Evaluación de captadores fotovoltaicos para suministro complementario de energía en aeronaves remotamente tripuladas⁷⁴

Evaluation of photovoltaic collectors for supplementary energy supply in remotely manned aircraft

Yilver Orley Mendoza Prieto¹; Sebastián Sopo Piraquive² y Edison Alexis Torres Garzón^{3*}

(1) Escuela de Comunicaciones Militares, Facatativá - Colombia, ymendozap@imi.mil.co

(2) Universidad Militar Nueva Granada - UMNG, Bogotá - Colombia, est.sebastian.sopo@unimilitar.edu.co

(3) Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Facatativá - Colombia, edtorres@sena.edu.co

* Autor a quien se dirige la correspondencia

Resumen

El uso de paneles solares en aeronaves remotamente tripuladas (ART) o drones no es muy común, y aunque viene estudiándose desde hace unos 20 años apenas en los últimos años es que ha sido estudiado más profundamente. En este artículo se hace una revisión exploratoria de tecnologías relacionadas que permita observar las tendencias tecnológicas sobre el uso de la energía solar para la alimentación eléctrica de ART's. Para ello se realizó una conceptualización teórica de los requerimientos tecnológicos, luego se realizó una búsqueda de palabras claves en publicaciones científicas relacionadas con el tema de investigación y se analizaron con Bibliometrix. En los resultados se muestran los principales conceptos relacionados, los componentes para la implementación, usos y funcionamiento como complemento de otras fuentes de alimentación tradicionales y emergentes. Como conclusión se presenta la viabilidad de utilizar la energía fotovoltaica para las ART's; aunque hace falta seguir estos estudios, también se deja una base conceptual que servirá para realizar trabajos futuros.

Palabras clave: ART; Dron; Alimentación Fotovoltaica; Bibliometrix; Energía Solar.

Abstract

The use of solar panels in remotely pilot aircraft (RPA) or drones is not very common, since although it has been studied for about 20 years, only in recent years it has been studied more deeply. This article makes an exploratory review of related technologies that allows observing the technological trends on the use of solar energy to power RPA's. For this, a theoretical conceptualization of the technological requirements was carried out, then a keyword search was carried out in scientific publications related to the research topic and they were analyzed with Bibliometrix. The results show the main related concepts, the components for implementation, uses and operation as a

74 Artículo de revisión bibliográfica de la Escuela de Inteligencia y Contrainteligencia "BG. Ricardo Charry Solano" y del Batallón de Investigación Desarrollo e Innovación de Inteligencia BAIDI

complement to other traditional and emerging power supplies. As a conclusion, the feasibility of using photovoltaic energy for RPA's is presented, although these studies need to be followed, a conceptual basis is also left that will serve to carry out future work.

Keywords: RPA; Drone; Photovoltaic Power; Bibliometrix; Solar Energy.

Introducción

Una Aeronave Remotamente Tripulada (ART) o comúnmente conocida como Dron, puede tener diferentes configuraciones para sus aplicaciones en cada uno de sus diferentes módulos, como por ejemplo, su estructura, chasis, configuración electrónica (baterías, piloto, controladores de velocidad) y sensores; su operación se hace de forma autónoma, gracias a la implementación de sistemas electrónicos que permiten que el dron tenga diferentes modo de vuelo y ayude con el despegue y aterrizaje, disminuyendo al máximo cualquier error durante alguna operación de vuelo. Para lograr todos estos objetivos básicos es necesaria una fuente de energía sostenible, y es allí donde juegan un papel importante los paneles solares, los cuales alimentarán las baterías por medio de circuitos electrónicos, ayudados de microcontroladores que harán la tarea de distribuir la energía obtenida de forma eficiente, salvaguardando la integridad de los motores y las baterías, las cuales son cruciales para desempeñar con autonomía las labores que se le tengan programadas o destinadas a la aeronave no tripulada (Correa Castillo, 2018).

Es necesario identificar la aplicación para la cual se va a estar utilizando la ART, que para aplicaciones de inteligencia, reconocimiento y vigilancia maneja diferentes disciplinas como, por ejemplo, inteligencia de señales (SIGINT), inteligencia de imágenes (IMINT) (Jakob et al., 2017) e inteligencia de medidas y huellas distintivas (MASINT). Teniendo en cuenta los sensores que se utilizarán para cada disciplina, dependerá qué tipo de baterías sean las más adecuadas, porque no es lo mismo llevar a cabo una misión de sobrevolar un cultivo ilegal de unas veinte a cuarenta hectáreas, que sobrevolar un bosque de selva tropical con posible minería ilegal, con extensiones de cincuenta a doscientas hectáreas de terreno por cubrir. Cabe tener en cuenta que el tiempo que vaya a durar en operación la aeronave remotamente tripulada debe ser un parámetro fundamental en la planeación de autonomía de la misma.

Con el pasar de los años se han realizado múltiples investigaciones que buscan la forma de que el abastecimiento energético sea más eficaz y que afecte menos el ambiente. Desde que se inventó la primera celda solar se ha venido innovando la manera de implementar paneles solares para disponerlos en aplicaciones que lo requieran (Cole & DeYoung, 2012); entre estas aplicaciones encontramos la aeronáutica. Dado que cada celda puede generar una cantidad reducida de electricidad en sus orígenes, se destinaron a alimentar consumos pequeños con requerimientos particulares. Con el avance tecnológico y de eficiencia en materiales semiconductores las implementaciones de estos sistemas de generación de energía se han diversificado, requiriendo que estas celdas se les agrupen en arreglos serie-paralelo, formándose paneles solares para aumentar la potencia generada (Correa Castillo, 2018).

Alimentación eléctrica de las ART

Debido a los avances tecnológicos que han ocurrido durante la última década en temas relacionados con las aeronaves no tripuladas y en los sistemas de adquisición de datos (sensores), se ha hecho necesario evaluar la implementación de sistemas de generación de energía en las aeronaves no tripuladas para aumentar la autonomía de operación tanto de las mismas como de los sensores conectados a estos, es por esto que se han realizado diferentes investigaciones las cuales están basadas en la búsqueda y diseño de sistemas de suministro de energía para los distintos equipos o elementos de los drones, teniendo en cuenta características específicas, como lo es la funcionalidad, tamaño y peso para los radiotransmisores, receptores de radio, cámaras de FPV, sistemas de GPS, instrumentos de telemetría, entre otros (Dochew et al., 2018).

Las aeronaves remotamente tripuladas son un tipo de robot aéreo que permite explorar zonas de forma remota para llevar a cabo determinadas tareas; en este caso se propone una ART de ala fija, la cual es ampliamente usada en equipos de mapeo y monitoreo., Este tipo de ART tiene un tiempo de vuelo limitado, debido a que la batería utilizada también contiene una capacidad limitada, ya que su peso no puede superar más de 2 kg; por esta razón debe regresar para hacer un reemplazo de baterías antes de terminar su misión. Este artículo se basó en investigar cómo se ha resuelto este problema mediante el uso de paneles solares en las alas para aumentar el tiempo de vuelo, teniendo como carga máxima 2.125 kg, una velocidad de crucero de 18 m/s, una envergadura de 1.63 metros y una superficie de ala de 0.37m²; las celdas solares utilizadas en este caso fueron las Sunpower c60 de las cuales se instalaron 10 piezas en serie con un 21% de eficiencia máxima y un total de 0.132 m² de área en la superficie (Ridwan & Alfindo, 2019).

Este sistema de carga está integrado con componentes electrónicos, como lo es el motor sin escobillas de 290 W de potencia máxima, una batería 4S Sony de 3000 mA, un módulo lm 2587 y un controlador de carga solar de Arduino. Los resultados de este experimento demostraron que el uso de paneles solares a microescala puede generar un tiempo de vuelo adicional a 2 minutos, con una intensidad de radiación solar media de 926.46 W/m²; estas celdas solares producen una potencia media de 15.14 W con una eficiencia máxima del 14.8% y un tiempo de vuelo total de 15 minutos, con lo cual se concluye que la adición de paneles solares en las ART de tipo ala fija se puede implementar eficientemente (Ridwan & Alfindo, 2019).

En Indonesia se encuentran los trópicos con mayor radiación solar promedio diaria, por lo que este país contiene buenas perspectivas para el uso de la energía solar. Esta energía también se puede clasificar como energía renovable para reducir o reemplazar el uso de las energías fósiles. Este tema es una evolución constante acerca de las energías renovables en varios sectores, incluidos los vehículos aéreos no tripulados (Zhu et al., 2021); la aplicación de este tipo de vehículos en el campo militar permite generar misiones de vigilancia en zonas fronterizas y seguimiento continuo a la cartografía, para garantizar la soberanía de un país (Vidales, 2013).

La única aplicación que es capaz de volar durante 48 horas seguidas es el SoLong UAV, porque utiliza una combinación de baterías de iones de litio con SunPower de 300 A, pero este sólo puede volar durante la noche, a diferencia de las investigaciones de los

drones solares que se hacen en el día y en aviones no tripulados de gran escala, dado que es más flexible aplicar las células solares a este tipo de drones que usualmente tienen 1.6 metros y no superan más de 2.5 kg (Fee et al., 2005).

Las medidas ambientales, como temperatura, viento, velocidad e irradiancia permiten tener una configuración de paneles solares plenamente operados. En el artículo *"Dataset for recognition of snail trails and hot spot failures in monocrystalline SI solar panels"* formaron una matriz fotovoltaica de 4 paneles monocristalinos en serie y un equipo electrónico que emula una carga real, para así poder adquirir imágenes de condiciones meteorológicas en un área específica. Los paneles generaron una potencia máxima de 85 W, mientras que la carga electrónica generó una potencia máxima de 1200 W. Para emular la carga real se colocaron los paneles solares en serie para medir correctamente la irradiancia; también se debe tener en cuenta la altura a la que estos se colocan para que las medidas tomadas no varíen. Este proyecto se implementó en Cali, Colombia, entre las 10:00 y 14:00 horas del día, puesto que es donde se presenta el pico máximo de niveles de irradiancia, estando aproximadamente en 800 W/m² (Alfaro-Mejía et al., 2019).

Es importante recalcar que el período de recuperación de inversión de las plantas de energía solar varía de 7 a 10 años, con lo cual es necesario encontrar rápidamente aquellos paneles solares que están defectuosos; es por esto que el sistema de tarifas de alimentación (FIT) en Japón investiga mediante una aplicación la detección de fallas de paneles solares, usando termógrafos con imágenes capturadas por drones, las cuales evidenciaron que si una planta tiene alrededor de 3500 paneles solares 17.5 de ellos fallarán cada año (HIGUCHI & BABASAKI, 2018).

Existen diferentes tipos de anomalías que ocurren en los paneles solares, como lo son las grietas, falla de celdas, falla de clúster, falla de panel, cadena de desconexión y sombras; es por esto que la técnica más eficiente se basa en medir el calor que genera un panel solar mediante una cámara termográfica para detectar si está en funcionamiento o no. Esto es una tarea difícil porque como mínimo se necesitan 10 horas para inspeccionar una planta solar de 2 MW, por ello la implementación de drones para la detección de este tipo de anomalías reduce aún más la operación de tiempo en áreas que estén fallando (Higuchi & Babasaki, 2018).

A diferencia del anterior autor, este propone combinar dos técnicas para detectar anomalías en los paneles solares, debido a que para él ni la imagen RGB ni la imagen térmica son suficientes para extraer información acerca de la energía solar; por esta razón se utilizan ambos tipos de imágenes las cuales permiten encontrar la matriz de paneles solares mediante la imagen RGB y detectar el panel defectuoso mediante la imagen térmica. Es importante recalcar la labor que se utiliza para el mantenimiento y suministro de paneles solares, pues en el mercado abunda esta energía alternativa, pero es insuficiente en comparación a la demanda el mantenimiento y reparación de estos sistemas de manera automática, y una respuesta a este mejoramiento es el uso de drones en paneles solares (Lee et al., 2018).

Baterías de litio

La ciencia ha tenido avances significativos en lo que concierne a la creación de nuevas tecnologías que lleven a mejores sistemas de acumulación de energía que contribuyan a disminuir el impacto ambiental negativo que genera en el medio ambiente y la reducción del costo de estos sistemas, es por esto que se ha impulsado el uso de sistemas de baterías que permitan un número de ciclos y una profundidad de descarga estacional mayor, todo esto enfocado en la utilización de este tipo de acumuladores en vehículos aéreos no tripulados. Para ilustrar de una manera más gráfica la evolución tecnológica que han tenido algunos medios de transporte se puede ejemplificar con autobuses híbridos o eléctricos, porque es un excelente referente en cuanto que ellos vienen de la era de la gasolina y el diésel, combustibles que contaminaron por varias décadas. También cabe aclarar que su eficiencia con los años mejoró bastante, pero no dejan de ser combustibles contaminantes (Göhlich et al., 2018).

A lo largo de los años la ciencia ha considerado varias químicas de la batería, que van desde baterías como las de hidruro metálico de níquel (NiMH), utilizadas en vehículos eléctricos híbridos como el Toyota Prius, a varias baterías de litio, níquel, cobalto, óxido de aluminio (NCA) para Tesla Model S, baterías de fosfato de hierro y litio (LFP) para BYD en autobuses eléctricos, baterías de titanato de litio (LTO) para autobuses eléctricos PROTERRA, óxido de litio y manganeso (LMO) para Nissan Leaf, Chevy Volt y BMW i3. Entre estos, las baterías LFP, LTO y NMC son los tipos de celda más adecuados utilizados en autobuses (Göhlich et al., 2018; Gong & Verstraete, 2017).

Las celdas de iones de litio se fabricaron con distintas variantes en sus químicas, las cuales muestran características distintas en términos de voltaje de cada celda, densidad de energía, velocidad de carga máxima y ciclo de vida. Un factor a tener en cuenta, además de la capacidad de la batería y la potencia de carga, es la longevidad de la batería y su degradación, los cuales usualmente se nombran en términos de estado de salud (SOH) que involucra principalmente disminución de la capacidad de la batería y aumento de la resistencia interna (Khonji et al., 2017), lo que hace que la batería no sea adecuada en aplicaciones donde se someta a repetidos ciclos de carga y descarga, como puede ser este caso en los drones (Aurbach, 2000).

Circuitos de control de la Energía Eléctrica

Existe gran variedad de controladores en un dron. Se puede partir del hecho de cómo se va a usar dicho dispositivo electrónico, ya sea para el control de los motores, la recepción y transmisión de señales de comunicación o control de la energía que entregan las baterías. A continuación se explican los controladores electrónicos de velocidad para alcanzar la máxima eficiencia posible, incluyendo capacidad de inversión de giro de los motores a alta velocidad para un movimiento más estable. Dicha electrónica también va acompañada de un algoritmo de software que estima el flujo del rotor, el ángulo, la velocidad y el par de torsión; estos parámetros del motor se utilizan para ajustar el ancho de banda de control de corriente y voltaje del mismo, pues cuando el dron esté emprendiendo vuelo las baterías tendrán que entregarle más corriente y voltaje de la promedia utilizada con el fin de romper la inercia y la gravedad que lo tienen atado al suelo, y es allí donde el circuito de control entra en operación, brindando la cantidad de energía suficiente para no quemar los motores o sobrecargar otros subsistemas (Kim et al., 2019).

En este punto es muy importante escoger el arreglo electrónico conveniente para diseñar un sistema de aprovechamiento de energía solar con paneles solares para mejorar la autonomía del dron; se debe tener muy en cuenta el conexionado o arreglo de los paneles solares, puesto que de esto depende cuánta potencia le entregará al circuito de control, ya sea de forma paralela, serie o combinaciones de ambos. Aquí se deberá escoger el arreglo que sobrepase el voltaje de la batería del dron y el voltaje nominal de alimentación del circuito de control para su óptimo funcionamiento (Mesbahi et al., 2017); así mismo la alimentación de los sensores Lidar, acústico, multiespectral y que genere la mayor cantidad de corriente posible, dado que cuanto esta produzca más, la carga es más eficiente y rápida. Además, el circuito debe contar con un acoplador de impedancias, debido a que siempre al conectar dos dispositivos de diferentes características técnicas, y que no sean del mismo fabricante, sucederá una diferencia de impedancias que ocasionará pérdidas de voltaje o disminuciones en el mismo, por otro lado (Elliott & Piszczor, 2016).

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se realiza una búsqueda en fuentes indexadas presentes en la base de datos Scopus; esta presenta la información de título, palabras clave, resumen y bibliografía, entre otros datos que están disponibles y se pueden acceder sin adquirir el artículo. Con estos datos es posible realizar una bibliometría con el uso de Bibliometrix – Biblioshiny; se realizó un análisis de palabras conjuntas y aparición de las mismas en los artículos con el objetivo de mapear la estructura conceptual de un marco utilizando las coincidencias de palabras en una colección bibliográfica y su evolución en el tiempo. Para ello se emplearon las “KeyWords Plus”, que son términos de índice generados automáticamente en los metadatos a partir de los títulos de los artículos citados. Estos términos deben aparecer más de una vez en la bibliografía y están ordenados desde frases de varias palabras hasta términos individuales, aumentando la recuperación tradicional de palabras clave o títulos. El algoritmo de búsqueda utilizado se describe a continuación:

(TITLE – ABS – KEY (drone*) OR TITLE – ABS – KEY (uav*) AND TITLE – ABS – KEY (photovoltaic AND powered))

Resultados

La búsqueda con las palabras claves no se limitó en tiempo inicial, dado que la tecnología de Aeronaves Remotamente Tripuladas es relativamente reciente; se obtuvieron resultados desde 1996 un total de 59 documentos entre artículos, artículos en prensa, capítulos de libro, resultados de conferencia y revisiones. También hay un total de 573 *Keyword Plus*. Los resultados obtenidos con el uso de Biblioshiny se muestran en la Tabla 1.

•**TABLA 1**• Documentos de Scopus sobre Drones y UAVs relacionados con alimentación fotovoltaica

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1996:2020
Sources (Journals, Books, etc)	50
Documents	59
Average years from publication	6,51
Average citations per documents	9,61
Average citations per year per doc	1,236
References	1079
DOCUMENT TYPES	
Article	21
article in press	1
book chapter	1
conference paper	33
Review	3
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	573
Author's Keywords (DE)	178
AUTHORS	
Authors	177
Author Appearances	209
Authors of single-authored documents	2
Authors of multi-authored documents	175
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored documents	2
Documents per Author	0,333
Authors per Document	3
Co-Authors per Documents	3,54
Collaboration Index	3,07

Fuente: elaboración propia a través de Bibliometrix - Biblioshiny

Con el uso de las *Keywords Plus* se hace un mapa de árbol de palabras, como puede observarse en la Figura 1, en la que se presentan las palabras más frecuentes y se grafican según su cantidad con un cuadro, el cual, entre más a la izquierda y más grande sea, significa que su aparición es mayor. En este caso, las palabras más frecuentes son “un-

manned aerial vehicles (UAV) y *photovoltaic cells*”, lo cual resulta coherente por ser las palabras claves en la búsqueda. Por otra parte, a la derecha, y en cuadros más pequeños, se observan las palabras de menor frecuencia como “*aerial photpgraphy, photovoltaic arrays y renewable energies*”, las cuales son menos frecuentes, pero relacionadas con el tema principal.

•FIGURA 1• Mapa de Árbol de Keywords Plus

Fuente: elaboración propia a través de Bibliometrix - Biblioshiny

Otro resultado interesante con las *Keywords Plus* es la red de coocurrencia, cuyo objetivo es el análisis de palabras conjuntas con el fin de mapear la estructura conceptual de un marco, utilizando las coincidencias de palabras en una colección bibliográfica, como se muestra en la figura 2. Allí se destaca la conexión del concepto de UAV con energía solar y funcionamiento con energía solar (en azul); también se destaca su relación en generación de energía solar con misiones de vigilancia y fotografía aérea (en verde); de la misma forma, su relación entre células fotovoltaicas con sistemas híbridos de potencia (en rojo) y, finalmente, células de combustible con la palabra hidrógeno (en violeta), solo por nombrar algunas.

• **FIGURA 2.** Red de coocurrencia de Keywords Plus

Fuente: elaboración propia a través de Bibliometrix - Biblioshiny

Discusión

Durante la revisión bibliográfica realizada se evidencia que una de las alternativas más viable de generación de energía eléctrica es la implementación de sistemas de captación fotovoltaica, debido a su peso reducido, y en algunos tipos de tecnologías su flexibilidad permite que se adapten de una manera eficiente a la estructura de la Aeronave Remotamente Tripulada o dron. Para la generación de energía por elementos fotovoltaicos se debe tener en cuenta como parámetros básicos las siguientes consideraciones: la cantidad de radiación global del sitio donde se realizan los trabajos o misiones del ART, la generación de voltaje en circuito abierto, voltaje en el punto de máxima potencia, corriente en punto de máxima potencia, corriente en corto circuito, peso de la celda fotovoltaica y potencia de la celda fotovoltaica (Dochev et al., 2018).

En este sentido existen varias tecnologías para alimentación con células fotovoltaicas y que buscan utilizar la energía del sol para alimentar los sistemas de propulsión de los drones o aeronaves remotamente tripuladas, como también para los sensores que llevan cargados. Cualquiera que sea el uso necesita el desarrollo de sistemas de conversión y almacenamiento de energía, esto se observa en los mapas de palabras y la red de coocurrencia; sin embargo, también se evidencia el uso de sistemas híbridos desde los medios convencionales con baterías y la generación eléctrica con otras fuentes como el hidrógeno. Los paneles o celdas solares son los conceptos más frecuentes en los documentos analizados.

Se debe considerar que durante la búsqueda bibliográfica un resultado recurrente en las palabras claves es generación de energía solar fotovoltaica relacionada con la radiación solar, es por esto que, según el estudio realizado en el caso de estudio "Application

of photovoltaic cells as a source of energy in unmanned aerial vehicle (UAV)”, se evidencia que la energía solar se puede utilizar como fuente de energía en los UAV en los meses de primavera y verano. La variación en la irradiancia mensual es vital para los vehículos propulsados por energía solar, ya que para que estos vehículos puedan funcionar todo el día en otoño e invierno, se deben agregar las baterías adicionales. Este es un gran problema debido al aumento del peso de la aeronave y la reducción de tiempo de autonomía de vuelo (Papis, Karolina et al., 2020).

En los circuitos de control de energía eléctrica se debe contar con un sensor de corriente y voltaje, el cual es el encargado de medir la cantidad de corriente restante en la batería que se suministra al dron, y a través del sensor de voltaje se mide la tensión de la batería acumulado en función del tiempo durante el proceso de descarga, y de esta manera se determina la potencia eléctrica, enviando esta información al circuito controlador y procediendo a realizar un análisis cuantitativo de los datos en función del tiempo; este proceso de comunicación constante de la batería con el controlador es de vital importancia en la operación del dron, ya que si se encuentra la batería con un nivel de carga bajo después de un largo tiempo de trabajo, el dron deberá tener la capacidad de regresar de forma autónoma a la base en tierra desde donde fue lanzado, para que no se caiga en pleno vuelo e incurrir en labores de búsqueda y rescate, además de contar con que no sufra daños catastróficos en los cuales se pueda perder la información recolectada previamente por los sensores acoplados al mismo.

La administración de energía en los UAV es uno de los principales retos, y con el propósito de que este control sea posible se tienen que desarrollar sistemas de control y monitoreo de energía, los cuales, para el caso del proyecto planteado en el artículo *“Development and verification of hybrid power controller using indoor HIL test for the solar UAV”*, se realizan por medio de un sistema híbrido de poder (HPS), el cual consta de módulos fotovoltaicos, un paquete de baterías LiPo y un UAV, todos estos componentes están completamente automatizados mediante una combinación de Pixhawk 2.1 y Raspberry Pi 3. En este estudio se obtienen como resultado los perfiles de carga de las baterías y los perfiles de producción de energía de los módulos fotovoltaicos, determinando que si es viable la implementación de este tipo de tecnologías de producción de energía en los UAV (Jung, 2020). En esta investigación se ve reflejado cómo los conceptos de energía solar y control híbrido de energía se relacionan.

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) tienen una amplia gama de aplicaciones en campos militares y civiles. El desarrollo de los UAV con funcionamiento completamente eléctrico se ha convertido en un punto de partida para la investigación, debido a sus características técnicas de bajas vibraciones y baja de contaminación libres de emisiones. El mejoramiento de la resistencia mecánica de los UAV, la capacidad de generación mediante el uso de la energía solar y la energía del hidrógeno como un componente del sistema acumulación de energía limpia se han convertido en los caminos técnicos más viables a investigar. En el artículo de investigación *“Review of development of light and small scale solar/hydrogen powered unmanned aerial vehicles”* se discuten los métodos de diseño conceptual de los UAV propulsados por energía solar y de hidrógeno y el desarrollo de sistemas propulsados por energía (LIU Li ZHANG Xiaohui, HE Yuntao, n.d.).

Conclusiones

El uso de herramientas de análisis sistemático como bibliometrix permite realizar un análisis cuantitativo de la generación de conocimiento disponible en las diferentes bases de datos científicas, lo cual permite a su vez trazar una ruta **más** clara al consultar producción científica. Para el caso de la revisión bibliográfica realizada es importante resaltar que mediante los resultados arrojados del análisis sistemático se **logró** identificar un total de 21 artículos científicos publicados en revistas y 33 conference papers, los cuales fueron consultados para la realización de la presente investigación.

El uso Aeronaves Remotamente Tripuladas para aplicaciones militares, enfocado a la recolección de información para las distintas actividades de inteligencia SIGINT, IMINT, MASINT, está limitado por la autonomía energética con que se planee la misión de vuelo; es por esto que se deben conocer aspectos claves como el tiempo de operación del vehículo, los parámetros ambientales de la posición geográfica a donde se van a realizar las operaciones, la topografía del lugar, entre otras (ZHU Lihong HU Wentao, LI Chuan, FU Zengying, YU Zhihang, LIU Zhengxin, n.d.).

Para el caso de la implementación de un sistema de generación de energía fotovoltaica en Aeronaves Remotamente Tripuladas se debe tener en cuenta el tipo de celdas fotovoltaicas a instalar, debido a que dichas celdas comercialmente tienen presentaciones rígidas, las cuales no favorecen la aerodinámica del ART, evidenciando que la opción más viable es el uso de celdas fotovoltaicas flexibles, las cuales permiten un mejor acoplamiento del chasis de la aeronave, como lo son las celdas CIGS (Cobre, Indio, Galio Selenio/Azufre).

En el sistema de acumulación de energía para el suministro eléctrico de los UAV se contempla el uso de un sistema de acumulación basado en baterías de tecnología de litio tipo LIPO, las cuales se consiguen de forma fácil en el comercio y, debido a sus características técnicas eléctricas, permiten un menor peso, una velocidad de carga alta y una tasa de descarga profunda mayor al resto de baterías que se encuentran en el comercio; todo esto permite que este tipo de vehículos UAV sean más ligeros y pequeños.

Se hace necesario el desarrollo de un sistema de control de las distintas etapas de potencia del UAV, para aumentar la eficiencia energética del vehículo, permitiendo una mayor autonomía en el funcionamiento de los sensores o en el tiempo de vuelo de la misión.

Glosario técnico

- **ART:** Aeronaves Remotamente Tripuladas.
- **Bibliometrix:** Es una herramienta de código abierto para la investigación cuantitativa en cienciometría y bibliometría, que incluye todos los principales métodos bibliométricos de análisis.
- **Dron:** Pequeño vehículo aéreo no tripulado.
- **FPV:** Pilotaje con visión remota.
- **GPS:** Sistema de Posicionamiento Global.

- **IMINT:** Inteligencia de imágenes.
- **Lidar:** Dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie, utilizando un haz láser pulsado.
- **MASINT:** Inteligencia de medidas y huellas distintivas.
- **Sensores:** Dispositivo que capta magnitudes físicas.
- **SIGINT:** Inteligencia de señales.
- **Telemetría:** Tecnología que permite la medición y control remoto de variables físicas o químicas.

Referencias

- Alfaro-Mejía, E., Loaiza-Correa, H., Franco-Mejía, E., Restrepo-Girón, A. D., & Nope-Rodríguez, S. E. (2019). Dataset for recognition of snail trails and hot spot failures in monocrystalline Si solar panels. *Data in Brief*, 26, 104441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104441>
- Aurbach, D. (2000). Review of selected electrode–solution interactions which determine the performance of Li and Li ion batteries. *Journal of Power Sources*, 89(2), 206–218. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(00\)00431-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00431-6)
- Cole, S. K., & DeYoung, R. J. (2012). Preliminary Design of a Solar Photovoltaic Array for Net-Zero Energy Buildings at NASA Langley. In *NASA Center for AeroSpace Information (CASI). Reports*. NASA/Langley Research Center. <https://login.bdigital.sena.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/reports/preliminary-design-solar-photovoltaic-array-net/docview/2128378779/se-2?accountid=31491>
- Correa Castillo, M. Á. (2018). *Diseño y construcción de un sistema de aprovechamiento de energía solar para el mejoramiento de la autonomía de un Drone* [Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/16565>
- Dochev, I. N., Docheva, L. E., & Manev, S. (2018). Embedding of Communication and Measurement Equipment in Drones. *2018 IX National Conference with International Participation (ELECTRONICA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ELECTRONICA.2018.8439615>
- Elliott, F. W., & Piszczor, M. F. (2016). Solar Power Generation in Extreme Space Environments. In *NASA Center for AeroSpace Information (CASI). Misc. Resources*. NASA/Langley Research Center. <https://login.bdigital.sena.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/other-sources/solar-power-generation-extreme-space-environments/docview/2128048493/se-2?accountid=31491>
- Fee, D., Bridgeman, J., Cocconi, A., & Grim, C. (2005). *AC Propulsion's Solar Electric Powered SoLong UAV*. <https://acpropulsion.com/>

- Göhlich, D., Fay, T.-A., Jefferies, D., Lauth, E., Kunitz, A., & Zhang, X. (2018). Design of urban electric bus systems. *Design Science*, 4, e15. <https://doi.org/DOI: 10.1017/dsj.2018.10>
- Gong, A., & Verstraete, D. (2017). *Design and Bench Test of a Fuel-Cell/Battery Hybrid UAV Propulsion System using Metal Hydride Hydrogen Storage*. <https://doi.org/10.2514/6.2017-4867>
- HIGUCHI, Y., & BABASAKI, T. (2018). Failure detection of solar panels using thermographic images captured by drone. *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 391–396. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2018.8566833>
- Jakob, S., Zimmermann, R., & Gloaguen, R. (2017). The Need for Accurate Geometric and Radiometric Corrections of Drone-Borne Hyperspectral Data for Mineral Exploration: MEPHySTo—A Toolbox for Pre-Processing Drone-Borne Hyperspectral Data. In *Remote Sensing* (Vol. 9, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/rs9010088>
- Jung, S. (2020). Development and Verification of Hybrid Power Controller Using Indoor HIL Test for the Solar UAV. *Energies*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/en13082110>
- Khonji, M., Alshehhi, M., Tseng, C.-M., & Chau, C.-K. (2017). Autonomous Inductive Charging System for Battery-Operated Electric Drones. *Proceedings of the Eighth International Conference on Future Energy Systems*, 322–327. <https://doi.org/10.1145/3077839.3078462>
- Kim, J., Kim, S., Jeong, J., Kim, H., Park, J., & Kim, T. (2019). CBDN: Cloud-Based Drone Navigation for Efficient Battery Charging in Drone Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20, 4174–4191. <https://www.semanticscholar.org/paper/CBDN%3A-Cloud-Based-Drone-Navigation-for-Efficient-in-Kim-Kim/502949224bdb87a1e3c41e4966d98397e62a038c>
- Lee, S., An, K., Jeon, B. D., Cho, K. Y., Lee, S. J., & Seo, D. (2018). Detecting faulty solar panels based on thermal image processing. *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 1–2. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8326228>
- LIU Li ZHANG Xiaohui, HE Yuntao, C. A. O. X. (n.d.). Review of development of light and small scale solar/hydrogen powered unmanned aerial vehicles. In *ACTA AERONAUTICAET ASTRONAUTICA SINICA* (Vol. 41, Issue 3, p. 623474). <http://hkxb.buaa.edu.cn>
- Mesbahi, T., Rizoug, N., Bartholomeüs, P., Sadoun, R., Khenfri, F., & Moigne, P. Le. (2017). Optimal Energy Management for a Li-Ion Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage System Based on a Particle Swarm Optimization Incorporating Nelder–Mead Simplex Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2(2), 99–110. <https://doi.org/10.1109/TIV.2017.2720464>

- Papis, Karolina, Figaj, Rafal, Ku's, Jakub, Zoladek, Maciej, & Zajac, Michal. (2020). Application of photovoltaic cells as a source of energy in unmanned aerial vehicle (UAV) - case study. *E3S Web Conf.*, 173, 2002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017302002>
- Ridwan, I., & Alfindo. (2019). The effect of use of solar panels on micro scale fixed-wing UAV type as a power recharging system. *AIP Conference Proceedings*, 2180(1), 20044. <https://doi.org/10.1063/1.5135553>
- Vidales, H. M. G. (2013). *Design, Construction and Test of the Propulsion System of a Solar UAV*, <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779579631339>
- Zhu, L., Zhang, J., Wang, D., Wang, R., Sun, Y., & Wu, C. (2021). Optimal design and photoelectric performance study of micro-lens light trapping structure for CIGS thin film solar cell in BIPV. *Renewable Energy*, 177, 1356–1371. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.036>
- ZHU Lihong HU Wentao, LI Chuan, FU Zengying, YU Zhihang, LIU Zhengxin, S. U. N. G. (n.d.). Key technology and development trend of energy system in solar powered unmanned aerial vehicles. In *ACTA AERONAUTICAET ASTRONAUTICA SINICA* (Vol. 41, Issue 3, p. 623503). <http://hkxb.buaa.edu.cn>