

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE
FALLAS POR CALENTAMIENTO EN
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Y DE
TELECOMUNICACIONES USANDO VEHÍCULO
AÉREO NO TRIPULADO INTEGRADO CON
UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA**

DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:
ING. MORRIS WILLIAM DÍAZ SARAVIA

DOCENTE CO INVESTIGADOR:
ING. JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2018

ISBN 978-99961-50-65-4

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE
FALLAS POR CALENTAMIENTO EN
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Y DE
TELECOMUNICACIONES USANDO VEHÍCULO
AÉREO NO TRIPULADO INTEGRADO CON
UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA**

DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL:
ING. MORRIS WILLIAM DÍAZ SARAVIA

DOCENTE CO INVESTIGADOR:
ING. JUAN JOSÉ CÁCERES CHIQUILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2018

Rectora

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

Vicerrector Académico

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

Vicerrectora Técnica Administrativa

Inga. Frineé Violeta Castillo

**Dirección de Investigación
y Proyección Social**

Ing. Mario Wilfredo Montes, Director

Ing. David Emmanuel Ágreda

Sra. Edith Aracely Cardoza

**Coordinador Académico Escuela de
Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

Tec. Rafael Mora Ruiz

629.132 6

D542s Díaz Saravia, Morris William, 1968 -

sv Sistema y método de detección de fallas por calentamiento en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones usando vehículo aéreo no tripulado integrado con una cámara termográfica. / Morris William Díaz Saravia, Juan José Cáceres Chiquillo -- 1ª ed. -- Santa Tecla, La Libertad, El Salv. : ITCA Editores, 2018.

70 p. : 28 cm.

ISBN : 978-99961-50-65-4 (impreso)

1. Tecnologías de la información y comunicación.
 2. Sistemas de información.
 3. Drones.
 4. Termografía eléctrica.
- I. Cáceres Chiquillo, Juan José, 1978, coaut.
II. Título.

Autor

Ing. Morris William Díaz Saravia

Coautor

Ing. Juan José Cáceres Chiquillo

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2018

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. Este informe de investigación no puede ser reproducido o publicado parcial o totalmente sin previa autorización de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Para referirse a este documento se debe citar al autor. El contenido de este informe es responsabilidad exclusiva de los autores.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio web: www.itca.edu.sv

Tel: (503)2132-7423

Fax: (503)2132-7599

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.2.	ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA	5
2.3.	JUSTIFICACIÓN.....	7
3.	OBJETIVOS	8
3.1.	OBJETIVO GENERAL:	8
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
4.	HIPÓTESIS	9
5.	MARCO TEÓRICO	9
5.1.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA	11
5.2.	LEGISLACIÓN	16
5.3.	COMPONENTES DE UN DRON MULTI ROTOR.....	17
6.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	21
7.	RESULTADOS	27
7.1.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	27
7.2.	SISTEMA UAS BASADO EN DRON SOLO	34
7.3.	MECANISMO DE DISPARO DE LA CÁMARA TERMOGRÁFICA.....	36
7.4.	SISTEMA FINAL (CON AJUSTES)	41
7.5.	ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	44
7.6.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	52
8.	CONCLUSIONES	56
9.	RECOMENDACIONES	57
10.	GLOSARIO	58
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
12.	ANEXOS	61
12.1.	ANEXO 1: ESPECIFICACIONES DE FLIR C2	61
12.2.	ANEXO 2: TERMOGRAMA DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA EDIFICIO F	62
12.3.	ANEXO 3: TÉRMINOS DE REFERENCIA	63
12.4.	ANEXO 4: TUTORIAL SOBRE DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA DEL RAMO ELÉCTRICO Y TELECOMUNICACIONES CON UAV (DRONES).....	66
12.5.	ANEXO 5: VOLANTE DE INVITACIÓN A CHARLA SOBRE DRONES	68
12.6.	ANEXO 6: ENCUESTA A TÉCNICOS DE EMPRESAS DEL RAMO ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES	69

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se muestra el proceso de desarrollo de un sistema que permite capturar termogramas de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, como lo pueden ser subestaciones eléctricas aéreas, torres de telecomunicaciones, sistemas de antenas, etc., todo ello basado en el uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Estos termogramas, tras su posterior análisis, permiten tomar decisiones en cuando al mantenimiento preventivo y correctivo de tales infraestructuras. El proceso de revisión de puntos de calentamiento en infraestructura de telecomunicaciones y del sector eléctrico lo hacen técnicos especializados, quienes se suben a dichas infraestructura para hacer el mantenimiento, tareas que incluyen la captura de termogramas en los puntos de interconexión. Este proceso requiere un tiempo considerable, habilidades para subir a la estructura, arnés de seguridad y cinturón con herramientas. El sistema desarrollado, consiste en un UAV de última generación, al cual se le ha adaptado una cámara termográfica, el sistema realiza capturas de termogramas mediante una acción del operador del dron. La tarea se logra al utilizar una cámara termográfica, que permite capturar termogramas desde puntos previamente identificados por el operador del dron, para el accionamiento del disparador de la cámara se ha utilizado un sistema Raspberry, el cual captura la imagen de la cámara y la envía por conexión inalámbrica a una tablet que controla el operador del dron.

Entre los beneficiarios están las empresas del sector eléctrico y de telecomunicaciones, que contarán con una nueva herramienta que facilite las tareas de revisión de su infraestructura; facilitando a los técnicos el desarrollo de su trabajo, ahorro de tiempo, disminuyendo los costos y riesgos del personal.

Con este sistema se logra una mejora en la competitividad de la industria y se aumenta la producción, al realizar el proceso de forma más rápida y segura, con menos mano de obra y con una precisión mayor que el método tradicional utilizado hasta hoy.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La propuesta consistió en detectar puntos de sobrecalentamiento en infraestructura eléctrica (líneas de transmisión, subestaciones) y de telecomunicaciones (torres de telefonía celular, sistemas de antenas, etc.) mediante una cámara termográfica integrada en un vehículo aéreo no tripulado (UAV-Unmanned Aerial Vehicle) comúnmente conocido como “dron”. Esta tecnología permitiría opcionalmente implementar otras aplicaciones logrando un mayor nivel de seguridad y precisión, reduciendo el tiempo invertido que utilizan métodos tradicionales.

El UAV sobrevuela la infraestructura de forma autónoma o controlada remotamente, adquiriendo imágenes termográficas de los equipos a una distancia establecida, estas imágenes se transmiten inalámbricamente a una tablet, y luego a un computador, donde se reconstruye toda la infraestructura termográfica para detectar las zonas de riesgo, y basada en dicha información

tomar decisiones sobre la acción correctiva a tomar, de ser necesaria.

Una actividad esencial del proyecto consistió en programar todas las rutinas que permiten que el sistema UAV funcione de forma semiautónoma, este programa también permite la interacción con el usuario para efectos de control, navegación, captura de imágenes y envío de la información al computador vía inalámbrica.

Entre otras aplicaciones que pueden ser desarrolladas posteriormente podemos mencionar:

- Captura de información audiovisual con fines turísticos.
- Inspección de partes de la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones con fines contables del activo fijo.
- Auditorias de redes inalámbricas con fines de seguridad perimetral de redes informáticas.
- Búsqueda de personas en situaciones de difícil acceso, poca visibilidad, valiéndose de la traza termográfica de la persona.

2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

El desarrollo de vehículos aéreos no tripulados ha alcanzado un nivel de desarrollo muy alto, inicialmente se utilizó la tecnología como un sistema de defensa, siendo desarrollada en países como Estados Unidos, Israel, y sorprendentemente, Irán. Esta tecnología proporciona una plataforma de trabajo altamente maniobrable y estable para trabajar en alturas, por lo cual en los últimos años las empresas la están utilizando para fines civiles variados. Estas empresas han desarrollado una gran variedad y tipo de UAV que permiten múltiples aplicaciones, aunque en la actualidad están más que todo orientado a la agricultura, medición de variables climáticas, captura de contenido audiovisual.

En este trabajo de investigación, se implementó un sistema basado en UAV, que en adelante se denominará UAS (Unmanned Aircraft System o Sistema Aeronáutico no Tripulado) que mediante un UAV y una serie de dispositivos que se integran en el mismo, permiten hacer diferentes tareas, como diagnosticar fallas en redes de transmisión eléctrica y torres telefónicas. De esta manera, vendría a dar apoyo al sector de electricidad y telecomunicaciones, al mismo tiempo que se innovará el sector al introducir nuevas formas de hacer las tareas relacionadas.

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) deben su desarrollo a la industria de la defensa, siendo orientados en los últimos años para aplicaciones civiles, los diferentes gobiernos intentan adaptar su legislación para dar cabida a tales equipos en su espacio aéreo (Carrascosa 2014). Basados en el mismo estudio, el Reino Unido espera que el mercado de UAV civil para el final de esta década alcance los 400 mil millones de dólares, empresas como Facebook y Google han adquirido sus propios fabricantes de UAV, Ascenta y Titan Aeroespacial respectivamente, e incursionan en sistemas de larga duración de vuelo, captando energía solar, con miras a hacer llegar mediante UAV, acceso a servicios de comunicaciones a regiones que aún no lo tienen.

En la base de datos mundial de IFIClaims, al realizar una búsqueda de patentes acerca de UAV, se obtienen un total de 7,670 documentos publicados: 4,357 solicitudes de patentes, 1,736 modelos de aplicación y patentes concedidas 1,309.

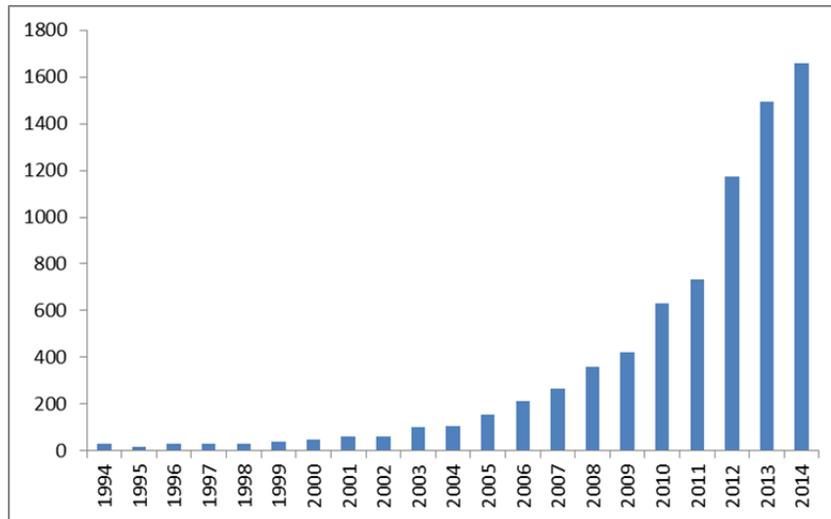


Figura 1: Evolución de publicaciones de patentes relacionadas a UAV.

En la Fig. 1 (Carrascosa 2014) se muestra un crecimiento exponencial en la solicitud de patentes relacionados con UAV en los últimos años. La Fig. 2 muestra la distribución de publicaciones de patentes por país, destacando a China (con 4,803) como el mayor solicitante de patentes, EU tiene casi un millar de patentes, las patentes europeas (EP: European Patent office) y WO (Oficina de patentes WIPO, organismo de la Naciones Unidas que administra patentes mundiales) superan 500 en ambos casos sumando más del millar

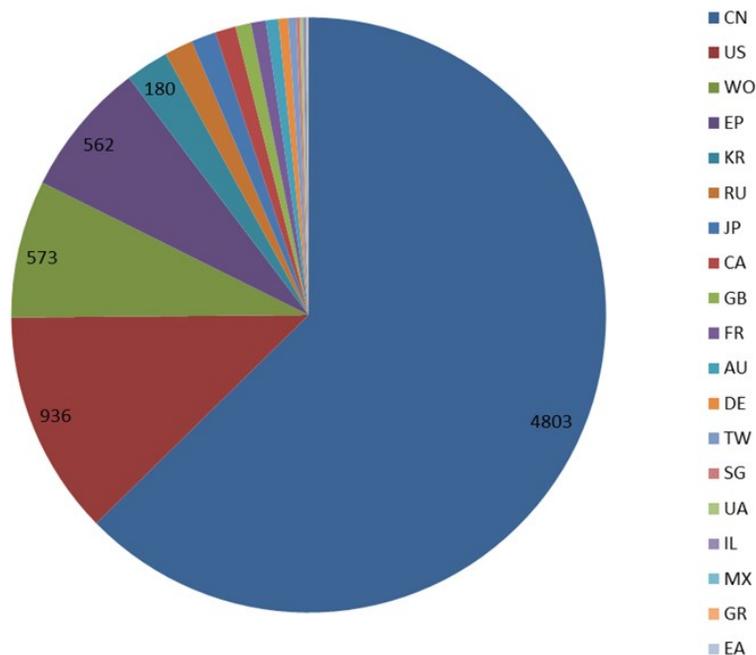


Figura 2: Distribución de patentes publicadas por país de origen.

En cuanto a Corea del Sur, Rusia, Japón, España, Canadá, Francia y el Reino Unido, Francia, Australia, Alemania y Taiwán son activos en cuanto a publicaciones de patentes relacionadas con UAV.

En cuanto a las empresas que patentan relacionadas a UAVs, muchos son los actores, pero destacan las compañías aeroespaciales y de defensa, como Thales (UK), Honeywell, Boeing, EADS y Lockheed Martin, las dos últimas se aliaron con General Atomics para comercializar el dron Predator, famoso por su despliegue generalizado en el campo de batalla de los conflictos en los que participa EU. Israel es pionero en el desarrollo de UAVs para defensa, la empresa israelí Elbit Systems es uno de los principales solicitantes de patentes, teniendo patentes en diferentes áreas: métodos de aterrizaje, obtención de imágenes, electrónica operativa de un UAV, control de vuelo y otras más.

Entre las empresas enfocadas en el mercado de drones civiles, la francesa Parrot tiene más de 100 patentes de invenciones relacionadas a UAVs, entre las que destacan las relacionadas con métodos de control remoto inalámbrico, enlaces de radio, helicóptero, aviones de juguetes y control de altitud.

IBM también dice presente en las tecnologías relacionadas con UAVs, desarrollando invenciones para instrumentos de navegación, y métodos de control de posición, rumbo, altitud, agua, aire, o vehículos espaciales.

Otros actores son empresas estadounidenses como Florida Turbine Corp, Rockwell Collins, ITT Manufacturing, Excelis; los grupos franceses SAFRAN, DCNS y la japonesa Murata especializada en sistemas de control y programación.

En cuanto a las investigaciones y desarrollos en el área de UAV, la gran mayoría de estudios y patentes que se encuentran son referidas al desarrollo, control y fácil maniobrabilidad de los equipos UAV, mediante el desarrollo de algoritmos y programas para tales fines, en el área civil se destacan los estudios relativos a la medición de distintas variables ecológicas para determinar el efecto del cambio climático.

2.3. JUSTIFICACIÓN

El proceso de revisión de puntos de calentamiento en infraestructura de telecomunicaciones y del sector eléctrico utilizando tecnología de última generación de UAV, es una herramienta de apoyo al trabajo de los técnicos del área de infraestructuras eléctricas y de telecomunicaciones. Permitirá al análisis termográfico de las infraestructuras de forma rápida, segura y reduciendo los costos.

El fin de la investigación es desarrollar el prototipo para la captura de termogramas de la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, para su posterior análisis, constituyéndose en una herramienta indispensable para las empresas que trabajan en el mantenimiento de tales infraestructuras, como podemos mencionar las empresas del área eléctrica dedicadas al mantenimiento de subestaciones eléctricas, torres de transmisión y torres de telecomunicaciones. Entre otros beneficiarios, ITCA-FEPADE contará con una herramienta para la captura de videos e imágenes de los campus de las cinco sedes.

Es de suma importancia el desarrollo del proyecto, en vista de las tecnologías involucradas. En este proyecto se ensamblan componentes de alta precisión, desde la cámara de alta definición y la cámara termográfica (intercambiables) hasta el dron, con sus motores, control y mando. Otro punto importante, este sistema permitirá desarrollar una tarea que requiere tiempo, esfuerzo y un nivel de seguridad alto, de una forma innovadora que reducirá el tiempo de la tarea, disminuirá el esfuerzo humano y con una seguridad inherente, al no necesitar un operario humano que se suba a la infraestructura.

Además, como tecnología emergente, se espera que este trabajo sirva de base a empresas, instituciones educativas, universidades para que impulsen el desarrollo de futuras aplicaciones para UAV, un área que aún no ha sido explotada, incursionando en el mercado nacional e internacional.

Este es el momento oportuno para que los empresarios entren a este rubro, aunque hay muchas empresas dedicadas al desarrollo de UAVs, las empresas dedicadas a este rubro son pocas en El Salvador, la tecnología y sus aplicaciones como tal puede impulsar múltiples industrias:

- La construcción de UAVs basados en plataforma abierta, fácilmente configurables para diferentes aplicaciones.
- Prestación de servicios, para captura de imágenes audiovisuales, medición de parámetros ambientales, contrarrestar incendios, revisión de calderas, inspección de fugas de agua, agricultura, auditoría de seguridad informática y muchas otras.
- Desarrolladores de software para el control de los UAVs flexibilizando y aumentando las aplicaciones para las cuales pueden ser construidos
- Ensamblar UAV comprando las partes en el extranjero y exportarlas como equipos terminados y con aplicaciones específicas a solicitud del cliente.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar un UAVS (Sistema con vehículo aéreo no tripulado) que integre cámara termográfica y de alta resolución con estabilización con giroscopio para ser utilizada como herramienta de apoyo al trabajo para los técnicos encargados de ejecutar las actividades de revisión de puntos calientes en infraestructura de telecomunicaciones y del sector eléctrico e informático.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar un sistema UAV abierto, escalable y robusto, que permita integrar dispositivos de diferentes fabricantes y que pueda ser usado con diferentes aplicaciones y/o tareas al integrar otros tipos de sensores, quedando abierto para expandir el modelo original para más aplicaciones.

2. Construir el sistema UAV para detección de puntos calientes en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones.
3. Verificar que el UAS mejora la productividad, rapidez, seguridad del proceso y disminuye costos con la obtención de resultados equivalentes que utilizando el método tradicional.

4. HIPÓTESIS

1. Verificar el aumento de productividad y competitividad de la industria del sector eléctrico y de telecomunicaciones, al utilizar el UAS, desarrollado con tecnología de última generación, al realizar procesos de detección de puntos calientes en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones.
2. ¿Se puede mejorar la productividad del sector eléctrico y de telecomunicaciones utilizando un sistema aeronáutico no tripulado para hacer la revisión de la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones?
3. Si se puede mejorar, ¿hay ventajas en cuánto a costos, calidad del trabajo, seguridad de los operadores, tiempo invertido?

5. MARCO TEÓRICO

La idea de sustituir al piloto en los aeroplanos es tan antigua como el inicio de la aviación, pero no fue hasta 1917, con el desarrollo del estabilizador giroscópico de Peter Cooper y Elmer A. Sperry, cuando se consiguió que una aeronave no tripulada (un modelo derivado del entrenador Curtiss N-9 de la US Navy) fuera radio controlada y dirigida en vuelo directo y nivelado durante más de 50 millas.

En el periodo de entreguerras, de baja actividad en la aeronáutica militar, llegaron a desarrollarse diversos modelos de aeronaves radio controladas utilizadas como blancos aéreos (dianas para que practicasen los artilleros). Pero fue en la Segunda Guerra Mundial, cuando el desarrollo de la aviación y de las tecnologías de comunicaciones permitieron que en 1944, la Navy's Special Air Unit One (SAU-1) convirtiera varios PB4Y-1 (versión naval del B-24 Liberator) y B-17 Fortress en aeronaves sin piloto, al menos en la fase final de aproximación a su objetivo, controlada remotamente, armada y guiada por sistemas de televisión. El Sistema, conocido como BQ-7, se destinó a bombardear instalaciones de fabricación de los V2 alemanes en la Francia ocupada.



Figura 3: B24 Liberator

Los resultados no fueron demasiado satisfactorios y una vez finalizada la contienda, se ralentizó el desarrollo de los sistemas no tripulados, hasta que en 1960, la USAF comenzó el Programa AQM-34 Ryan Firebee o Lightning Bug en diferentes versiones que, a diferencia de sus predecesores, fueron diseñados desde su inicio como aviones sin piloto para ser lanzados desde una aeronave, en misiones de reconocimiento fotográfico. Su éxito fue total, realizando entre 1964 y 1975, más de 34.000 misiones operacionales sobre el Sudeste asiático con unas 1.000 unidades.



Figura 4: AQM-34 Firebee or Lightning

El éxito del sistema AQM-34, decidió a Israel a adquirir 12 Firebees en los años 70, modificándolos para, con la designación Firebee 1241, ser utilizados en la guerra del Yom Kippur entre Israel, Egipto y Siria, como vehículos de reconocimiento y por primera vez, como señuelos, el éxito en este caso fue total, los señuelos obligaron a activar sus dispositivos de artillería que permitieron a los israelíes detectar su ubicación y realizar un ataque contundente. Desde entonces, Israel comenzó a disponer de una capacidad propia para el desarrollo y la innovación de sistemas aéreos no tripulados y, a su vez, la oportunidad de su empleo operativo en los sucesivos conflictos con los países árabes de su entorno. Así, en 1978 IAI (Israel Aircraft Industries) desarrolló el Scout, UAV de pequeño tamaño y baja firma de radar, capaz de transmitir imágenes en tiempo real gracias a su cámara de televisión de 360º de campo de visión, ubicada en una torreta central giratoria.

Su utilidad se puso de manifiesto en 1982, durante el conflicto del Valle de la Bekaa entre Israel, Líbano y Siria, en el que Israel utilizó su flota de Scouts (entonces denominado genéricamente como RPV-Remotly Piloted Vehicle), para activar los radares sirios, permitiendo así que fueran objetivos de los misiles antirradar de los cazabombarderos israelitas.

Desde los años 80, muchas naciones han ido incorporando paulatinamente estos sistemas a sus arsenales militares, pero los conflictos de la década de los 90, como la guerra de los Balcanes o las guerras del Golfo, demostraron las enormes posibilidades de los UAS en misiones de vigilancia y reconocimiento, provocando un mayor interés de las administraciones militares en estos sistemas. En consecuencia, desde 2001 se observa un crecimiento espectacular de las inversiones gubernamentales en los UAS, en paralelo al desarrollo de nuevos conflictos en Israel, Líbano, Afganistán e Irak.

Actualmente existen más de 700 diseños de todas las categorías (de los que más de 500 son de uso exclusivamente militar), en diferentes estados de desarrollo o implementación.

Se concluye claramente que la aparición de los UAVs viene ligada al terreno de la seguridad y defensa. Pero en los últimos tiempos se ha ampliado su uso a misiones civiles, originando la aparición de un buen número de empresas y grupos de investigación interesados en este mercado.

Indudablemente los EE.UU. poseen el liderazgo en cuanto al desarrollo de los UAVs puesto que tanto empresas como las agencias federales invierten mucho en estos sistemas. Israel y Japón también han conseguido avances muy significativos.

5.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura de un sistema de observación aérea mediante UAVs está formada de cinco subsistemas independientes entre ellos a nivel de desarrollo y vinculados, entre si, a nivel funcional. Los subsistemas son:

- **Plataforma de Vuelo:** Se compone del UAV y la carga útil a bordo de éste (cámaras de alta resolución y otros sensores). Se caracteriza por ser la encargada de sobrevolar la zona de interés y adquirir la información.
- **Sistema de Control de Vuelo:** Se compone de receptores GPS+EGNOS integrados en la plataforma en vuelo. Se caracteriza por ser el encargado de georreferenciar la información adquirida por la plataforma en vuelo y contribuir al control del UAV.
- **Sistema de Lanzamiento y Recuperación:** Es el sistema utilizado para el control de los UAVs durante el despegue, la parte inicial del vuelo y la aproximación y aterrizaje (es decir, su lanzamiento y recuperación).
- **Sistema de Comunicaciones:** Se compone de enlaces de comunicación, vía radio, entre la estación de control y el vehículo aéreo no tripulado. Se caracteriza por ser el encargado de transferir la información adquirida por la plataforma en vuelo y garantizar la comunicación entre el centro de control y la plataforma de vuelo.
- **Sistema de Información Geográfica:** Se compone de equipos capaces de realizar el análisis gráfico de la información adquirida mediante sensores a bordo de la plataforma de vuelo e integrarla en una cartografía.

Plataforma de Vuelo

Un vehículo aéreo no tripulado, es una aeronave capaz de volar sin piloto a bordo e integrar sistemas de posicionamiento como GPS, GPS+EGNOS, navegación GIS, servomecanismos y una CPU, encargada de pilotar el avión sin necesidad de tripulación.

Según el tipo de control del UAV, éstos se clasifican en:

- **Autónomo:** Modo de control de un UAV donde se espera que el vehículo realice su misión dentro del ámbito programado, con sólo un monitoreo desde tierra. El modo de control incluye la operación automática completa, funciones autónomas (despegue, aterrizaje, eludir colisiones, etc.) y operación inteligente.

- **Semiautónomo:** Modo de control de un UAV donde el piloto realiza cambios y conduce la misión a través de una interfaz de administración del vuelo. Sin esta información el UAV realizará operaciones automáticas pre-programadas. Puede o no incluir algunas funciones completamente autónomas (despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, etc.).
- **Remoto:** La totalidad del control del vehículo se realiza remotamente.

	Blanco móvil (Drone)	Nivel 1 No autónomo	Nivel 2 Maniobra autónoma	Nivel 3 Piloto inteligente limitado	Nivel 4 Piloto inteligente completo
Trayectoria de vuelo en 4 dimensiones	Preprogramada	Preplanificada, preprogramada	Preplanificada, preprogramada	Parcialmente autónomo Posibilidad de cálculo de ruta	Posibilidad de cálculo de ruta
Presencia de piloto	Por seguridad	Guiado y control continuo	Como Nivel 1	Supervisión continua. Guiado y control ocasional	Solo como respaldo
Posibilidad de actuación del piloto	Solo en despegue y aterrizaje	Manipulación	Como Nivel 1	POsible	Solo como respaldo
Necesidad de actuación del piloto	Solo en FTS	En todos los casos	Cuando no haya maniobra automática	Ocasionalmente	Solo como respaldo
Piloto automático	No	No	No	Limitado	Completo
Presencia de ATC	Supervisión	Contacto continuo con el operador	Contacto continuo con el operador	Contacto continuo con el operador y con el piloto automático	Contacto continuo con el piloto automático (con el operador como respaldo)
Intervención de ATC	Petición o activación del FTS	Por petición del operador	Por petición del operador	Por petición del operador o del piloto automáticos	Por petición del piloto automático (del operador por respaldo)

Figura 5: Diferentes niveles de autonomía para UAVs

Sistema de control de vuelo

El principal requerimiento de un UAV es el sistema de control de vuelo (FCS), denominado piloto automático. En UAVs de baja velocidad y de poco alcance se piloteaban mediante control remoto, al aumentar el alcance y la velocidad, se desarrolló el control automático.

El sistema de control remoto es un enlace de comunicación de radio bidireccional con un ordenador a bordo, conectado a un sistema inercial y a un GPS, capaz de realizar la navegación. Hasta 1990 los sensores para implementar el piloto automático eran caros y voluminosos, utilizaban principalmente giroscopios mecánicos y medidores de velocidad.

En los 90 apareció un sensor miniaturizado (MEMS: Micro Electromechanical Sensor) en estado sólido, con la misma funcionalidad de los giroscopios mecánicos y medidores de velocidad, son milimétricos y de costo reducido. Los MEMS han permitido que se diseñen pilotos automáticos económicos y tamaño reducido. Los fabricantes de UAVs no diseñan sus controles de vuelo, compran los FCS a distribuidores y los adaptan a sus necesidades.

Sistema de lanzamiento y recuperación.

Sistema usado para el control del UAV durante el despegue, aproximación y aterrizaje. Estos pueden variar en función del peso y tamaño del UAV.

Lanzamiento: los UAVs de tamaño pequeño o medio despegan con catapulta o un cohete, incluso se pueden lanzar algunos con la mano, en caso de multicopteros despegan como un helicóptero. Los UAVs de mayor tamaño pueden despegar como un avión normal con tren de aterrizaje, o también pueden ser impulsados desde un avión en vuelo como los aeroplanos.

Recuperación: los primeros modelos utilizaban un paracaídas para aterrizar, los modelos modernos son capaces de aterrizar como un avión, con un tren de aterrizaje y sistema de frenado.

Carga útil

Esta consiste en los medios y equipos necesarios para llevar a cabo la misión, la carga útil puede ser controlada por el piloto automático o por el operador en tierra. Esta puede ser una cámara infrarroja, proyectiles, sensores LIDAR, varía de acuerdo a la aplicación.

Clasificación por su misión

4. **Blanco:** sirven para simular aviones o ataques enemigos en los sistemas de defensa de tierra o aire.
5. **Reconocimiento:** enviando información militar. Entre estos destacan los MUAV (Micro Unmanned Aerial Vehicle) tipo avión o helicóptero.
6. **Combate (UCAV):** para combatir y llevar a cabo misiones que suelen ser muy peligrosas.
7. **Logística:** diseñados para llevar carga.
8. **Investigación y desarrollo:** en ellos se prueban e investigan los sistemas en desarrollo.
9. **UAV comerciales y civiles;** son diseñados para propósitos civiles, realizar filmaciones, tomar imágenes y purificar el aire (ZED CORP).

Clasificación por su alcance y altitud máxima

Se pueden clasificar por el alcance máximo que logran en kilómetros (o millas) y también por la altitud máxima, por regla, a mayor tamaño del UAV, estos valores límites tienden a ser mayores. A continuación el cuadro de la clasificación:

Categoría	Acrónimo	Alcance (km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (horas)	Carga máxima en despegue (kg)	Tipo de aeronave
Micro	μ(Micro)	< 10	250	1	< 5	H,A,otros
Mini	Mini	< 10	150 a 300	< 2	< 30	H,A, P, Otros
Alcance cercano	CR	10 a 30	3.000	2 a 4	150	H,A,P,Otros
Alcance corto	SR	30 a 70	3.000	3 a 6	200	A,Otros
Alcance medio	MR	70 a 200	5.000	6 a 10	1.250	A, Otros
Altitud baja Penetración profunda	LADP	> 250	50 a 9.000	0,5 a 1	350	A
Autonomía media	MRE	> 500	8.000	10 a 18	1.250	A,H
Autonomía alta Altitud baja	LALE	> 500	3.000	> 24	< 30	A
Autonomía alta Altitud media	MALE	> 500	14.000	24 a 48	1.500	A,H
Autonomía alta Altitud alta	HALE	> 2000	20.000	24 a 48	12.000	A
Combate	UCAV	aprox. 1500	10.000	aprox. 2	10.000	H,A
Ofensivo	LETH	300	4.000	3 a 4	250	A
Señuelo	DEC	0 a 500	5.000	< 4	250	A,H
Estratosférico	STRATO	> 2000	Entre 20.000 y 30.000	> 48	ND (no disponible)	A
Exo-estratosférico	EXO	ND	> 30.000	ND	ND	A

Figura 6: Clasificación por su alcance y altitud máxima

CLASIFICACIÓN UAV OTAN				
Clase (MTOW)	Categoría	Empleo	Altitud de operación AGL	Radio de Misión
CLASE I ≤ 150 Kg	MICRO < 2 Kg	Táctico, (Sección)	Hasta 200 pies	5 Km (LOS)
	MINI 2-20 Kg	Táctico (Compañía)	Hasta 1.000 pies	25 Km (LOS)
	LIGEROS > 20 Kg	Táctico (Batallón)	Hasta 1.200 pies	50 Km (LOS)
CLASE II ≤600 Kg	TÁCTICO	Táctico (Brigada)	Hasta 10.000 pies	200 Km (LOS)
CLASE III > 600 Kg	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional	Hasta 45.000 pies	Sin Límite (BLOS)
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin Límite (BLOS)
	Combate	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin limite (BLOS)

Clasificación UAS OTAN. Fuente JCGUAS "UAV Classification Guide". NNAG. Septiembre 2011.

Figura 7: Clasificación UAV según la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte)

Sensores

El tipo de sensores requeridos depende básicamente del UAV y de su misión, como regla general, la mayoría de las plataformas llevan tres tipos de sensores; Electroópticos (EO), Infrarrojos (IR) y Radar de Apertura Sintética (SAR).

El sistema de sensores EO/IR incluye normalmente dos sensores principales: una cámara CCD y un sensor IR, además de otros sensores para cubrir otras funcionalidades. El sensor IR es un sistema de imagen en el rango de los infrarrojos que detecta y diferencia un objeto de otro en función de la diferencia de temperatura, por lo que puede ser usado tanto por el día como por la noche, lo que lo hace ideal para muchos tipos de misiones. Son los que más se usan en la mayoría de los UAVs tanto por su capacidad de miniaturización como por la capacidad de transmitir datos en tiempo real para ayudar al piloto de control. La cámara CCD solo se usa durante el día, e incluye alta resolución y magnificación para ayudar a identificar el objeto. Entre los sensores adicionales que se ofrecen están el designado láser, telémetro láser, LIDAR, etc., aunque lo que se persigue en el sistema es a miniaturizar y a reducir peso y volumen de la carga útil.

Radars SAR: Es un radar activo de alta resolución en distancia que emite energía en la frecuencia de las microondas en forma de pulsos, recibe los ecos provenientes de las reflexiones de la señal en los objetos, y mediante el movimiento relativo entre la plataforma aérea y el blanco es capaz de generar una apertura sintética que mejora la resolución de azimut respecto del ancho de haz de la antena. En los modos SAR más comunes el avión describe una trayectoria recta, de modo que el movimiento relativo entre la plataforma y el terreno (blanco objetivo) suele ser conocido. De esta manera, se obtienen imágenes radar de alta resolución en ambos ejes desde plataformas aéreas, permitiendo visualizar el terreno en aquellos lugares donde la oscuridad, las nubes, las condiciones meteorológicas adversas o incluso los árboles no permiten tomar imágenes con una cámara tradicional. Trabaja tanto durante el día como durante la noche y es relativamente insensible a cobertura nubosa y condiciones de lluvia.

Esta tecnología tiene un gran interés por sus múltiples aplicaciones tanto para la vigilancia y observación, como para protección civil, protección medioambiental, misiones de ayuda humanitaria, determinación del grado de humedad del suelo (lo cual puede ser interesante para la agricultura) así como la detección de contaminación marina, vertidos, emisión de gases, etc.

Sistema de comunicaciones

Las comunicaciones se utilizan básicamente para la transmisión y recepción de datos:

- Entre la plataforma de vuelo y la estación de control, formando un enlace de telemetría.
- Entre la plataforma de vuelo y la estación de monitorización de imágenes, formando un enlace de datos.

5.2.LEGISLACIÓN

Debido a que la tecnología UAV es nueva, la mayoría de los gobiernos no tienen legislada su utilización, más de alguno pensará que esto puede ser un punto a favor porque simplemente no hay restricciones. Esta es la situación actual de El Salvador, no hay legislación, se tiene la libertad de hacer lo que se desee, como lo están haciendo algunos periódicos impresos, así como varios medios televisivos nacionales.

Al largo plazo, para una empresa que da servicios relacionados a UAVs puede ser un punto en contra, como ha pasado en España, en el 2014 no había una legislación que los rigiera, y se hizo público un video de un UAV capturando con una cámara de altísima resolución imágenes de la ciudad, se hizo viral; promovido más que todo por el auge del terrorismo internacional y en pro de la seguridad se prohibió el vuelo de UAV, quedando muchas empresas que prestaban servicios con drones, como hacedoras de una actividad ilegal.

A continuación se explica los puntos clave de la legislación en España, que es un punto de referencia a nivel europeo y para el mundo.

Como resultado del video de la ciudad de Madrid, en el 2014 España ha aprobado una legislación temporal que reglamente las siguientes áreas:

1. **Tipo de UAV:** existen dos categorías que rige la ley, el mini UAV menores a 2 Kg de peso y el micro UAV, entre 2 Kg y 25 Kg. En ambos casos es necesario tener un carnet de piloto certificado para volar dichos dispositivos. Los mini UAV deben estar registrados con el gobierno e identificados con el nombre del fabricante y datos fiscales de la empresa que realiza la operación. Para los UAVs de mayor tamaño aplican las leyes que se aplican a los aviones comerciales.
2. **Espacio aéreo:** El espacio aéreo pertenece a AESA (Agencia Española de Seguridad Aérea), y como tal, para realizar cualquier tipo de actividad comercial o civil con un UAV, se deberá obtener un permiso oficial, como mínimo 5 días antes de llevar a cabo cualquier operación en el aire. Está prohibido volar sobre núcleos urbanos con alta densidad poblacional sin el consentimiento explícito de AESA.
3. **Seguridad:** El pilar fundamental en la que se basa la normativa de uso de UAVs civiles en España es la seguridad. Por ello cada empresa deberá disponer de un manual de operaciones reglamentado siguiendo el estándar proporcionado por el Ministerio, así como un estudio de seguridad de cada una de las operaciones a realizar. Si se vuela un UAV al margen de la ley, se expone a sanciones entre 3,000 y 60,000 euros.
4. **Carnet de piloto de UAVs en España:** para que las empresas puedan operar legalmente, los pilotos designados deberán disponer de un carnet oficial para el manejo de los mismos. Si estos pilotos ya disponen de un título de piloto de avión, ultraligero u otro específico, no será necesario obtener dicha titulación. En caso contrario deberán cursar una serie de exámenes y pruebas oficiales para obtener el carnet oficial de piloto.

Esta normativa temporal sobre UAVs en España considera los diferentes marcos en los que se podrán realizar los distintos trabajos aéreos y en función del peso de la aeronave.

5.3. COMPONENTES DE UN DRON MULTI ROTOR.

Chasis o marco: es el esqueleto del multi rotor, es la estructura que le da la forma y en donde todas las otras partes se instalan y aseguran. Existen diferentes diseños y materiales, entre los más usados son los chasis de plástico, aluminio y fibra de carbono. Para drones multi rotores, los más comunes son de 4 brazos y 8 brazos, pero también hay de 3, 6, 12 y más brazos.



Fig. 8: chasis de mul tirotor para 4 y 6 motores.

La característica principal del Quadcopter son la disposición simétrica y su rotación asimétrica dos a dos. Esto le permite equilibrarse aplicando rotaciones iguales en los 4 motores, y al mismo tiempo hace calcular los giros.

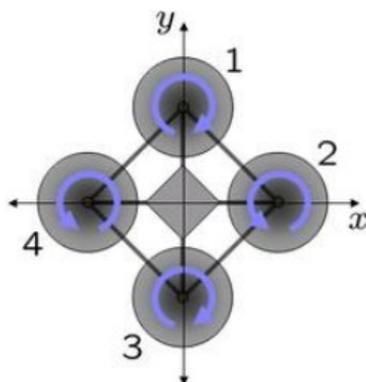


Figura 9: Disposición del Quadcopter

Los pares generados por 1,3 y 2,4 de figura 3 son contrarios y eso autoestabiliza el Quadcopter siempre y cuando se apliquen empujes de mismo módulo en los 4 motores. De esta manera no se necesita la hélice lateral de un helicóptero, simplificando el cálculo y el diseño.

Motores, Hélices y ESC: son los componentes fundamentales para mantener al multi rotor en el aire. Los ESC (Electronic Speed Control) o Controladores de Velocidad Electrónicos regulan la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con agilidad y eficiencia. Este giro está conectado a las hélices cuya rotación a alta velocidad genera la sustentación del multi rotor. El motor varía en potencia, torque, empuje entregado, tamaño y voltaje aplicado. El parámetro de velocidad rotacional es dado en base al voltaje de la fuente, por ejemplo 880 KV, significa que por cada 1 V de la fuente, el motor girará 880 rpm más veloz, así, si la fuente es de 11 V, los motores girarán a $11 \times 880 = 9,680$ rpm.



Fig. 10: Motores, hélices y ESC.

Unidad de control de Vuelo: Este componente es el cerebro de la máquina. Recibe las señales de los sensores y del control de mando, para controlar todo lo que sucede con el multi rotor, y es donde prácticamente todas las señales de los componentes se conectan.



Fig. 11 Unidades de control

a. Arducopter

b. Pixhawk

Radio Receptor y Control: El radioreceptor es el responsable de recibir la señal de radio enviada desde el Control Remoto, el cual ha interpretado el movimiento realizado por el usuario y lo ha transformado en onda radial. La señal de radio es recibida por el Radio Receptor del multi rotor y transformada en datos que se envían al Controlador de Vuelo para que ejecute la instrucción, normalmente con cambios coordinados en la velocidad de los motores (cuando se trate de una instrucción de movimiento). El control es el dispositivo mediante el cual el operador envía instrucciones al dron para que suba, baje, rote, etc. Contiene el radiotransmisor por el cual, mediante los canales (hay desde 4 a 12 canales) le envía las instrucciones al dron para que la unidad de control las ejecute.

Control Flysky FS-i6X



- Receptor X6B i-BUS
- 10 Canales
- Compatible con PWM, PPM y i-BUS

Fig. 12. Control y radio receptor.

Baterías: Proporcionan la energía necesaria para hacer funcionar el equipo. Son componentes muy pesados por lo que es esencial que sean capaces de tener una buena relación peso/capacidad para maximizar la autonomía de vuelo del multi rotor. Las más utilizadas son las baterías Li-Po (polímero de litio) debido a su densidad de energía, su bajo peso y su alta tasa de descarga que es ideal para maniobras ágiles como las de un multi rotor.



Fig. 13: Baterías de dron con diferentes capacidades

GPS, Brújula e IMU: Componentes que conectados al Controlador de Vuelo le permiten a éste conocer la ubicación, altitud y velocidad exactas del multi rotor. A partir de esto, y dependiendo del programa que tenga el controlador, se podría automatizar el comportamiento del multi rotor para mantenerse estático en un mismo punto, volar en cierta dirección o velocidad relativa o volar hacia puntos predefinidos.

Una unidad de medición inercial o IMU (del inglés Inertial Measurement Unit) es un dispositivo electrónico cuyo objetivo es obtener mediciones de velocidad, rotación y fuerzas gravitacionales de un aparato de forma autónoma, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos. Se utilizan como componentes fundamentales en los sistemas de navegación de barcos, aviones, helicópteros, transbordadores, satélites o cualquier móvil en que sean precisos estos datos sin posibilidad alguna de obtenerlos de forma externa.



a. GPS

b. Brújula

c. IMU

Fig. 14: Sensores de ubicación y localización

Cámara y Estabilizador: En la estructura del multi rotor se puede acoplar una cámara para aprovechar el vuelo y capturar fotos o videos desde el aire. Dependiendo del tamaño del multi rotor la cámara podrá ser desde una pesada profesional hasta una liviana cámara de acción, como una GoPro Hero o Sony Action Cam. Normalmente se utiliza un estabilizador o Gimbal para evitar que los movimientos propios del vuelo del multi rotor afecten las tomas. El gimbal absorbe la vibración de los motores y corrigen automáticamente la inclinación de la cámara para que siempre esté en el mismo ángulo respecto al suelo. Algunos gimbal también pueden ser conectados al Controlador de Vuelo y a través del control remoto el usuario puede cambiar el ángulo de inclinación de la cámara mientras el multi rotor está en el aire.



Fig. 15. Cámara con Gimbal acoplado.

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación, se determinó, si para procesos de diagnóstico y revisión de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, hay clara evidencias de existir un aumento en la productividad y disminución de costos si se hace mediante un Sistema Aeronáutico no Tripulado que utilizando el método tradicional, que es un proceso realizado por un técnico que sube a la infraestructura.

El enfoque metodológico utilizado para esta investigación es el cuantitativo, se determinaron indicadores necesarios para medir la tarea propuesta y hacer una comparación entre el método tradicional y el método utilizando un UAS. En la fase exploratoria, se determinó el proceso que sigue el técnico y cuáles son los criterios para evaluar la tarea, si está correctamente realizada y que parámetros que se deben cumplir al realizarla. En esta misma fase se evaluaron las alternativas de drones y tecnologías de cámaras termográficas para obtener el diseño del UAS (integración de subsistemas) que pueda realizar la tarea que hace el técnico con los mismos criterios de evaluación.

En el diseño de la investigación se establecieron las variables asociadas a la tarea propuesta: costos de operación, tiempo invertido en la tarea y precisión en la medición. Se elaborará el instrumento de medición, que consiste en una encuesta que se pasó a los técnicos que se desempeñan en el área, y que evalúa las variables a medir. En una visita al Cafetalón, que cuenta con una torre de telecomunicaciones de Movistar, se midieron los tiempos para la captura de termogramas utilizando el UAS diseñado. Para pasar la encuesta, se elaboró un breve tutorial dirigido a los técnicos que hacen las tareas de mantenimiento y diagnóstico de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones. En este tutorial se les dio una breve charla sobre la tecnología implementada y luego se les demostró la captura de termogramas con el UAS en la subestación eléctrica de la Institución al costado poniente del edificio F.

Al final, se aplicó una encuesta que medía los indicadores antes descritos y además, para que hicieran las recomendaciones para mejorar el UAS. Al conjunto de datos obtenidos se aplicó la técnica del análisis estadístico de regresión múltiple para comparar los indicadores, obteniendo la

eficacia y precisión del proceso, y en base al análisis, validar o refutar la hipótesis inicial. De acá se derivan las respectivas conclusiones del estudio y el reporte final de la investigación.

Las actividades realizadas fueron:

1. Investigación acerca de los requerimientos necesario para una UAS que sea utilizado como herramienta para diagnosticar infraestructuras de telecomunicaciones eléctricas.
2. Investigación de las diferentes tecnologías existentes para implementar UAS, evaluando en dos grandes ramas: open hardware y sistemas propietarios. Los sistemas propietarios tienden a ser sistemas cerrados con pocas posibilidades de intercambiar componentes, en cambio los sistemas abiertos u open hardware están diseñados para ser flexibles, trabajar con componentes de diferentes fabricantes y programarse según las necesidades de la aplicación deseada.
3. Elaboración del diseño de un sistema flexible. Se diseñó un UAS con un sistema totalmente abierto basado en Arduino, con capacidad de ser utilizado incluso en otras aplicaciones.
4. El segundo diseño se basó en un UAV propietario, todos sus componentes están integrados en una sola unidad, con la ventaja que tiene una unidad de control de vuelos Pixhawk, la cual puede ser reprogramada para aplicaciones diferentes. En este diseño se incluyeron los siguientes componentes: Dron marca 3DR modelo Solo, cámara termográfica FLIR C2 y un circuito de disparo de la cámara. La cámara incorpora su propia batería así como el dron.
5. Ensamble de los componentes del dron con arquitectura abierta, se ensambló el chasis, en éste se montaron los motores, se soldó la conexión de dichos motores con sendos controladores ESC, los cuales se conectaron a la placa principal de conexiones, el cual está conectado a la placar principal APM 2.8. Se conectaron los demás sensores: IMU (unidad de medición inercial) y GPS. Para volar, se acoplaron las hélices y el control Taranis, este control se recibió posteriormente. En este UAS se aprendió a integrar los componentes, configurarlos y programarlos.
6. Instalación y configuración del software en el UAS de arquitectura abierta para su uso.
7. Con el UAS basado en Solo, se realizaron las pruebas de vuelo iniciales, en las cuales debido a un aterrizaje violento se dañó un motor, el cual se adquirió posteriormente, una vez completo este sistema se reiniciaron las pruebas de vuelo. En esta etapa se construyó un circuito transmisor y receptor, el cual se encargaba del disparo de la cámara termográfica. El inconveniente fue que al capturar la foto termográfica, no había forma de enfocar con precisión el objeto al cual se le estaba tomando la foto, porque el operador en tierra no veía lo que la cámara tenía en su objetivo.
8. Gestión de curso acerca de técnicas de vuelo impartida por el ingeniero venezolano Luis Briceño, denominado “Técnicas de vuelo de los drones y sus aplicaciones en Ingeniería”, se incluyeron en éste las aplicaciones de mayor uso en el área de ingeniería de los drones. Este curso se hizo la gestión desde la elaboración de los términos de referencia hasta culminarlo en diciembre del 2017. Este curso surge de la necesidad de capacitarse en técnicas de vuelo de los drones, posterior al curso, se entrenó en simuladores con el control Taranis aproximadamente

30 horas y con el simulador del dron Solo otras 30 horas.

9. Elaboración de subsistema de disparo de la cámara: se acopló a la cámara Flir C2 a un Raspberry (SBC) por cable USB, el SBC alimentado con un banco de baterías, captura la imagen que ve el sensor de la cámara, transmite la imagen en formato de video (streaming) a la tablet inalámbricamente, y esta última realiza la captura de la imagen o video guardándola en la memoria micro SD de la tablet. Se programó y configuró el Raspberry para realizar todas estas tareas.
10. Realización de captura de termogramas: se realizó la captura de termogramas en la instalación de panel fotovoltaicos sobre el edificio M, así como el sistema eólico del mismo edificio, también se capturaron termogramas en la subestación eléctrica aérea junto el edificio K, captura de termogramas en la torre de Movistar del Cafetalón y por último se tomaron termogramas a la torre eléctrica de alta tensión al costado oriente del edificio del Centro Judicial Integrado de Santa Tecla. Se anotaron las diferentes variables deseadas.
11. Consulta a los expertos: se programa una charla denominada "APLICACIONES DE LOS DRONES EN INGENIERÍA" realizada el día 3 de febrero del 2018, se invitó a técnicos expertos del área que se encargan de dar mantenimiento a la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones en torres. Asistieron a este evento técnicos de Telesis, a los que se les dio una pequeña charla del uso de los drones en ingeniería y luego una demostración del funcionamiento del UAS con cámara termográfica, al finalizar dio sus recomendaciones acerca del mismo, así como se midieron las variables de interés mediante una encuesta.
12. Procesamiento de la información obtenida para generar el análisis, conclusiones y recomendaciones acordes.

MATRIZ OPERACIONAL DE LA METODOLOGÍA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES EJECUTADAS	RESULTADOS OBTENIDOS	COSTO (Materiales y Servicios)	RESPONSABLES
1. Diseñar un UAV que cumpla con los parámetros establecidos para la aplicación pro-puesta.	<p>A1. Se determinaron parámetros de acuerdo a la aplicación deseada</p> <p>A2. Se estableció los pasos de diseño del UAV</p> <p>A3. Se generó el diseño seleccionando los componentes necesarios considerando los proveedores</p>	<p>R1. Diseño técnico con la documentación de las especificaciones de las diferentes partes que forman el UAV.</p> <p>R2. Orden de compra de las partes</p> <p>R3. Se optó por desarrollar un prototipo basado en open hardware y comprar otro UAV marca Solo para iniciar el entrenamiento en el vuelo.</p>	<p>Dron quadcopter Jdrones con cámara Hero Pro 4 (\$2,320) Dron Solo con Gimbal (\$2,990) 1 cámara termográfica Flir 2 C (\$1,458) Total: \$ 6,768.00</p>	<p>Ing. Morris Díaz Ing. Juan José Cáceres</p>
2. Integrar los componentes hardware y software para realizar la tarea propuesta	<p>A1. Se realizan las compras de las partes detalladas en el diseño</p> <p>A2. Se construye el UAV prototipo con los componentes obtenidos</p> <p>A3. Se realizan prácticas de pilotaje por parte de los miembros del equipo.</p>	<p>R1. Un UAS que cumple con los parámetros de diseño establecidos</p> <p>R2. Resultado de las pruebas básicas y en ambientes simulados del funcionamiento del UAV.</p> <p>R3. Elaboración de transmisor/receptor de RF para capturar termogramas en modo ciego, utilizando la cámara termográfica. No tiene mecanismo de encuadre aún.</p>	<p>3DR Solo motor pod y accesorios (\$523.69) Curso “Aplicaciones de los drones en ingeniería y técnicas de vuelo” (\$1,300) Tablet Amazon (\$242.25)</p>	<p>Ing. Morris Díaz Ing. Juan José Cáceres Alumnos que hicieron el PCB del circuito transmisor receptor de RF para disparo de la cámara</p>

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES EJECUTADAS	RESULTADOS OBTENIDOS	COSTO (Materiales y Servicios)	RESPONSABLES
3. Programación del software necesario para la aplicación propuesta.	A1. Configuración y programación de dron Solo para su operación. A2. Configuración y programación de Raspberry Pi, que permite transmitir el flujo de la cámara termográfica en streaming hacia la Tablet.	R1. Raspberry programado, que captura la imagen y la envía a la Tablet, donde el operador captura el termograma después de encuadrarlo. R2. Sistema integrado para la captura de termograma con encuadre remoto usando la Tablet.	Batería para dron Jdrone(\$141) Control Taranis para Jdrone(\$420) Raspberry PI (\$82)	Ing. Morris Díaz Ing. Juan José Cáceres Alumnos
4. Realizar las diferentes pruebas de campo para tomar las mediciones planteadas por la investigación, y hacer las correcciones necesarias para mejorar el UAS.	A1. Se describieron las pruebas a realizarse. A2. Se ejecutaron las pruebas de la lista en infraestructura del sector eléctrico/telecomunicaciones según lista. A3. Ajuste del diseño acorde a los resultados de las pruebas. Iterar pruebas. A4. Se desarrolló una charla y demostración con los técnicos del área para darles a conocer la tecnología.	R1. Lista de lugares de pruebas para captura de termogramas: En la institución: captura de termograma en subestación eléctrica aérea (costado poniente de Edif. K), al aerogenerador y el sistema fotovoltaico, los dos últimos instalados sobre el techo del edificio M Infraestructura de telecomunicaciones: se seleccionó la torre telefónica de Movistar en El Cafetalón. Infraestructura eléctrica: se seleccionó la torre de alta tensión junto Centro Judicial integrado de Santa Tecla (costado poniente). R2. Hoja con los resultados de las pruebas, los parámetros		Ing. Morris Díaz Ing. Juan José Cáceres

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES EJECUTADAS	RESULTADOS OBTENIDOS	COSTO (Materiales y Servicios)	RESPONSABLES
		medidos y termogramas. R3. Se ajustó el diseño según los resultados obtenidos para cumplir los objetivos. R4. Se obtuvo la retroalimentación de los técnicos del área eléctrica y electrónica.		
5. Se verificó la hipótesis: que el UAS mejora la productividad, rapidez, seguridad del proceso y disminuye costos con la obtención de resultados equivalentes con el método tradicional.	A1. Se analizaron datos obtenidos con la técnica estadística seleccionada en el diseño de la investigación. A2. Refutar o confirmar hipótesis. A3. Elaborar conclusiones.	R1. Tablas de datos. R2. Resultado del análisis estadístico de los indicadores medidos y confirmación de la hipótesis. R3. Conclusiones.	0.0.	Ing. Morris Díaz Ing. Juan José Cáceres
6. Desarrollar un sistema abierto, escalable y robusto, que permita integrar dispositivos de diferentes fabricantes y que pueda ser utilizado en otras aplicaciones y/o investigaciones futuras.	A1. Construir sistema UAS final, utilizando partes compatibles con otras de diferentes fabricantes. A2. Utilizar módulos compatibles, de tal forma que si se daña uno puede ser sustituido por otro de otro fabricante. A3. Integrar un rango amplio de sensores de UAV para su utilización en otras aplicaciones	R1. Lista de productos con cotizaciones de diferentes fabricantes. R2. Descripción de la compatibilidad con diferentes sensores del UAV diseñado R3. Lista de aplicaciones que puede ejecutar de acuerdo a una configuración dada de UAV	UAV DJI Inspire 1 Accesorios y repuestos \$3,000	Ing. Morris Díaz Ing. Juan José Cáceres

7. RESULTADOS

7.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El diseño de un cuadricóptero involucra varios retos, desde el análisis de los requerimientos, análisis estático y dinámico, selección de los componentes y la disponibilidad de los componentes entre los diferentes fabricantes.

Procedimiento de selección de los componentes para el diseño de un cuadricóptero a partir de la carga útil:

1. Determinar la carga de pago. En base a la aplicación a desarrollar se estima el peso aproximado de la carga útil, por ejemplo, en el diseño se estimó 1.5 lbs (cámara termográfica más su estructura y el mecanismo de control de la cámara), o el equivalente en kilogramos, 0.68 Kg.
2. Seleccionar el tipo de chasis: como se desea un cuadricóptero, se selecciona un chasis de 4 brazos, cuyo material es aluminio, con un estimado de 60 cm de extremo a extremo de los brazos opuestos.
3. Seleccionar los motores y hélices, el principal parámetro a considerarse es la fuerza de empuje, para lograr un equilibrio estático, si el peso los motores, batería, chasis y otros componentes fuera de 1 Kg, los motores necesitarían un empuje de 1 Kg en total, es decir 0.25 Kg cada uno. Pero este empuje no elevaría ni dejaría maniobrar al dron, porque estaría en equilibrio únicamente, por tal razón, del 100% de la fuerza de empuje de los motores, sólo entre el 50% al 60% del mismo será el peso a levantar. En el diseño se estableció el 50% en un principio. Es decir, los motores deben el peso del dron más la carga útil, multiplicado por dos. Si el dron pesa, 1 Kg, más la carga útil, serían 1.68 Kg, el dron debe tener empuje de $1.68 \times 2 = 3.36$ Kg, cada motor debe ser capaz de levantar 0.84 Kg. Para las hélices se toma en cuenta las dimensiones del cuadricóptero, tiene 60 cm entre los extremos de los brazos, las hélices pueden ser de 25 cm (10") quedando un margen de 10 cm.
4. Seleccionar los ESC, en base a la corriente que consumen los motores escogemos los controladores electrónicos de velocidad, cuyo parámetro fundamental es la corriente que deben entregar a los motores. Por ejemplo, si cada motor consume un máximo de 80 A, los ESC deben ser capaces de entregar los 80 A. Se utiliza un ESC por cada motor, en total 4 ESC.
5. Seleccionar la unidad de control de vuelo: es el computador en placa que irá sobre el dron y recibirán las órdenes del programa para controlar el UAS, estabilizarlo y seguir las instrucciones que reciba.
6. Seleccionar las comunicaciones y sensores: GPS, sensor IMU, conexión RC, WIFI si es necesario y otros.
7. Seleccionar la batería, una vez seleccionados los componentes que consumen energía: unidad de control, motores, ESC, etc. totalizar la cantidad de corriente total para estimar la capacidad de batería necesaria en base al tiempo de vuelo necesario. Para drones se utilizan las baterías LIPO, entre sus parámetros principales está el voltaje, corriente por hora que entrega, también posee la razón de descarga que tiene, por ejemplo, una batería de 5000 mA-h (5 A-h) con razón de

descarga 30C, puede entregar 5 A durante una hora, pero también puede entregar hasta 30 veces (de ahí el 30C), es decir $5A \times 30 = 150 A$, por 2 minutos, resultando siempre en 5 A-h la cantidad de energía entregada. Esta característica es fundamental y útil en los drones que requiere grandes cantidades de energía en corto tiempo.

8. Iterar la solución, determinados todos los componentes a usarse, se determinan los dispositivos por modelo y marca que se utilizarán, se recalcula el peso total y se ajustan los parámetros fundamentales de la solución obtenida, para que cumpla con la carga útil deseada, en este caso se ha estimado en 0.68 Kg.

Este último paso, es el que más tiempo necesita, porque se deben, en la mayoría de los casos seleccionar otros componentes para satisfacer el requerimiento deseado, por tanto varía el peso total, los ESC se deben cambiar si no satisfacen las necesidades de corriente con el nuevo peso, sustituir baterías, motores, etc.

Además de mantener una lista actualizada de todos los componentes proporcionada por al menos tres o cuatro diferentes, para poder seleccionar diferentes opciones, es necesario conocer la disponibilidad de tales dispositivos, para evitar la situación de seleccionar un componente que ya no es fabricado. Cuando se satisfacen todas las necesidades de corriente, empuje y peso deseado, se ha dado con la solución y se listan los componentes a adquirir para el diseño final.

En las referencias sitiográficas, se encuentra eCalc – propCalc, es una herramienta de diseño de drones en línea, que ahorra mucho del procesamiento de iteración antes descrito, al contar con todos los parámetros de diseño incorporados, así como la lista de fabricantes y modelos de baterías, motores, hélices y variadores más populares del mercado. Para ingresar utilizar el hipervínculo a continuación: <https://www.ecalc.ch/motorcalc.php?ecalc>.

Aparece una cantidad de información bastante grande, los datos e entrada se muestra en la fig. 15.

General	Peso del modelo: <input type="text" value="850"/> g <input type="text" value="con Motorización"/> <input type="text" value="30"/> oz
Celdas batería	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: <input type="text" value="seleccionar..."/> - <input type="text" value="media"/>
Variador	Tipo: <input type="text" value="seleccionar..."/>
Motor	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: <input type="text" value="seleccionar..."/> - <input type="text" value="seleccionar..."/> <input type="text" value="media"/> <input type="text" value="buscando..."/>
Hélice	Tipo de hélice: <input type="text" value="seleccionar..."/> - <input type="text" value="0°"/>

Fig. 16. Datos a introducir en eCalc Propeller

De las primeras estimaciones y luego de varias iteraciones, se introdujeron los siguientes datos en la aplicación en línea:

Peso sin motores: 650 gr (4 motores)

Batería: Tipo LIPO 5000 mAh 25/35C, 3 celdas en serie, 2 en paralelo.

ESC: máxima corriente 40 A

Motores: Avionic C2830-14 840 KV.

Tipo de hélice: RFM 4.0°

El análisis de los resultados es este.

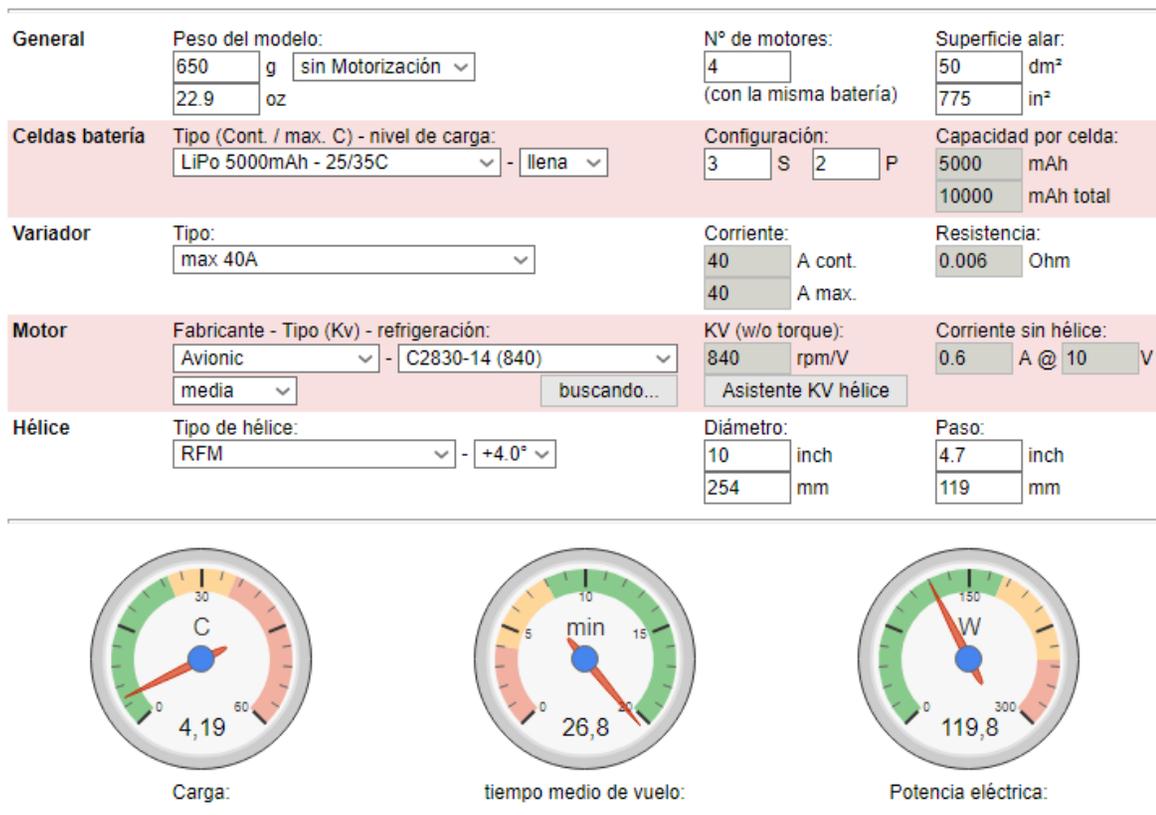
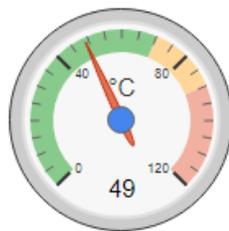


Fig. 17. Resultados de eCalc (1).

La carga de 4.19C es la capacidad de carga de la batería utilizada, en una hora se pueden cargar 4.19 baterías, una batería se carga en $60 \text{ min} / 4.19 = 14.32 \text{ min}$ de carga aproximadamente. El tiempo medio de vuelo que puede alcanzar con estos dispositivos es 26.8 minutos y la potencia eléctrica exigida a la batería es de 119.8 W.

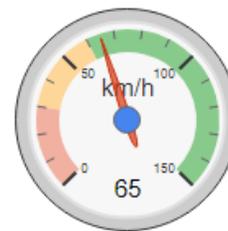
Res. aerodinámica: estándar 0.05 Cd	Sección transversal: 0 dm ² 0 in ²	Altura del campo 500 m ASL 1640 ft ASL	Temp. aire 25 °C 77 °F	Presion (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg
descarga max. 85%	Resistencia: 0.0042 Ohm	Voltaje: 3.7 V	capacidad C de descarga: 25 C continua 35 C de pico	Peso: 124 g 4.4 oz
Peso: 50 g 1.8 oz	Sección del cable hasta la batería AWG10=5.27mm ²	Longitud: 0 mm 0 inch	Sección del cable hasta el motor AWG10=5.27mm ²	Longitud: 0 mm 0 inch
Límite (hasta 15s): 250 W	Resistencia: 0.272 Ohm	Longitud caja: 30 mm 1.18 inch	n° Polos mag.: 14	Peso: 52 g 1.8 oz
número de palas: 2	Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0	Gear Ratio: 1 : 1	Velocidad de vuelo: 0 km/h 0 mph	Calcular



Temperatura ext.:



Empuje-Peso:



veloc. aire impulsado:

Fig. 18. Resultados de eCalc (2).

En la Fig. 18 se puede observar el empuje-peso, que es de 1.6: 1, es decir que por cada Kg, los motores tienen un empuje total de 1.6 Kg en total. La temperatura externa de los motores es de 49 °C Kg.

Batería		Motor a eficiencia óptima		Motor al Máximo	
Carga:	4.19 C	Corriente:	4.77 A	Corriente:	10.47 A
Voltaje:	11.50 V	Voltaje:	11.62 V	Voltaje:	11.44 V
Tensión nominal:	11.10 V	Revoluciones*:	8250 rpm	Revoluciones*:	6651 rpm
Energía:	111 Wh	Potencia eléctrica:	55.4 W	Potencia eléctrica:	119.8 W
Capacidad total:	10000 mAh	Potencia mecánica:	42.1 W	Potencia mecánica:	81.0 W
Capacidad usada:	8500 mAh	Eficiencia:	76.0 %	Eficiencia:	67.7 %
Tiempo min de vuelo:	12.2 min			Temperatura ext.:	49 °C
tiempo medio de vuelo:	26.8 min				120 °F
Peso:	744 g 26.2 oz			Medidas de potencia	
				Intensidad:	41.88 A
				Voltage:	11.5 V
				Potencia:	481.6 W

Fig. 19 Resultados de eCalc (3).

Según la Fig. 19 las especificaciones técnicas de la batería: tiene una tensión nominal de 11.1 V, un tiempo mínimo de vuelo de 12.2 min y un peso de 744 g. Los motores trabajan, en condiciones óptimas, a 8,250 rpm con un consumo de potencia eléctrica de 55.4 W, y una eficiencia del 76%. Los motores trabajan, en condiciones máximas, a 6,651 rpm con un consumo de potencia eléctrica de 119.8 W, y una eficiencia del 67.7%.

Helice		Motorización Total		Avion	
Empuje estático:	766 g 27 oz	Peso de la Motorización:	1267 g 44.7 oz	Peso total:	1917 g 67.6 oz
Revoluciones*:	6651 rpm	Potencia-Peso:	257 W/kg 117 W/lb	Carga alar:	38 g/dm ² 12.5 oz/ft ²
Empuje en pérdida:	453 g 16 oz	Empuje-Peso:	1.60 : 1	Carga alar cúbica:	5.4
Empuje a 0 km/h:	766 g	Corriente al máximo:	41.88 A	Velocidad estimada de pérdida:	30 km/h 19 mph
Empuje a 0 mph:	27 oz	Potencia(entrada) al máximo:	492.8 W	Velocidad estimada (en horizontal):	59 km/h 37 mph
veloc. aire impulsado:	65 km/h 40 mph	Potencia(salida) al máximo:	324.1 W	Velocidad estimada (en vertical):	23 km/h 14 mph
velocidad en la punta:	318 km/h 198 mph	Eficiencia al máximo:	65.8 %	Trepada estimada :	7.7 m/s 1509 ft/min
Empuje específico:	6.40 g/W 0.23 oz/W	Par:	0.12 Nm 0.09 lbf.ft		

Fig. 20. Resultados de eCalc (4).

El punto más destacable es la relación Empuje-peso, donde por 1 Kg de peso total, el arreglo motor y alas entregan 1.6 Kg de empuje total. La velocidad máxima total estimada en horizontal es de 59 km/h y la velocidad máxima en vertical es 23Km/h. El peso total del dron es 1.27 Kg, y requiere una potencia máxima de 492.8 W.

Las especificaciones finales del diseño se muestran a continuación.

Peso sin motores: 503 gr (4 motores)

Chasis: 56 cm de extremo a extremo (sin hélices)

Batería: Tipo LIPO 5000 mAh 25/35C, 3 celdas en serie, 2 en paralelo.

ESC: 4 de 20 A, máxima corriente 80 A

Motores: Jdrones modelo 30020 850 KV.

Tipo de hélice: 10x45

Control: Taranis 9 canales 2.4 Ghz

Unidad de control: Ardupilot Mega 2.6 (APM 2.6) actualizado a 2.8

GPS: 915 Mhz telemetría

Cámara: Termográfica FLIR C2

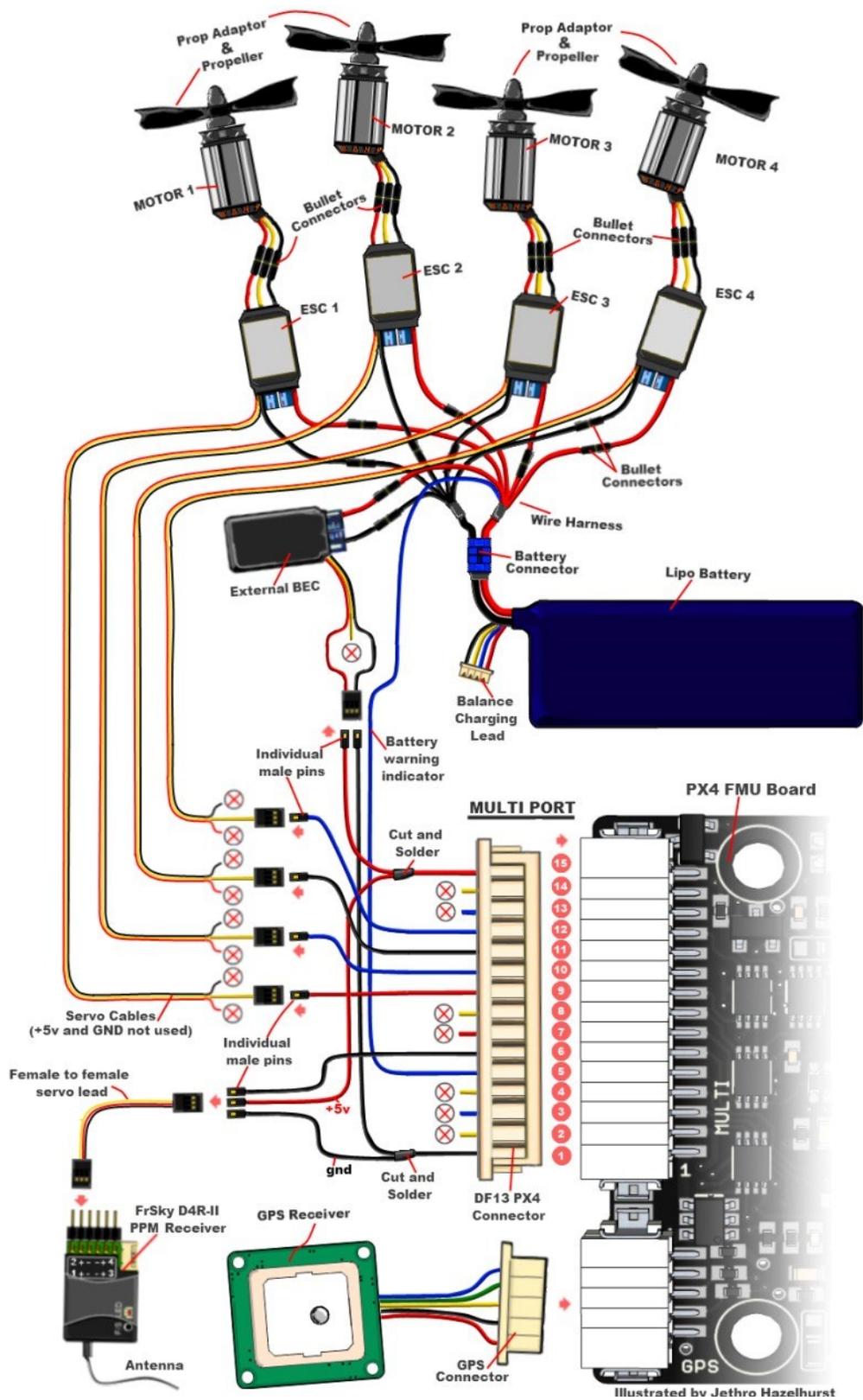


Fig. 21: Interconexión de los componentes a la unidad de control Ardupilot

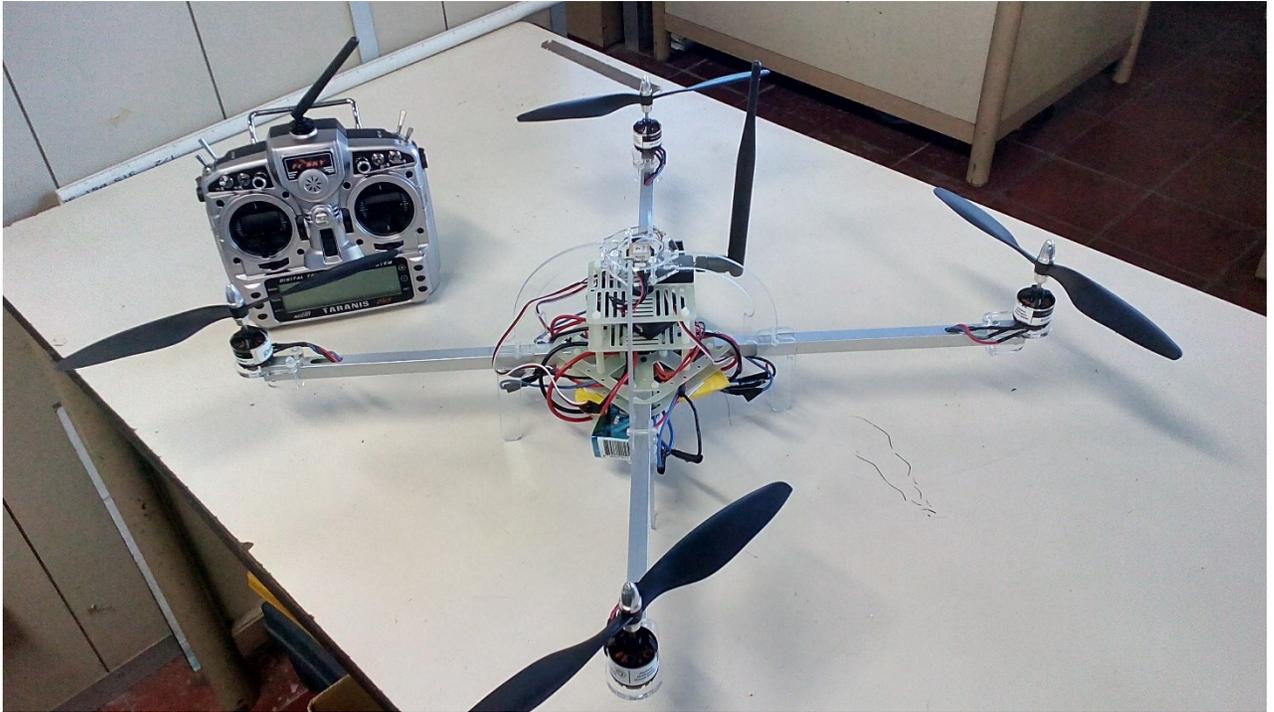


Fig. 22. Arducopter diseñado y ensamblado.



Fig. 23. Arducopter diseñado y ensamblado junto a control Taranis.

Antena fue usada sólo para la programación.

7.2. SISTEMA UAS BASADO EN DRON SOLO

El segundo sistema UAS, implementado con un dron propietario, redirigió la investigación a evaluar diferentes alternativas de UAV, combinados con una cámara termográfica para hacer la tarea propuesta. Al evaluar las características de diferentes drones, se encontró el DJI con cámara Zenmuse XT, mostrado en la Fig. 23 con un precio en ebay de \$ 11,395 sin incluir el envío.



Fig. 24: UAV marca DJI con cámara termográfica

Zenmuse XT resolución 640x480 integrada a un dron DJI Inspire 2

Este UAV consta de la cámara termográfica integrada al dron, la cual tiene una resolución de 640x480 pixeles. El propósito en este punto es construir un UAS que realice la tarea de capturar termogramas pero integrando componentes de mucho menor costo. Se evaluó el DJI Inspire 2 (\$2,900) y el 3DR Solo (\$1,200), optando por este último por tener un menor costo y una mayor versatilidad en cuanto a la carga de pago.

El precio está dado sin accesorios y sin cámara. En cuanto a la mayoría de drones en el mercado tienen un diseño cerrado, que únicamente permite agregar accesorios del mismo fabricante diseñados para ese UAV, el dron Solo de 3DR tiene una bahía de expansión y un área plana bajo su cuerpo que permite integrar diferentes accesorios.

El UAV Solo de 3D Robotics se caracteriza ser minimalista de color negro, con un peso de 1.5 Kg y al sumar la cámara y gimbal alcanza los 1.8 Kg, en muchos países, al superar los 1.5Kg, se requiere de una licencia para su vuelo, en El Salvador aún no es necesario. En el momento de la elección de este dron para el UAS propuesto, 3D Robotics era una empresa en crecimiento y con un gran futuro, que establecía un acuerdo con Autodesk y Sony para crear una versión profesional de este dron; esta nueva versión puede escanear y hacer un modelo de mapeo de una construcción o un puente que necesita una reparación e inmediatamente subir estos datos en forma de modelo 3D o mapa a la nube; una velocidad de análisis y obtención de datos muy esperada por ingenieros y técnicos en muchos sectores. El costo final fue de \$12,000 de todo el sistema integrado que incluye un dron Solo, una cámara Sony R10C y el software Site Scan, al sistema completo se le conoce en inglés como Site Scan drone with Sony R10C.



Fig. 25: Dron Solo de 3D Robotics, con sus accesorios instalados.

Las características generales del dron Solo se muestran a continuación:

Peso:	1,5 kg
Cámara:	GoPro Hero 3+/4
Batería	14.7V 5200-mAh L polímero de Litio, sustituible
Vida de la batería:	20/22 minutos
Rotores:	4
Streaming:	720p
Tiempo de Vuelo:	25 minutos; 20 minutos con carga de pago
Alcance de radio:	800 m
Velocidad máxima:	89 km/h
Velocidad máxima en ascenso:	10 m/s en modo Stabilize
Carga de pago máxima:	420 g
Motores:	880 kV
Autopiloto (unidad de control):	Pixhawk 2
Software:	APM Copter

Frecuencia de trabajo:	2.4 GHz
Dimensiones:	Alto (25 cm), Ancho (46 cm) de motor a motor
Tiempo de carga de la batería:	hora y media
Batería del transmisor:	2600 mAh 7.2 Vdc Ion Litio recargable
App:	iOS 8.0 o posterior / Android 4.3 o posterior

Para integrar los sistemas se debe considerar el peso total, el dron tiene una masa total de 1.5 Kg, con el gimbal y la cámara su masa es de 1.8 gr. La máxima carga que puede tener el dron Solo es de 1.5 Kg más la carga de pago máxima 0.42 Kg, es decir un total de 1.92 Kg.

La cámara FLIR C2 tiene una masa total de 0.13 Kg y el soporte fabricado tiene una masa de 0.045 Kg. haciendo una masa total de: $1.8 \text{ Kg} + 0.13 \text{ Kg} + 0.045 = 1.975 \text{ Kg}$, teniendo un sobrepeso de 0.055 Kg o 55 gr. Después de realizar las pruebas, el sistema con dos cámaras, la Gopro y la cámara termográfica, se mantenía estable, aunque disminuía un poco la maniobrabilidad. Aunque puede soportar la carga antes mencionada (1.975 Kg), será necesario agregar el mecanismo de disparo y control del mismo, con lo cual es preferible eliminar quitar el gimbal y la cámara Gopro. Tendríamos una masa de

$1.5 \text{ Kg} + 0.13 \text{ Kg} + 0.055 \text{ Kg} = 1.685 \text{ Kg}$, lo cual nos deja 0.235 Kg (235 gr) para el mecanismo de disparo y control.

7.3. MECANISMO DE DISPARO DE LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

La cámara termográfica seleccionada, entre varias, fue la FLIR C2 (Fig. 26), aunque es una cámara de bolsillo, es fácilmente adaptable (con un precio de lista de \$740). En un principio se evaluó la cámara FLIR VUE PRO R 640, que tiene una resolución de 640x512 pixeles, ideal para drones, y 3DR proporciona un gimbal especialmente para esta cámara, pero a un precio de lista de \$4,800 (Fig. 27).



Fig. 26: Cámara FLIR C2.



Fig. 27: Cámara Vue Pro R 640.

La cámara FLIR C2 tiene dos sensores para capturar imágenes, uno IR para capturar imágenes y otro para capturar imágenes normales, la resolución es de 640x480 píxeles. Con el dron y la cámara termográfica, se adapta la cámara para acoplarla al dron utilizando una estructura en forma de marco, de plástico, el cual se sujeta al dron. Pero hace falta el mecanismo de disparo de la cámara, para tomar la foto remotamente.

La cámara Gopro tiene un puerto micro HDMI, y el dron Solo proporciona el conector micro HDMI para conectar la cámara y controlar la captura de video y captura de fotos mediante el control transmisor del mismo dron, además que la cámara Gopro permite enlace inalámbrico WIFI directamente desde una tableta o teléfono inteligente, desde estos dispositivos, mediante una aplicación, se puede capturar video e imágenes.

La cámara FLIR C2, no posee ningún tipo de conectividad WIFI o HDMI, únicamente un puerto USB micro-B.



Fig. 28. Puerto USB micro-B de cámara FLIR C2.

Se opta por generar un mecanismo de disparo por radio control, se construye un subsistema con los siguientes elementos:

1. Transmisor: mediante un interruptor, generará una señal portadora de RF a 10 Mhz.
2. Receptor: cuando recibe una señal portadora a 433 MHz, activa un relé que cierra un interruptor.
3. Accionador: este mecanismo detecta el interruptor cerrado por el receptor, y activa un servomecanismo para presionar el botón en la cámara para capturar el termograma respectivo.

El transmisor lo tiene el operador en tierra del dron, el receptor y accionador están colocados en el dron, junto a la cámara termográfica con su propia fuente de energía (baterías). El alcance máximo transmisor-receptor es de 45 m.

El transmisor y receptor se implementa utilizando los codificadores y decodificadores HT12E y HT12D de Holtek (Fig. 28), se agregan los módulos transmisor y receptor a 433 Mhz, que operan hasta un máximo de 100 m (Fig. 29), estos módulos incluyen todos los componentes de RF integrados en las placas.

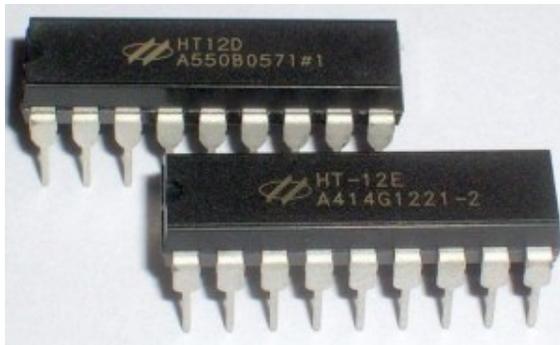


Fig. 29: Módulos HT12E y HT12D

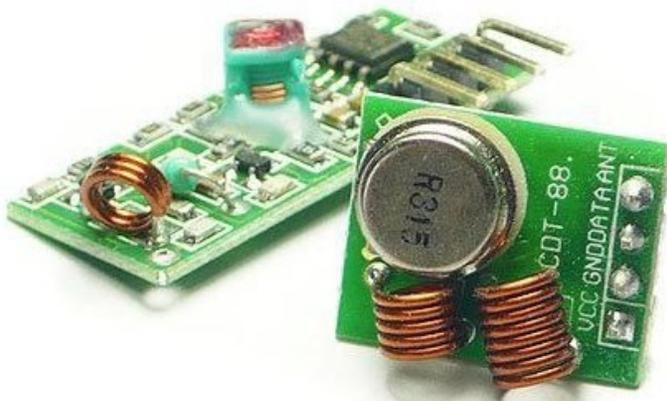


Fig. 30: módulo transmisor (derecha) y receptor (izquierda) a 433 MHz

Estos módulos son capaces de transmitir hasta cuatro bits utilizando modulación OOK (ASK). A continuación, se muestra el circuito típico del transmisor y receptor que proporciona el fabricante para transmitir 4 bits con los módulos.

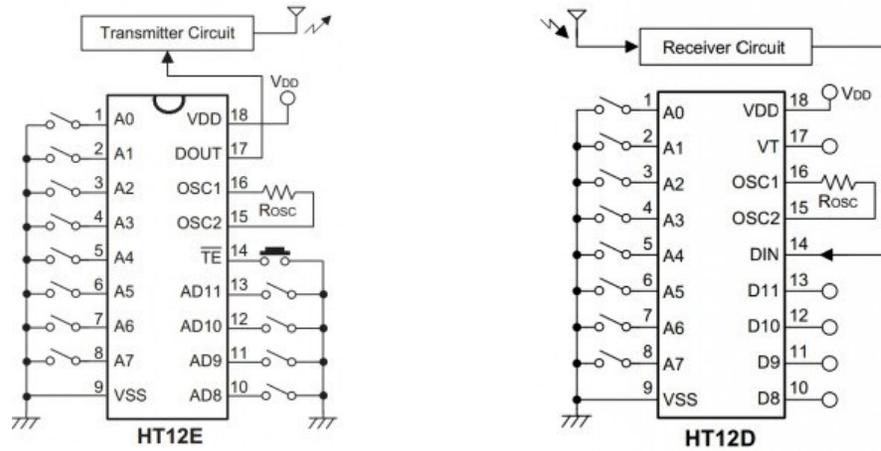


Fig. 31. Circuitos implementados del transmisor y receptor.

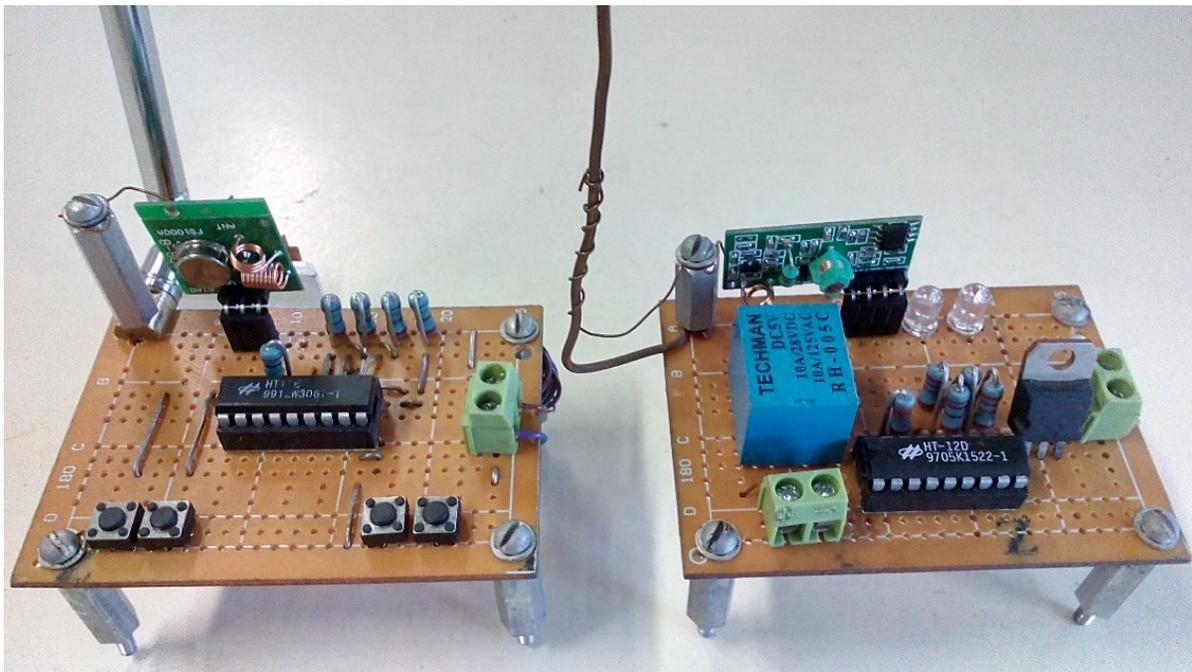


Fig. 32: Circuito de transmisor y receptor implementados con HT12E y HT12D

El circuito del accionador, aunque parecía simple hacerlo con un solenoide, se dificultó en grado extremo acoplar el solenoide a la cámara, se optó para implementarlo, sin dañar el botón disparador, utilizar un servomotor el cual presionaba una palanca que al girar presionaba el interruptor. En la Fig. 32 se muestra el circuito implementado y en la Fig. 34 el circuito implementado con el marco plástico de la cámara incluido.

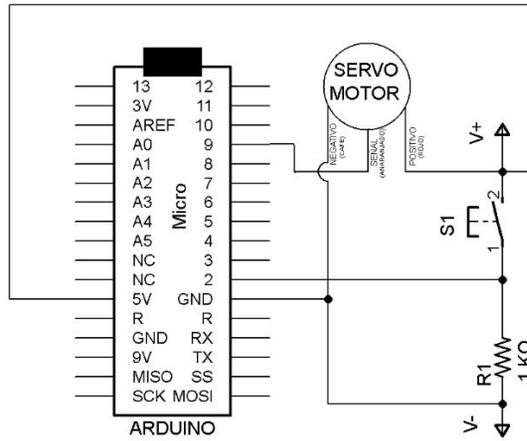


Fig. 33. Circuito disparador del botón de la cámara

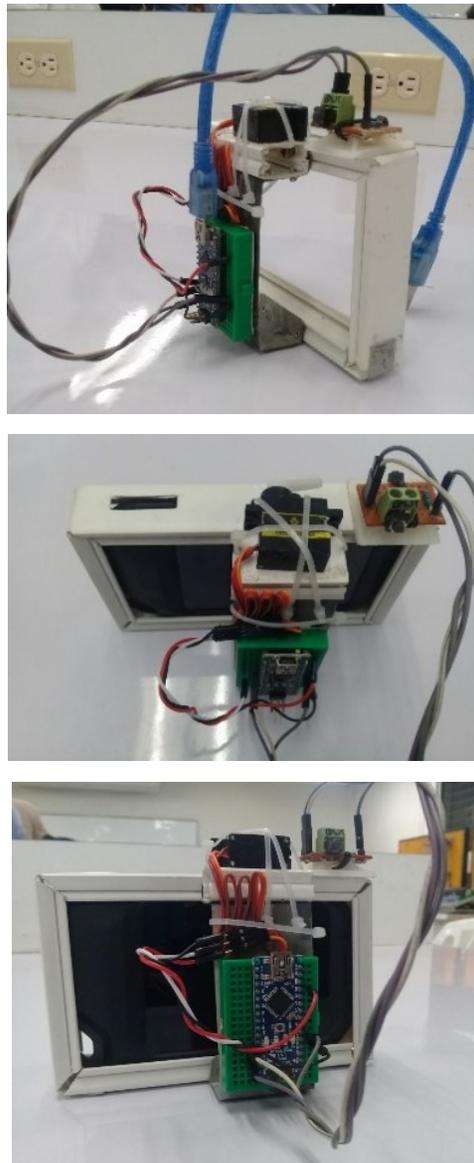


Fig. 34. Circuito disparador del botón (primera imagen sin cámara).

El subsistema de disparo, integrado al dron Solo funcionó perfectamente, tomaba los termogramas presionando el botón del transmisor, pero había un detalle muy importante: desde tierra, el operador del disparador de la cámara no era capaz de ver con precisión hacia donde apuntaba la cámara al momento de tomar el termograma, solo era una estimación, y no siempre era el mejor ángulo. Se necesitaba de otro mecanismo que nos permitiera visualizar a qué se le tomaría el termograma.

7.4. SISTEMA FINAL (CON AJUSTES)

Al estudiar con más rigurosidad la cámara FLIR C2, se determinó que el software que trae, Flir Tools, al instalarse en una PC, es capaz de manipular todas las funciones de la cámara remotamente a través de un cable USB, conectado en un extremo a la PC con el software y en el otro extremo conectado a la cámara.

La investigación se orientó a establecer una conexión entre los puertos USB de la PC y de la cámara, que aunque fuera inalámbrica, los puertos USB la vieran como una conexión cableada, esto era posible, pero requería de un MCU Arduino, un SBC Raspberry PI 3 y un banco de baterías que pudiese alimentar a ambos sistemas, todo esto debería montarse en el dron y no superar los 0.42 Kg (420 gr). No se implementó esta alternativa, por diferentes razones, pero propicio llegar a la solución definitiva. El Arduino era el encargado de simular una conexión USB mediante la conexión inalámbrica, y el Raspberry controlaría el flujo de video e imágenes de la cámara termográfica a través del enlace, solo se adquirió el sistema Raspberry, pero el Arduino no. Mediante programación y configurando el sistema Raspbian, la versión de Linux que se instaló en el Raspberry, este SBC fue capaz de capturar las imágenes de la cámara en tiempo real y retransmitir por streaming el video mediante un servidor de medios (instalado en Raspbian) y desde acá es accesible a la red. Se necesitaba un dispositivo inalámbrico que operase como Access Point inalámbrico, el control del dron Solo fue capaz de asumir tal función. El sistema queda:

1. Control del dron Solo,
2. Cámara Termográfica FLIR C2
3. Raspberry PI 2 model B
4. Banco de baterías
5. Marco de aluminio para la cámara, se optó porque no incrementaba tanto el peso y daba una mayor protección a la cámara.

A continuación, se muestran los diferentes subsistemas del UAS sin ensamblar (Fig. 35), además en la tabla 1 se muestra las masas de todos los subsistemas, y el total, que suma 1.91 Kg, lo cual está dentro de los límites del dron, que puede, según el fabricante, manipular dentro de los parámetros normales de funcionamiento hasta 1.92 Kg.



Fig. 35. Componentes a integrar en la solución final.

Los componentes del UAS final se detallan con su masa a continuación:

Item	Componente	Masa (Kg)	Masa (gr)
1	Dron solo (sin gimbal)	1.5 Kg	1,500 g
2	Cámara termográfica (con batería incluida)	0.12 Kg	120 g
3	Raspberry	0.045 Kg	45 g
4	Banco de baterías	0.165 Kg	165 g
5	Soporte de Aluminio	0.09 Kg	80 g
	Masa total	1.91 Kg	1,910 g

Tabla 1: Masa de los componentes del UAS con cámara termográfica

Conexiones: la batería del dron se instala en el UAS para energizar al dron, la cámara se conecta al Raspberry mediante un cable USB (un extremo USB miro-B), el banco de baterías alimenta al Raspberry por un cable USB, de igual forma el conector en el Raspberry es USB micro-B. Todo se acopla al dron Solo, el cual alza el vuelo con todos los componentes. El sistema ensamblado se muestra en la Fig. 36.



Fig. 36. UAS ensamblado con todos los componentes

Funcionamiento: se energizan todos los subsistemas, en este orden 1. Control de mandos del dron Solo (izquierda Fig. 36), 2. Cámara termográfica, 3. Raspberry, 4. Dron Solo y por último, 5. Tableta. Se sigue este orden porque tanto el dron como el Raspberry deben conectarse al control de mandos (1°), la cámara (2°) debe estar energizada para ser reconocida por el Raspberry (3°) y por último, se energiza el dron(4°) para emprender el vuelo.

El Raspberry, al energizarse y cargar (puede tardar hasta 3 minutos en completar el proceso) reconoce la cámara, la configura automáticamente y ejecuta el servidor Mjpg-streamer para transmitir el video capturado usando la cámara. Terminado todo el proceso de arranque, el Raspberry se conecta al control de mando inalámbricamente y queda conectado a la red. En este momento, la tableta se conecta al control de mando, y accede vía web por medio de la dirección IP del Raspberry al servidor Mjpg-streamer y puede acceder al video de la cámara termográfica. El dron es energizado y emprende el vuelo hasta el punto de captura del termograma, en la tableta el operador retroalimenta al operador del dron (que puede ser el mismo operador) para que mueva el dron hasta el punto exacto donde se realiza la captura del termograma, el cual se guarda en la memoria de la tableta y puede ser transferida a una computadora para su análisis.

7.5. ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con el UAS funcionando se procedió a la captura de termogramas en los diferentes sitios de interés según la siguiente tabla:

Lugar	Locación	Tipo
1	Techo Edif. M, ITCA	Paneles fotovoltaicos
2	Techo Edif. M, ITCA	Sistema eólico
3	Poniente Edif. K, ITCA	Subestaciones eléctrica demostrativa
4	Poniente Edif. F, ITCA	Subestación eléctrica #4
5	El Cafetalón, extremo oriente	Torre telefónica de Movistar
6	Calle al poniente del Centro Judicial integrado de Santa Tecla	Torre de transmisión de energía eléctrica

Tabla 2: Locaciones seleccionadas para captura de termogramas, Ciudad de Santa Tecla

En la Fig. 36 se muestran las locaciones en un mapa satelital del área, indicadas en números rojos están señaladas las diferentes locaciones de la tabla 2.

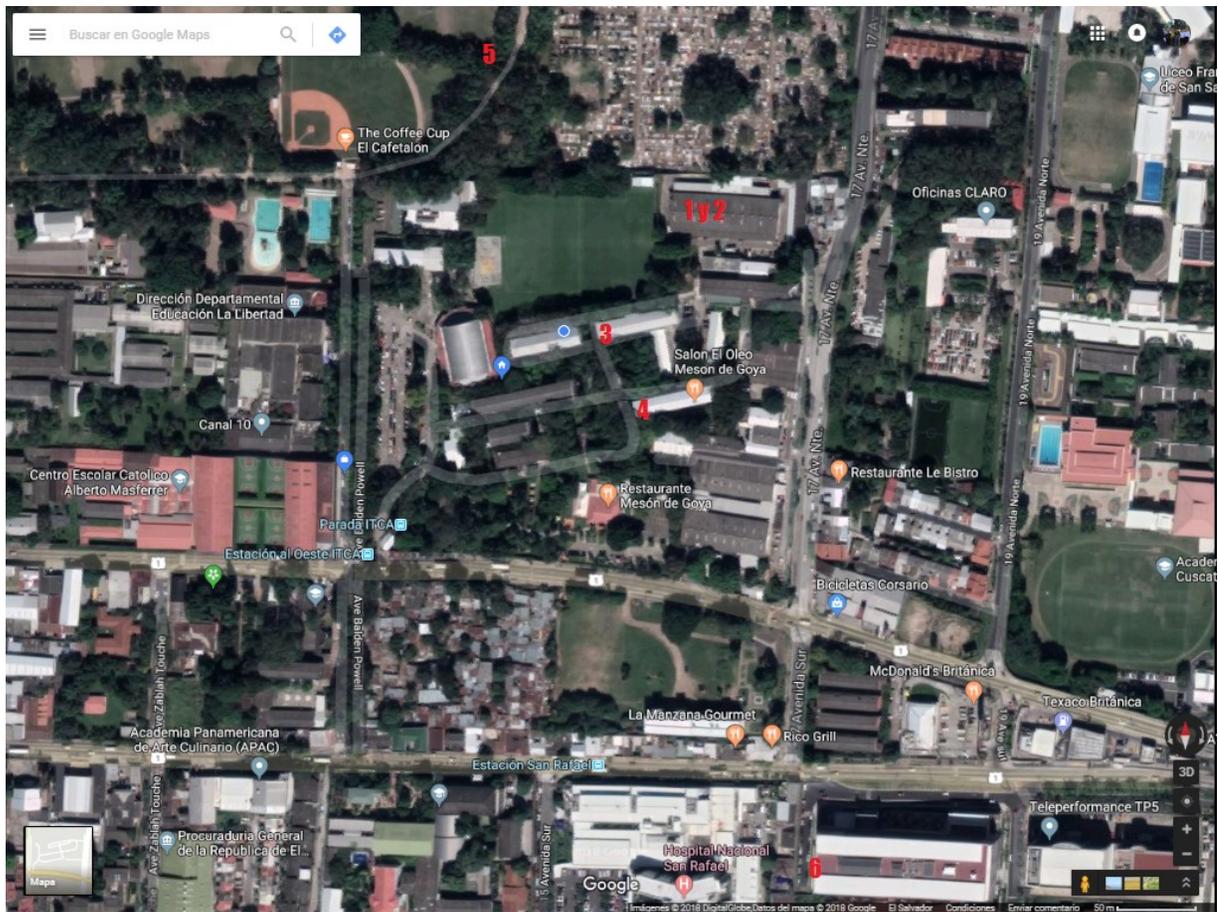


Fig. 37. Locaciones seleccionadas distribuidas en mapa satelital

A continuación se muestran los diferentes termogramas capturados en dichas locaciones.

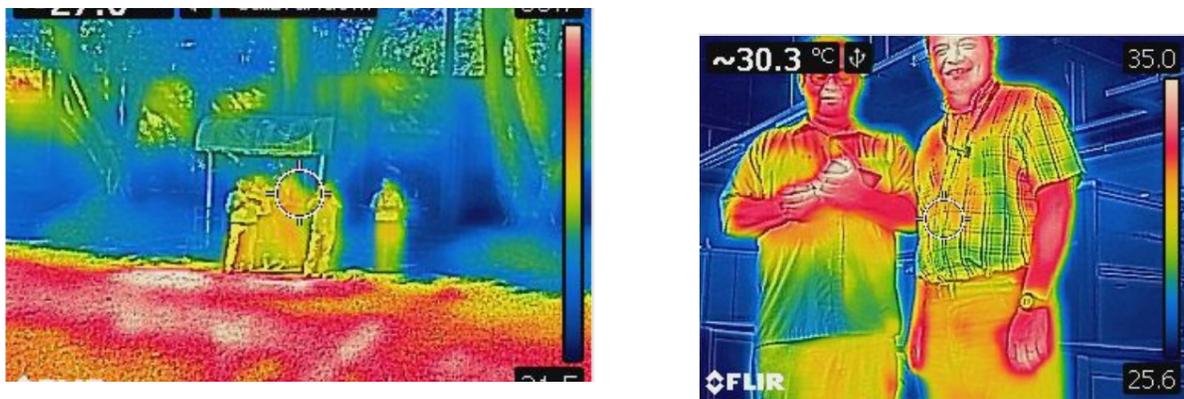


Fig. 38. Termogramas preliminares de prueba

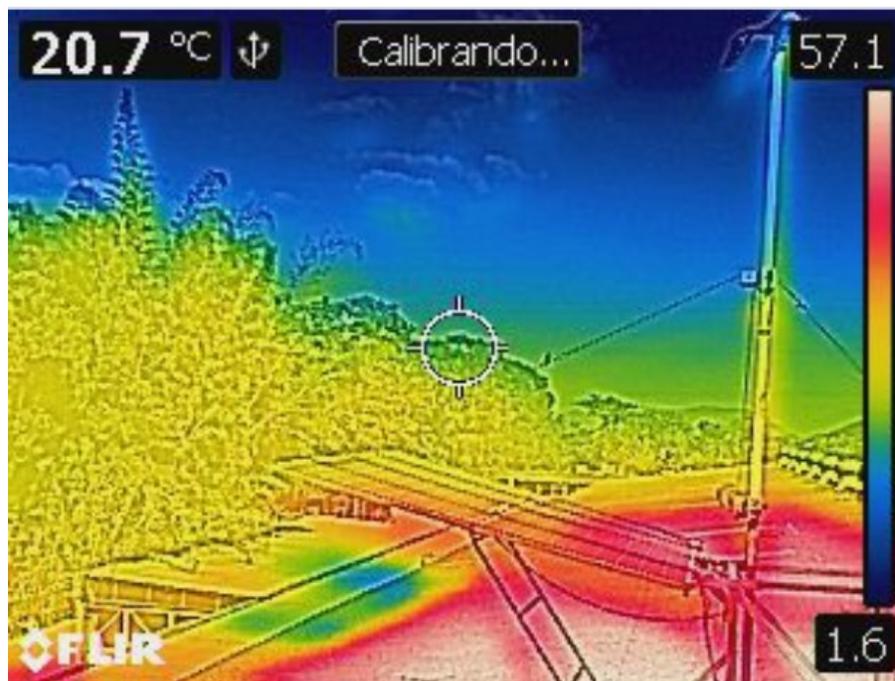


Fig. 39. Termogramas de locación 1

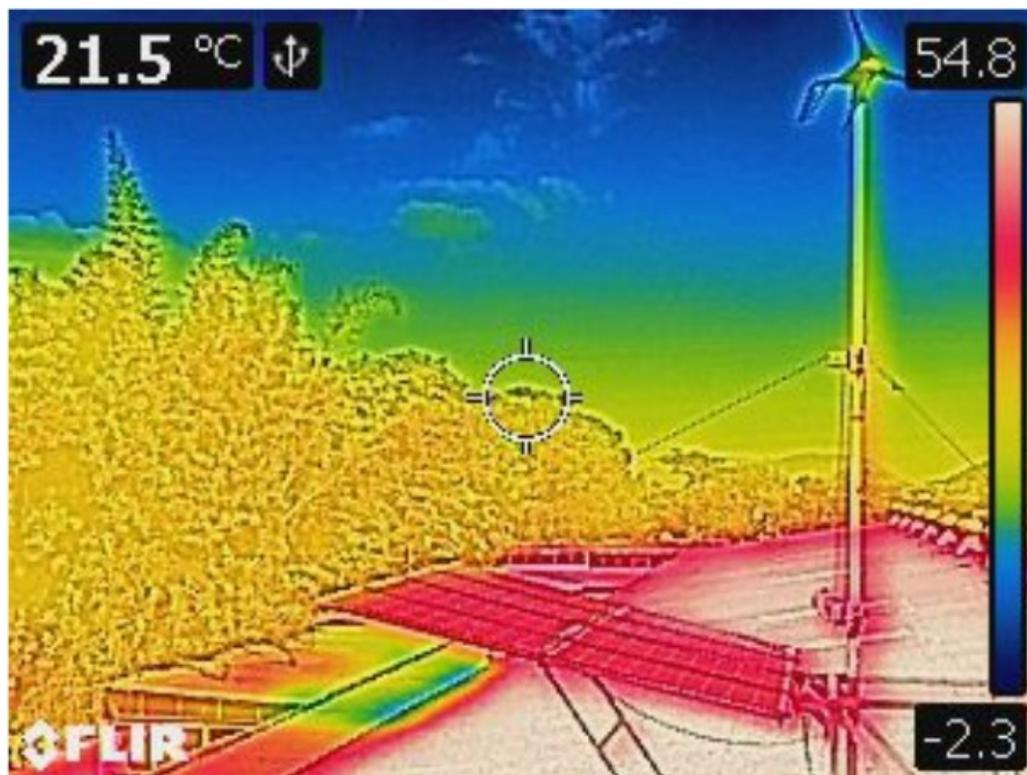
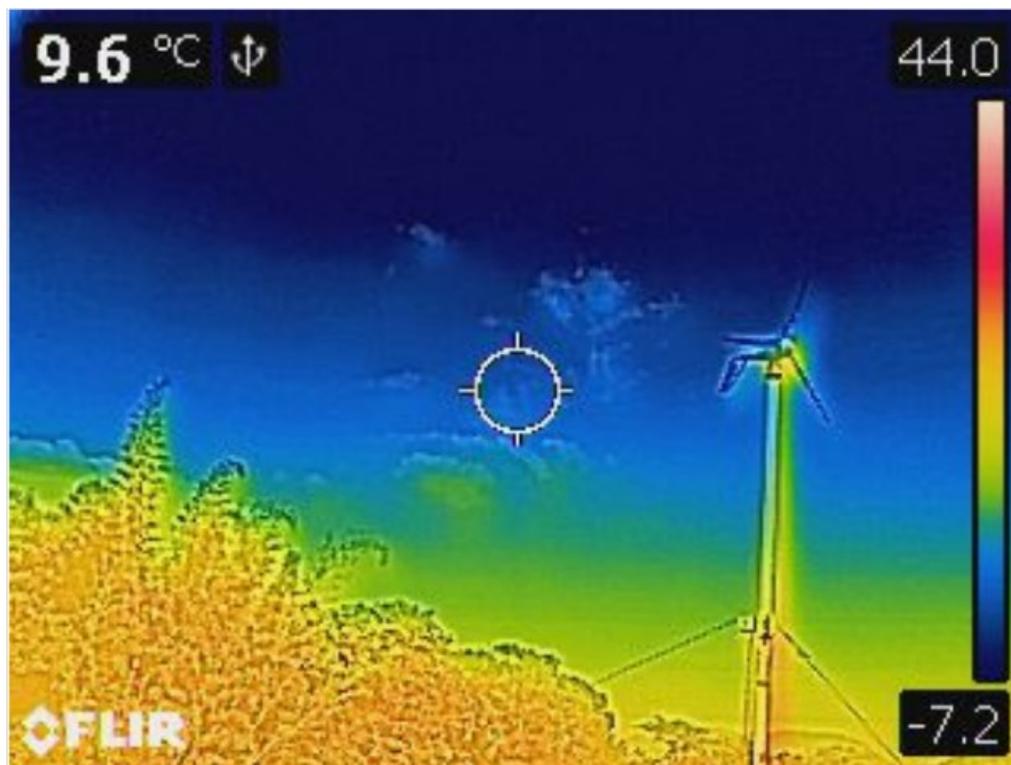


Fig. 40. Termogramas de locación 2



Fig. 41. Termogramas de locación 3



Fig. 42. Termogramas de locación 4

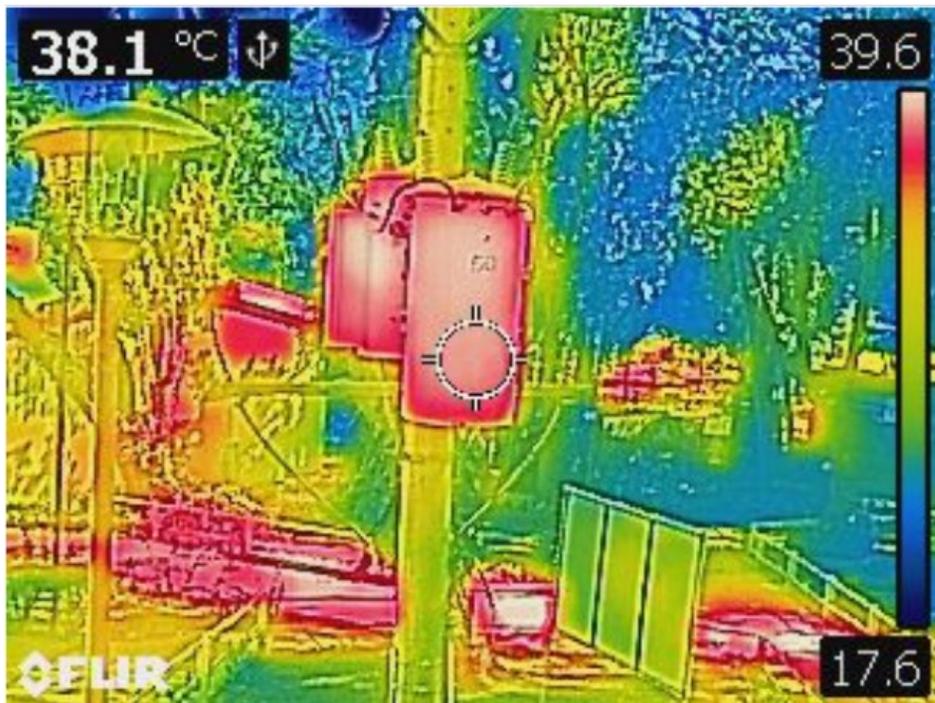


Fig. 43. Termogramas de locación 4

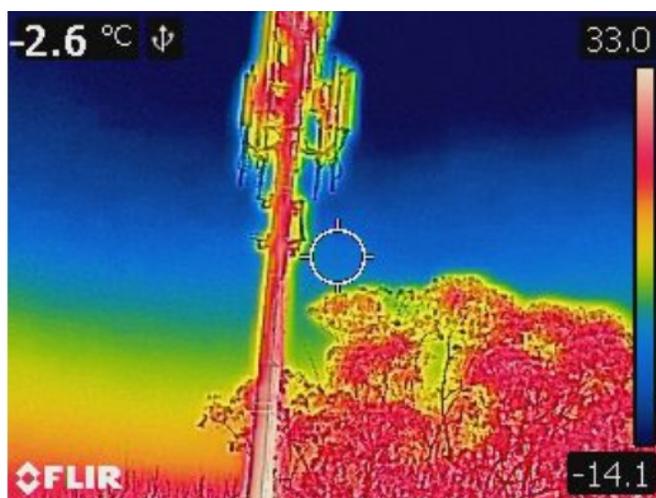


Fig. 44. Termogramas de locación 5



Fig. 45. Termogramas de locación 6

Los tiempos tabulados para adquirir los termogramas en las diferentes locaciones se muestra en la tabla siguiente.

Item	Locación	Tipo	Tiempo
1	Techo Edif. M, ITCA	Paneles fotovoltaicos	4 min
2	Techo Edif. M, ITCA	Sistema eólico	4 min
3	Poniente Edif. K, ITCA	Subestaciones eléctricas demostrativas	4 min
4	Poniente Edif. F, ITCA	Subestación eléctrica #4	6 min
5	El Cafetalón, extremo oriente	Torre telefónica de Movistar	12 min
6	Calle al poniente del Centro Judicial integrado de Santa Tecla	Torre de transmisión de energía eléctrica	8 min

Tabla 2: Locaciones seleccionadas para captura de termogramas, Ciudad de Santa Tecla

7.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se realizó una charla a un grupo de técnicos que trabajan en el área de mantenimiento del área de eléctrica y telecomunicaciones, que trabajan precisamente con la infraestructura de torres. Esta charla tenía entre sus objetivos principales:

1. Compartir con las empresas del ramo, la tecnología de diagnóstico de infraestructuras utilizando una cámara termográfica y un dron.

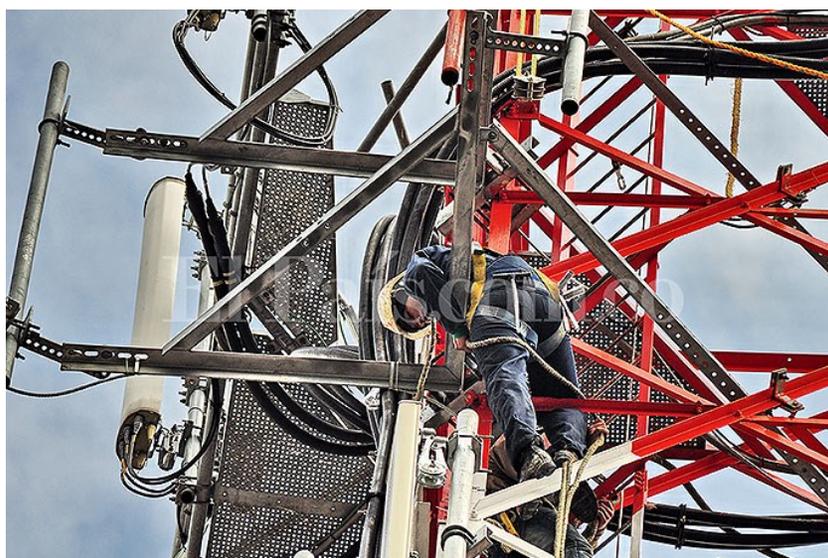


Fig. 46. Personal técnico en mantenimiento a una torre de telefonía móvil

2. Medir el indicador de capacidad utilizando el método tradicional, al hacer mantenimiento de infraestructura de telecomunicaciones y eléctrica.

3. Solicitar las recomendaciones al personal acerca de las mejoras o correcciones que se le puedan hacer al UAS integrado.

Esta charla se llevó a cabo en las instalaciones de ITCA-FEPADE, y asistieron técnicos de la empresa TELESIS S.A. DE C. V. En anexos se puede observar la temática de la charla y el volante de la misma que se envió a las empresas.



Fig. 47. Personal asistente a charla sobre drones, de izquierda a derecha, Ing. Cáceres, Ing. Díaz, docentes investigadores del área de Ing. Electrónica, Tec. Douglas Fernando Flores, supervisor técnico en Telesis, Tec. Melvin Israel Alas y Tec. William Alfaro, los dos últimos desempeñan el cargo de técnicos en TELESIS.

Una copia de la encuesta se puede revisar en el Anexo 6, no se han tabulado la pregunta 5 porque todos contestaron que NO habían realizado capturas de termogramas para diagnosticar las infraestructuras. La pregunta 9 no se comprendió por la forma en que estaba redactada, se deseaba saber en porcentaje cuánto por ciento de las veces se repetían las medidas, pero los técnicos no contestaron en porcentaje, sino que en el número de veces, dato que no ayuda porque no sabemos el total de veces que se hicieron las mediciones.

ENCUESTA.

A continuación, se detallan los resultados de la encuesta del grupo focal:

Item	Pregunta	Respuestas
1	Ha subido a estructura metálicas como torres telefónicas o de energía eléctrica	Sí, todos
2	Funciones realizadas en la estructura	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de sistemas de radiocomunicación y microondas - Revisión de estructuras de aisladores - Mantenimiento de equipo de seguridad
3	¿Cuál es el tiempo en prepararse para subir a la estructura?	30 min, 30 min, 10 min.
4	¿Qué procedimientos desarrolla una vez alcanzada la altura de trabajo?	<p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Engancharse en la torre - Revisar puntos de apoyo - Fijar equipos y herramientas - Realizar actividad de mantenimiento
6	¿Cuánto tiempo permanece en la estructura hasta iniciar el descenso?	Varía dependiendo de la actividad: 90 min, de 1h – 3h, 30 min.
7	<p>¿Cuál es el tiempo de subida/bajada para torres de diferente altura?</p> <p>Torre de 15 m</p> <p>Torre de 25 m</p> <p>Torre de 40 m</p> <p>Torre de 50 m</p> <p>Torre de 80 m</p>	<p>En minutos</p> <p>10, 5, 30</p> <p>15, 12, 40</p> <p>20, 17,50</p> <p>30, 20,55</p> <p>40, 30,60</p>
8	En cuanto al mercado, ¿cuánto se cobraría por la captura de termogramas en una torre?	Uno contesto \$45/h y otro \$25/h, otro no contesto.

RECOMENDACIONES.

Entre las recomendaciones, dejaron constancia de las siguientes:

Acerca de lo innovador del UAS:

1. Es una innovación útil ya que se puede ahorrar tiempo, costos y evitar riesgos de personal.
2. Es innovador ya que está enfocado a la ayuda para el desarrollo del trabajo
3. Muy práctico e innovador

Acerca de las mejoras al sistema:

1. Dos mencionaron la autonomía que daba la batería era muy pobre.
2. Otro mencionó ajustarlo para medir terrenos (topografía) y medir diámetros de edificios.

Recomendaciones generales:

1. Incrementar el alcance del radiocontrol
2. Mejorar el control de la cámara termográfica
3. Incrementar la duración de la batería.

ANÁLISIS DE LA ENCUESTA

De las respuestas a la pregunta 2 está claro que hay varias actividades que se pueden realizar en una torre de telefonía o de energía eléctrica, algunas de ellas pueden ser sustituidas por el UAS diseñado, como las revisiones, pero hay otras actividades que el técnico las debe realizar, como la instalación de sistemas y el mantenimiento.

De las respuestas de la pregunta 3, los tiempos de preparación son altos, con una mediana de 30 minutos, en comparación, para preparar el dron sería necesario un máximo de dos a tres minutos. Una diferencia muy significativa, casi de 10 veces más rápido.

Al subir la torre, según las respuestas de la pregunta 4, son de suma importancia las actividades de seguridad, dedicándole en consecuencia un porcentaje de tiempo apreciable con respecto al tiempo de toda la actividad.

Con respecto al tiempo que dura la actividad en la torre, los técnicos usan en promedio 90 minutos para realizarla, varía mucho dependiendo de la actividad que realicen.

A mayor altura de la torre el tiempo de subida y bajada por parte de un técnico tiende a ser mayor, siendo los promedios para una torre de 25 m y otra de 50 m, 22 minutos para la primera y 43 minutos para la segunda. En comparación, un dron necesita menos de un minuto para subir a una altura de 50 m, se está hablando de 20 a 40 veces más rápido que el tiempo requerido por un técnico.

En promedio, un técnico cobraría \$35 por hora para realizar el mantenimiento en este tipo de infraestructura.

ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES.

Definitivamente el usar un UAS para revisión de la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones es muy innovador en nuestro medio y mejora en gran medida la gestión de la seguridad del trabajador, al evitar riesgos del trabajo en alturas.

En cuanto a la autonomía, se ha mejorado en el UAS, ya que, en el momento de hacer la demostración al grupo focal, era bastante tardado hacer el cambio de batería por la forma en que se había integrado al dron la carga. Se mejoró esto al implementar sujeción por medio de velcro, que permitía remover la carga (cámara, baterías y Raspberry) fácilmente y posibilita sustituir la batería en menos de dos minutos. Con esto se incrementa la autonomía del dron de 22 minutos a 44 minutos al tener dos baterías, a 66 minutos al tener 3 baterías y así sucesivamente.

En cuanto a utilizar el dron para otras aplicaciones, como la medición de terrenos, está abierto a orientarse para esa aplicación, pero sería un nuevo proyecto de investigación.

El radiocontrol está bien el alcance, hasta 800 m, la problemática se da al volar en modo estabilizado, que hace uso del GPS, y la recepción es bastante mala en el país para la aplicación de este dron, con el inconveniente que se pierde el control del dron al perder el enlace con el GPS. Solución: volar el dron en modo manual, que no necesita del GPS para el vuelo, y se mantiene el control del dron de forma constante, pero requiere un piloto capacitado en este modo de vuelo, y una mayor habilidad.

En cuanto a mejorar el control de la cámara termográfica, por medio de programación se pueden agregar funciones en la tableta para manipular la cámara termográfica –tomar video o fotograma, hacer zoom digital, etc.-, pero en lo que se refiere a moverla en algún ángulo específico con respecto a la vertical, no es posible con el sistema actual, ya que esta acoplada al dron de forma estática. La solución puede ser comprar la cámara FLIR Vue Pro junto con el gimbal específico, pero elevaría en \$4,900 el costo del UAS.

8. CONCLUSIONES

1. El sistema UAS basado en una cámara termográfica montada en un dron, es, según palabras de los técnicos del grupo focal, una innovación útil que puede ahorrar tiempo, costos y evitar riesgos de personal, además que se convierte en una herramienta que apoya al desarrollo del trabajo del técnico.
2. El sistema UAS incrementa, en términos generales, el índice de capacidad de las tareas relativas al mantenimiento de infraestructura donde pueden ser sustituida la actividad del técnico por un dron que realice la misma labor. Definitivamente hay tareas que sólo un técnico puede realizar, relegando al dron como una herramienta auxiliar.
3. Al incrementar el índice de capacidad, los técnicos son capaces de realizar una mayor cantidad de revisiones de las infraestructuras al disminuir los tiempos de revisión, disminuyendo los costos y

aumentando el indicador de productividad, que está relacionado con el índice de capacidad.

4. En las tareas que el técnico puede usar el UAS para hacer su tarea, en vez de subir él mismo a hacerla, evita riesgos en su seguridad, ya que no debe preocuparse de los aspectos inherentes de seguridad al trabajar en altura.
5. El UAV ensamblado a partir del Arducopter proporciona la capacidad de implementar otras aplicaciones mencionadas en la Definición del Problema.
6. El sistema basado en un dron propietario fue implementado, y es una herramienta altamente estable e ideal para la captura de termogramas, además proporciona varios modos de vuelo que facilitan al UAS la captura de termogramas.
7. Al realizar las pruebas de campo, se estableció que era necesario recibir una capacitación en vuelo de drones, ya que no puede ser tratado como un juguete, es una herramienta de trabajo y para obtener el máximo provecho de ella es necesario entrenar, partiendo de simuladores (30 horas) y luego iniciar con el dron físico, desde tareas simples hasta maniobras más complejas hasta dominarlo perfectamente.
8. Verificamos, que el UAS mejora la productividad, rapidez, seguridad del proceso y disminuye costos con la obtención de resultados equivalentes que utilizando el método tradicional, al constituirse en una herramienta de apoyo al desarrollo del trabajo de los técnicos dedicados al mantenimiento de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones.

9. RECOMENDACIONES

1. Para las empresas que deseen innovar el desarrollo de las tareas de mantenimiento de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, el utilizar un UAS con cámara termográfica, puede obtener beneficios inmediatos al disminuir los tiempos de mantenimiento, redundando en una mayor productividad, pero debe tomar en cuenta estos aspectos:
 - a) Deberá realizar una inversión inicial en un equipo de alta tecnología, el volumen de servicios que proporcione debe justificar la tasa de retorno de inversión para asegurarse que dicha inversión se convertirá en una ganancia según las metas financieras de la empresa.
 - b) Deberá invertir en capacitaciones para sus técnicos en el área de vuelo de drones, y debe estar informada de los aspectos regulatorios y reglamentarios acerca del uso de drones en el país.
 - c) Deberá considerar un gasto periódico en el mantenimiento de los drones, tanto preventivo como correctivo.
2. Ambos UAS desarrollados en el proyecto, pueden ser utilizados para futuros proyectos de la Institución, que haga necesario el uso de esta tecnología, tanto la cámara termográfica como los UAVS.

10.GLOSARIO

Cuadricóptero

Un cuadricóptero, cuadirrotor o quadrotor es un dron con cuatro rotores para su sostén y su propulsión.

Dron

Es una aeronave que vuela sin tripulación. También llamado vehículo aéreo no tripulado (VANT) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle) -

FPV

(First Person View) Vista en primera persona, es una modalidad que consiste en el manejo de un modelo radio control a través de una mini cámara colocada en este, que a su vez mediante un transmisor envía el vídeo de forma inalámbrica a la posición del piloto, el cual ve la imagen en unas gafas de realidad virtual o en un monitor.

Fuselaje

Elemento principal de la estructura de un dron donde se integran el resto de elementos como aleas, estabilizadores, alerones, tren de aterrizaje, etc.

GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS se sirve de 24 satélites y utiliza la trilateración. (Fuente: Sistema de posicionamiento global)

Headless

El modo de vuelo sin cabeza o headless sirve para que cuando estamos controlando el dron no tengamos que saber dónde está la dirección hacia delante o hacia cualquier lado en el dron, sino que cogera como referencia nuestra propia posición en el espacio.

Motor brushless

Un motor eléctrico sin escobillas o motor brushless es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor. Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos rozantes. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor. (Fuente: Motor brushless)

RPA

Siglas en inglés de Aviones controlados de forma remota (Remotely Piloted Aircraft). Se trata de un concepto que surgió con fuerza en EEUU para prevenir el temor de la población por el uso de estos ingenios en medios urbanos.

RPAS

Siglas en inglés de Sistema aéreo tripulado de forma remota (Remotely Piloted Aircraft System). En el caso de que se incluya el aparato y el sistema de control. Este término ha ido haciendo más popular en cuanto a su uso, principalmente en la UE donde se denomina con este nombre a los aparatos de uso civil.

UAS

Siglas en inglés de Sistema aéreo no tripulado, es decir, el avión más el sistema de control (Unmanned Aerial System).

UAV

Siglas en inglés de Vehículo aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle).

UCAV

Siglas en inglés de Vehículo aéreo no tripulado de combate (Unmanned Combat Aerial Vehicle), para referirse a los aparatos que son capaces de portar armamento para atacar objetivos.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Carrascosa, Serguei y Escorsa, Enric (2014).

Hovering over the Drone Patent Landscape.

New Haven, USA: IFI CLAIMS® Patent Services. Recuperado de <http://www.ificlaims.com/index.php?page=news&type=view&id=larry-cady-s-blog%2Fhovering-over-the-drone>

[2] Bendayán Acosta, León Arturo (2012)

Sistema de adquisición remota de imágenes con vehículos aéreos no tripulados

Editorial Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana

Perú, 2010

[3] Gonzalez-Regueral, Carlos Calvo (2014)

De los UAVS a los RPAS. Madrid, España: IDS.

Recuperado: <http://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Af-Uavs-10-03.pdf>

[4] García Rodríguez. Ramón Andres (2011)

Herramienta Para La Simulación Integrada De Subsistemas En Un Equipo Quadrotor

Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

Recuperado: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4921/>

[5] Ocaña, Angel.

Los drones invaden la tierra (2013).

Madrid, España: Globus Comunicación, S.A.

Revista: Cómo funciona, pag. 10-15

[7] Sampieri Roberto, Fernández Carlos, Baptista Pilar

Metodología de la Investigación

Editorial Mc Graw Hill

México, 2003

[8] Blum, Jeremy.

Arduino a fondo

Editorial ANAYA

México, 2014

[9] Candelas, Francisco A

Visión Artificial

Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial, Publicación Interna

España, 2007

SITIOGRAFÍA

Calculadora de drones

<https://www.ecalc.ch/helicalc.php?hacker&lang=en&elevation=300>

Mueller, Markus. eCalc-propCal The most reliable Propeller Calculator on the Web.

[en línea]. [Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2017]. Disponible en:

<https://www.ecalc.ch/motorcalc.php?ecalc>

12. ANEXOS

12.1. ANEXO 1: ESPECIFICACIONES DE FLIR C2

Número de modelo	FLIR C2
Datos ópticos y de imagen	
Sensor IR	80 × 60 (4800 píxeles de medición)
Sensibilidad térmica	< 0,10 °C
Campo de visión	41° × 31°
Distancia focal mínima	Termografía: 0,15 m (0,49 pies) MSX®: 1,0 m (3,3 pies)
Frecuencia de imagen	9 Hz
Rango espectral	7,5 - 14 μm
Pantalla de 3" (color)	320 x 240 píxeles
Orientación automática	Sí
Pantalla táctil	Sí
Intervalo de temperaturas del objeto	De -10 °C a +150 °C (de 14 a 302 °F)
Precisión	±2 °C (±3,6 °F) o 2%, la que sea superior, a 25 °C (77 °F) nominal
Corrección de emisividad	Sí; mate/semi/brillante + configurable
Corrección de medidas	Emisividad de temperatura aparente reflejada
Paletas de colores	Hierro, Arco iris, Arco iris HC, Gris
Soporte de almacenamiento	Memoria interna con capacidad para almacenar al menos 500 conjuntos de imágenes
Formato de archivo de imagen	JPEG estándar, datos de medición de 14 bits incluidos
Cámara digital	
Cámara digital	640 x 480 píxeles
Cámara digital, enfoque	Enfoque fijo
Información adicional	
USB, tipo de conector	USB Micro-B: Transferencia de datos desde y hacia sistemas Windows, iOS y Android
Batería	Batería recargable de 3,7 V de polímero de iones de litio
Duración de la batería	2 horas
Sistema de carga	Se carga en la cámara
Tiempo de carga	1,5 horas
Funcionamiento con alimentación externa	Adaptador de CA, entrada de 90-260 V CA Salida de 5 V a la cámara
Gestión energética	Apagado automático
Intervalo de temperatura de funcionamiento	De -10 °C a +50°C (de 14 a 122°F)
Intervalo de temperatura de almacenamiento	-40 °C a +70 °C (-40 a 158 °F)
Peso	0,13 kg (0,29 lb)
Tamaño (L x An x Al)	125 x 80 x 24 mm (4,9 x 3,1 x 0,94 pulgadas)

12.2. ANEXO 2: TERMOGRAMA DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA EDIFICIO F (REPORTE GENERADO POR FLIR TOOLS)

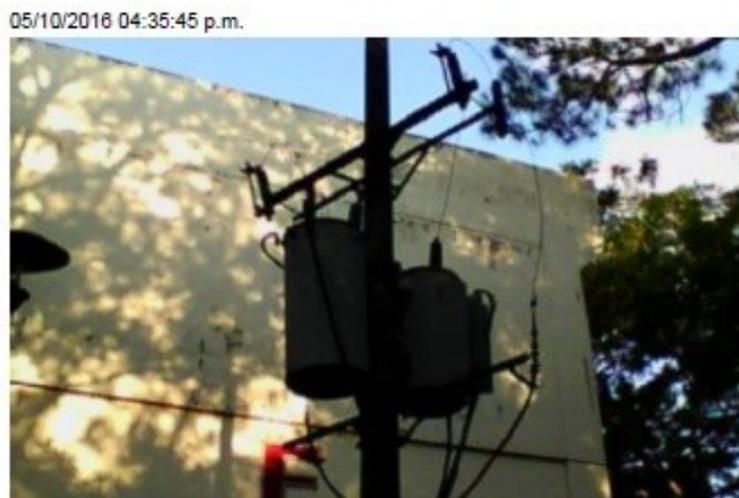


Subestación eléctrica #4

Medidas		°C
Sp1	26.0	

Parámetros	
Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C
Distancia	1 m
Temp. atmosférica	20 °C
Temp. óptica ext.	20 °C
Trans. óptica ext.	1
Humedad relativa	50 %

Resolución térmica	80x80
Resolución digital	320x240
Lente	41°



12.3.ANEXO 3: TÉRMINOS DE REFERENCIA

Nombre completo del proceso: **APLICACIONES DE LOS DRONES EN INGENIERÍA**

Y TÉCNICAS DE VUELO

I. OBJETIVO:

Capacitar a un conjunto de doce docentes investigadores en las diferentes aplicaciones de los drones así como las técnicas de vuelo autónomo y manual, con el propósito de aplicar estas competencias al desarrollo de proyectos de investigación.

II. REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS DEL SERVICIO.

Requerimiento del contenido de la capacitación esperada (mínimo):

PARA DIA 1:

Fundamentos de los drones (Teoría)

1. Estructura interna del dron
2. Componentes del dron
3. Software para el vuelo del dron
4. Tipos y modos de vuelo de un quadcopter
5. Simuladores de vuelo
6. GPS en el dron

Vuelo de drones mediante simulador (laboratorio)

1. Prácticas de vuelo en simulador

PARA DIA 2:

Vuelo de los drones (técnica y práctica)

1. Introducción a la aerodinámica
2. Procedimientos operaciones
3. Factores humanos
4. Aspectos meteorológicos
5. Aspectos regulatorios

Vuelo de drones (Laboratorio)

1. Tareas iniciales
2. Calibración del dron
3. Vuelo usando GPS

PARA DIA 3:

Aplicaciones de los drones en la Ingeniería (técnica y práctica)

1. Software para procesar los datos para drones en la ingeniería
2. Sensores acoplados a los drones
3. Aplicaciones de los drones en la ingeniería eléctrica, mecatrónica, sistemas y otras.

Vuelo de drones (Laboratorio)

1. Vuelo en modo manual

III. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS.

3 días

1. PARTICIPANTES:

Capacitación de 12 personas en 1 grupos dentro del país

2. PERFIL DEL CAPACITADOR

Del capacitador debe contar con grado académico de ingeniero en telecomunicaciones, sistemas, eléctrica o ingeniería electrónica.

Con experiencia especialización comprobables en el tema a desarrollar

- 1) Vuelo de drones
- 2) Aplicaciones de los drones en la ingeniería
- 3) Manejo de grupo
- 4) Habilidad de comunicación
- 5) Utilización de equipo adecuado para el desarrollo de las pruebas
- 6) Cobertura geográfica
- 7) El costo de la capacitación debe incluir:
 - a) Transporte vía terrestre ida y vuelta
 - b) Alojamiento en Hotel
 - c) Tres tiempos de comida en días 1, 2 y 3

IV. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS.

El plazo de ejecución será de tres días a partir de la orden de inicio.

V. FORMA DE PAGO.

El servicio será cancelado en un solo pago después de la ejecución de la consultoría.

VI. PRESUPUESTO

\$ 1,300.00

VII. LISTA CORTA

GEOMÁTICA CENTROAMERICA correo electrónico: dronesgeomatica@gmail.com

GEO SPATIAL INNOVATION (GEOINN) correo electrónico: Adolfo Gómez adolfo.gomez@geoinn.com

VIII. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Experiencia Certificada del Capacitador (50%)

Criterio	%
Haber realizado al menos 8 capacitaciones en el área solicitada y/u otras áreas	10%
Formación como educador/instructor	10%
Experiencia en la reparación/mantenimiento de equipos informáticos/drones	10%
Formación/experiencia en conectividad de equipos en redes cableadas e inalámbricas	10%
Certificación como piloto de drones	10%

Experiencia de la empresa (50%)

i) Haber ejecutado al menos 3 capacitaciones en técnicas de vuelos de drones, aplicaciones para la ingeniería de drones	30%
ii) Haber ejecutado al menos 1 capacitación mínimo con el monto ofertado	20%

12.4. ANEXO 4: TUTORIAL SOBRE DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA DEL RAMO ELÉCTRICO Y TELECOMUNICACIONES CON UAV (DRONES)

TÍTULO:

Aplicaciones de los UAV para el diagnóstico de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones

Duración: 2 horas

2 horas

Fecha propuesta: 3/febrero

Objetivo General:

Habilitar a los participantes para animarlos y descubrir a partir de lo aprendido, como a partir de las herramientas tecnológicas, integrando diferentes elementos a un vehículo aéreo no tripulado, se puede convertir la información en acción generando oportunidades económicas, mediante el desarrollo de proyectos basados en UAV, detallando la ruta crítica para su desarrollo.

Objetivos específicos

1. Identificar los principales componentes que comprenden un proyecto basado en drones
2. Describir las diferentes aplicaciones en las cuales se utilizan los drones
3. Explorar las diferentes técnicas de vuelo de los drones
4. Analizar el caso práctico del sistema y método de detección de fallas en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones.
5. Desarrollar una demostración práctica

Resumen

En este tutorial se presentaran las diferentes tecnologías usadas en UAV, los diferentes tipos de UAV existentes, se hará un esbozo del diseño de un UAV y cómo integrar los diferentes componentes así como la interacción y dependencia entre cada uno de ellos. Se describen las aplicaciones de ingeniería de los UAV, en los ámbitos agrícola, topográfico, eléctrico, telecomunicaciones, etc.

También se presentarán las técnicas de vuelo utilizadas en un Quadcopter, simuladores existentes y los puntos clave para desarrollar la habilidad de volar un dron Quadcopter.

Se explicará el proceso de desarrollo del proyecto, sus alcances, las diferentes limitantes y problemas resueltos y los resultados obtenidos, terminando con una demostración práctica de vuelo, captura de termogramas y análisis del mismo enfatizando los aspectos claves del termograma en el diagnóstico de la infraestructura.

Duración preferida:

Horario: 1:30 – 3:00 PM

Coffe break 3:00 – 3:15 PM

Demostración 3:15 – 3:30 PM

Temario detallado:

1. Sistemas UAV

- ¿Qué es?
- Breve historia
- Componentes mecánicos: motores, chasis, alas, etc.
- Etapa electrónica: ESC
- Elemento de control
- Proceso de diseño aplicado al proyecto.

2. Técnicas de vuelo

- Tipos de drones
- Términos técnicos en el vuelo de drones
- Vuelo de UAV con simuladores
- Tipos de vuelo: manual, basado en GPS, orbital, preprogramado utilizando Mission planer, etc.
- Práctica de vuelo con simulador: requiere PC con simulador

3. Aplicaciones de UAV en la ingeniería

- Fotogrametría
- Sismología
- Clima
- Agrícola
- Eléctrica
- Multimedia
- Análisis el caso práctico del sistema y método de detección de fallas en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones.

4. Demostración

- Traslado al lugar de la demostración
- Captura de termogramas de la infraestructura con el UAV resultado del proyecto.
- Análisis de los termogramas
- Informe de diagnóstico.

12.5.ANEXO 5: VOLANTE DE INVITACIÓN A CHARLA SOBRE DRONES



3 FEBRERO-2018 APLICACIONES DE LOS DRONES EN INGENIERIA

En este tutorial se presentaran las diferentes tecnologías usadas en UAV, los diferentes tipos de UAV existentes, se hará un esbozo del diseño de un UAV y cómo integrar los diferentes componentes así como la interacción y dependencia entre cada uno de ellos.

Se describen las aplicaciones de ingeniería de los UAV, en los ámbitos agrícola, topográfico, eléctrico, telecomunicaciones, etc. También se presentarán las técnicas de vuelo utilizadas en un quadcoptero, simuladores existentes y los puntos clave para desarrollar la habilidad de volar un dron quadcoptero. Se explicará el proyecto desarrollados por la institución, sus alcances, las diferentes limitantes y problemas resueltos así como los resultados obtenidos.



LUGAR: J-101

FECHA: SA 3/02/18
HORA: 1:30 - 3:30 PM

CHARLA

DIAGNÓSTICO DE
INFRAESTRUCTURA
ELÉCTRICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
USANDO DRONES

ORIENTADO:
TÉCNICOS EN ÁREA DE
TELECOMUNICACIONES,
ELÉCTRICA Y AFINES

ESCUELA
ESPECIALIZADA EN
INGENIERÍA
ITCA-FEPADE

Carretera a Santa Tecla
www.itca.edu.sv

Mayor información:
Ing. Morris Díaz (7310-9275)
wsaravia@itca.edu.sv



12.6. ANEXO 6: ENCUESTA A TÉCNICOS DE EMPRESAS DEL RAMO ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES



ESCUELA DE ING. ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROYECTO DIAGNOSTICO INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Y DE
TELECOMUNICACIONES

ANEXO 3: ENCUESTA GRUPO FOCAL

NOMBRE: _____

FECHA: 3/2/18

EMPRESA: _____

CARGO: _____

Favor contestar las siguientes preguntas:

1. Ha subido a una estructura metálica como torre telefónica o de energía eléctrica _____
2. Describa brevemente sus funciones realizadas _____
_____.
3. ¿Cuál es el tiempo que le toma llevar a cabo la preparación para subir a la estructura- desde llegada hasta subir? _____
4. ¿Una vez alcanzada la altura de trabajo, que procedimientos desarrolla?
 - A. _____
 - B. _____
 - C. _____
5. Ha realizado captura de termogramas _____ y cuánto tiempo le toma realizarlas _____.
6. ¿Cuánto es el tiempo transcurrido desde que termino de subir hasta que inicia el descenso?
7. Estimación de tiempo de subida/bajada para torres de diferentes alturas
 - 15 m _____ min
 - 25 m _____ min
 - 40 m _____ min
 - 50 m _____ min
 - 80 m _____ min
8. En el mercado, aproximadamente cuánto se cobraría por las actividades de captura de termogramas?

9. ¿Del 100% de las veces, cuántas veces es necesario realizar la captura de datos nuevamente?

Con respecto a la charla recibida:

1. Se trataron los puntos de interés para Ud. _____
 2. ¿Qué puntos le hubiera gustado tratar y no se vieron? _____
- _____.
3. Para una próxima vez, qué le gustaría que se mejorara:
 - a. Los contenidos
 - b. La demostración
 - c. Otros _____

Con respecto al sistema mostrado:

1. ¿Cuál es su opinión personal? ¿Es innovador o nada nuevo? ¿Muy costoso?
2. ¿Qué le mejoraría al sistema?

3. Recomendaciones generales a los investigadores acerca del proyecto

_____.

_____.

_____.

_____.

VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial, tanto como trabajadores y como empresarios.

VALORES

EXCELENCIA: *Nuestro diario quehacer está fundamentado en hacer bien las cosas desde la primera vez.*

INTEGRIDAD: *Actuamos congruentemente con los principios de la verdad en todas las acciones que realizamos.*

ESPIRITUALIDAD: *Desarrollamos todas nuestras actividades en la filosofía de servicio, alegría, compromiso, confianza y respeto mutuo.*

COOPERACIÓN: *Actuamos basados en el buen trabajo en equipo, la buena disposición a ayudar a todas las personas.*

COMUNICACIÓN: *Respetamos las diferentes ideologías y opiniones, manteniendo y propiciando un acercamiento con todo el personal.*

SEDE Y REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro Centros Regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

1 SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.

Tel.: (503) 2132-7400

Fax: (503) 2132-7599

2 CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Procavia.

Tel.: (503) 2440-4348

Tel./Fax: (503) 2440-3183

3 CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión

Tel.: (503) 2668-4700

4 CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.

Tel.: (503) 2334-0763 y

(503) 2334-0768

5 CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.

Tel.: (503) 2669-2298

Fax: (503) 2669-0061