

## Capítulo 9.

# Aplicación de Tecnologías Dron para Operaciones de Emergencia

*Juan Manuel Chaves*  
juanmanuelchaves@hotmail.com

*Andrés Camilo Angulo*  
camilomix96@gmail.com

*Dr. Javier Ferney Castillo García*  
<https://orcid.org/0000-0002-0630-3198>  
javier.castillo00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali

*Cita este capítulo:*

Chaves, J. M.; Angulo, A. C. y Castillo García, J. F. (2022). Aplicación de Tecnologías Dron para Operaciones de Emergencia. En: Ortiz Ayala, R.; Valencia Pérez, L. R.; Valencia Pérez, H. F.; Escobar Soto, J. F.; Flórez Zuluaga, J. A.; Quintero Quiceno, S.; Riaño Cubillos, J. S.; Falla Rubiano, A.; Barros Ochoa, A. I.; Salazar Ospina, F. A.; Morante, D.; Cárdenas, P. A.; Cajiao Pardo, L. M.; Giraldo Martínez, G. A.; Ortega Madroñero, M. S.; La Rivera Muñoz, F.; Castillo García, J. F.; Mosquera Pérez, C. M.; Cabezas Álzate, D. F.; (...) y Ordóñez-Castaño, I. A. *Gestión, tecnología y logística empresarial aplicado al sector aeroespacial y otros estudios prospectivos en tendencia* (pp. 243-277). EMAVI Sello Editorial y Editorial Universidad Santiago de Cali.

## Resumen

Observando el creciente uso de la tecnología Dron en las actividades de atención de desastres en diferentes países, la cual ha demostrado ser eficaz y beneficiosa y teniendo en cuenta que en el departamento del Valle del Cauca, esta no ha sido aplicada en todo el espectro de la gestión del riesgo debido a distintos factores como el tecnológico, económico, etc., en el siguiente artículo se planteará el diseño de un Dron polivalente que permita su aplicación en las labores operativas de atención de emergencias, durante el desarrollo del mismo se expondrán las virtudes de la aplicación de la tecnología Dron como una herramienta que puede beneficiar las actividades de búsqueda, salvamento, atención y mitigación en entornos de emergencia en el departamento del Valle del Cauca. Para la consecución de dichos objetivos se presentarán bases referenciales, cálculos, simulaciones y resultados, así como la revisión de la bibliografía pertinente, en la que se puedan apreciar las ventajas del uso de Drones en el campo de la gestión del riesgo.

**Palabras clave:** Dron, UAV, gestión de riesgo, SCI.

## Abstract

Observing the growing use of drone technology in disaster relief activities in different countries, which has proven to be effective and beneficial, and taking into account that in the department of Valle del Cauca, it has not been applied across the spectrum of risk management due to different factors such as technological, economic, etc., in the following article the design of a multipurpose drone will be considered that allows its application in the operational work of emergency care, during its development the virtues will be exposed of the application of drone technology as a tool that can benefit search, rescue, attention and mitigation activities in emergency environments in the department of Valle del Cauca. To achieve these objectives, reference bases, calculations, simulations and results will be presented, as well as a review of the relevant bibliography, in which the advantages of using Drones in the field of risk management can be appreciated.

**Keywords:** Dron, UAV, risk management, SCI.

## Introducción

El Valle del Cauca es un departamento que presenta una condición sociodemográfica particularmente especial debido a múltiples factores emanados por su ubicación, nivel educacional de la población, brechas sociales, población indígena y raizal, actividades ilegales y desgobierno en la mayoría de entes estatales presentes. Lo anterior como se mencionaba, establece en el departamento, una particular fragilidad de índole social, a la hora de presentarse situaciones de atención inmediata tales como inundaciones, deslizamientos, incendios, movimientos telúricos, desplazamiento de población, planificación táctica en situaciones de riesgo de comportamiento social en masa y personas desaparecidas; el manejo de lo anteriormente mencionado ya se encuentra inmerso dentro de modelos internacionales estandarizados de administración de emergencias y desastres donde se vincula el aprovechamiento de nuevas tecnologías, a lo cual la Gobernación del Valle Del Cauca ha venido trabajando desde el año 2017 (Torres Paz et al., 2017); Los bajos niveles de maniobra de los cuerpos para atención local de estas, ocasionan el desaprovechamiento de estas nuevas tecnologías en materia de operaciones de emergencia y consecuentemente el alejamiento de los estándares de administración, dando como resultado unos bajos indicadores al respecto (Torres Paz et al., 2017). El facilitar la integración de soluciones técnica y financieramente asequibles, como las tecnologías Dron aplicadas a estos campos puede apoyar de manera positiva las métricas en los indicadores de atención a emergencias en el departamento (Matamoros Ruiz, 2018).

El desarrollo de la tecnología Dron en diferentes campos de aplicación con el tiempo ha demostrado generar ventajas estratégicas en productividad, costos y eficiencia, estos aspectos no solo impactan el sector productivo de nuestro país, también el apoyo a determinados sectores del Valle del Cauca, altamente vulnerables por diferentes factores Sociodemográficos logran generar factores diferenciadores a la hora de desplegar las capacidades de planeación, prevención y operación, de los organismos de atención a emergencias en situaciones como, movimientos telúricos, inundaciones, incendios, planificación táctica y desplazamiento de población, teniendo en cuenta el uso de los Drones en la gestión del riesgo de desastres que incluso ya se encuentra contemplado como recurso tecnológico en el montaje y operación de la Herramienta Sistema Comando de Incidentes (SCI) dentro de los procesos de conocimiento del riesgo, re-

ducción del mismo y manejo de desastres (United States Agency International Development, 2012), (Alburez Mendieta et al., 2004), pero la baja disponibilidad de oferta a nivel Nacional de Drones que cumpla múltiples funciones en este sector, al igual que los elevados costos de los pocos modelos existentes de Drones que cumplen múltiples funciones en el sector de operaciones de emergencia, generan bajos indicadores positivos en la planeación, prevención y operación del sector, comparados con otros donde esta tecnología es aprovechada en este tipo de operaciones; Lo anterior lleva a una precaria disponibilidad de la tecnología Dron en operaciones de emergencia en el Valle del Cauca, motivada por la difícil aceptación del empleo de la misma, por sus altos costos y escasa disponibilidad. Si se lograra plantear un diseño de Drones polivalentes y, aplicable a operaciones de emergencia, técnica, normativa y financieramente asequible, para instituciones de emergencia, se logrará generar el acceso a esa tecnología a beneficio de la población en general (Ministerio del Interior República de Colombia, 2012).

El objetivo de este trabajo es exponer las ventajas estratégicas de la integración de un Dron polivalente de bajo costo, enfocado a la atención de emergencias en la integración del montaje de la herramienta Sistema de Comando de Incidentes (SCI), dentro de su etapa de operaciones, en el marco de la gestión del riesgo de desastres en el departamento del Valle del Cauca (Pardo Ríos et al., 2016).

Este capítulo está organizado en secciones, donde en la sección 1 es presentada la introducción y los aspectos teóricos que enmarcan este documento. En la sección 2 se presentan los aspectos legales y prototipo de Dron desarrollado para contribuir con el apoyo y mejoramiento en las labores de atención de desastres. En la sección 3 se presentan los resultados y pruebas realizadas al prototipo, y finalmente la sección 4 corresponde a las conclusiones respecto al proyecto y la bibliografía utilizada para el desarrollo del mismo.

## Marco teórico

Dentro del contexto de aplicaciones tecnológicas a las operaciones de emergencia, se pueden encontrar en la actualidad comercialmente Drones direccionados a la detección de objetivos en el área objeto de estudio, como el presentado en la Figura 1, el cual se direcciona a un entorno de apoyo operacional de búsqueda.

Figura 1  
Dron Mavic 2 Enterprise Dual



Nota. En esta se presenta el Dron Mavic 2 Enterprise Dual de la casa fabricante DJI, direccionado a la detección de objetivos y empleado por organismos de respuesta a emergencias.

Equipos o sistemas que logren entregar o proveer elementos para atención primaria en sitio de emergencia, no son empleados en la actualidad en el departamento, pero su desarrollo ya es comercial a costos elevados, como los equipos en desarrollo disponibles de la empresa española Aerocámaras, véase la Figura 2.

Figura 2  
AeroHyb Hexacopter



Nota. Dron polivalente del segmento para proveer atención directa en emergencias, desarrollado por la empresa Española Aerocámaras.

Dentro de las actividades inmersas en las operaciones de emergencias con drones se emplean de forma general los drones expuestos anteriormente y sumados a estos también se vincula una nueva generación de drones de grado industrial de la casa fabricante DJI, como lo es el Matrice 300 y sus posibilidades polivalentes de adopción de múltiples sensores RGB, térmicos entre otros, los cuales se integran de forma adecuada a una de las actividades operacionales en el entorno de la atención a emergencias.

A continuación, en la Tabla 1 se presenta un cuadro comparativo de las principales características aplicables y valoradas en escala de favorabilidad de Drones en función de la aplicabilidad a las operaciones de emergencia, utilizados a nivel global, vinculando también a este, el desarrollo del Dron Polivalente propuesto:

Tabla 1

Cuadro comparativo de las principales características aplicables y valoraciones en escala de favorabilidad de Drones en función de la aplicabilidad a las operaciones de emergencia, utilizados a nivel global, vinculando también a al desarrollo del Dron Polivalente propuesto en el artículo.

<b>Cuadro comparativo de características aplicables en los drones expuestos en función de las operaciones de emergencia</b>				
<b>Característica \ Dron</b>	Matrice 300 (DJI)	Mavic 2 Enterprise Dual (DJI)	AerHib (Aerocámaras)	Dron Polivalente (AA - JM)
Fuente de energía	Baterías LiPo	Baterías LiPo	Baterías Lipo / Gasolina	Baterías LiPo
Numero de motores	4	4	6	6
Autonomía real de vuelo con carga de pago estándar - (Minutos)	35	21	240	20
Protección IP 44	SI	NO	NO	SI
Redundancia ante fallo de motor	NO	NO	SI	SI
Precio promedio con cargas de pago estándar - (COP)	\$ 101.560.000,00	\$ 16.640.000,00	\$ 120.516.000,00	\$ 18.981.000,00
Diseño para cargas de pago adicionales	NO	NO	SI	SI
Peso máximo carga de pago - (Gramos)	1255	220	5000	1340
Polivalencia en cargas de pago - (Rango)	Baja	Ninguna	Alta	Media
Automatización en cargas de pago diferentes a cámaras - (Rango)	Baja	Ninguna	Alta	Alta

<b>Escala de valoración - Favorabilidad para la aplicación</b>
Alta
Media
Baja
Ninguna

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se van a definir las tecnologías y terminologías utilizadas dentro de este documento para que la comprensión de la información sea la esperada.

Esta sección del artículo se divide principalmente en 2 subsecciones, la que concierne a la tecnología Dron y a los conceptos de la gestión del riesgo.

## Tecnología Drone

### Dron

Un Dron es principalmente conocido como una aeronave no tripulada controlada a distancia la cual es utilizada para transportar una carga de pago que normalmente es un conjunto de sensores para la captura de datos. (Frazier y Singh, 2021)

Los Drones cuentan con distintas partes que los componen, pero las principales son:

### Sistema de propulsión

Usualmente consta de rotores y motores eléctricos, aunque también existen Drones que utilizan motores de combustión interna o turbinas, este sistema es el que se encarga de darle el movimiento a los Drones (Frazier y Singh, 2021).

### Fuente de energía

Usualmente son baterías eléctricas de polímeros de litio, para el caso de los Drones que usan motores de combustión se utilizan depósitos de combustible (Frazier y Singh, 2021).

### Controladora de vuelo

Es un circuito de complejidad variable que dispone de una serie de entradas y salidas, y de una serie de sensores incorporados que determinan en tiempo real la posición de la aeronave. El controlador se encarga de procesar tanto la información recibida por los sensores como los datos de dirección para enviar las órdenes adecuadas a los motores para el correcto vuelo (Addati y Pérez Lance, 2014).

### Chasis

Es la estructura interna de un vehículo que da soporte e integra el resto de componentes necesarios para el funcionamiento de la aeronave (Addati y Pérez Lance, 2014).

### Carga de pago

Generalmente es un sensor o conjunto de sensores como cámaras, radares, ultrasonidos, etc. Con los que se obtienen datos georreferenciados (Addati y Pérez Lance, 2014).

### Gestión del Riesgo

#### Desastre

Son definidos como una situación generada como el resultado de la manifestación de una amenaza natural o provocada por el hombre que afecta una vulnerabilidad de una población (Gómez Lopez, 2007).



## Vulnerabilidad

Es definida por (Martínez Davila, 2008) como la condición de un sujeto, zona o población de estar expuesto a resultar afectado por una amenaza inminente.

## Amenaza

Es la posibilidad de que un fenómeno ciertamente peligroso ya sea de origen natural o artificial genere efectos adversos a una persona o una población.

## Riesgo

Es el producto de la interacción entre amenazas y vulnerabilidades desarrollando esta cambios en el medio y en la población que en este se encuentre, generando pérdidas humanas y económicas (Martínez Davila, 2008).

El SCI se desarrolló desde 1970 luego de una serie de incendios forestales en áreas específicas de California, Estados Unidos. Las muertes, lesiones y afectaciones a los bienes presentes fueron de mayor magnitud. De acuerdo a estudios posteriores, los entes de investigación hallaron fallas en varios frentes operativos de atención, atribuibles a un manejo de respuesta inadecuado, más que falta o escasez de recursos. De lo anterior surge el Sistema de Comando de Incidentes, El cual constituye una herramienta de manejo estandarizada para abordar las demandas de situaciones de emergencia o no de emergencia, grandes o pequeñas y representa las “mejores prácticas” y se ha convertido en la norma para el manejo de emergencias en varios países alrededor del planeta (United States Agency international development).

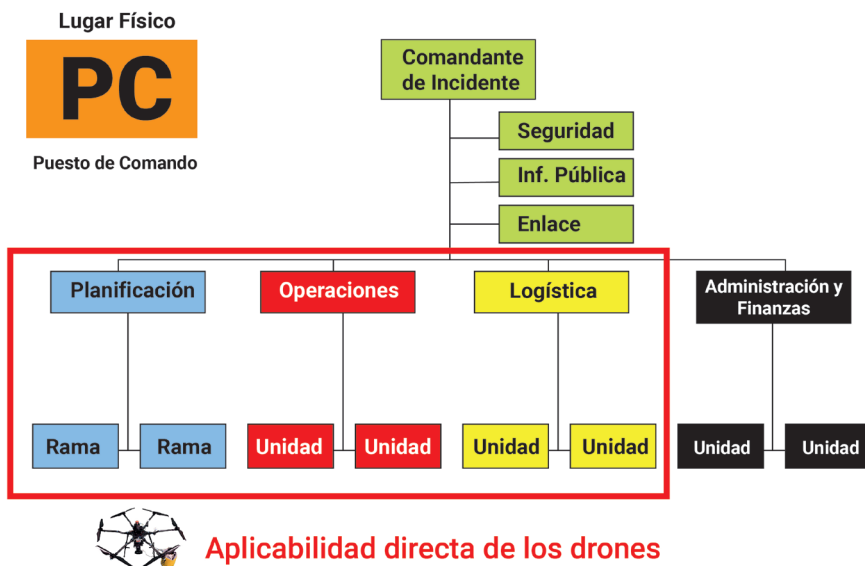
Para vincular de manera adecuada la Aplicación de Tecnologías Dron en el SCI se debe abordar este concepto desde el punto de vista del sistema de gestión, así como también desde su definición como enfoque operativo (United States Agency International Development, 2012).

El SCI desde el enfoque como sistema de gestión: Permite el manejo efectivo y eficiente de incidentes integrando una combinación de instalaciones, equipo, personal, procedimientos y comunicaciones que operan dentro de una estructura organizacional común, diseñada para habilitar el manejo efectivo y eficiente de los incidentes (United States Agency International Development, 2012). La tecnología Dron en este contexto, brinda información altamente relevante en cuanto a la situación inmediata presente, a partir de sensores específicos tales como cámaras de tipo RGB y

térmicas. El aporte de este tipo de Drones en este esquema ya es conocido y su eficacia comprobada. En la Figura 3 se presentan las ramas en las que se puede aplicar la tecnología de drones directamente como forma de apoyo.

Figura 3

Esquema desarrollado para el SCI y la aplicabilidad de drones (United States Agency international development).

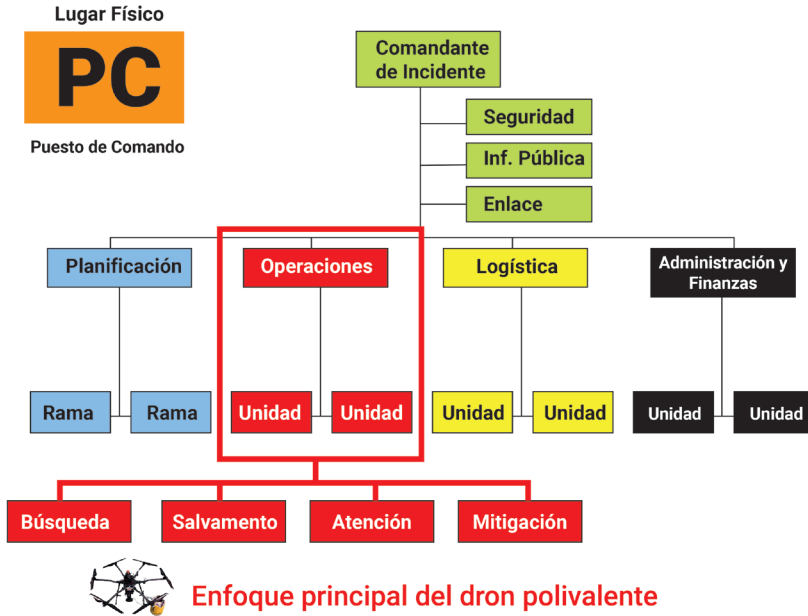


Fuente: elaboración propia.

El SCI desde el enfoque operativo: Es la combinación de instalaciones, equipamiento, personal, protocolos, procedimientos y comunicaciones, operando en una estructura organizacional común, con la responsabilidad de administrar los recursos asignados para lograr, efectivamente los objetivos pertinentes a un evento, incidente u operativo, el cual en la mayoría de los casos requiere de la presencia del personal directamente en el área impactada para cumplir determinadas acciones tendientes a búsqueda, salvamento, atención y/o mitigación. La aplicación de las tecnologías Dron direccionadas a diseños de Drones polivalentes, pueden participar de manera directa en estos cuatro aspectos mencionados, como se muestra a continuación en la Figura 4.

Figura 4

Esquema desarrollado para el SCI y el enfoque principal del dron polivalente desarrollado en este documento.



Fuente: United States Agency international development.

El SCI se caracteriza por ser un sistema flexible en su organización, por lo cual sirve para atender incidentes de cualquier envergadura y complejidad; y precisamente esa flexibilidad permite la integración de tecnologías Dron direccionada al cumplimiento de los dos enfoques tratados. Está estandarizado para permitir la incorporación rápida de personal y otros recursos, de diferentes instituciones y puntos geográficos, a una estructura de manejo común efectivo y eficiente (Palacio Vaca, Montoya, Chavarro, Puerto y Solano, 2009).

Aplicación de un Dron polivalente para atención a emergencias en el marco de búsqueda, salvamento, atención y mitigación.

Dado el desarrollo tecnológico continuo del sector Dron y sumado este a la experiencia en la aplicación de estas tecnologías, la creación de un Dron Polivalente para atención a emergencias enfocado a la búsqueda, salvamento, atención y mitigación se puede ajustar como herramienta

complementaria de alta relevancia en estos aspectos, pues se puede estructurar un diseño que permita el montaje y operación de diferentes cargas de pago que se ajustan a las cuatro aplicaciones mencionadas (Saldarriaga Barrientos, 2021):

## Búsqueda

Esta actividad es dividida en dos aspectos, el primero la búsqueda de puntos de interés, los cuales pueden ser variados dependiendo de la afectación presente, para este efecto se emplean sensores tipo cámaras RGB para efectuar levantamientos fotogramétricos a fin de obtener informaciones de fondo cuantitativo en cuanto a infraestructura espacial, y de fondo cualitativo en cuanto a valoración de la infraestructura de acuerdo a perfiles patológicos presentes (Ortega Cargenas, 2018). El segundo aspecto va enfocado a la búsqueda de seres vivos presentes en el área de impacto, los cuales pueden llegar a ser detectados por medio de la integración al Dron de sensores térmicos, un caso práctico se muestra en la Figura 5.

De otra parte, la integración de bocinas de perifoneo de alta potencia y luces de penetración, a Drones polivalentes, son esquemas que pueden actuar como faros audibles y visuales en determinadas áreas de búsqueda, guiando a víctimas y/o rescatistas según sea el caso.

## Figura 5

*Operación de búsqueda real en área impactada SAR Chile 2019*



Fuente: elaboración propia.

## Salvamento

Esta actividad puede verse apoyada de forma directa por un Dron polivalente que pueda efectuar la liberación de artefactos o dispositivos que apoyen el esquema de salvamento de seres vivos. Como ejemplos podemos mencionar la entrega de cuerdas y esquemas de escalada para el auto aseguramiento de víctimas (ver Figura 6). De otra parte, también se puede efectuar la entrega de dispositivos de flotación en aguas abiertas, como embalses, lagunas y otros cuerpos de agua, presentes en el departamento del Valle del Cauca. En la imagen de la parte inferior se puede observar una operación de salvamento entregando un flotador que cumple la función en este caso de auto rescate de primer nivel.

Figura 6

*Drones para salvamento*



Nota. Operación de apoyo a salvamento real en aguas abiertas Corea del Sur.

## Atención

Dadas las diferentes casuísticas en los esquemas de atención en sitio (Palacio Vaca, Montoya, Chavarro, Puerto, y Solano, 2009), se establece la entrega de elementos para atención médica, como botiquines básicos, botiquines de segundos auxilios, equipos de sutura e inmovilización, equipos de apoyo a la respiración, equipos de reanimación, drogas específicas como sueros antiofídicos, coagulantes para heridas abiertas. De otra parte y vinculado al esquema de atención es el establecimiento de comunicaciones entre la operación y la o las posibles víctimas, precisamente para guiar el proceso de uso de los elementos de atención médica, si no se tiene la capacidad de su empleo en forma de auto atención. Estos equipos de comunicación, también pueden ser empleados para trazar estrategias de rescate entre el cuerpo operativo del SCI y las víctimas (United States Agency international development).

La entrega oportuna de elementos para la atención de primeros auxilios se puede efectuar a través de cargas de pago que pueden ser liberadas directamente en el área de ubicación de víctimas. Así también la entrega de equipos de radio comunicación se puede realizar mediante dispositivos de liberación específicos para su entrega segura y oportuna (Ver Figura 7).

### Figura 7

*Drones para la vida – Dron con dispositivo de entrega de elementos de primeros auxilios*



Fuente: Documental NBC 2019.

## Mitigación

Dentro de algunas emergencias emanadas por incendios de tipo forestal, se aplican técnicas de mitigación y control específicas a estos; una de estas es la prevención del avance del mismo y por medio de generación de incendios controlados en áreas de potencial avance (Bonilla, 2001). La implementación de dispositivos de liberación controlada de generadores puntuales de fuego en Drones polivalentes es una solución viable que incrementa el asertividad en el plan de mitigación, al eliminar insumos para el fuego en avance, incrementa la agilidad de ejecución y la reducción de exposición de personal operativo en la zona de afectación. En las labores operativas de mitigación por medio de Drones, estos reciben un plan de vuelo previamente analizado de acuerdo al análisis de avance de este, en donde se le indica al sistema de forma georreferenciada, en que áreas específicas debe efectuar la descarga de los generadores puntuales de fuego, garantizando así la correcta implantación del plan de prevención y/o mitigación de avance (Ver Figura 8).

### Figura 8

*Muestra de Dron diseñado para generar ignición controlada de ruta por la empresa estadounidense Drone Amplified*



Fuente: [droneamplified.com](http://droneamplified.com)

## Marco legal

La actuación directa de tecnología en la atención y respuesta a emergencias es un espacio en desarrollo viable a ser implementado de acuerdo a la Ley Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (Ministerio del Interior República de Colombia, 2012), puede lograr aumentar de forma positiva los indicadores de gestión en este campo. La actual regulación aérea colombiana, vincula la operación Dron dentro de su reglamentación, brindando un aparte específico de formalización, con enfoque a la utilización de este tipo de tecnología para los cuerpos de atención de desastres y prevención del riesgo en el RAC 91 (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2020), incluso estandariza este para direccionarlo a la implementación de las reglas generales de vuelo y operación expresado en el RAC 4 (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2019), lo anterior gracias a la interacción de las normas aeronáuticas. En la Figura 9 se muestra un esquema de interacción de las normas aeronáuticas en Colombia.

Figura 9

Diagrama esquemático de la interacción de las normas aeronáuticas en Colombia



Fuente: elaboración propia.



## Metodología

Una vez identificada la problemática se procedió a revisar la bibliografía disponible de distintas bases de datos que permitiera tomar las decisiones correctas en cuanto a las capacidades y especificaciones necesarias para el diseño del dron polivalente para su aplicación en la gestión del riesgo. De esta revisión se obtuvieron características principales como los pesos de las cargas de pago, principalmente cámaras y elementos de atención como botiquines de primeros auxilios, respiradores, etc.

Además teniendo en cuenta las precarias condiciones que pueden implicar las situaciones de riesgo se optó por incluir redundancias en el diseño que permitan solventar una situación de falla en las labores.

Posteriormente se realizó la búsqueda y comparación de precios de los distintos elementos del diseño en diferentes tiendas virtuales para mantener un presupuesto ajustado a la condición de bajo costo que haga viable su aplicación en los cuerpos de atención colombianos.

Desde el enfoque operativo, vinculando la combinación de instalaciones, equipamiento, personal, protocolos, procedimientos y comunicaciones, operando en una estructura organizacional común, con la responsabilidad de administrar los recursos asignados para lograr, efectivamente los objetivos pertinentes a un evento, incidente u operativo, el cual en la mayoría de los casos requiere de la presencia del personal directamente en el área impactada para cumplir determinadas acciones tendientes a búsqueda, salvamento, atención y/o mitigación. Se vincula el desarrollo metodológico de la “Aplicación de un Dron polivalente para atención a emergencias en el marco de búsqueda, salvamento, atención y mitigación”.

## Solución propuesta

Funcionalmente se ha evidenciado que el desarrollo de un Dron polivalente es el adecuado para vincular las actividades operativas de, búsqueda, salvamento, atención y mitigación; Por lo anterior y debido a la naturaleza de estas actividades descritas en el marco teórico, se posee soporte suficiente para elegir una plataforma base del tipo Hexacóptero (Shahrulnizam Idy y Mastura Mohd Saleh, 2021). La política de elección de elementos y materiales para su integración tiene como

base, el aprovechamiento de la amplia oferta existente en el mercado, de componentes ya diseñados y comprobados en operación, a lo anterior se le adiciona una controladora de vuelo de arquitectura abierta, lo que redunda en la amplia documentación para su desarrollo y el bajo coste que va ligado al objetivo del diseño.

## Componentes del diseño

A continuación, se presenta un listado con detalles técnicos generales, peso neto estimado en gramos de los componentes a integrar dentro del diseño seleccionado, también se estiman los pesos totales para el Dron en vacío y con su peso total al vuelo (MTOW). En la Tabla 2 se relacionan los componentes constitutivos del prototipo Dron hexacóptero polivalente de acuerdo a lo descrito previamente.

Tabla 2

*Descripción de elementos constitutivos para el prototipo Dron hexacóptero propuesto*

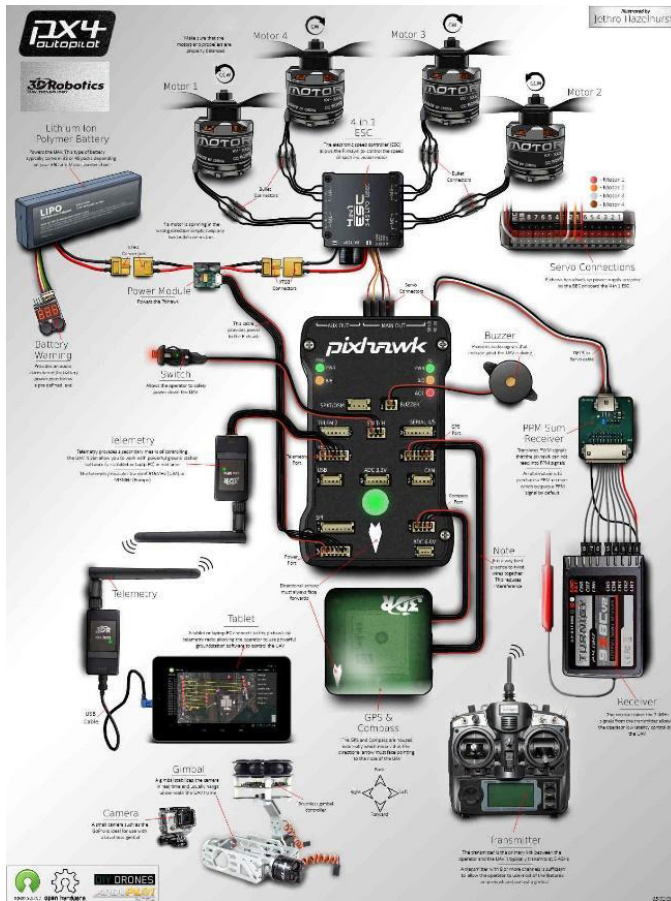
Artículo	Detalle	Peso (Gramos)
Chasis o frame	Tarot 680Pro Hexacopter Carbon Fiber Canopy CF Rods, CF plates	695,1
Hélices	DJI Matrice 600 Hexacopter 2170R Folding Propeller	190,8
Motores	Tarot-RC 4114 320KV Multi-Rotor	409,2
Variadores	XRotor Pro 2x40amp 3D ESC - HW 30902003	306
Controladora	CUAV Pixhawk 2.4.6	73,7
GPS	Neo8M	52
Sensores ext	Px4 opt- Sonar	37,6
RX TX mando	Dragon Link V3 Bt	51,6
Sistema FPV	AKK 2 W+ccd2.8+Pagoda	71,4
BEC DC DC	BEC DC DC	34,2
Electrónica a bordo	Sistemas de filtrado y auxiliares	36,2
Herrajes y soportes	Sujeciones en nylon	45,2
<b>UAS en vacío</b>		<b>2003</b>
<b>Carga paga</b>	Polivalencia en cargas max	<b>400</b>
<b>UAS+ CP</b>	UAS con carga paga	<b>2403</b>
<b>Baterías</b>	Batería Lipo Pack 12000 mAh 22.2 V 25 C 6S	<b>1482</b>
<b>MTOW</b>		<b>3885</b>

Fuente: elaboración propia.

Vinculación de componentes al diseño

De acuerdo a los anteriores componentes expuestos en la Tabla 2, se presenta en el siguiente diagrama, el esquema de componentes vinculados ya en función operacional donde la plataforma de arquitectura abierta basada en Arduino (Estarlich Pau, 2013), que para este caso se desarrolla en el entorno Ardupilot (Ramos Gálvez, 2017; Baidya et al., 2018), es la controladora de vuelo Pixhawk V 2.4.6, en la Figura 10, se presentan los componentes para implementar el Dron.

Figura 10  
Diagrama de componente hexacóptero polivalente – PX4 Ardupilot

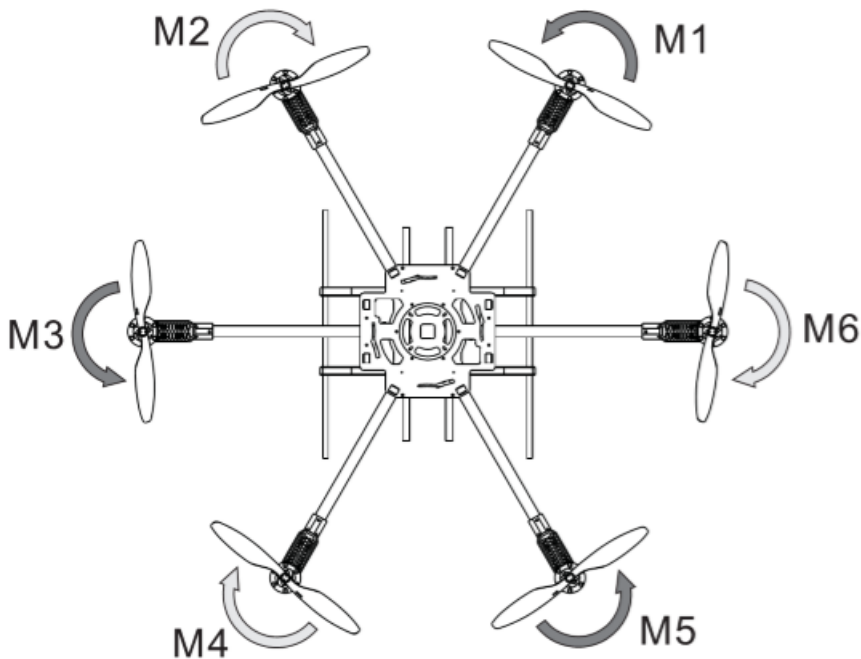


Fuente: Ardupilot.org

Debido a los 3 pares de motores de los que dispone, el Dron destaca por su potencia si se eligen de forma balanceada y adecuada y más al ser propuesto para operación en entornos de emergencia, donde puede encontrarse en complejos y exigentes escenarios de vuelo. De otra parte, se posee redundancia de motorización lo cual garantiza un factor de seguridad adicional a la hora de la ejecución de la operación, como se puede ver en el siguiente diagrama funcional de motorización, se puede observar la dinámica de dirección de rotación de conjuntos motores dentro de los cuales los brazos opuestos a su vez poseen rotaciones opuestas, la Figura 11 muestra la representación funcional de un Drone hexacóptero.

Figura 11

Representa el diagrama funcional de motorización de Ardupilot.org para Hexacóptero de disposición X



Fuente: ardupilot.org

## Cálculos y simulaciones del diseño

Previo a la integración del Dron polivalente, se generan los cálculos referidos a los componentes comercialmente disponibles y su respectiva simulación de resultados, los cuales son contrastados ya con los resultados arrojados por la telemetría en el desarrollo de operaciones reales; para lo anterior se integra a este desarrollo la plataforma ecalc.ch (Shahrulnizam Idy y Mastura Mohd Saleh, 2021; Yadav, Sharma, y Borad, 2017), la cual proporciona bases simuladas, las cuales se tienen en cuenta para el desarrollo en vivo del Dron. De otra parte, la vinculación de esta plataforma de calculo al proyecto tiene como fin paralelo, el cumplimiento del objetivo de ser económicamente viable, al obviar servicios adicionales de profesionales adjuntos al mismo. Lo anterior se argumenta gracias a las referencias de diseñadores y fabricantes de talla mundial que emplean la plataforma para sus simulaciones, tal como se presenta en la Figura 12.

Figura 12

En esta se observan algunos diseñadores y fabricantes que emplean la plataforma ecalc.ch



Fuente: eCalc.ch

Con los datos presentados en la Tabla 1 correspondiente al listado de elementos constitutivos para el Dron, se integran los mismos a la plataforma ecalc.ch tal como se pueden observar en la Figura 13.

Figura 13  
Proyecto Hexacóptero polivalente

## Proyecto Hexacóptero polivalente – Cálculos generales


<b>General</b>	Peso del modelo: 2403 g <input type="text"/> <input type="text" value="sin batería"/> <input type="text" value="g"/> 84.8 oz	Nº de rotores: 6 <input type="text"/> simple <input type="text"/>	Tamaño del amazon: 800 mm <input type="text"/> 31.5 inch <input type="text"/>
<b>Celdas batería</b>	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 10000mAh - 25/35C <input type="text"/> - llena <input type="text"/>	Configuración: 6 S <input type="text"/> 1 P <input type="text"/>	Capacidad por celda: 10000 mAh <input type="text"/> 10000 mAh total <input type="text"/>
<b>Variador</b>	Tipo: Hobbywing Platinum 40A LV <input type="text"/>	Corriente: 40 A cont. <input type="text"/> 60 A max. <input type="text"/>	Resistencia: 0.015 Ohm <input type="text"/>
<b>Motor</b>	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: Tarot <input type="text"/> - 4114/320KV (320) <input type="text"/> excelente <input type="text"/> buscando... <input type="text"/>	KV (w/o torque): 320 rpm/V <input type="text"/> Asistente KV hélice <input type="text"/>	Corriente sin hélice: 0.5 A @ 22.2 V <input type="text"/>
<b>Hélice</b>	Tipo de hélice: Carbon-Fold-Prop <input type="text"/> - 0° <input type="text"/>	Diámetro: 15 inch <input type="text"/> 381 mm <input type="text"/>	Paso: 5.5 inch <input type="text"/> 139.7 mm <input type="text"/>
Limites de inclinación de la FCU: 45° <input type="text"/>	Altura del campo 970 m ASL <input type="text"/> 3182 ft ASL <input type="text"/>	Temp. aire 30 °C <input type="text"/> 86 °F <input type="text"/>	Presion (QNH): 1013 hPa <input type="text"/> 29.91 inHg <input type="text"/>
descarga max. 80% <input type="text"/>	Resistencia: 0.0021 Ohm <input type="text"/>	Voltaje: 3.7 V <input type="text"/>	capacidad C de descarga: 25 C continua <input type="text"/> 35 C de pico <input type="text"/>
Peso: 48 g <input type="text"/> 1.7 oz <input type="text"/>	<b>Accesorios</b>	Consumo de corriente: 3 A <input type="text"/>	Peso: 0 g <input type="text"/> 0 oz <input type="text"/>
Límite (hasta 15s): 500 W <input type="text"/>	Resistencia: 0.126 Ohm <input type="text"/>	Longitud caja: 32 mm <input type="text"/> 1.26 inch <input type="text"/>	nº Polos mag.: 22 <input type="text"/>
Peso: 148 g <input type="text"/> 5.2 oz <input type="text"/>	número de palas: 2 <input type="text"/>	Const.de Potencia/Empuje: 1.18 / 1.0 <input type="text"/>	Gear Ratio: 1 : 1 <input type="text"/>
			Calcular <input type="button"/>

Nota. En esta se observa la vinculación de las especificaciones de los elementos constitutivos del Dron, a la plataforma ecalc.ch .

Fuente: eCalc.ch

Vinculados los datos a la plataforma ecalc.ch, y corrida la ejecución de entorno de simulación, se obtienen los resultados que se relacionan en la Figura 14.

Figura 14  
Resultados de la simulación en la plataforma ecalc.ch

<b>Batería</b>		<b>Motor a eficiencia óptima</b>		<b>Motor al Máximo</b>	
Carga:	9.41 C	Corriente:	8.90 A	Corriente:	15.18 A
Voltaje:	22.35 V	Voltaje:	22.73 V	Voltaje:	22.12 V
Tensión nominal:	22.20 V	Revoluciones*:	6875 rpm	Revoluciones*:	6400 rpm
Energía:	222 Wh	Potencia eléctrica:	202.3 W	Potencia eléctrica:	335.9 W
Capacidad total:	10000 mAh	Potencia mecánica:	180.8 W	Potencia mecánica:	294.4 W
Capacidad usada:	8000 mAh	Eficiencia:	89.3 %	Potencia-Peso:	518.7 W/kg
Tiempo min de vuelo:	5.1 min				235.3 W/lb
tiempo medio de vuelo:	14.9 min			Eficiencia:	87.7 %
Tiempo de vuelo estacionario:	20.2 min			Temperatura ext.:	40 °C
Peso:	1482 g				104 °F
	52.3 oz				
				<b>Medidas de potencia</b>	
				Intensidad:	91.08 A
				Voltage:	22.35 V
				Potencia:	2035.6 W
<b>Motor @ Hover</b>		<b>Motorización Total</b>		<b>Multicóptero</b>	
Corriente:	3.46 A	Peso de la Motorización:	2924 g	Peso total:	3885 g
Voltaje:	23.18 V		103.1 oz		137 oz
Revoluciones*:	3538 rpm	Empuje-Peso:	2.6 : 1	máximo peso adicional:	4745 g
Acelerador (log):	36 %	Corriente en estacionario:	20.74 A		167.4 oz
Acelerador (lineal):	52 %	Pot(entrada) en estacionario:	488.0 W	inclinación máxima:	45 °
Potencia eléctrica:	80.1 W	Pot(salida) en estacionario:	419.7 W	velocidad máxima:	47 km/h
Potencia mecánica:	69.9 W	Eficiencia en estacionario:	86.0 %		29.2 mph
Potencia-Peso:	125.6 W/kg	Corriente al máximo:	91.11 A	Rango estimado:	- m
	57 W/lb	Potencia(entrada) al máximo:	2143.9 W		- mi
Eficiencia:	87.3 %	Potencia(salida) al máximo:	1766.5 W	Trepada estimada :	7.2 m/s
est. Temperatura:	32 °C	Eficiencia al máximo:	82.4 %		1417 ft/min
	90 °F			Area total del disco:	68.41 dm <sup>2</sup>
Empuje especifico:	8.08 g/W				1060.36 in <sup>2</sup>
	0.29 oz/W			Fallo del motor:	

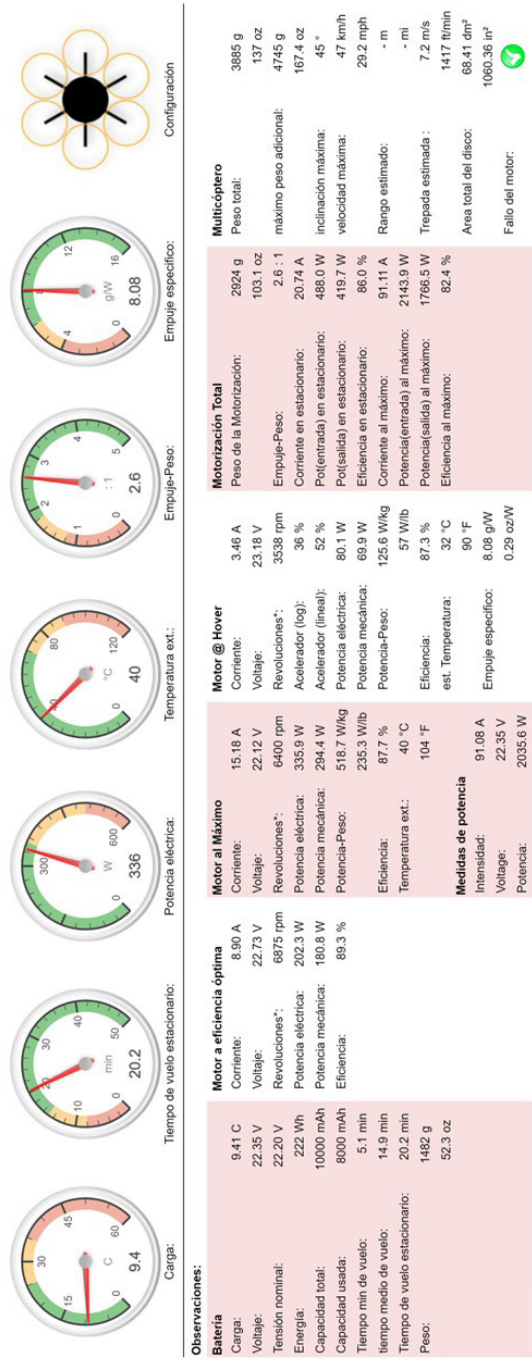
Fuente: eCalc.ch

Los anteriores resultados de la simulación se pueden observar también en la Figura 15 que corresponde al resumen de rangos de instrumentos.

Figura 15

Rangos de instrumentos representando la simulación efectuada en la plataforma ecalc.ch

## Proyecto Hexacóptero polivalente – Cálculos generales



Fuente: eCalc.ch



## Características técnicas y operacionales de acuerdo a lo proyectado para atención de emergencias

Con los resultados de la simulación anteriormente expuesta y sumado a las especificaciones técnicas de los fabricantes de los componentes de radio control y telemetría, se valida el planteamiento de las características técnicas y operacionales referidas a continuación:

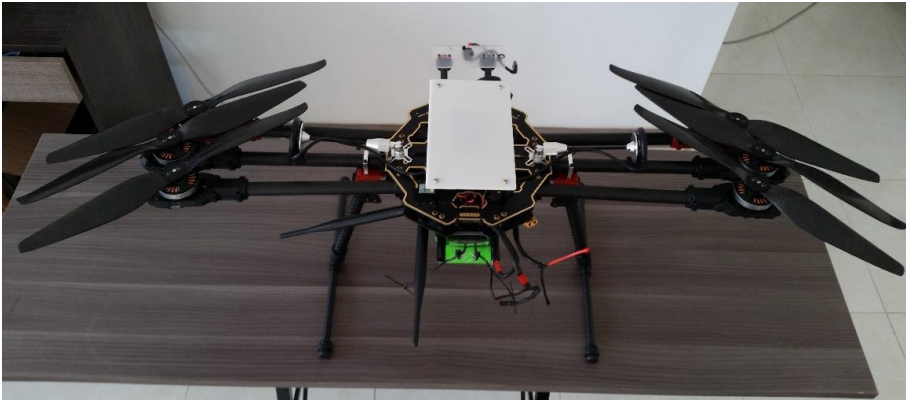
- Montantes intercambiables para sensores RGB, Multiespectral y Térmicos.
- Capacidad de operar con dos sensores al mismo tiempo.
- Capacidad técnica para instalación de dispositivos de carga para el despliegue de sus capacidades operativas en los ámbitos de Atención y salvamento ya mencionadas en el marco teórico de este artículo.
- Capacidad técnica y operativa para instalación de dispositivos de liberación de generadores puntuales de fuego en el ámbito de la mitigación de incendios forestales.
- Capacidad de vuelo totalmente autónomo.
- Capacidad de vuelo automático.
- Capacidad de vuelo asistido o semi automático.
- Capacidad de vuelo manual.
- Mando a distancia por telemetría y/o Radio control.
- Rango de operación monitoreado de 10 kilómetros en radio.
- Autonomía de 17 minutos con dispositivo estándar vinculado.
- Máxima velocidad de desplazamiento en horizontal 47 km/h con viento en calma.
- Máxima velocidad de ascenso 20 km/h con viento en calma.

## Resultados

Ya con los parámetros de diseño simulados y los resultados dentro de los rangos aceptables se procede al proceso de materialización, y configuración del prototipo del Dron polivalente que se presenta en la Figura 16.

### Figura 16

*Prototipo de Hexacóptero Polivalente implementado*



Fuente: elaboración propia

Concluida de forma satisfactoria la etapa anteriormente descrita se efectúan las pruebas de operación en campo y se desarrolla el plan de vuelo, obteniendo los resultados que se presentan a continuación:

Para el desarrollo de este aspecto se emplea en diseño y operación el programa Mission Planner (Gandor, Rehak y Skaloud, 2015), el cual proporciona el entorno para la materialización del objetivo de la misión de vuelo, la carga de la misma al Dron polivalente, la ejecución de la misión y su respectivo monitoreo a través de la telemetría vía protocolo MavLink (Koubáa et al., 2019).

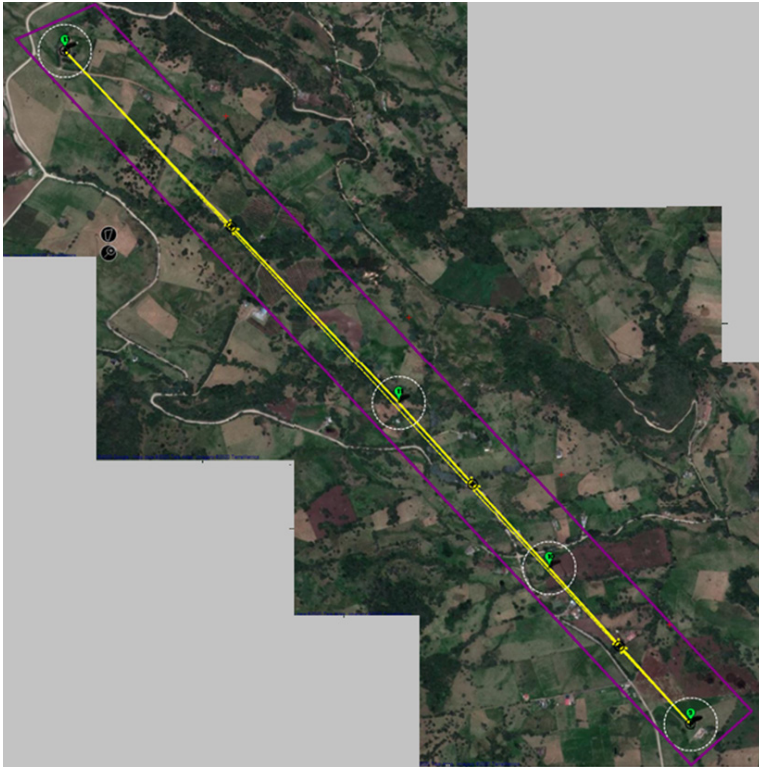
### Plan de vuelo

**Objetivo:** Entrega de elementos para atención de primeros auxilios en ubicación determinada, a partir de la creación y carga y ejecución de una misión automática.

**Descripción de la operación:** El Dron polivalente dotado de un sistema automático de entrega cargado con equipo de primeros auxilios (Marín Meza, 2021), es programado para despegar del Punto A ubicado en las coordenadas, 4,6771735 -73,9306849, que inicie su curso hacia el Punto B: 4,6635652 -73,918048, a una distancia de 2,13 kilómetros, donde aterriza, entrega de forma automática la carga de pago que lleva consigo, despega y retorna de nuevo al Punto A, donde aterriza y concluye misión. La anterior descriptiva se evidencia en las Figuras 17, 18 y 19.

Figura 17

Perfil superior de la misión Punto A – Punto B la cual cubre una distancia de 2.13 KM en el programa Mission Planner



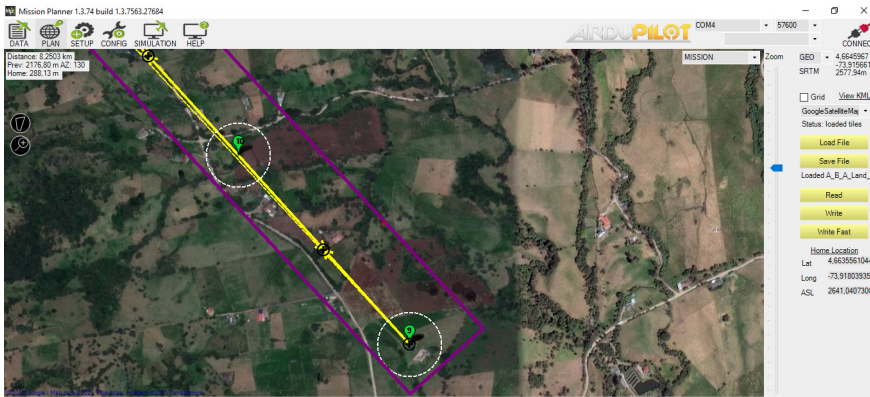
Fuente: elaboración propia.

Figura 18  
Detalle de la misión desde punto A, en el programa Mission Planner



Fuente: elaboración propia.

Figura 19  
Detalle del Punto B dentro de la misión, en el programa Mission Planner



Fuente: elaboración propia.

## Programación de la misión para la ejecución de la operación

Proyectada la operación, y programada la misión en el Dron Polivalente, se da la etapa de ejecución de esta, obteniendo un resultado positivo y sin novedades, accidentes o incidentes de acuerdo a lo programado. En la Figura 20 se presentan apartes de la secuencia de los detalles de la misión ejecutada.

## Figura 20

Detalles de la programación de la misión ejecutada, en el programa Mission Planner

WP	Radius	Loiter Radius	Default Alt	Relative	Verify Height	Add Below	Alt Warn	Spline	Command	Delay				Lat	Long	Alt	Frame	Delete			Grad %	Angle	Dist	AZ
1	60	45	100	Relative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	TAKEOFF	0	0	0	0	0	0	60	Relative	X			0	0	0	0
2									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6771735	-73,9306849	60	Relative	X			2,9	1,7	2064,1	317
3									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6700182	-73,923912	60	Relative	X			0,0	0,0	1093,8	137
4									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6667247	-73,920908	-62	Relative	X			-24,7	-13,8	509,7	138
5									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6635652	-73,918048	-62	Relative	X			0,0	0,0	473,2	138
6									LAND	0	0	0	0	4,6635652	-73,918048	0	Terrain	X			=	90,0	62,1	180
7									DO_SET_SERVO	10	1900	0	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
8									TAKEOFF	0	0	0	0	0	0	-80	Relative	X			0	0	0	0
9									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6635652	-73,918048	-62	Relative	X			=	-90,0	62,1	180
10									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6667273	-73,9209107	-62	Relative	X			0,0	0,0	473,6	318
11									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6700209	-73,923912	60	Relative	X			24,7	13,9	509,6	318
12									WAYPOINT	0	0	0	0	4,6771735	-73,9306849	60	Relative	X			0,0	0,0	1093,6	317

Fuente: elaboración propia.

### Declaración técnica del Dron de acuerdo a resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, se genera la declaración técnica del Dron polivalente prototipo para aplicaciones de operaciones de emergencia especificando las siguientes características:

- Estado (país) de fabricación: Colombia.
- Ensamblador y modelo: Ing. Juan Chaves - UAS de la clase: Multirroto - Tipo: Hexacóptero Polivalente.
- Número de motores: 6.
- Voltaje de alimentación: 22,2 VDC.
- Envergadura: 800 mm entre ejes de motores – 1119 mm al despliegue de hélices.
- Caracterización de la aeronave: Multirroto.
- MTOW: 3885 g.
- Carga paga: 400 g.

## Descripción de los sistemas de recuperación de emergencia

- **Sistema RTH:** La función del sistema de retorno a casa (RTH) hace que el UAS vuelva al último punto de origen registrado, esta función es opcional.
- **RTH inteligente:** En cualquier momento, presionando el botón del control, el UAS regresará al último punto de origen registrado.
- **RTH batería baja:** Cuando la batería del UAS se encuentra por debajo del porcentaje establecido, regresará automáticamente al último punto de origen registrado.
- **RTH seguridad:** Si se pierde la señal entre el control y el UAS o la telemetría y el UAS, este regresará al último punto de origen registrado.

## Detalle tecnológico funcional de sistemas de a bordo

De acuerdo a la materialización del Dron se genera una división específica de sistemas por módulos intercambiables y aislados de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Alimentación principal.
- Alimentación Secundaria.
- Regulación de tensión.
- Filtrado de tensión.
- Sistema redundante de alimentación a sistemas básicos de navegación.
- Sistemas Básicos de Navegación GPS y brújula independientes.
- Sistemas redundantes de navegación GNSS.
- Alimentación a sensores entregada por módulos independientes, cada uno de ellos regulados.
- Chasis plegable y hélices desmontables.
- Protección IP45.

A continuación, se presenta la Figura 21 donde se muestra el Dron polivalente prototipo para aplicaciones de operaciones de emergencia, en campo de pruebas:

Figura 21

*Dron dispuesto para operación en campo*



Fuente: elaboración propia.

**Detalle comparativo del Dron Polivalente propuesto versus los Drones aplicables existentes en el marco de las actividades de operaciones de emergencia:**

Ya con la consolidación de resultados del Dron polivalente propuesto, se vincula el mismo a un cuadro de impacto.

Comparativo de favorabilidad versus los drones expuestos, para la aplicación en actividades de operaciones de emergencia:

Tabla 3

Cuadro de impacto comparativo de los drones expuestos, en las actividades de operaciones de Emergencia

Impacto de los drones expuestos, en las actividades de operaciones de emergencia				
Dron \ Actividad	Búsqueda	Salvamento	Atención	Mitigación
Matrice 300 (DJI)	Alto	Bajo	Ninguno	Ninguno
Mavic 2 Enterprise Dual (DJI)	Alto	Ninguno	Ninguno	Ninguno
AerHib (Aerocámaras)	Alto	Alto	Alto	Alto
Dron Polivalente (AA - JM)	Alto	Medio	Medio	Medio

Escala de valoración - Favorabilidad para la aplicación
Alta
Media
Baja
Ninguna

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Dado el desarrollo tecnológico continuo del sector Dron y sumado este a la experiencia en la aplicación de estas tecnologías, la creación de un Dron Polivalente para atención a emergencias enfocado a la búsqueda, salvamento, atención y mitigación se puede ajustar como herramienta complementaria de alta relevancia en estos aspectos, pues se puede estructurar un diseño que permita el montaje y operación de diferentes cargas de pago que se ajustan a las cuatro aplicaciones operativas base de Búsqueda, salvamento, atención y mitigación, tal como se pudo evidenciar en los resultados obtenidos, dejando en evidencia la ventaja estratégica en este tipo de operaciones.

De acuerdo a lo referenciado en el entorno de levantamiento de datos cada pieza de información disponible puede significar la diferencia entre la vida y la muerte. Esta es la razón por la que muchos departamentos de bomberos y otros cuerpos para atención de emergencias alrededor del mundo han comenzado a utilizar Drones como herramienta de apoyo, y también se ha integrado la tecnología avanzada y los datos que proporcionan para la toma de decisiones a la hora del montaje de la estructura del SCI (Palacio Vaca, Montoya, Chavarro, Puerto, y Solano, 2009). De otra parte, como lo observamos en los cuatro aspectos tratados, es viable la vinculación de la tecnología Dron no solo en el levantamiento de datos, sino también en la actuación directa por medio



de otros dispositivos que se puedan integrar al Dron para convertirlo en una herramienta de acción directa dentro de la zona o individuos con afectación. Lo anterior ha generado la implementación de programas de uso de tecnología Dron en organismos de atención y prevención de emergencias; y si estos logran tener acceso a un Dron económicamente asequible, que pueda integrar las funciones de levantamiento de datos y actuación directa, estos podrán mejorar sus indicadores de éxito en las operaciones que intervengan. De otra parte, evidenciando la integración positiva de la tecnología en el ámbito de las operaciones de emergencia, los entes gubernamentales son motivados a generar aumentos en las aprobaciones presupuestarias para programas Dron en la medida que el acceso a tecnologías de Drones polivalentes se encuentre racionalmente ofertadas.

## Referencias

- Addati, G. A., y Pérez Lance, G. (2014). *Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil*. Buenos Aires: Universidad de CEMA.
- Alburez Mendieta, L. G., Arriola lemus, E. A., Trujillo, H. L., Vasquez Pérez, Z. A., Vaides Arrué, C. A., García Godinez, E. O.,... Herrera Ordoñez, A. (2004). *Guia didactica del curso basico "sistema comando de incidentes"*. Secretaría ejecutiva de la coordinadoranacional para la reduccion de desastres-CONRED.
- Baidya, S., Shaikh, Z., y Levorato, M. (2018). *FlyNetSim: An Open Source Synchronized UAV Network simulator based on ns-3 and Ardupilot*. Montreal: Donald Bren School of Information and Computer Sciences.
- Bonilla, R. (2001). *Guia tecnica en prevencion y control de incendios forestales*. Ciudad Flores: Propeten.
- Estarlich Pau, J. (2013). *Ardupilot: piloto automatico para aeromodelo con arduino*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Frazier, A. E., y Singh, K. K. (2021). *Fundamentals of capturing and processing Drone imagery and data*. CRC Press.
- Gandor, F., Rehak, M., y Skaloud, J. (2015). *Fotogrammetric mission planner for RPAS*. Switzerland: École Polytechnique Fédérale de Lausanne.