las leyendas de todas las capas, imprescindibles para la correcta comprensión de las informaciones del mapa (Figura 84).



Figura 84-Herramienta de visualización de leyenda
Fuente: Elaboración Propia

- Impresión: Permite al usuario hacer una captura del mapa de acuerdo con las capas que están encendidas. Se guarda en el formato PNG automáticamente(Figura 85).



Figura 85-Herramienta de impresión
Fuente: Elaboración Propia

En las Figura 86 y Figura 87 se puede ver el visualizador y la página web creada.



Figura 86-Pantallazo Visualizador Web
Fuente: Elaboración Propia

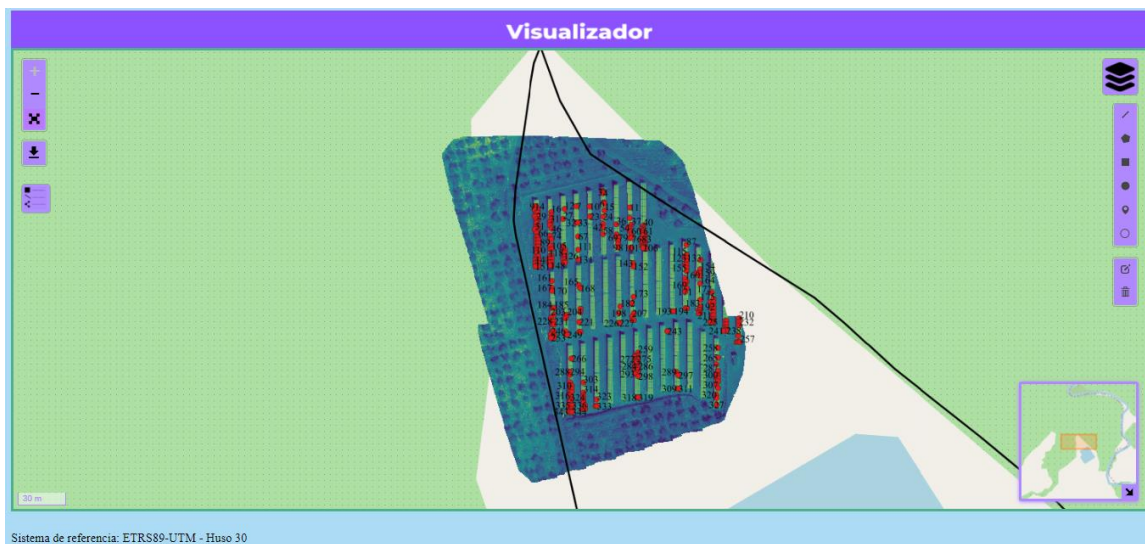


Figura 87-Pantallazo Visualizador Web
Fuente: Elaboración Propia

6. CONCLUSIONES

Este Trabajo Final del Máster en Ingeniería Geomática y Geoinformación presentó un resultado extramente útil para la monitorización o inspección de una planta fotovoltaica. Como visto, la disminución de todos los precios en el mundo, trajo como consecuencia que las instalaciones de plantas fotovoltaicas sean más y más grandes. En este sentido, el hecho de utilizar herramientas geomáticas que facilitan y aceleran el tiempo en analizar la situación de una planta fotovoltaica con hectáreas de extensión se muestra ser una solución factible, barata y rápida.

En este proyecto se demostró que todo el conocimiento obtenido en el máster, por medio de las diversas asignaturas, están interconectados y se unificados pueden generar resultados bastante satisfactorios y rentables. Además, se pudo notar lo cuanto esta integración de contenidos puede ser útil en diversas áreas, incluso en inspecciones de plantas fotovoltaicas.

Los pasos ejecutados van desde el plan de vuelo hasta el procesado de las imágenes del dron para obtención de las ortoimágenes, lo que exige conocimientos de Fotogrametría aplicada a los drones. Luego se hizo la importación de los datos en el QGIS y la generación de otros datos vectoriales, que incluye el conocimiento de los Sistemas de Información Geográfica. Seguidamente se generó la base de datos, se hizo su conexión con QGis y Geoserver y se creó el visualizar web de mapas, lo que exige conocimientos en Servicios Web Geoespaciales, Modelización de los datos, creación de las bases de datos. En resumen, se nota el uso de un conjunto bastante amplio de herramientas geomáticas.

El software QGis fue un gran aliado en este trabajo. Además de permitir la generación de los datos secundarios, permitió la conexión directa con el PostGis, lo que facilitó mucho la importación de los datos en la base de datos. Incluso de los datos de tipo ráster, por medio del complemento citado en el trabajo.

Es importante decir que en trabajos futuros lo que se buscará es analizar de manera más profunda las imágenes térmicas y el potencial de estos tipos de sensores. Además, se puede hacer un visualizador web más interactivo y la

ampliación de la base de datos para que pueda almacenar varias capturas de datos.

BIBLIOGRAFIA

Sebastiá, L. Apuntes de Bases de Datos Cartográficas. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://www.upv.es/bin2/caches/miw/visfit?id=356866&idioma=C>. Fecha de último acceso: 10/08/2021.

GEOPAISE. Modelo de Datos en un SIG. (2018). Disponible en: <https://geopaisa.blog/2018/01/10/modelos-de-datos-en-un-sig/>. Fecha de último acceso: 20/08/2021.

Espinoza Martínez, Mariela Paola (2017) *Análisis, diseño e implementación de una infraestructura de datos espaciales eólicos*. [Trabajo Fin de Máster]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/44989/>

Quiala Fuentes, J. A. (2018). Análisis de las potencialidades de la cámara NEC-AVIO F30 instalada en el Drone x8+ para el diagnóstico de sistemas fotovoltaicos (Doctoral dissertation, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales).

Asitimbay, M., 2018. Metodo de deteccion de puntos calientes en paneles solares.s.l.:s.n.

Escalante, J., J. Caceres & H. Porras, 2016. Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV.s.l.:s.n.

Guerrero Liquet, G. C., García Cascales, M. S., & Sánchez Lozano, J. M. (2018). TECNOLOGÍA DRON APLICADA A LA GESTIÓN DE LAS PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS PARA OPTIMIZAR EL PROYECTO.

Montaño Gómez, M. F., Ulloa Ayala, J. S., & Castellanos Benavides, J. S. (2021). Implementación de la termografía aérea con drones en la inspección de granjas solares (Bachelor's thesis, Ingeniería en Energías).

Almeida, R. A. (2021). Avaliação das Potencialidades da Termografia de Infravermelhos Associada a Drones para a Inspeção Digital de Edifícios.

Morales Le-Roy, P. (2020). Detección de anomalías en paneles fotovoltaicos en base a imágenes multiespectrales. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173935>. Fecha de último acceso: 26/08/2021.

Pino V., Edwin. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. Idesia (Arica), 37(1), 75-84. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>

Mesas-Carrascosa, F. J., Pérez-Porras, F., Meroño de Larriva, J. E., Mena Frau, C., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., ... & García-Ferrer, A. (2018). Drift correction of lightweight microbolometer thermal sensors on-board unmanned aerial vehicles. Remote Sensing, 10(4), 615.

L.E. Ituarte ; S.L. Martínez ; E.E. Tarifa. Monitoreo en plantas fotovoltaicas: una revisión de técnicas y métodos utilizando imágenes termográficas. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/130030/CONICET_Digital_Nro.9d448fcd-d43d-4588-8fe0-e86a27177fe9_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Fecha de último acceso: 20/08/2021.

Espejo-Marín, C. y Aparicio-Guerrero, A.E. (2020). La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España en el siglo XXI. Revista de Estudios Andaluces, 39, 66-93.

Espejo-Marín, C. y Aparicio-Guerrero, A. E. (2020). La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el Siglo XXI. Revista de Estudios Andaluces, 39, 66-93. <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2020.i39.04>

ENLACES A TUTORIALES DE LOS SOFTWARES UTILIZADOS

PIX4Dmapper: <http://www.gisandbeers.com/manual-de-pix4d-mapper-castellano/>

QGIS: https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/training_manual/index.html

POSTGRESQL/POSTGIS: <http://index-of.co.uk/SERVIDORES/Postgres-User.pdf>

PGADMIN: <http://www.v-espino.com/~chema/daw1/tutoriales/postgres/pgadmin1.htm>

GEOSEVER: <https://docs.geoserver.org/stable/en/user/>

LEAFLET: <https://openlayers.org/en/latest/examples>