



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Sistemas de Aeronaves Piloteadas a Distancia como herramienta transversal en la Gestión Integral del Riesgo.

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

FI-DIE



Sello digital por
emergencia sanitaria

Lic. Angélica Gutiérrez Vázquez
Coordinación de Titulación y
Servicio Social
angelica_6@comunidad.unam.mx
09/02/2022

P R E S E N T A

Moisés Osvaldo Armendáriz Valdez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Carlos Miguel Valdés González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

Para quienes perdieron a sus seres queridos y
en memoria de las víctimas de los sismos de
septiembre de 2017

Agradecimientos

Agradezco a Dios por estar presente en este logro tan importante y en los momentos más complicados, dándome lo mejor para mí.

Quiero expresar mi gratitud al Dr. Carlos Valdés por su dedicación y paciencia a lo largo de este trabajo, es para mí un ejemplo de servidor público. Gracias por ser mi director de tesis.

Mi agradecimiento eterno a mis primeros maestros, mi mamá y mi papá; déjenme decirles que los amo con todo mi corazón, por su inagotable paciencia y haber forjado mis valores, Gracias por las ocasiones que se limitaron de cosas materiales para que tuviera lo necesario en mi educación académica, gracias por apoyarme en todas mis inquietudes, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, Dios los bendiga siempre.

Mis aliados de toda la vida, mis hermanos y mi hermana, gracias por su apoyo en cada etapa de mi vida académica, en especial a quien fue mi compañero de clases y estudio en nuestra querida Facultad de Ingeniería.

Ahava tu apoyo incondicional fue piedra angular para terminar este proyecto, el camino no fue fácil pero supiste motivarme adecuadamente, confiaste en mí cuando yo no lo hacía, jamás terminaré de agradecerte por tanto.

Compañeros de clase, inconmensurables aventuras vivimos, gracias por su apoyo, complicidad y amistad que surgió en salones y laboratorios de nuestra querida Facultad.

Agradezco a la máxima casa de estudios por compartir sus conocimientos a través de sus docentes; a quienes también agradezco todas sus enseñanzas que me permiten ayudar a hacer un poco mejor a mi México lindo y querido. Larga vida a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Centro Nacional de Prevención de Desastres por la oportunidad y confianza para desarrollar este proyecto, extendiendo el agradecimiento a su personal comprometido, Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo; sin embargo, hago una mención especial a mi Jefa y a mi mentor en la operación de Aeronaves pilotadas a distancia.

Dios los Bendiga Siempre.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
OBJETIVO GENERAL	8
Objetivos específicos	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	14
Evolución de componentes	14
Historia.....	14
a) Tecnología usada en la guerra	14
b) Desarrollo de las aeronaves no tripuladas.....	15
Aplicaciones civiles	21
Componentes básicos	23
a) Marco o frame	23
b) Motores, hélices y Electronic Speed Control (ESC).	25
c) Hélices.....	27
d) Radio Receptor.....	28
e) Baterías	30
f) Instrumentos de abordó	32
Clasificación de los drones.....	35
Fuerzas actuantes	39
Etapas de vuelo	40
a) Ascenso y descenso	40
b) Crucero.....	41
c) Estacionario.....	41
CAPÍTULO II	42
Marco Legal.....	42
Fundamentos legales	42
a) Ley Orgánica de la Administración Pública Federal	43
b) Ley de Aviación Civil	45
c) Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes	47
Justificación	48
Aplicaciones	49
Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019	49
a) Tipos de aeronaves	50

b)	Categoría micro.....	51
c)	Categoría Pequeños	51
d)	Categoría Grande	52
e)	Requisitos para obtener la autorización de operación RPAS Grande	53
f)	Operaciones Nocturnas	54
g)	Operaciones alrededor de aeródromos y helipuertos	54
h)	Resumen de la circular obligatoria.....	56
Reglamentación en otros países		57
a)	Reino unido.....	57
b)	Estados Unidos de América	57
c)	España.....	57
d)	Suecia.....	58
e)	Perú.....	58
f)	Argentina	58
CAPÍTULO III		59
Aplicaciones de los productos en la Gestión Integral del Riesgo (GIR)		59
¿Cuáles son los productos que se pueden obtener de un dron?		59
a)	Nube de puntos	59
b)	Modelo Digital de Superficie (MDS).....	60
c)	Modelo Digital del Terreno (MDT)	61
d)	Modelo Digital de Elevación	62
e)	Ortomosaico	62
f)	Modelo 3D	63
g)	Lidar	64
Fases de la GIR.....		65
a)	Identificación	65
b)	Previsión.....	67
c)	Prevención	68
d)	Preparación.....	71
e)	Mitigación	73
f)	Auxilio	75
g)	Recuperación	79
h)	Reconstrucción.....	81
Tiempo de vuelo en horas		83
i)	Especificaciones de RPAS utilizados.....	89
Casos de estudio		90
j)	Antecedentes	91
k)	Colonia Barrio 18, Xochimilco	92
l)	Colonia Luis Donaldo Colosio	98
CAPÍTULO IV		103

GUÍA BÁSICA.....	103
Selección de aeronave	103
Iniciación de aprendizaje.....	104
a) Acciones que nunca se deben hacer.....	106
b) ¿Cómo hacer un vuelo seguro?.....	106
c) Procedimiento de vuelo.....	110
CONCLUSIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	122
ÍNDICE DE FIGURAS	124
ÍNDICE DE TABLAS	127

RESUMEN

Los Sistemas de Vehículos Aéreos Pilotados a Distancia, de su traducción del inglés Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) comúnmente conocidos como drones, son desarrollos que a diferentes sectores y servicios le permite ahorrar tiempo y dinero. En el caso de la Gestión Integral del Riesgo (GIR), podremos salvar vidas, evitar daños y contribuir a la resiliencia de una comunidad. Para una buena aplicación la elección del dron y el uso de esta tecnología se deberán segmentar implementar en cada una de las fases de la GIR con el fin de obtener el mejor desempeño durante la misión.

En el desarrollo de este trabajo, se pudo definir la utilidad del dron en cada fase de la GIR, las cuales se describen a continuación.

1. Identificación: Durante esta etapa se vuelve indispensable ver desde otra perspectiva la superficie del terreno. Podemos auxiliarnos con la generación de los modelos digitales de superficie del terreno y de elevación para su posterior análisis.
2. Previsión: Tomar conciencia de los riesgos e identificar qué se necesita para la reducción de estos.
3. Prevención: Análisis de modelos y generación de escenarios para hacer una evaluación de los daños que un fenómeno natural pudiera causar.
4. Mitigación: Una vez obtenidos los escenarios del efecto de un fenómeno natural, se pueden simular obras de mitigación, lo que permitirá su construcción eficientemente.
5. Preparación: La capacitación, enfocada a la atención de los grupos de respuesta, puede ser supervisada mediante imágenes aéreas con objetivo de evaluarla y mejorarla.
6. Auxilio: Evaluación inmediata de daños a infraestructura y vivienda que ocasionan los fenómenos naturales e identificar posibles riesgos para los grupos de respuesta.
7. Recuperación: Descartar riesgos durante la emergencia o desastre en instalaciones estratégicas como hospitales, escuelas y mercados para iniciar la vuelta a la normalidad de la comunidad.
8. Reconstrucción: Identificación de riesgos, análisis del terreno, creación de escenarios con propuestas de obras de mitigación para hacer construcciones menos vulnerables.

Lo que podría reducir o aumentar el uso de esta tecnología es la regulación del espacio aéreo, la cual deberá tener como objetivo principal la coordinación de aeronaves tripuladas y no tripuladas, ya que contar con un protocolo de vuelo reducirá al mínimo los riesgos.

Los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, con personal debidamente capacitado, pueden ser integrados como herramienta para la transición hacia la Gestión Integral del Riesgo.

OBJETIVO GENERAL

Utilizar Sistemas de Aeronaves piloteadas a distancia en la Gestión del Riesgo

Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología para utilizar RPAS en las 8 fases de la Gestión Integral del Riesgo.
- Aplicar la metodología en las colonias barrio 18, Xochimilco, Ciudad de México y en la colonia Luis Donaldo Colosio, Acapulco, Guerrero.
- Con las fotografías capturadas con el dron, obtener los productos, Modelo digital de superficie, Modelo Digital de elevación, Modelo Digital del terreno para generar escenarios de inundación.
- Hacer un análisis de la transversalidad de las 8 fases de la GIR.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) se desarrollaron una década después del primer vuelo del ser humano en 1903, el cual tuvo un tiempo de 59 segundos y recorrió una distancia de 26 metros. Estas aeronaves, también llamadas bombas voladoras, carecían de precisión y su alcance dependía del combustible suministrado.

Se fueron adaptando complementos como cámaras de video, lo que permitió que estas aeronaves aumentaran su precisión y acertaran en sus objetivos. Con el paso del tiempo se fueron incorporando a diversas actividades en la guerra, por ejemplo, reconocimiento del terreno, operaciones encubiertas, señuelos de ataque, lanza granadas y vigilancia nocturna. Este desarrollo tecnológico, así como otros tienen un origen bélico, actualmente tiene aplicaciones de uso civil y se conocen como drones.

La incorporación de los sensores de proximidad facilitó la operación de las aeronaves no tripuladas e incrementó su uso en sectores como la agricultura, cinematografía, vigilancia fronteriza, energía, preservación del medio ambiente, industria del espectáculo y la Gestión Integral del Riesgo.

Las ventajas del uso de aeronaves no tripuladas son reducción de tiempo en obtención de datos, menor superficie de aterrizaje y despegue en comparación con vuelos tripulados; asimismo pueden acceder a lugares pequeños, los costos de mantenimiento, capacitación y operación, son bajos.

Debido a la popularización de estas aeronaves, derivado de su cada vez más intuitivo uso, es necesario regular su manejo mediante instrumentos legales que permitan, primero, tener reglas claras que beneficien, protejan y salvaguarden a las personas, ya sea en tierra o en el aire; y segundo, que permitan también su desarrollo. Algunos países que han generado instrumentos jurídicos son Argentina, Perú, Suecia, España, Estados Unidos y Reino Unido.

En la prevención de desastres originados por un fenómeno natural o antrópico, una constante es la limitación o escasez de recursos económicos y tecnológicos para realizar estudios, lo

que nulifica o retrasa un diagnóstico oportuno para realizar obras de prevención, mitigación o remediación, lo que trae como consecuencia daños sociales y económicos para los mexicanos y países que no estén preparados y prevenidos.

Una vez ocurrido el desastre es complicado tener de manera inmediata datos de la situación en la zona afectada, como número de víctimas, área dañada, daños en vivienda e infraestructura, estado de rutas de acceso o evacuación, por mencionar algunos. Estos datos se pueden obtener de imágenes aéreas recogidas de un dron, lo que resulta de gran ayuda para las autoridades, tomadores de decisiones y equipos de socorro, pues a estos últimos les permite diseñar un plan de rescate eficiente y con la menor vulnerabilidad para los rescatistas.

Para fines de este trabajo, a los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) también los nombraremos como RPAS, por sus siglas en inglés Remotely Piloted Aircraft Systems (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia), cuando nos refiramos únicamente a la aeronave será lo llamaremos dron, palabra del inglés que hace referencia al sonido que se asemeja al zumbido que hacen las abejas durante su vuelo y que es similar al sonido que hace el dron en el aire.

En el capítulo I, EVOLUCIÓN DE COMPONENTES, se describirá que la forma como conocemos los drones actualmente es resultado de la evolución de sus elementos. Sus inicios fueron durante la Primera Guerra Mundial. Conforme se desarrollaban nuevos complementos, se redujo el peso, el error en la precisión y el aumento en la autonomía de vuelo. ¿Cómo pasaron al uso civil? Lo que acentuó la comercialización de los drones fue la adaptación de un microprocesador comercial como tarjeta de vuelo, que fue diseñada por el mexicano Jordi Muñoz, quien adaptó una tarjeta arduino como controladora de vuelo, con ello se pudo reducir el costo de fabricación y la industria estuvo en posibilidades de producirlos en serie. Con este avance se mejoró otros componentes como la cámara incluida, un mayor alcance del control remoto y el perfeccionamiento de motores y hélices.

Los productos que se pueden obtener de los RPAS en la GIR son los siguientes:

Tabla 0- 1 Productos de los RPAS en la GIR.

Producto	Aplicación
Fotografías y videos aéreos	Identificar peligros circundantes
Modelo Digital de Superficie Modelo Digital de Terreno Modelo Digital de Elevación	Generación de modelos de inundación en zonas vulnerables y calcular volúmenes en el deslizamiento del terreno
Modelo 3D	Analizar estructuras de edificaciones o geológicas

Un aspecto importante a lo largo del tiempo es el costo de los drones, tomaremos el ejemplo de la serie Phantom de la marca DJI, desde su primera edición en el 2013 hasta la última. Consideraremos su versión base de cada modelo.

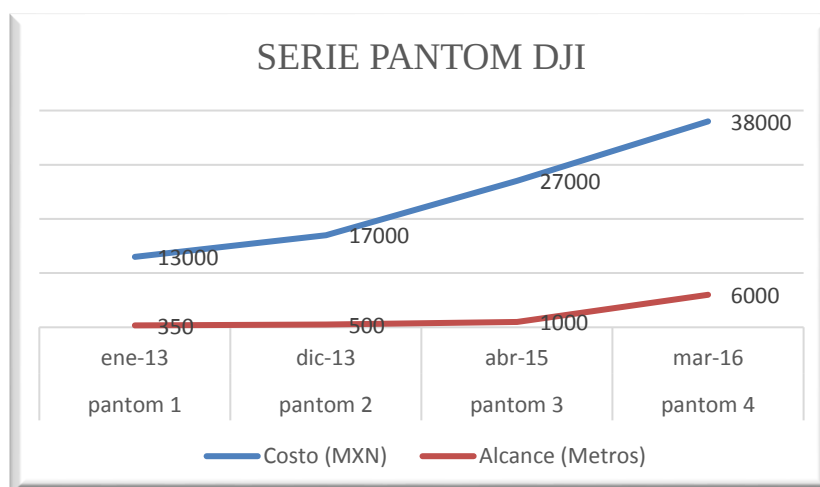


Figura 0- 1 Gráfica Phantom costo vs alcance.

Tabla 0- 2 Descripción Serie Phantom.

MODELO	AÑO	Costo (MXN)	Alcance (m)	Cámara	Sensores
Phantom 1	ene-13	13,000	350	sin cámara	no
Phantom 2	dic-13	17,000	500	sin cámara	no
Phantom 3	abr-15	27,000	1000	cámara 2.7K	no
Phantom 4	mar-16	38,000	6000	cámara 4K	5 direcciones

A nivel mundial, el crecimiento de aplicaciones con Vehículos Aéreos No Tripulados se ha incrementado exponencialmente. En el capítulo II, MARCO LEGAL, revisaremos los lineamientos que ha creado la Organización Aviación Civil Internacional (OACI) para

regular estas prácticas con el fin de salvaguardar las aeronaves tripuladas. Para profundizar más al respecto es posible consultar el anexo II, apéndice 4, que menciona las reglas generales de uso de drones con el fin de reducir al mínimo el riesgo al que están expuestos las personas y sus bienes.

En nuestro país, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) creó en 2013 la primera versión de la circular obligatoria CO AV 23/10, la cual ha sido revisada cuatro ocasiones. En el 2016 se propuso el proyecto de norma PROY-NOM-107-SCT3- 2016, que tiene el mismo objetivo y que actualmente está vigente, en el año 2018 se modificó la Ley General de Aviación Civil para incluir a los RPAS en las definiciones. Vale la pena mencionar que la circular CO AV 23/10 de la SCT, aunque no posee carácter oficial, es recomendable que los pilotos en territorio mexicano se apeguen a los lineamientos, pues esto reducirá los riesgos de colisión. En julio de 2019, la SCT publicó la CO AV-58/19 Reglas Generales para la operación de RPAS de estado y civiles (registrados como grupo voluntario) en caso de emergencia y/o desastres causados por fenómenos naturales y/o antrópicos, la cual establece el trabajo coordinado con el puesto de comando a partir del Sistema de Comando de Incidentes y las autoridades aeronáuticas.

La forma en la que se han atendido los desastres también ha evolucionado: de la gestión de la emergencia o desastre a la Gestión Integral del Riesgo (GIR), esta última se desarrolló en el año 2005 en Kobe, Japón. La Organización de la Naciones Unidas (ONU) realizó la Segunda Reunión Mundial sobre Reducción de Riesgo de Desastre, donde ocho etapas son las que componen la GIR: identificación, previsión, prevención, mitigación, preparación, auxilio, recuperación y reconstrucción. Los RPAS pueden trabajar transversalmente en las diferentes etapas de la GIR, lo que reduce costos, tiempos de respuesta y permite en breve tener elementos para tomar decisiones relativas a la planeación, prevención e intervención.

Los municipios son la unidad política de menor tamaño; no obstante, tienen el primer y el mayor contacto con las personas, por ello, dotarlos de herramientas como los RPAS les permitirá salvaguardar la vida y bienes de sus habitantes. En el capítulo III, APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO (GIR), se describirá cuáles son los productos que pueden obtener en cada una de las fases de la GIR.

Estudiamos el caso de la colonia Luis Donaldo Colosio, en el municipio de Acapulco, Guerrero, la cual fue afectada en 2013 por la tormenta tropical *Manuel*, mientras que del lado del golfo de México se encontraba el huracán *Ingrid*. Con el Atlas Nacional de Riesgo identificaremos los bienes expuestos, así como infraestructura. Las imágenes obtenidas con PRAS se ingresarán a un proceso para obtener un Modelo Digital de Superficie y elaborar un escenario de inundación que diagnostique las áreas que podrían ser afectadas y hacer una propuesta de las posibles obras de mitigación.

En el capítulo IV, GUÍA BÁSICA, se explicará la forma de operar las aeronaves en misiones de investigación, así como de rescate. Manipular este tipo de aeronaves deberá ser sumamente cuidadosa, reduciendo al máximo el riesgo de colisión con cualquier tipo de objetos, por lo que se vuelve necesario un protocolo de vuelo para no omitir ninguna configuración.

Es importante que, en el periodo de entrenamiento el piloto esté acompañado de personal con experiencia y que el vuelo se haga con al menos dos personas en la base de lanzamiento: el piloto y el observador.

En el presente trabajo se describirá:

- El marco legislativo actual de México y otros países
- Las partes básicas que componen un dron
- Como realizar un vuelo seguro
- Productos que se pueden obtener y la aplicación de los mismos en las fases de la Gestión Integral del Riesgo.

CAPÍTULO I

Evolución de componentes

Historia

Nuestra vida sería difícil de comprender sin los avances tecnológicos. Después de la Revolución Industrial, en siglo XVIII, ocurrieron un par de acontecimientos en los que hubo un aumento en dichos avances, esto fue durante la Primera y la Segunda Guerra Mundial. Acerca de este desarrollo vale pena mencionar lo siguiente:

a) Tecnología usada en la guerra

Películas antiasalto en cristales

Este vidrio laminado se utilizó en los parabrisas de los vehículos empleados en la guerra, al igual que en las micas de las máscaras antigases. Hoy los ocupamos en los cristales de los vehículos o ventanas de gran tamaño, lo cual aumenta su resistencia y evita que las esquirlas salgan disparadas en caso de rotura.

Lentes de sol y reloj de mano

Uno de los principales problemas para los pilotos de aviones en combate fue el resplandor del sol, por lo que se desarrollaron micas opacas para reducir los destellos, sin que esto impidiera ver el resto del objetivo. En la actualidad, los lentes son utilizados en días soleados en la playa o en la ciudad, incluso, como accesorio de vestir, al igual que el reloj de muñeca, que surgió con la necesidad de que los soldados no se distrajeran sacándolos de la bolsa.

Comida práctica

En el campo de combate, la preservación de la comida para las tropas fue un problema que resolvió en 1810, Peter Durand inventor del método de conservación de alimentos en hojalata por lo que es posible tener comida almacenada en latas por largo tiempo. Las bolsas de té fueron la manera de conservar estas infusiones sin tener que hervirlas en una cacerola; las microondas se utilizaban en radares para obtener información meteorológica y también las ocupamos para calentar comida en un horno. Ya en el tema de radares, los hidrófonos detectaban las turbulencias por los submarinos y así se conocía la ubicación del enemigo, esta tecnología se ocupa actualmente en los ultrasonidos para detectar anomalías en el cuerpo humano, o bien, para conocer el estado de salud y/o evolución de una mujer embarazada. (Cultura Colectiva, 2018)

GPS e internet

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) fue creado por la necesidad de localizar personas y posiciones del enemigo. Inicialmente, esta tecnología contaba con una constelación de 12 satélites, actualmente, tiene más de 24 satélites en cinco diferentes órbitas (Gutiérrez & Gutiérrez, 2016). Hoy, con este mismo sistema, podemos pedir un taxi, el desayuno, comida o trazar la ruta más rápida para llegar a un destino. La red que comunicó a todas las bases militares de Estados Unidos durante la Guerra Fría, años más tarde transformó las comunicaciones en todo el mundo lo que conocemos como internet.

b) Desarrollo de las aeronaves no tripuladas

Así como los avances tecnológicos mencionados anteriormente y muchos otros, los drones también se desarrollaron en el contexto de la guerra. Después del primer vuelo del ser humano en 1903, realizado por los hermanos Wilbur y Orville Wright, en 1917 se estaba desarrollando una aeronave sin piloto, el *Liberty Eagle Aerial Torpedo*, con una carga explosiva de 81 kg y un alcance de 65 km, contaba con un motor de combustión interna (Jordan & Baqués, 2014); al igual que los primeros prototipos, eran poco estables y se requería volarlos con buen clima y nunca perderlos de vista. Fueron necesarios varios intentos para tener una versión que resultara estable, como lo podemos observar en la Figura 1- 1.



Figura 1- 1 Modelo Liberty Eagle Aerial Torpedo, peso 81 kg, 65 km de alcance. Tiempo de vuelo según la cantidad de combustible.

Alemania, por su parte, en 1942, derivado de las cada vez más frecuentes bajas de aviones y pilotos, optó por desarrollar un proyecto que dio lugar al V-1 (Figura 1- 2), un misil crucero, que contaba con poca precisión y un alcance de 250 km, en los cuales podía lograr una

velocidad de 600 km/h. Se utilizaron en las campañas británicas en los años de 1940, que fueron de las primeras misiones que los drones realizaron para salvar vidas, particularmente de los pilotos más experimentados, pues según Irion Roy, los V-1 destruyeron o dañaron 1 127 000 casas; en cambio, los aviones tripulados que alcanzaron la cifra de 1 150 000; no obstante, perdieron 2 265 aviones y 3 363 pilotos y tripulantes. En la campaña con los V-1 no se registraron bajas (Jordan & Baqués, 2014).



Figura 1- 2 Modelo V-1, utilizaba una plataforma fija para su lanzamiento, destruyo 1 150 000 casas sin tener bajas de tripulación.

En 1944 el TDR-1 (Figura 1- 3) fue la primera aeronave no tripulada con cámara, era dirigido desde otro avión (TBF Avenger) y llevaba a bordo un torpedo. El dron se estrellaba contra el objetivo, por lo que sólo se podía usar una vez. De los 50 drones que se utilizaron, 31 acertaron en el objetivo.



Figura 1- 3 TDR-1 fue una aeronave no tripulada que se controlaba desde un vuelo tripulado.

En la guerra de Vietnam se sumó una función más a esta herramienta, pues los vehículos aéreos no tripulados eran utilizados para reconocer el terreno. El RP-71 Falconer (Figura 1.4) fue diseñado para este tipo de misiones. A diferencia de los diseños anteriores, este modelo podía hacer más de un vuelo, ya que, una vez concluida su misión, era posible programar su

regreso a la base. El inconveniente era que las imágenes sólo se podían ver hasta que la aeronave estaba en la base, por lo que el tiempo de análisis era muy largo y, en consecuencia, las condiciones del campo de batalla podrían haber cambiado o, si era derribado, la misión fracasaba (Jordan & Baqués, 2014).



Figura 1- 4 RP-71 Falconer, Primer Aeronave no tripulada para realizar reconocimiento del terreno, este modelo deja de ser una aeronave de un solo vuelo.

Los vuelos no tripulados para el reconocimiento del terreno tuvieron mayor aceptación en 1960. Cuando un misil soviético S-75 derribó la Aeronave U-2 del ejército Norteamericano (Figura 1- 5), los soviéticos no dudaron en hacer pública la captura del piloto y los restos del avión en relativo buen estado, lo que representó para Washington un costo político tras haber negado la realización de estos vuelos.

Lightning Bug (Figura 1- 6) realizó vuelos sobre China en 1964. Algunos de ellos fueron derribados y mostrados por las autoridades. No fue de relevancia para la prensa, por lo que no hubo declaración del gobierno norteamericano, “una primera señal de la rebaja en coste político interno que suspenden las misiones efectuadas con drones” (Jordan & Baqués, 2014).



Figura 1- 5 Aeronave Norteamericana tripulada, para hacer reconocimiento del terreno, fue derribada por los soviéticos, lo que ocasionó un costo político.



Figura 1- 6 147-lightning-bug, aeronave norteamericana no tripulada para reconocer el terreno fue derribada por los chinos.

Una de las desventajas del Lightning Bug era la altura de su vuelo, el cual se tenía que realizar a los 20,000 m. Este hecho implicaba que en días nublados o con mal tiempo se dificultaba la visibilidad óptima, por lo cual se desarrollaron algunos ajustes que dieron como resultado el 147-J Lightning-bug (Figura 1- 7), diseñados para este propósito; sin embargo, uno de los errores que cometían los pilotos fue que programaban 6 metros en lugar de 60 metros y algunos de ellos no completaban el vuelo o regresaban a la base con restos de vegetación (Jordan & Baqués, 2014).



Figura 1- 7 Lightning Bug 147-J, aeronave no tripulada de reconocimiento del terreno, versión mejorada del 147-lightning-bug, aumentó su resolución y no dependía de la nubosidad.

Otra aplicación se implementó a finales de la década de 1950, el HQ-50 (Figura 1- 8), el cual se utilizó como un avión antisubmarino y se le adicionó un misil MK-43; diez años más tarde se construyeron 800 de estos vehículos y un número reducido de drones fueron modificados para tener visión nocturna, la eficacia fue tan alta que tenían planes muy ambiciosos como adicionarle una metralleta, lanzagranadas, pero en 1970 se perdieron poco menos de la mitad, casi en todos los casos por accidentes.



Figura 1- 8 HQ-50 fue la primera aeronave no tripulada de ala rotatoria, fue equipada con lanzagranadas, metralletas, modificaciones mecánicas, que le ocasionaron fallas en el vuelo.

En la década de 1960, un modelo singular fue el D-21, que medía 13 metros de largo y pesaba diez toneladas, lograba triplicar la velocidad del sonido con una altitud de 28,000 metros y un alcance de 5 500 kilómetros, pero el procedimiento era verdaderamente sorprendente, pues una vez completada la misión soltaba con un paracaídas la información, la cual era recogida por un barco destructor para después autodestruirse. Sólo tuvo cuatro misiones, en la primera se perdió el control de la aeronave y tomó rumbo desconocido; en la segunda y cuarta fracasaron al atascarse el paquete de la información en la aeronave, sin poder salir antes de la autodestrucción; y en la tercera se completó la misión, pero el destructor se estrelló con el paquete que tenía la información y se hundió (Figura 1- 9).



Figura 1- 9 D-21 Aeronave no tripulada ultrasónica se utilizaba para vuelos de reconocimiento del terreno, todas sus misiones fracasaron.

Mole Criker 19 fue el nombre de una operación en 1982. El ejército Sirio fue engañado con drones para hacer parecer un ataque aéreo del ejército de Israel, por lo que Siria no dudó en responder con misiles tierra-aire para repeler el ataque, esto hizo que se quedaran sin misiles

disponibles lo cual abrió una ventana de recarga que fue aprovechada por Israel para ahora atacar con aeronaves tripuladas y misiles antirradar, con esto lograron destruir más de una docena de baterías de misiles sirios, abriendo una nueva aplicación para los drones que ahora también serían ocupados como señuelos (Jordan & Baqués, 2014).

Como hemos visto, las características de los drones han evolucionado con el paso del tiempo, permitiendo darles nuevas aplicaciones; sin embargo, en los últimos años se ha trabajado en desarrollos de gran envergadura, como es el caso del RQ-4A Global Hawk (Figura 1- 10), con una distancia punta a punta de las alas de 38.9 metros. Actualmente, es el dron más sofisticado que existe, vuela a una altura de 18,000 metros con un alcance horizontal de 16,000 kilómetros y con una autonomía de 28 horas.



Figura 1- 10 RQ-4A Global Hawk aeronave no tripulada con autonomía de vuelo y un alcance de 16 000 km.

El primer dron diseñado para el combate fue el QM-9 Reaper, la primera versión de este modelo tenía una autonomía de vuelo de catorce horas, tiempo que le permitía completar el ciclo de ataque (encontrar, fijar, seguir, marcar, atacar y valorar daños). No obstante, con algunas modificaciones logró tener 44 horas de vuelo continuas, lo cual marca una clara ventaja ante los aviones de combate tripulados; sin embargo, hasta ahora los drones son presa fácil si el adversario cuenta con defensa aérea eficaz.

En 2007, el entonces secretario de la Defensa de Estados Unidos, Robert Gates, dio a entender que el F-35 sería el último avión de combate tripulado (Stratfor, 2007). Si bien dentro de las fuerzas armadas nacieron los drones, aún estamos lejos de que estos desarrollos sustituyan al ser humano.

Aplicaciones civiles

Como ya hemos visto, originalmente los drones fueron creados para fines bélicos, no obstante, los avances tecnológicos enfocados en afectar más y dejar mayores daños permitieron una transición al uso civil. Los costos iniciales fueron bastante onerosos.

Fue hasta que el mexicano Jordy Muñoz adaptó una tarjeta electrónica comercial como controladora de vuelo, lo que fomentó una reducción notable en los precios de producción, abriendo la posibilidad de realizar otros tipos de misiones de seguridad y salvaguardar la vida (Oppenheimer, 2014). Algunas de las ventajas actuales del uso de los drones son las siguientes:

Reducción de riesgos al volar en un airbus

Esta empresa utiliza un dron para tomar alrededor de 150 fotografías de alta resolución (Figura 1- 11) y, con ello, generar un modelo tridimensional, en cual se revisan posibles daños que pudiera tener la aeronave, a fin de ahorrar tiempo en la cadena de producción y reducir el error humano.



Figura 1- 11 Modelo tridimensional de un airbus, se analiza la continuidad de la estructura del fuselaje de la aeronave tripulada.

Búsqueda de personas perdidas

La Unión Europea desarrolló el proyecto Sherpa para reducir los tiempos de respuesta en caso de excursionistas perdidos en los Alpes italianos, pero también pretende auxiliar en lugares de Europa donde se requiera. El proyecto contempla el desarrollo de drones nombrados *Hawks* (Figura 1- 12) y su misión es soportar 30 kilos en el aire para trasportar equipo de búsqueda como cámara térmica, escáneres y víveres. Este proyecto permitirá

continuar la búsqueda por la noche, incluso si hay mal tiempo, lo que aumenta las posibilidades de encontrar sobrevivientes.



Figura 1- 12 Hawks, dron de rescate en los Alpes italianos que permite continuar la búsqueda aun con mal tiempo.

Flyability, un fabricante de drones ha creado una aeronave que es capaz de explorar grietas encontradas comúnmente en los glaciares. El desarrollo de nombre *Elios* (Figura 1- 13) fue hecho con ayuda de un equipo de rescate de los Alpes suizos cuando se realiza la búsqueda de víctimas caídas en una grieta es una de las operaciones más peligrosas, por lo que esta aeronave disminuye el riesgo para el personal de rescate. Consiste en un dron dentro de una jaula que protege al sistema de hélices dentro de la grieta. El sistema incluye dos rotores en el mismo eje de acción, además cuenta con una cámara que permite determinar puntos de calor para encontrar a sobrevivientes.



Figura 1- 13 Dron Elios, diseñado para búsqueda y rescate.

Conservación de fauna

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Unidad Tamaulipas, desarrolla un dron que durante el vuelo es capaz de tomar decisiones relativas a la

identificación y conservación de nidos de tortugas. El dron será capaz de sobrevolar la costa para identificar las huellas de las tortugas y desplazarse al sitio de desove (puesta de huevos de las hembras). Esta tarea se complica debido a que la línea costera marcada por la marea resulta un área de playa variable.

Costos

Un factor importante a la hora de elegir un RPAS es considerar sus características y corroborar que se ajusten al uso que se le pretenda dar. Asimismo, los costos tanto de fabricación como de adquisición son elementos importantes por considerar, por lo que en la Tabla 1- 1 se enlistan algunos de drones utilizados en la actualidad.

Tabla 1- 1 Principales drones comerciales y sus características.

Modelo	Detección de obstáculos	Luz aux.	Cámara	Tiempo de vuelo	Costo pesos mexicanos
Phantom 4 pro 2.0	5 direcciones	No	4K	20 min	49,000
Inspire 2	2 direcciones	No	ZENMUSE X5, 4k	27 min	57,000
Matrice 200	5 direcciones	No	ZENMUSE X5, 4K Con posibilidad de montar una segunda cámara	38 min	150,000
Ebee	No	No	4K	50 min	700,000
Flyability Elios	No, Cuenta con Jaula de protección	Si	4K, Cámara Termina incluida	10 min	470,357

Componentes básicos

Estructuralmente, los drones están constituidos por ciertos componentes básicos que permiten conseguir diseños innovadores y adecuados a su uso, los principales se enuncian a continuación:

a) Marco o frame

Es la estructura en la que se montan todos los componentes del dron y debe tener dos características, resistente y ligera. Algunos materiales ocupados que son:

Aluminio

Es demasiado suave y débil para soportar deformaciones fuertes. Al hacer una aleación con pequeñas cantidades de metales como cobre, magnesio, manganeso o silicio resulta un material resistente de baja densidad (2.7 g/cm^3) (Chang, 2002).

Carrizo (Arundo Donax).

Son tallos huecos de plantas que pueden llegar a medir hasta 5 metros, crecen en los climas cálido, semicálido y semiseco. En farmacología es utilizado como antiespasmódico, Neftali Elorza realizó un diseño y desarrollo sustentable de un frame aprovechando la ligereza, resistencia y amortiguamiento de ese material, como propuesta a factor del medio ambiente para lo cual llevó a cabo diferentes pruebas como anisotropía mecánica, prueba de flexión y caída libre e impacto. (Elorza López, 2016)

Con los resultados de las pruebas anteriores, Elorza López concluyó que ese material es adecuado para su uso como frame de dron debido a que las deformaciones son muy bajas, lo que indica buena rigidez. Este material cumple con las dos características indispensables: resistencia y ligereza.

Madera

Es uno de los materiales que el ser humano ha utilizado desde tiempos remotos por tener propiedades térmicas y mecánicas que ayudan en diferentes actividades. Estas propiedades varían por el tipo de árbol, edad y zona climática. En general, éstas son sus características:

- Conductividad eléctrica
- Resistencia mecánica
- Dureza
- Baja densidad

Fibra de carbono

Está formado por fibras con un diámetro de 50-10 micras (Elorza López, 2016), las cuales están hechas de átomos de carbono que están unidas entre sí en cristales que están más o menos alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra. Varias miles de fibras de carbono están trenzados para formar un hilo, que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela. Algunas de sus propiedades son:

- Alta flexibilidad

- Alta resistencia
- Bajo peso
- Tolerancia a altas temperaturas

Por lo anterior, este material es idóneo para la fabricación de marco de un dron.

b) Motores, hélices y Electronic Speed Control (ESC).

En su conjunto, estos elementos sostienen al dron en el aire, los motores junto con las hélices se encargan del trabajo pesado y esta unión recibe el nombre de rotores. A lo largo de la historia los drones han utilizado diferentes tipos de motores; por ejemplo, motores de combustión, motores de reacción y motores eléctricos. Las principales características éstos se describen a continuación.

Motores de combustión

Se caracterizan por un pistón que se mueve a razón de un ciclo compuesto por cuatro tiempos:

- **Primer tiempo (introducción).** Se introduce en el cilindro del pistón una mezcla de combustible y oxígeno;
- **Segundo tiempo (mezcla).** La mezcla es comprimida dentro del cilindro y sellado herméticamente, con esto se consigue aumentar su densidad y su temperatura;
- **Tercer tiempo (explosión).** Es cuando un elemento eléctrico (bujía) genera una chispa para hacer subir el embolo, o bien, puede ser resultado de la compresión, y
- **Cuarto tiempo (escape).** El sistema deja salir los gases que se generaron.

Los cuatro tiempos hacen girar las hélices, lo que genera el empuje. Este tipo de motores fueron utilizados en los primeros drones. En total, el ciclo se compone de dos subidas y dos bajadas del pistón, razón por la que se le llama motor de cuatro tiempos (Sevilla, 2015).

Motores a reacción

El funcionamiento de este tipo de motores se puede ejemplificar como un cilindro sin sus dos bases, en un extremo ingresa el aire y tiene el nombre de difusor, para después ser comprimido continuamente. En la siguiente etapa se inyecta el combustible al aire comprimido y se hace ignición, lo que provoca que los gases aumenten su densidad, volumen y presión, por lo que sólo les queda salir por el extremo final del cilindro, esto es lo que hace

el empuje del motor (Figura 1- 14), estos motores son utilizados en drones gran envergadura. (Vergara Merino, 2016)

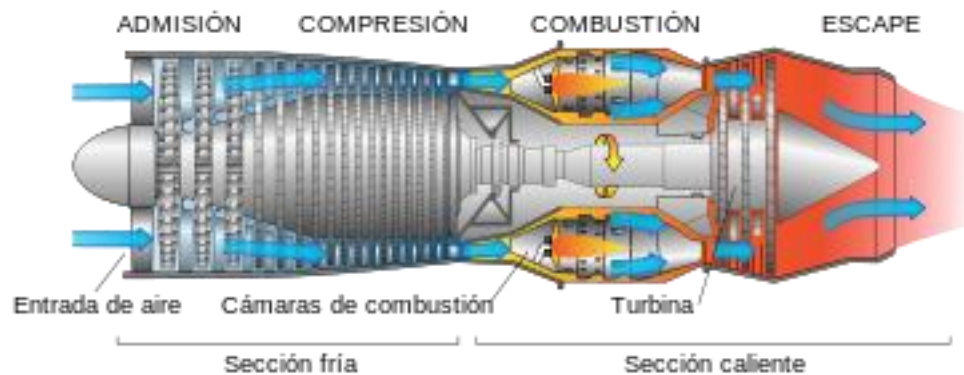


Figura 1- 14 Etapas de motor a reacción.

Motores eléctricos

Este tipo de motores son los más utilizados en los drones debido a su bajo costo y sus diferentes características que dependen de la corriente de alimentación la cual puede ser continua (DC) o alterna (AC).

▪ Motores DC

También conocidos como Brushed, la velocidad se puede controlar con un potenciómetro y para cambiar el sentido de giro se invierte la polaridad de los bornes de alimentación. El estator tiene escobillas que permiten cerrar el circuito y generar un campo magnético que haga la función de atracción o alejar según los imanes ubicados. A diferencia del motor AC, el DC tiene mayor peso, aspecto que debe tomarse en cuenta como componente ideal de un dron.

▪ Motor AC

Es conocido como Brushless debido a que no cuenta con escobillas, el funcionamiento es de la siguiente manera: hay una fase conectada a terminales ubicadas en el estator y la velocidad es regulada por un componente llamado controlador de velocidad electrónico conocido también como ESC, por sus siglas en inglés Electronic Speed Control (Vergara Merino, 2016), lo que le permite hacer eficiente el consumo de energía que para un dron es vital. Carecer de escobillas suprime ruidos electrónicos, es decir, reducen la interferencia

electromagnética además de que el mantenimiento es mínimo, por lo anterior, es el motor ideal para el uso en drones.

Para conocer las revoluciones por minuto (rpm) se puede determinar el número que será capaz de ofrecer cuando se le aplique 1 V (un voltio) de tensión.

$$rpm = KV * V$$

Por ejemplo:

$$24\ 000\ rpm = 2000(KV) * 12(V)$$

Diámetro del motor: Usualmente lo podemos encontrar a un lado del valor KV, se compone de cuatro cifras, los dos primeros dígitos se refieren al diámetro de las bobinas (rotor) y los últimos al tamaño del eje, las dos medidas están dadas en milímetros (mm).

Corriente: Saber cuál es el valor máximo de la corriente es importante, pues esto determina los ESC adecuados para el motor.

Los ESC (Electronic Speed Control) o Controladores de Velocidad Electrónicos: Generan la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con agilidad y eficiencia (Vergara Merino, 2016).

c) Hélices

Tienen dos características, longitud de la hélice y el paso, datos que podemos encontrar en la propia hélice de la siguiente manera 5×3 o también 5030.

- El primer dígito indica la longitud de la hélice en pulgadas.
- El segundo dígito indica el grado de inclinación (paso) de las palas (mayor ángulo de inclinación consiguen mover una mayor cantidad de aire).

Cuanto más grande el grado de inclinación o del tamaño, tendrá mayor empuje, pero esto requiere mayor consumo de energía. Las hélices más pequeñas tienen una mayor aceleración, existen hélices con paso variable, son más sofisticadas, pero son más eficientes en el consumo de energía y velocidad de la aeronave.

El principio de funcionamiento es resultado de la Tercera Ley de Newton (acción y reacción), la cual afirma que cuando se aplica una fuerza resulta una de igual magnitud, pero en sentido

contrario, este efecto es conocido como factor P, por el par de fuerzas que genera, las hélices transforman el giro del rotor en empuje, que sostiene la aeronave. Como veremos más adelante, el número de rotores de un dron es proporcional a su estabilidad.

d) Radio Receptor

Se trata del interfaz entre el piloto y el dron, traduce las indicaciones de los joystick, botones o interruptores a ondas de radio y se compone de emisor, receptor y antenas.

Son ondas electromagnéticas, es decir, fuerzas eléctricas que oscilan generando un ciclo de campos de radiación electromagnética. Producen un campo magnético variable y ésta a su vez un campo, proceso cíclico que permite no necesitar un medio de propagación, que, a diferencia de las ondas mecánicas, otra característica es la velocidad de propagación, puede alcanzar la velocidad de la luz (299, 792,458 m/s) (Vergara Merino, 2016).

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y se dividen por bandas de frecuencia y longitudes de onda. De acuerdo con el artículo 2 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) deja al espectro de la siguiente manera (Tabla 1- 2).

Tabla 1- 2 Bandas de frecuencia y longitudes de onda.

Abreviatura	Longitud de onda	Banda	Uso
VLF	3 a 30 kHz	Ondas miramétricas (muy baja frecuencia).	Continuidad de aislante eléctrico.
LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas (baja frecuencia).	Comunicación submarina
MF	300 a 3 000 kHz	Ondas hectométricas (frecuencia media).	Radiodifusión AM
HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas (alta frecuencia).	Comunicación de aviación, telefonía celular.
VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas (muy alta frecuencia).	Radiodifusión FM, televisión
UHF	300 a 3 000 MHz	Ondas decimétricas (ultra alta frecuencia).	Bluetooth, GPS, telefonía celular.
SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas (súper alta frecuencia).	Comunicaciones satelitales
EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas (extremadamente alta frecuencia).	Radioastronomía

La banda más común que utilizan los drones es la UHF; no obstante, el alcance de la señal es derivado de la potencia emitida por la emisora, debido a la atenuación de las ondas electromagnéticas en el aire, pues a mayor potencia existe un consumo proporcional de energía. Actualmente el alcance de un dron comercial va desde los 0.5 km hasta los 7 km, sin interferencias electromagnéticas, obstrucciones como edificaciones o vegetación.

Para mejorar el alcance y la calidad de la señal (Figura 1- 17), se puede iniciar analizando qué tipo de antena estamos usando. Para este tipo de transmisores, las más comunes son monopolo, conocidas también como Marconi (Figura 1- 16) o dipolo. Se recomienda utilizar una antena dipolo. Las ventajas de esta antena son fácil construcción y soporta ganancias muy altas, se debe tener especial cuidado el correcto acoplamiento en la impedancia de salida en emisora o receptor a la antena, en ocasiones es necesario ocupar un circuito de acoplamiento (Figura 1- 15).



Figura 1- 16 Antena con amplificado y acoplamiento de impedancias, costo \$ 1, 700 MXN.



Figura 1- 16 Arreglo de antenas para sin acoplamiento, \$ 950 MXN.



Figura 1- 17 Radio control con arreglo de antenas monopolo sin acoplamiento instalado.

e) Baterías

Es la fuente de energía de todos los componentes electrónicos instalados en el dron, se recomienda que las baterías sean de Li-Po (Litio-Polímero) debido a su ligereza y que permite una rápida descarga, puesto que la demanda de energía de los motores es alta (Vergara Merino, 2016). Las principales características de las baterías son:

Capacidad de carga

Es la cantidad de energía de almacenamiento y tiene como unidad de medida miliamperios hora (mAh), es decir, la corriente máxima que puede entregar en una hora. Ejemplo, una batería de 5 000 mAh se descarga en una hora con demanda de 5 000 mA, para una demanda de 2 500 mA la descarga total se realizaría en dos horas.

Para aumentar la capacidad de carga se puede utilizar la conexión en paralelo de dos baterías idénticas, así se duplicaría la capacidad de cargar, como se ejemplifica en la Figura 1- 18.

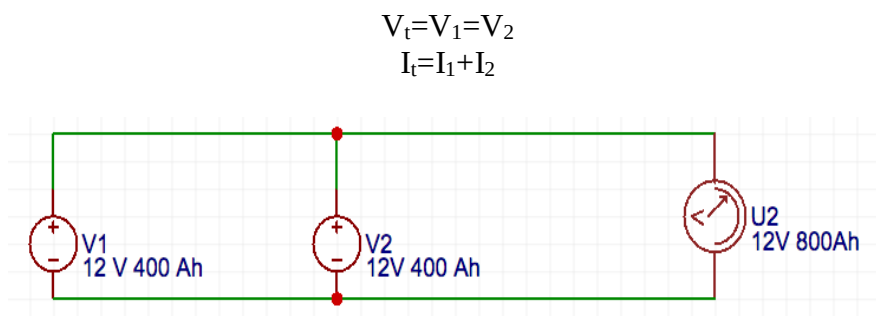


Figura 1- 18 Conexión en paralelo de dos baterías idénticas.

Voltaje nominal

El voltaje, también conocido como tensión, tiene como unidad de medida el volt (V) y se puede definir como la diferencia de potencial entre dos puntos. En una tubería hidráulica el voltaje equivaldría a la fuerza con la que pasa el fluido. Para aumentar el voltaje se puede utilizar la conexión en serie; por ejemplo, si tenemos tres baterías de 3.7 volts y las conectamos en serie, la tensión en bornes será 11.1 voltios, lo anterior se explica en la Figura 1- 19

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3$$

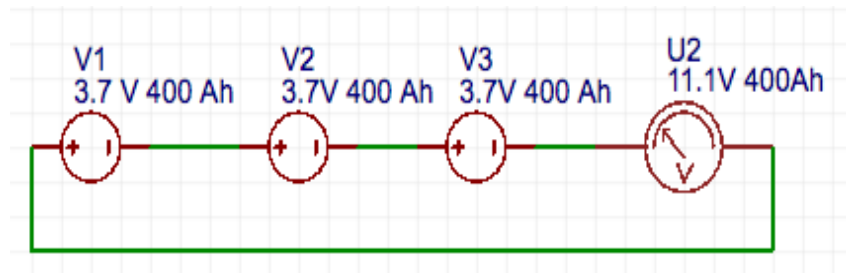


Figura 1- 19 Conexión en serie de dos baterías idénticas.

Tiempo de carga

El tiempo de carga de las baterías es importante porque es el tiempo que tardaría el dron en regresar a la misión. Para alargar la vida útil de estas baterías no se deben cargar con un amperaje mayor al nominal; es decir, si la batería es de 3, 830 mAh no debe ser cargada con un amperaje mayor que éste.

Se puede calcular el tiempo de carga de las baterías con la siguiente ecuación.

$$h = \frac{mAh_{Bateria}}{mA_{cargador}}$$

Por ejemplo:

$$mAh_{Bateria} = 3850$$

$$mA_{cargador} = 3000$$

$$h = \frac{3\,850mAh_{Bateria}}{3000mA_{cargador}}$$

$$h = 1.2\,h$$

f) Instrumentos de abord

Sensores de Altitud y Altura

La altura (distancia con referencia al suelo) y altitud (distancia con referencia al nivel del mar) pueden ser obtenidas mediante la medición de la presión atmosférica, haciendo una medición referencia (altura lectura a nivel del suelo, altitud valor constante 101,325 bar) y considerando que por cada 8.5 cm hay un decremento en la presión de 1 mil bar (Vergara Merino, 2016). Con este razonamiento se puede determinar a qué altura se encuentra el dron, como se expresa en la siguiente ecuación.

$$h(m) = \left(\frac{(\Delta P) * 8.5(cm)(m)}{0.1(bar) * 60(cm)} \right)$$

Tenemos que:

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

En donde P_1 es la presión de referencia, la cual puede ser la lectura a nivel del suelo o el valor a nivel del mar.

Algunos drones cuentan con un radioaltímetro y que solamente calcula la altura, pues mide el tiempo que una señal electromagnética regresa al dron después de haber rebotado en el suelo, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$h(m) = t(s) * V\left(\frac{m}{s}\right)$$

Tenemos que:

$$V = 299\,792\,458 \frac{m}{s}$$

Las dos operaciones son procesadas por el microprocesador de abordo (controladora de vuelo) del cual se describirá más adelante.

GPS

El GPS es un sistema de posicionamiento global con base a información de satélites. Como se mencionó al inicio del capítulo, esta tecnología también tiene orígenes bélicos. Los drones que cuentan con este componente GPS permiten al piloto establecer una ruta y un punto de regreso y, junto con la programación de la tarjeta controladora de vuelo, darle estabilidad al dron en el vuelo, acción que es dependiente de factores climáticos y la cobertura de la constelación satelital.

También puede ser usada una unidad inercial, que, a diferencia del GPS, es autónoma y muestra las mismas lecturas. Esta unidad tiene como principio de funcionamiento un giroscopio y un acelerómetro en cada uno de los ejes. Mediante la operación integral permite saber la velocidad, con lo cual es posible conocer la distancia recorrida, mientras que, con el giroscopio, la dirección del movimiento.

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Despejando

$$dv = a * dt$$

Integrando

$$\int_{v_0}^{v_f} dv = a * \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$[v]_{v_0}^{v_f} = a * [t]_{t_1}^{t_2}$$

$$v_f - v_0 = a * (t_2 - t_1)$$

$$v_f = v_0 + a * [t_2 - t_1]$$

Si $t_1 = 0$

$$v_f = v_0 + a * t$$

Integramos la velocidad

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$d_s = v_f * dt$$

$$\int_{s_0}^{s_f} d_s = \int_{t_1}^{t_2} v_f * dt$$

$$[s]_{s_0}^{s_f} = \int_{t_1}^{t_2} v_f * dt$$

Si $v_f = \text{cte}$

$$s - s_0 = v_f \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$s - s_0 = v_f [t_2 - t_1]$$

Si $t_1 \neq 0$

Este resultado lo sustituimos en la ecuación para obtener la distancia

$$s = v_f * (t_2 - t_1)$$

Con este componente tendremos la distancia y la dirección, pero faltaría un punto de referencia o valor inicial de las coordenadas geográficas que pueden ser insertadas manualmente o pueden ser obtenidas del GPS.

Magnetómetro

Es el instrumento que le permite a la aeronave indicar la dirección a la que se dirige. Esto es posible mediante un transductor que transforma un campo electromagnético a un voltaje que es leído por la controladora de vuelo (Vergara Merino, 2016); es decir, toma lecturas del campo magnético de la Tierra para ubicar el norte. Los fabricantes de estos componentes han logrado reducir el tamaño y el peso de estos circuitos, no obstante, en ocasiones presentan fallas porque se tiene que calibrar para tomar lecturas exactas.

Cámara y estabilizador

Una de las aplicaciones más comunes de los drones de uso civil es la toma de fotografías aéreas para reconocimiento del terreno y también para levantamiento fotogramétrico, con lo que se puede realizar modelos digitales de superficie. Para esto es necesario que la cámara tenga el menor movimiento, por lo que es necesario un dispositivo mecánico conocido como estabilizador, que mantenga el horizonte, en lo posible, de la fotografía. Actualmente, este dispositivo permite una first person view (vista en primera persona).

Controlador de Vuelo

Es el componente electrónico que gestiona todos los elementos mencionados anteriormente, recibe información y ejecuta rutinas según lo programado. Existen en el mercado diferentes alternativas, pero las principales características son las siguientes:

- Numero de puertos de entrada y salida.
- Numero de puertos de radiofrecuencia.
- Longitud de palabra procesada por el microcontrolador.
- Frecuencia del reloj.
- Tamaño de memoria.
- Consumo energético.
- Convertidor analógico digital (sólo si algún instrumento es analógico).

Clasificación de los drones

Semejante a las aeronaves tripuladas, los drones se clasifican como dron de ala fija (Figura 1.20) y multirrotor (ala rotatoria) (Figura 1- 21).



Figura 1- 20 Dron de ala fija, tiene al menos un rotor colocado de manera vertical.



Figura 1- 21 Dron multirrotor, tiene los rotores de manera horizontal.

a) Configuraciones del multirrotor

Los drones multirrotor tiene dos arreglos comunes “+” y “x” en los cuales cada motor gira en sentido horario y antihorario, alternadamente, como se puede ver en la (Figura 1- 22)

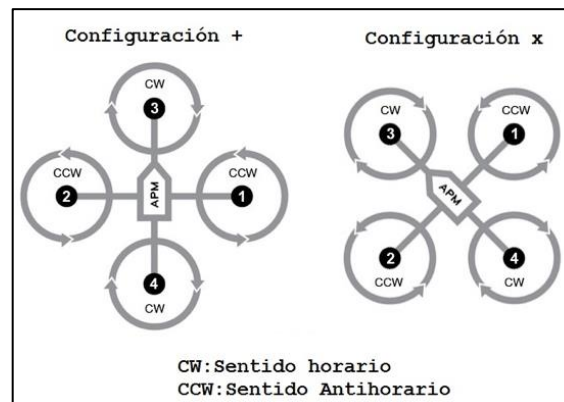


Figura 1- 22 En esta figura se observa que el giro de las hélices se alterna en sentido horario y antihorario.

En el caso de que el multirrotor tenga más de cuatro rotores, el sentido de giro es el que se muestra en la Figura 1- 23.

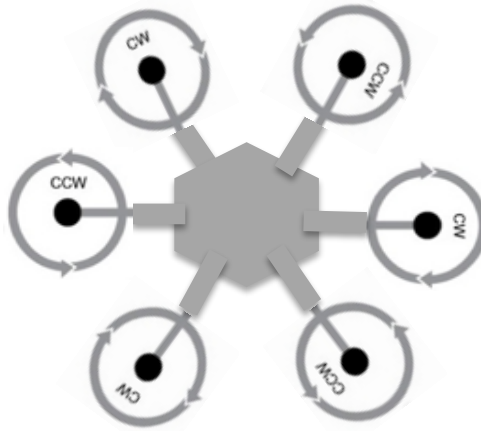


Figura 1- 23 Configuración de motores en drones de más de cuatro rotores.

Con lo anterior, podríamos describir el funcionamiento de los motores al ejecutar el mando del radiocontrol, pero antes de esto, es necesario explicar los controles del radio control. Vamos a encontrar dos sticks o palancas, de las cuales es recomendable la siguiente configuración (Figura 1- 24).



Figura 1- 24 Controladores para movimiento horizontal y vertical.

Para la configuración en X, los rotores que empujan al dron cuando hace movimientos horizontales adelante y atrás son los que se muestran en la siguiente Figura 1- 25.

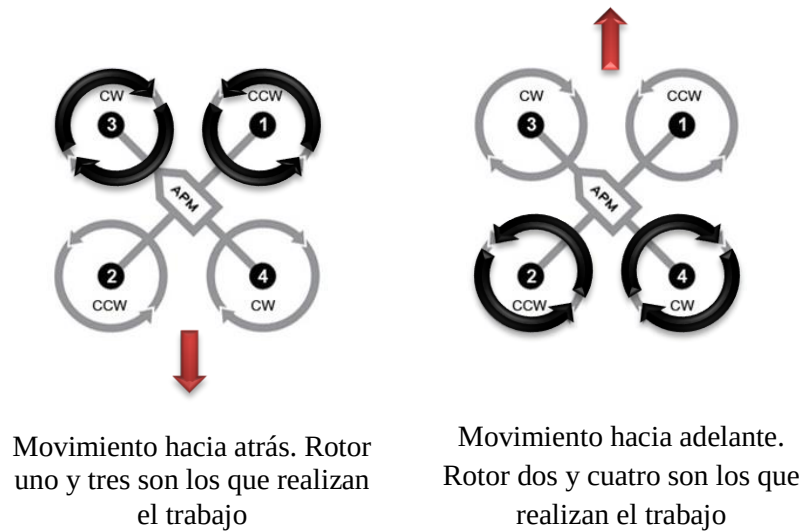


Figura 1- 25 Movimiento horizontal de rotores configuración en X.

Para la configuración en X, los rotores que empujan al dron cuando hace movimientos horizontales derecha o izquierda son los que ejemplifican en la Figura 1- 26.

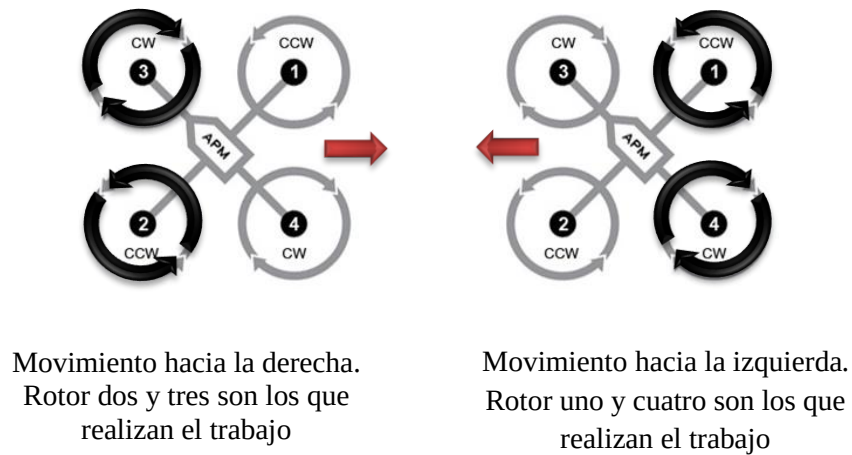


Figura 1- 26 Movimiento horizontal de rotores configuración en X.

Para la configuración en X, los rotores que empujan al dron cuando hace rotación horaria o anti horaria son los que se muestran en la Figura 1- 27.

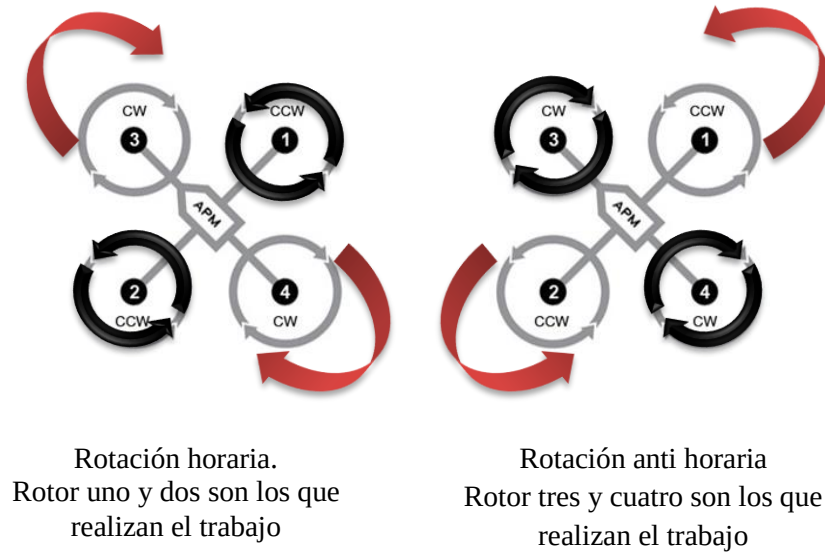


Figura 1- 27 Rotación horaria y anti horaria.

Fuerzas actuantes

Las principales fuerzas actuantes son cuatro (Figura 1- 28) e intervienen en las diferentes etapas de vuelo, por ejemplo, despegue y aterrizaje (Vergara Merino, 2016).

- **Sustentación:** Es la que mantiene a la aeronave en el aire, en el caso de un auto esta estaría representada por la carretera.
- **Peso:** Es la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre el dron.
- **Arrastre:** Es la fuerza que se opone al desplazamiento de la aeronave.
- **Empuje:** Esta fuerza es en el mismo sentido del desplazamiento y contraria a la fuerza de arrastre, en un ala fija es provocada por el giro de las hélices y en multirrotor se utiliza el alabeo y cabeceo.



Figura 1- 28 Fuerzas actuantes.

Etapas de vuelo

Al igual que en un vuelo tripulado, en los drones se puede dividir el vuelo en etapas, con esto se consigue el análisis de fuerzas actuantes.

a) Ascenso y descenso

Es la trayectoria en la cual el punto inicial es la altitud inferior, es decir, el suelo y hasta la altura deseada, para esto se necesita una fuerza mayor al peso de la aeronave, para los multirrotores esta fuerza la genera los rotores.

En el caso de las aeronaves de ala fija, se contempla equilibrar dos fuerzas, el peso y la resistencia del aire, contando con los motores de empuje y el ángulo de ataque; en tanto que el ángulo de ataque sea mayor la fuerza de empuje debería ser mayor para equilibrar la resistencia y la componente del peso paralela a la trayectoria (Figura 1- 29).

El descenso es la operación inversa al ascenso, en la cual se debe disminuir la fuerza de sustentabilidad de la aeronave.

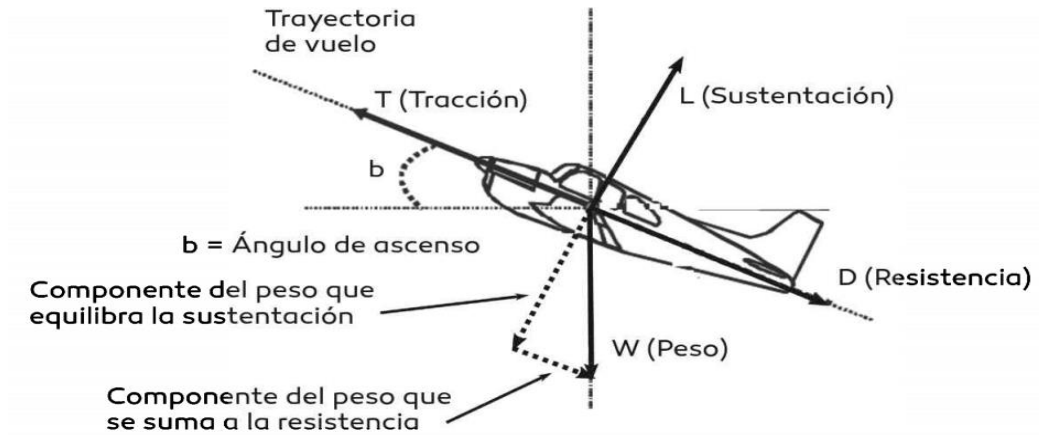


Figura 1- 29 Ascenso de dron de ala fija. Se puede observar que requiere un diseño aerodinámico para hacer el equilibrio de fuerzas.

b) Crucero

Es el desplazamiento del dron hacia un punto deseado o programado, se caracteriza por ser un movimiento rectilíneo y es recomendable que mantenga una velocidad constante. En el caso del multirrotor, este movimiento es consecuencia del alabeo o cabeceo (Figura 1- 30), es decir, es el componente horizontal de la sustentación. Para los drones de ala fija este trabajo lo realizan los rotores puesto que tiene una orientación vertical.

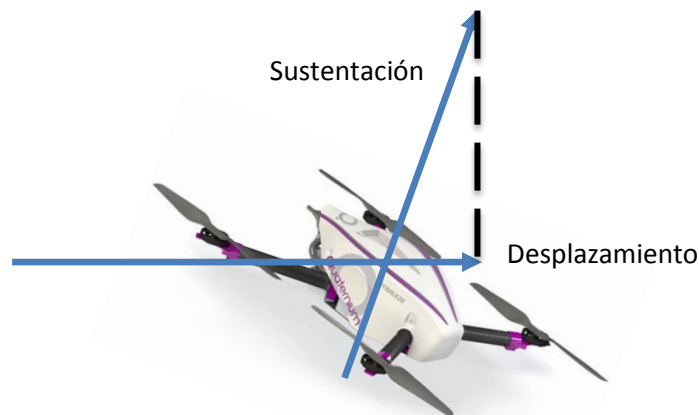


Figura 1- 30 Alabeo o cabeceo de dron multirrotor para realizar movimientos horizontales, es decir, el componente horizontal de la sustentación.

c) Estacionario

Es la forma de vuelo en el que no existe desplazamiento y solamente se puede realizar por los drones de ala rotatoria o multirrotor, pues para la sustentabilidad de ala fija es necesario el movimiento.

CAPÍTULO II

Marco Legal

Fundamentos legales

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es el organismo que se encarga de regular la operación de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia en el espacio aéreo mexicano bajo la NOM-107-SCT3-2019, En junio de 2018 se modificó la Ley de Aviación Civil para incluir a los drones en la definición, al respecto la circular refiere lo siguiente:

Artículo 2. Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

I. Aeronave: cualquier vehículo capaz de transitar con autonomía en el espacio aéreo con personas, carga o correo;

I Bis. Aeronave no Tripulada: Aeronave destinada a volar sin piloto a bordo;

I Ter. Aeronave Autónoma: Aeronave no tripulada que no permite la intervención del piloto en la gestión del vuelo.

I Sexies. Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia: Aeronave pilotada a distancia, su estación o estaciones conexas de pilotaje a distancia, los enlaces requeridos de mando y control y cualquier otro componente; (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

En el mes de julio de 2019 la Agencia Federal Aviación Civil publicó la circular obligatoria CO AV-58/19 titulada Reglas generales para la operación de RPAS de Estado y civiles (registrados como grupo voluntario) en caso de emergencia y/o desastres causados por fenómenos naturales y/o antrópicos. Se enmarca en la CO AV 23/10 vigente y se incluye el trabajo coordinado entre las instituciones, enfatizando el uso del Sistema de Comando de Incidentes. En caso de tener que volar dentro de las zonas restringidas debido a su cercanía a aeródromos, helipuertos o corredores aéreos, establece que el responsable del puesto de comando deberá comunicarse con Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) para dar a conocer el plan de vuelo y emitir un NOTAM (del acrónimo en inglés, Notice to Airmen), es decir, un aviso a navegantes.

Es importante tener claro que la CO AV-58 /19 se utiliza particularmente en la fase de auxilio de la Gestión Integral del Riesgo, puesto que aplica para zonas declaradas en emergencia y/o desastre. El operador deberá ser identificado con un chaleco amarillo con el número de registro ante la AFAC o con las marcas de nacionalidad y de matrícula, además contar con

logotipos de protección civil correspondientes, no obstante, también deberá usar equipo de protección personal: botas, pantalón y guantes.

La primera regulación fue el 19 de julio de 2010, la entonces Dirección General de Aeronáutica Civil emitió la primera circular obligatoria CO AV-23/10, que fue revisada y actualizada en cuatro ocasiones. El resumen de los instrumentos jurídicos para el uso de RPAS se describe en la Tabla 2- 1.

Tabla 2 - 1 Fechas de actualizaciones a la CO AV-23/10, publicación de proyecto de norma y modificación a la Ley General de Aviación Civil.

Publicación	Fecha de Publicación
CO AV 23/10	19 de julio de 2010
CO AV 23/10 R1	22 de febrero de 2013
CO AV 23/10 R2	8 de abril de 2015
CO AV 23/10 R3	31 de mayo de 2016
CO AV 23/10 R4	25 de julio de 2017
PROY-NOM-107-SCT3- 2016	20 de septiembre de 2017
LEY DE AVIACIÓN CIVIL	26 de junio de 2017
CO AV -58/19	19 de julio de 2019
NOM-107-SCT3-2019	14 de noviembre de 2019

Además de la circular antes referida, la AFAC toma como fundamento legal la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley de Aviación Civil, el Reglamento de la Ley de Aviación Civil, Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el anexo 8 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que hace referencia a la aeronavegabilidad. A continuación, se detallan dichas citas.

a) Ley Orgánica de la Administración Pública Federal

Artículo 26. Para el despacho de los asuntos del orden administrativo, el Poder Ejecutivo de la Unión contará con las siguientes dependencias:

1. Secretaría de Gobernación;
2. Secretaría de Relaciones Exteriores;
3. Secretaría de la Defensa Nacional;
4. Secretaría de Marina;
5. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana;
6. Secretaría de Hacienda y Crédito Público;
7. Secretaría de Bienestar;
8. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
9. Secretaría de Energía;
10. Secretaría de Economía;
11. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural;
12. Secretaría de Comunicaciones y Transportes;
13. Secretaría de la Función Pública;
14. Secretaría de Educación Pública;
15. Secretaría de Salud;
16. Secretaría del Trabajo y Previsión Social;
17. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano;
18. Secretaría de Cultura;
19. Secretaría de Turismo, y
20. Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal

Artículo 36. A la Secretaría de Comunicaciones y Transportes corresponde el despacho de los siguientes asuntos:

I. Formular y conducir las políticas y programas para el desarrollo del transporte, con la intervención que las leyes otorgan a la Secretaría de Marina respecto al transporte por agua, así como de las comunicaciones, de acuerdo con las necesidades del país;

IV. Otorgar concesiones y permisos para establecer y operar servicios aéreos en el territorio nacional, fomentar, regular y vigilar su funcionamiento y operación, así como negociar convenios para la prestación de servicios aéreos internacionales;

VI.- Administrar la operación de los servicios de control de tránsito, así como de información y seguridad de la navegación aérea;

XII.- Fijar las normas técnicas del funcionamiento y operación de los servicios públicos de comunicaciones y transportes y las tarifas para el cobro de los mismos, así como otorgar concesiones y permisos y fijar las tarifas y reglas de aplicación de todas las maniobras y servicios marítimos, portuarios, auxiliares y conexos relacionados con los transportes o las comunicaciones; y participar con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público en el establecimiento de las tarifas de los servicios que presta la Administración Pública Federal de comunicaciones y transportes;

XXVII. Los demás que expresamente le fijen las leyes y reglamentos. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

b) Ley de Aviación Civil

Artículo 6. La Secretaría tendrá las siguientes atribuciones en materia de aviación civil y aeroportuaria, sin perjuicio de las otorgadas a otras dependencias de la administración pública federal:

VI. Expedir certificados de matrícula, de aeronavegabilidad y los de explotador de servicios aéreos y, en su caso, decretar la suspensión, cancelación, revalidación o revocación de los mismos, así como llevar el Registro Aeronáutico Mexicano;

Estas atribuciones podrán ser ejercidas a través de la Agencia Federal de Aviación Civil, con excepción de aquellas facultades señaladas como indelegables en el Reglamento Interior de la Secretaría, y sin perjuicio de las conferidas en el mismo a dicha Unidad Administrativa. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018)

a) Reglamento de la Ley de Aviación Civil

Artículo 127. Para que la Secretaría otorgue el certificado de aeronavegabilidad a las aeronaves matriculadas en territorio nacional, éstas deben cumplir con los requisitos de mantenimiento de la aeronavegabilidad y el certificado tipo que convalide o emita la Secretaría y que como resultado de la verificación obtengan la certificación a la condición de aeronavegabilidad y además contar los instrumentos, equipo y documentos que señale el presente Reglamento y las normas oficiales mexicanas correspondientes.

El certificado de aeronavegabilidad tendrá una vigencia de un año. El otorgamiento y revalidación de la vigencia se concederá siempre y cuando se cumplan con las condiciones y requisitos que señalen las normas oficiales mexicanas correspondientes.

Artículo 135. El concesionario, permisionario u operador aéreo es responsable de:

I. Conservar en estado de aeronavegabilidad sus aeronaves mediante los correspondientes trabajos de mantenimiento, inspección y reparación conforme a lo dispuesto en las normas oficiales mexicanas correspondientes, así como de contar con un taller aeronáutico propio o contratado, cuyos servicios se presten de conformidad con lo establecido en el artículo 139 de este Reglamento;

II. Cerciorarse de que el mantenimiento de las aeronaves se efectúe con sujeción a lo previsto en los manuales del fabricante y a los programas de mantenimiento e inspección, ambos aprobados por la Secretaría, a los boletines de servicio del fabricante y directivas de aeronavegabilidad, todos ellos de conformidad con las normas oficiales mexicanas correspondientes;

III. Elaborar y mantener actualizado, para uso y guía de su personal, el manual general de mantenimiento y de procedimientos del taller aeronáutico de su propiedad, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas correspondientes y, en sus trabajos, observará lo dispuesto en la sección segunda de este capítulo, y

Artículo 137. Todo concesionario, permisionario u operador aéreo es responsable de llevar los siguientes registros, además del control de boletines de servicio y directivas de aeronavegabilidad:

- I.** Respecto a toda la aeronave:
 - a) El tiempo total del funcionamiento, y
 - b) Fechas y tiempos de aplicación de servicios;
- II.** Respecto a los componentes controlados de la aeronave, especificados en el manual del fabricante:
 - a) Tiempo total de funcionamiento;
 - b) Fecha de la última reparación mayor, y
 - c) Detalles pertinentes de las modificaciones y reparaciones, y
- III.** Respecto a aquellos instrumentos y equipo cuyas condiciones de servicio y durabilidad se determinan según el tiempo de funcionamiento:
 - a) Los registros del tiempo de funcionamiento necesarios para determinar las condiciones de Servicio y calcular su durabilidad, y
 - b) La fecha del último servicio.

Artículo 138. Todo concesionario, permisionario u operador aéreo debe conservar durante un año todos los documentos relacionados con la aplicación y liberación de mantenimiento de las aeronaves. Cada uno de los relativos a los trabajos ejecutados llevará la firma y número de la licencia del mecánico que lo realizó, así como el número asignado al taller por la Secretaría, conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2014)

c) Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Artículo 2. Para el despacho de los asuntos que le competen, la Secretaría contará con los siguientes servidores públicos, unidades administrativas, órganos administrativos desconcentrados y Centros SCT:

- XVI. Dirección General de Aeronáutica Civil;
- XVI.1. Dirección General Adjunta de Transporte y Control Aeronáutico;
- XVI.2. Dirección General Adjunta de Seguridad Aérea;
- XVI.3. Dirección General Adjunta de Aviación;
- XVI.4. Dirección de Verificación Aeroportuaria;
- XVI.5. Dirección de Análisis de Accidentes e Incidentes de Aviación;
- XVI.6. Dirección de Aeropuertos;
- XVI.7. Dirección General Adjunta Técnica;
- XVI.8. Dirección de Control;
- XVI.9. Dirección de Desarrollo Estratégico;
- XVI.10. Dirección de Administración de la Dirección General de Aeronáutica Civil;
- XVI.11. Dirección de Tarifas de la Dirección General de Aeronáutica Civil;

Artículo 21. Corresponde a la Dirección General de Aeronáutica Civil:

VII. Autorizar la operación de aeronaves ultraligeras, globos aerostáticos, aeromodelismo y otras similares,

XIV. Otorgar los permisos para el establecimiento de fábricas de aeronaves, motores y sus partes y componentes y talleres aeronáuticos, y llevar su control y vigilancia; asimismo, certificar, convalidar y autorizar, dentro del marco de sus atribuciones, los programas de mantenimiento y los proyectos de construcción o modificación de las aeronaves y sus partes y productos utilizados en la aviación, así como opinar sobre la importación de las mismas, y expedir o reconocer los certificados de homologación de ruido producido por las aeronaves; así como vigilar sus actividades;

XV. Vigilar el cumplimiento de las condiciones que establezcan las concesiones, permisos y autorizaciones y proponer, en su caso, su modificación, caducidad, revocación, rescate o requisa; así como declarar la suspensión de operación de aeronaves. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2009)

Justificación

La norma NOM-107-SCT3-2019 está justificada en lo establecido en el anexo 8 Aeronavegabilidad de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Este apartado establece que toda aeronave debe diseñarse, construirse y utilizarse de acuerdo con la normatividad de aeronavegabilidad del país de matrícula y ésta a su vez deberá tener como parámetros mínimos lo establecido por la OACI. Dicho apartado está conformado de siete partes:

Parte I. Definiciones

Parte II. Procedimientos para la certificación y el mantenimiento de la aeronavegabilidad

Parte III. Aviones grandes

Parte IV. Helicópteros

Parte V. Aviones pequeños — aviones de más de 750 kg pero que no excedan de 5 700 kg para los que se solicitó la certificación el 13 de diciembre de 2007 o más tarde

Parte VI. Motores

Parte VII. Hélices

Se justifica también con el anexo 2 de la OACI, el cual hace referencia a la seguridad y eficiencia de los viajes por vía aérea de las aeronaves, que deberán apegarse a las reglas generales, de vuelo visual (VFR) y de vuelo por instrumentos (IFR). El anexo mencionado contiene cinco capítulos, cinco apéndices y dos adjuntos:

CAPÍTULO 1. Definiciones

CAPÍTULO 2. Aplicación del reglamento del aire

CAPÍTULO 3. Reglas generales

CAPÍTULO 4. Reglas de vuelo visual

CAPÍTULO 5. Reglas de vuelo por instrumentos

APÉNDICE 1. Señales

APÉNDICE 2. Interceptación de aeronaves civiles

APÉNDICE 3. Tablas de niveles de crucero

APÉNDICE 4. Sistemas de aeronaves pilotadas a distancia

APÉNDICE 5. Globos libres no tripulados

ADJUNTO A. Interceptación de aeronaves civiles

ADJUNTO B. Interferencia ilícita

Como podemos observar, el apéndice 4 se refiere a la regulación de los RPAS y especifica las reglas generales que señalan que ningún dron puede volar el espacio aéreo de un país diferente al de su matriculación sin previa autorización, la cual puede lograrse mediante un acuerdo entre los países implicados, lo mismo aplica si es que se planifica sobrevolar en alta mar.

Respecto a la expedición de certificados y licencias no existe una norma internacional vigente, por lo que en el apéndice G de la resolución A37-15 de la asamblea de la OACI expresa que

Los certificados expedidos o convalidados de conformidad con los reglamentos nacionales por el Estado contratante en el que está matriculada la aeronave serán reconocidos por los demás Estados contratantes en caso de vuelos sobre sus territorios, incluyendo aterrizajes y despegues.

En el artículo 8 de la misma resolución se especifica la autonomía de cada Estado contratante, la soberanía absoluta respecto a la autorización de operaciones RPAS sobre su territorio y las condiciones que están expresadas en la circular mexicana.

La norma en comento establece también los parámetros de fabricación RPAS nacional e internacional, que garantizan el mayor grado de seguridad para el uso del espacio aéreo mexicano.

Aplicaciones

La norma antes mencionada es aplicable “a toda persona física o moral que opere o pretenda operar un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia” (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2019), así mismo, también está dirigida a los fabricantes, importadores y comercializadores, no así para los RPAS del Estado que realicen actividades militares. No obstante, se tendrán que apegar al artículo 37 de la Ley de Aviación Civil que trata las disposiciones de tránsito aéreo; sin embargo es importante incluir en estas actividades las operaciones de Protección Civil, tanto en el ámbito preventivo como de salvamento, toda vez que la fracción XVI del artículo 88 de la Ley de Aeronáutica Civil contempla como motivo de sanción al comandante o piloto de cualquier aeronave civil que se niegue a participar en operaciones de búsqueda o salvamento con una multa de 200 y 2,000 salarios mínimos.

Norma Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019

Las aeronaves nacieron con la necesidad de contar con un piloto que las controlara; no obstante, prescindir de él supondría algunas interrogantes como: ¿qué habilidades debe tener un piloto a distancia?, ¿cuál debe de ser su estado de salud, física y mental?, ¿cómo garantizar el uso de la radiofrecuencia de control? En el terreno legislativo el tema sin duda es nuevo; sin embargo, como se explicó en el capítulo anterior, estos vehículos han estado presentes desde hace algunas décadas, lo que ha permitido aprovechar su

desarrollo tecnológico y las ventajas que esto supone, una legislación inadecuada retrasaría tal desarrollo.

a) Tipos de aeronaves

En la normativa mexicana, observan tres clasificaciones que se refieren al peso máximo de despegue para cada una de ellas tienen lineamientos de vuelos de acuerdo con los tres tipos de uso que contempla la circular, los cuales son privado recreativo, privado no comercial y comercial (Tabla 2- 2).

Tabla 2 - 2 Clasificación en la NOM-107-SCT3-2019, por peso máximo de despegue y el uso.

Peso máximo de despegue	Categoría	Uso
Igual o menor de 2Kg	RPAS Micro	• Privado Recreativo • Privado no comercial • Comercial
2.1Kg hasta 25Kg	RPAS Pequeño	
25.1Kg o más	RPAS Grande	

La normativa establece requerimientos y lineamientos generales, es decir, sin importar la categoría los vuelos deberán de cumplir con lo siguiente:

- El piloto no podrá dejar caer objetos, aunque este cuente con paracaídas, desde el dron en vuelo, tampoco podrá levantar material alguno, esto con el fin de no causar daños a personas o propiedades.
- Sólo realizar vuelos seguros, según lo establecido en el apéndice E.
- El RPAS no podrá transportar mercancía peligrosa o prohibida ni emplearse para portar explosivos o armas.
- El piloto tendrá en todo momento contacto visual con el dron y conocer altitud, latitud y dirección, con el fin de no poner en peligro la integridad física y la vida de las personas o daños a la propiedad.
- El piloto es responsable de la operación, uso y en caso de incidente o accidente también de los daños ocasionados.
- El uso de la información obtenida es responsabilidad del piloto.
- La operación de RPAS deberá ser dentro de los horarios, salida y puesta del sol.
- El derecho de paso es preferente para las aeronaves tripuladas.
- Sólo se podrá controlar desde un vehículo en movimiento si éste es marítimo y es estrictamente necesario para su adecuada operación.
- Está prohibida la operación de RPAS por personas en estado de ebriedad, bajo los efectos de estupefacientes o enervantes.
- El piloto debe cumplir con el mantenimiento e instrucciones de aeronavegabilidad emitidas por el fabricante.
- No se puede operar más de un dron al mismo tiempo.

b) Categoría micro

RPAS Micro para uso Recreativo

Los drones que forman parte de esta categoría no necesitan permisos por la autoridad de aeronáutica y no quedan exentos del registro que recoge la Secretaría de Comunicaciones y Transportes si este supera el 250 g en su peso máximo de despegue.

La distancia horizontal máxima respecto al piloto es de 457 metros sin perder línea de vista con el dron. La altura máxima de vuelo es de 122 metros, para el área comprendida de 9.2 km a 18.5 km, cercana a los aeródromos, la altura máxima de vuelo es de 100 metros.

Para los drones que el peso máximo de despegue sea menor a de 250 g y tenga un uso recreativo, pueden volar sobre personas, si su peso máximo de despegue es mayor a 250 g tendrán que contar con un software que le permita limitar y saber al operador altura, distancia horizontal y número de serie.

RPAS Micro para uso Privado no comercial y comercial

Para esta clasificación y uso deberán de cumplir con las disposiciones de uso recreativo y además contar con una póliza de seguro de responsabilidad civil vigente por daños a terceros conforme al artículo 72 de la Ley de Aviación Civil.

c) Categoría Pequeños

Uso privado recreativo

Los drones que forman parte de esta categoría no necesitan permisos de la autoridad de aeronáutica deberán operar dentro de clubes de aeromodelismo registrados, no quedan exentos del registro que recoge la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La distancia horizontal máxima respecto al piloto es de 457 metros sin perder línea de vista con el dron. La altura máxima de vuelo es de 122 metros, para el área comprendida de 9.2 km a 18.5 km, cercana a los aeródromos, la altura máxima de vuelo es de 100 metros.

La operación debe realizarse en condiciones de meteorológicas libre de nubes, teniendo una visibilidad de 1.5 km, debe de contar con un software que limite al dron y muestre al operador altura, distancia y el número de serie.

RPAS Pequeños uso comercial y privado no comercial

Para esta clasificación, la operación debe contar con la autorización de la autoridad de aeronáutica y del piloto.

La operación debe realizarse en condiciones de meteorológicas libre de nubes, teniendo una visibilidad de 1.5 km, debe de contar con un software que limite al dron y muestre al operador altura, distancia y el número de serie. Se debe evitar operar en corredores aéreos.

En la estación de control se deberá contar con.

- Manual de operación autorizado
- Autorización de operación
- Registro
- Libro de Bitácora
- Aprobación de póliza de seguro
- Autorización de Piloto

Para obtener la autorización de operación se requiere lo siguiente:

- Folio de registro
- Información general (apéndice A).
- Etiqueta de identificación.
- Autorización del piloto (apéndice C).
- Manual de operación (apéndice F).
- Estudio Aeronáutico de Seguridad y Administración de riesgos (apéndice G).
- Oficio de Aprobación de póliza de seguro vigente para dar cumplimiento al artículo 72, fracción III inciso d) del reglamento de la Ley de Aviación Civil.

d) Categoría Grande

Uso privado recreativo

Deben obtener el certificado de matrícula, con fundamento en el artículo 47 de la ley de Aviación Civil y 14 del Reglamento del Registro Aeronáutico Mexicano.

La operación debe realizarse en condiciones de meteorológicas libre de nubes, teniendo una visibilidad de 1.5 km y mantener una distancia de seguridad de 50 m con las personas que no participen en la operación, debe de contar con un software que limite al dron y muestre al operador altura, distancia y el número de serie. Se debe evitar operar en corredores aéreos.

Uso comercial y privado no comercial

Para poder operar un dron con este uso se requiere la autorización de operación emitida por la Autoridad Aeronáutica y tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- No exceder la velocidad máxima establecida por el fabricante.
- Altura máxima acorde al equipo instalado y considerando la operación a realizar.
- Distancias mínimas 300 m debajo de la nube y 1,500 m de distancia horizontal de la nube.
- Tener una visibilidad mínima de 5 km.
- No podrá volar sobre personas excepto si están debajo de una estructura que le ofrezca protección de una inminente caída del RPAS, de lo contrario deberán mantener una distancia de seguridad de al menos 50 metros.
- Solo podrán ser operados en el espacio aéreo clase G, salvo que exista Autorización especial y coordinación con los Servicios de Tránsito Aéreo.

Para captar fotografías aéreas con cámaras métricas o de reconocimiento y de otras imágenes por percepción remota dentro del espacio aéreo nacional se requiere autorización de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con esto se cumplirá con los artículos 60 y 61 de la ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.

El piloto deberá de contar en la estación de control con la siguiente documentación para presentarla a cualquier autoridad que lo requiera:

1. Copia de manual de operación.
2. Copia de autorización vigente
3. Libro de Bitácora.
4. Certificado de Matrícula vigente.
5. Certificado de Aeronavegabilidad vigente.
6. Oficio de Aprobación de la Póliza
7. Licencia del Piloto del RPAS vigente.
8. En caso de aplicar autorización por INEGI y SEDENA.

Si se requieren hacer operaciones dentro del espacio aéreo controlado, se requiere una aprobación especial emitida por la Autoridad Aeronáutica

Requisitos para aprobación de esta categoría de RPAS:

- Plan de aprobación (apéndice D).
- Información general (apéndice A).
- Aseguramiento de la aeronavegabilidad (apéndice B).
- Manuales (vuelo, mantenimiento).
- Cumplimiento de los estándares de aeronavegabilidad.
- Equipo requerido de acuerdo con el tipo de operación.

e) Requisitos para obtener la autorización de operación RPAS Grande

- Información General (apéndice A).

- Certificado de Matricula.
- Identificación, marcas de nacionalidad, bandera y matricula.
- Manual de Operación (apéndice F).
- Estudio Aeronáutico de Seguridad y Administración de Riesgos (apéndice G).
- Oficio de aprobación de póliza de Seguro de Responsabilidad Civil por daños a terceros.
- Licencia del Piloto (apéndice C).
- Aprobación de Tipo o su convalidación.
- Certificado de Aeronavegabilidad.

f) Operaciones Nocturnas

Quedan prohibidas para los drones de uso recreativo, para uso privado comercial y privado no comercial, además de cumplir con los requerimientos de vuelos diurnos, deberán ajustarse a lo siguiente:

RPAS Micros y Pequeños.

- Contar con autorización de operación.
- Autorización de piloto para operaciones nocturnas.
- Procedimiento de operación vuelo nocturno.
- Estudio Aeronáutico de seguridad y Administración de Riesgos.

RPAS Grande

- Licencia de piloto para vuelos nocturno
- Aprobación de tipo RPAS que certifique que puede realizar vuelos nocturnos.
- Procedimiento de operación.
- Estudio Aeronáutico de seguridad y Administración de riesgos.

g) Operaciones alrededor de aeródromos y helipuertos

RPAS Micros y pequeños

- Cumplir con los requerimientos iniciales.
- Incluir en el manual de operación el procedimiento para volar alrededor de aeropuertos y helipuertos, Apéndice F.
- Estudio Aeronáutico de seguridad y Administración de riesgos.

La normativa contempla una zona de seguridad en las cercanías de un aeródromo, las áreas están delimitadas entre círculos concéntricos como lo muestra la Tabla 2.3, que, para fines de este trabajo, las áreas de vuelo aparecen en orden consecutivo. El tamaño de letra es diferente

Tabla 2 - 3 Cuatro son las alturas de vuelo en aeródromos para los drones de la categoría micro para todos los usos

	Interior (km)	Exterior (km)	Altura de vuelo (m)
A0	0	3.7	Operación prohibida
A1	3.7	5.6	30
A2	5.6	7.4	50
A3	7.4	9.2	75
A4	9.2	18.5	100

En el caso de helipuertos se contemplan tres diferentes alturas de vuelo en las cercanías a uno de éstos, Las áreas están delimitadas entre círculos concéntricos de la siguiente manera y para fines prácticos las zonas de vuelo se mencionan en orden consecutivo (Tabla 2- 4).

Tabla 2 - 4 Dos son las alturas de vuelo en helipuertos para los drones de la categoría micro.

	Interior (km)	Exterior (km)	Altura de vuelo (m)
Z0	0	0.2	Operación prohibida
Z1	0.2	0.6	30
Z2	0.6	0.9	50

h) Resumen de la circular obligatoria

Tabla 2 - 5 Condiciones particulares por categoría y por uso.

Categoría	RPAS micro			RPAS pequeño			RPAS grande		
Uso	R	PNC	PC	R	PNC	PC	R	PNC	PC
Registro	Registro SCT/AFAC mayor de 250g			Registro SCT/AFAC			Registro RAM		
Autorización de vuelo	No aplica			No aplica	Si		No aplica	Si	
Licencia/Autorización de piloto	No aplica			No aplica	Autorización de piloto		No aplica	Licencia de piloto	
Altura	122 metros			122 metros			Según la instrumentación instalada.		
Línea visual	457 metros en la horizontal			457 metros en la horizontal			457 metros en la horizontal	Sin restricción	
Seguro	No aplica	Responsabilidad civil por daños a terceros		No aplica	Responsabilidad civil por daños a terceros		No aplica	Responsabilidad civil por daños a terceros	
Estación de control	Si			Si			Si		
Lugar de Operación	Cualquier lugar, respetando límites.			Clubes de Aeromodelismo	Espacio Aéreo Clase G		Clubes de Aeromodelismo	Espacio Aéreo Clase G	

Reglamentación en otros países

El uso de estas aeronaves es cada vez más común en la vida diaria de las personas, lo que ha obligado a diferentes países a legislar su operación. A continuación, se presentará una breve descripción de éstas.

a) Reino unido

Hasta el año 2015 se habían realizado seis revisiones y ediciones de la regulación en la materia, que al igual que nuestra legislación clasifica a los drones por su peso, pero agrega el nivel de complejidad de operación.

b) Estados Unidos de América

El departamento de transporte es el encargado de regular a los drones, el cual prohíbe el uso del espacio aéreo comercial, sin un certificado de aeronavegabilidad que es recopilado por la Agencia Federal de Aviación (Federal Aviation Administration, FAA). El certificado es obligatorio desde 2015, para los drones de más de 250 g de peso, el trámite puede hacerse por internet pagando cinco dólares, la vigencia es de tres años y puede renovarse tres años más.

c) España

El Real Decreto 8/2014 fue aprobado en 2014 de manera urgente por tratarse de un incremento competitivo y de alto crecimiento. Tiene cuatro clasificaciones. (Tabla 2.6).

Tabla 2 - 6 En comparación con nuestra legislación agrega una cuarta categoría con peso mayor de 150 kg.

Peso (Kg)	Clasificación
Menores de 2	C1
2 -25	C2
25 - 150	C3
Mayores de 150.	C4

Esta legislación prohíbe vuelos en núcleos urbanos y en grandes concentraciones de personas sin un permiso especial de vuelo. Los drones de las últimas dos categorías deben de obtener un certificado de aeronavegabilidad.

d) Suecia

Esta legislación se aprobó en 2009, además del peso también toma en cuenta la energía cinética, como se muestra.

Tabla 2 - 7 Categoría legislación Suecia

Categoría	Peso (kg)	Energía cinética (J)	Línea de vista	Vigencia de permiso	Renovación
1A	Menores o iguales a 1.5	150	SI	2 años	2 años
1B	1.5 – 7	1000	SI	2 años	2 años
2	Mayores de 7	N/A	SI	1 año	2 años
3	N/A	N/A	NO	1 año	2 años

e) Perú

En este país es obligatorio el registro el cual está a cargo del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, es un requisito para operar cualquier aeronave no tripulada sin importar su uso. También es necesaria una licencia y para conseguirla se debe tener:

- Al menos 18 años de edad.
- Aprobar con 75% un examen de conocimientos aeronáuticos básicos pertinentes.
- Declaración Jurada, documento en el que afirmas saber:
 - Leer, escribir, hablar y comprender el Idioma español.
 - Haber recibido instrucción teórica y práctica sobre el uso de drones por un piloto con licencia.
- Efectuar el pago de derechos.

Es importante resaltar que sólo se podrán operar drones de hasta 25 kg de peso y la altura de vuelo es de 152.4 m.

f) Argentina

En este país los vuelos autónomos están estrictamente prohibidos. Las categorías son:

Tabla 2 - 8 En esta categoría la primera clasificación contempla hasta 10 kg, es un rango mayor a la categoría más baja en nuestro país.

Categoría	Peso (kg)
Pequeños	Hasta 10
Medianos	10 – 150
Grandes	Mayores de 150

Para aquellos que pertenecen a la categoría de pequeños de uso recreativo y deportivo tienen una altura límite de 10 metros y una distancia horizontal de 30 metros sin la obligación de inscribirse a un registro.

CAPÍTULO III

Aplicaciones de los productos en la Gestión Integral del Riesgo (GIR)

Describiré el uso de las imágenes obtenidas por las aeronaves no tripuladas en cada una de las fases de la GIR. Como ya hemos visto, los drones pueden ser utilizados para diferentes actividades recreativas y comerciales. A diferencia del origen de su creación el cual fue hacer el mayor daño posible, actualmente en la Gestión Integral del Riesgo (GIR) se utilizan para salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y su entorno. Lo primero que necesitamos hacer es conocer cuál es la utilidad de la información que proporcionan los drones, así como el tiempo que puede llevar el procesamiento de la información para que sea de utilidad en la toma de decisiones.

Imágenes y videos aéreos pueden ser transmitidos en streaming vía internet, es decir, se puede tener la información *cuasi* en tiempo real. En la mayoría de estos vuelos el control lo tiene el operador, aunque en los drones más actuales también pueden ser programados. Sí el video es de buena calidad es posible reconstruir virtualmente estructuras en tercera dimensión.

Para obtener fotogrametría, el dron es programado para capturar imágenes traslapadas y delimitadas por un polígono. Para mejorar la resolución del ortomosaico podemos controlar el porcentaje de traslape entre las imágenes, y dependiendo del software también se puede programar la velocidad. Para tener este producto terminado es necesario un postproceso cuyo tiempo para visualizar el resultado dependerá del área de estudio y las características de la computadora; por ejemplo, tipo de procesador, memoria RAM, si cuenta o no con tarjeta de video. Los recursos que se necesitan son proporcionales a la cantidad de información que se procesará.

¿Cuáles son los productos que se pueden obtener de un dron?

a) Nube de puntos

Una nube de puntos está compuesta por un conjunto de nodos en el espacio donde cada uno tiene características de posición e intensidad. (Coral, 2015)

Se obtiene a partir de las imágenes recabadas y contienen datos como altura, altitud, longitud, fecha y hora de captura. Si se realiza un postproceso es posible conseguir la diferencia de coordenadas, Δ_x , Δ_y , Δ_z ; en cambio, al eliminar las que presenten anomalías como altos y

bajos irregulares a su entorno, permite obtener las coordenadas de cada punto (Figura 3-1). Con este producto estaremos en posibilidades de generar los modelos digitales de superficie, modelos digitales de terreno y modelos digitales de elevación que a continuación se explicarán.



Figura 3- 1 Nube de puntos del CENAPRED. Reconstrucción de estructuras. Para mejorar la calidad y definición es marca con polígonos los edificios y vegetación, es decir, segmentar la nube de puntos.

b) Modelo Digital de Superficie (MDS)

A menudo se usa indistintamente los términos Modelo Digital de Superficie (MDS) y Modelo Digital de Terreno (MDT), sin embargo, no se deben confundir los términos, pues el Modelo Digital de Superficie representa la superficie de la Tierra y todos los objetos que contiene (Field, 2018); en tanto que el MDT representa sólo las elevaciones, es decir, el terreno rasurado

El modelo identifica las elevaciones del terreno y las elevaciones de las estructuras como árboles, plantas, vegetación en general, edificios o torres de energía eléctrica, dicho de otra manera, representa todos los elementos existentes en la superficie de la Tierra (Figura 3- 2). También es de gran ayuda cuando se necesita saber la línea de vista de un sitio a otro.

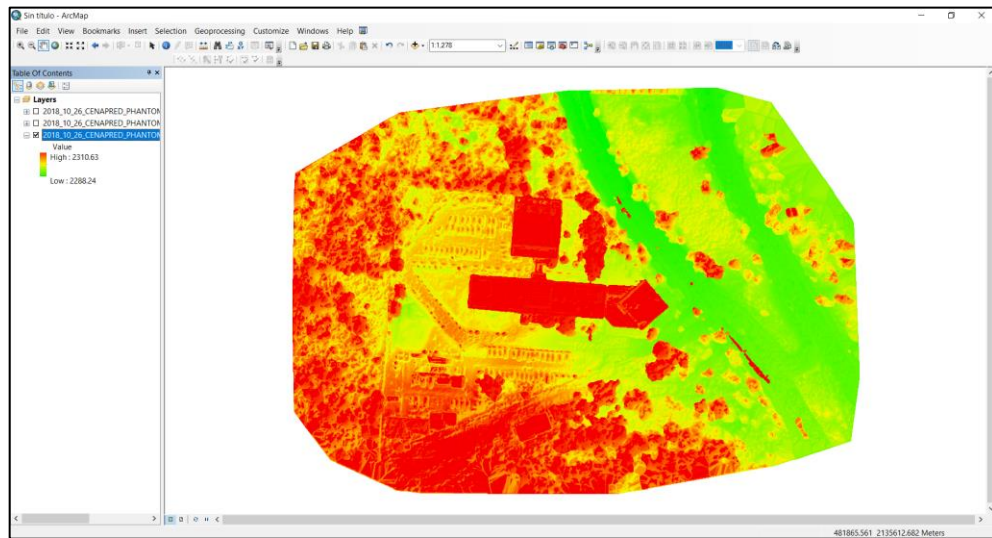


Figura 3- 2 Modelo Digital de Superficie (MDS) del CENAPRED. Las partes de color rojo son las de mayor altitud; las partes bajas son de color verde y en el centro observamos formas geométricas muy delimitadas de color rojo que corresponden a la representación del edificio.

c) Modelo Digital del Terreno (MDT)

El MDT se procesa, clasificando la nube de puntos densa y exportando únicamente los puntos del terreno y descartando los que no corresponden (Dávalos, 2018)

Un modelo digital del terreno puede describirse como una representación bidimensional de una superficie del terreno que consiste en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital. Incluye no sólo alturas y elevaciones, sino también otros elementos geográficos y características naturales como ríos, entre otros (Figura 3- 3).

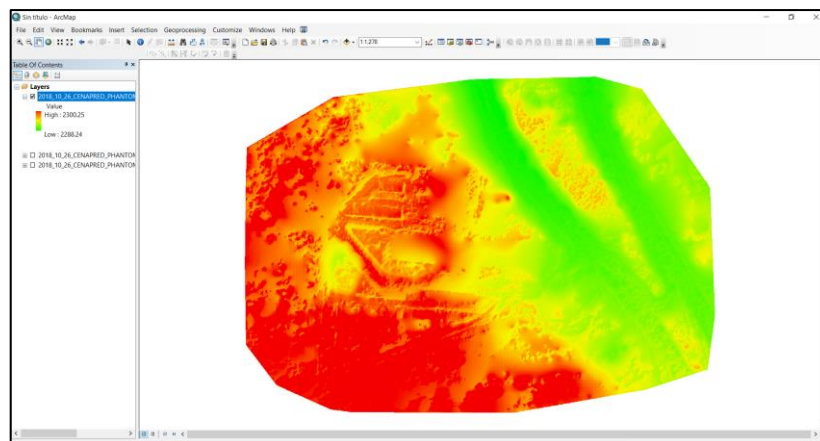


Figura 3- 3 Modelo Digital de Terreno (MDT) del CENAPRED. Se mantiene la misma paleta de colores y podemos apreciar las formas geométricas del centro que fueron eliminadas, Los pequeños bultos amarillos formados también fueron borrados y representaban a los vehículos.

d) Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital de Elevación (DEM) representa la superficie del terreno creada a partir de los datos de elevación, generalmente lo hace como una cuadrícula ráster donde el valor de cada celda es igual a la altura de esa posición. (Field, 2018)

Este modelo es una representación visual de las elevaciones de la superficie solamente, ya que se filtran estructuras como edificios y vegetación, lo que permite caracterizar las formas del relieve, es decir, un modelo de superficie de la Tierra desnuda (Figura 3- 4). Se ocupa en la estabilidad del terreno y modelación hidrológica.

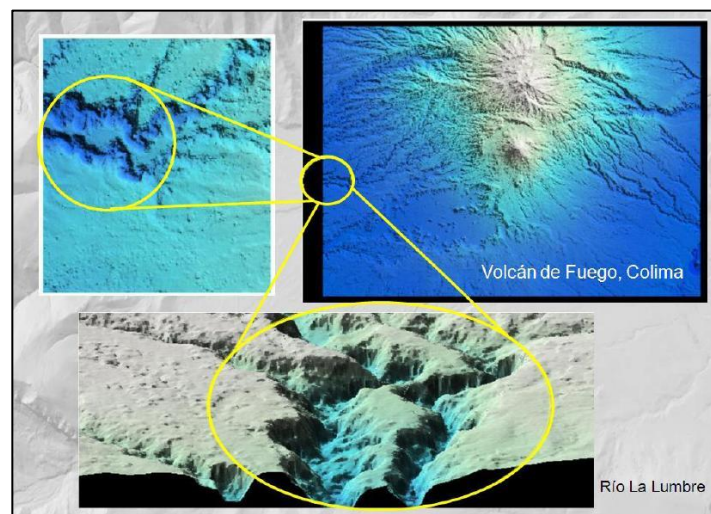


Figura 3- 4 Modelo Digital de Elevación (MDE) del Volcán de Fuego de Colima.

e) Ortomosaico

El ortomosaico es el resultado de la unión de las áreas de cada fotografía, donde la distorsión por lejanía al eje focal de la cámara es cercana a cero; es decir, es el mosaico de las áreas de cada foto donde el plano horizontal con el eje focal es ortogonal, de ahí el nombre de ortomosaico. (Dávalos, 2018)

Actualmente existen plataformas que ofrecen este tipo de imágenes y podrían cubrir gran parte del planeta. Esto es posible debido a que obtienen las imágenes de satélite; sin embargo, presentan errores de precisión, aunado a que la nubosidad puede impedir la captura de imágenes del terreno. Recoger estas mismas imágenes con un dron que vuele debajo de las nubes, como se explicó en el primer capítulo, permitiría que la aeronave gracias a los

elementos electrónicos con los que cuenta las guarde con metadatos para obtener la información (Figura 3- 5).



Figura 3- 5 Ortomosaico del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

f) Modelo 3D

Representa la realidad de una manera simplificada mediante el uso del MDT, el ortomosaico y la vegetación filtrada, además permite interactuar con el terreno. (Posadas & Villegas, 2016)

Con un recorrido virtual se hace una evaluación en la que podemos explorar diferentes ángulos de la superficie (Figura 3- 6), y en el trabajo de gabinete resulta útil para detectar anomalías de continuidad. Otra aplicación es la obtención de volúmenes existentes o que pueden ser contenidos en el terreno de estudio.

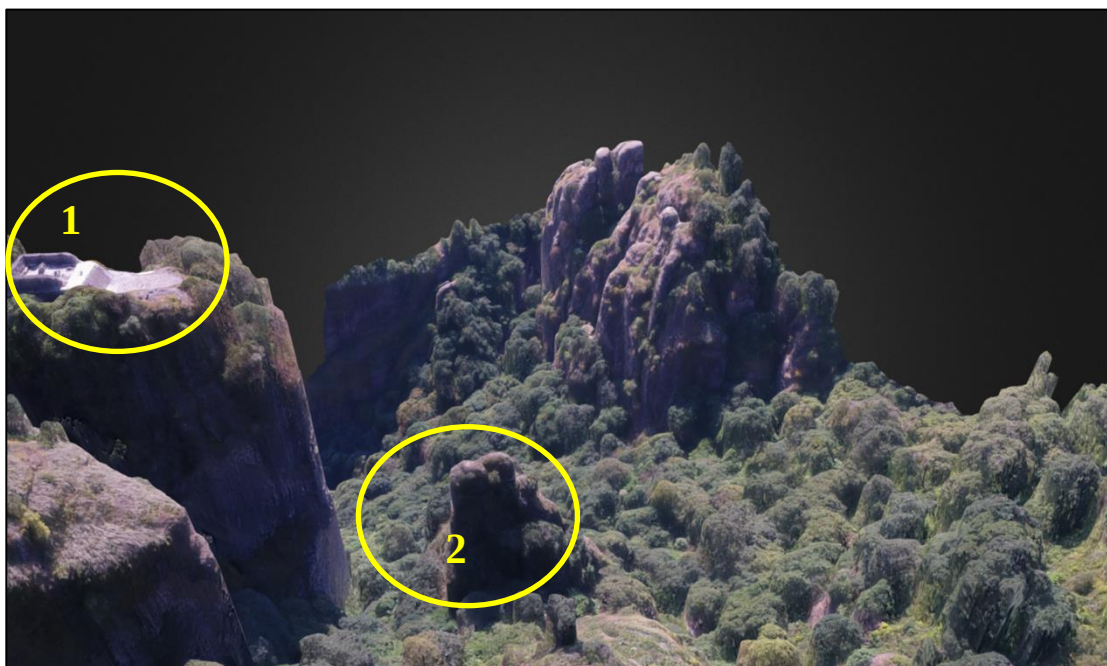


Figura 3- 6 delo 3D del cerro del Tepozteco, a la izquierda se puede observar la zona arqueológica del Tepozteco (1); en medio se observa el bloque de rocas “Los gemelos” (2), que están en riesgo de caída derivado del sismo del 19 de septiembre de 2017, lo que representa un riesgo para los visitantes, ya que se encuentra en el camino para llegar a la zona arqueológica.

g) Lidar

La tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging) inicio a en 1960, se instalaban en aeronaves tripuladas y conforme fue avanzando el desarrollo tecnológico, el peso y volumen del instrumento se redujo, lo que permite actualmente montarla en un dron

Los sensores de detección y rango de luz emitida por un láser que envían un pulso para recopilar mediciones del tiempo que se necesita para que el pulso llegue al objeto enfocado y regrese al dron, adquirir mediciones en fracciones de segundos permite tener distancias con errores mínimos y nubes densas de puntos, para obtener MDT, MDS y MED de muy alta precisión.

La diferencia de recolectar los datos con una cámara óptica y un LiDAR, se pueden dividir en dos conforme a la siguiente Tabla.

Tabla 3- 1 Comparativa Cámara óptica vs LiDAR.

	Cámara óptica	LiDAR
Condiciones de Iluminación	Buena iluminación.	Puede adquirir datos sin iluminación.
Cobertura del terreno	Menor cobertura.	Mayor cobertura.
Reconstrucción de elementos finos, cable líneas eléctricas	Depende de las condiciones de iluminación y altura de vuelo.	Reconstruye elementos finos.
Penetración de vegetación	No penetra vegetación.	Puede penetrar vegetación.
Tamaño de datos	Requiere mayor capacidad de memoria	Datos ligeros
Costo	Menor costo	Mayor costo

No se puede determinar qué sistema de adquisición de datos es mejor que el otro, depende de la aplicación.

Fases de la GIR

En Marco de Acción de Hyogo se propuso que la Gestión Integral del Riesgo(GIR) es la estrategia a nivel mundial para reducir los daños ocasionados por fenómenos geológicos, por ejemplo, sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos de laderas entre otros; o bien, hidrometeorológicos, sean huracanes, heladas, sequías, entre otros. Asimismo, pueden ser de origen antropogénico, como concentraciones masivas, manejo de materiales peligrosos, riesgos toxicológicos, etcétera. Todos se encuentran descritos en Ley General de Protección Civil, particularmente, en el artículo 2 de la misma se detallan las fases de la Gestión Integral del Riesgo.

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1. Identificación | 5. Preparación |
| 2. Previsión | 6. Auxilio |
| 3. Prevención | 7. Recuperación |
| 4. Mitigación | 8. Reconstrucción |

a) Identificación

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de identificación como:

Consta en reconocer y valorar las pérdidas o daños probables sobre los agentes afectables y su distribución geográfica a través de la identificación de peligros, análisis de la

vulnerabilidad y evaluación de riesgos. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

Cómo ejemplo de esta etapa, se muestran las imágenes aéreas en un fraccionamiento que identifican un alud con una pendiente de 90° respecto a la horizontal, una altura de 10 metros con una cercanía aproximada de 6 metros a casas habitadas (Figuras 3- 9 y 3- 10), lo que podría causar afectaciones a 21 viviendas (Figura 3- 7 y 3- 8) y 105 habitantes, aproximadamente, con pérdidas económicas de 88 millones de pesos. Este estudio se podría realizar por tierra, utilizando un distanciómetro digital, pero aumentaría el tiempo de levantamiento y el error en las mediciones, sin considerar los costos de los instrumentos de medición. Las dos maneras de hacer las mediciones tendrán el mismo costo, pero con las imágenes tomadas por la aeronave no tripulada se ganaría precisión y mayor análisis en el gabinete.



Figura 3- 8 Identificación de área de riesgo.



Figura 3- 7 Conteo de viviendas afectadas 21 en total.



Figura 3- 10 Altura de talud.



Figura 3- 9 Altura de talud y pared perimetral.

b) Previsión

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de previsión como:

Tomar conciencia de los riesgos que pueden causarse y las necesidades para enfrentarlos a través de las etapas de identificación de riesgos, prevención, mitigación, preparación, atención de emergencias, recuperación y reconstrucción. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

En esta etapa se mencionará lo que ocurrió en la mina de mármol en Dengantzha, municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, donde las lluvias y la mala planeación en los procedimientos de extracción de material produjeron un derrumbe en el cual quedaron atrapadas tres personas. En las maniobras de búsqueda y rescate se utilizó una retroexcavadora, conocida como “mano de chango”. Con base en las imágenes recogidas por una aeronave no tripulada, se pudieron ubicar grietas en la parte superior de la pared norte, la cual tenía una altura de 50 metros (Figura 3- 11). Si ocurriera otro derrumbe, la masa deslizada caería sobre los rescatistas que participan en las operaciones de socorro.

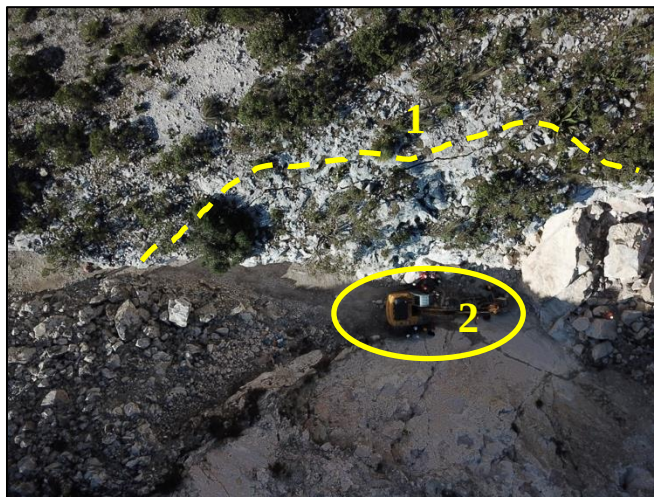


Figura 3- 11 Mina de mármol en Dengantzha, municipio de Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo. Se identificó una grieta en la pared norte de la mina (1) justo por encima de las maniobras de rescate (2). Se informó al comandante de operaciones de socorro.

Otros ejemplos de esta etapa fueron los sobrevuelos realizados cada tres horas para monitorear el flujo de personas en la Basílica de Guadalupe (Figura 3- 12), la noche del 11 y la madrugada del 12 de diciembre con permiso de las autoridades de la basílica. Esto permitió identificar zonas de resguardo y amortiguamiento, identificación de cuellos de botella en el

flujo de personas y verificación de los tiempos de dosificación en las vallas de acceso al santuario.



Figura 3- 12 Sobrevuelo en la Basílica de Guadalupe, el 11 y 12 de diciembre. Se identifican zonas de amortiguamiento (1) y cortes en el flujo de personas (2).

c) Prevención

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de prevención como.

Conjunto de acciones y mecanismos implementados con antelación a la ocurrencia de los agentes perturbadores, con la finalidad de conocer los peligros o los riesgos, identificarlos, eliminarlos o reducirlos; evitar o mitigar su impacto destructivo sobre las personas, bienes, infraestructura, así como anticiparse a los procesos sociales de construcción de los mismos. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

En esta fase tomaremos de ejemplo el Río Mixcoac, alcaldía Álvaro Obregón, es una zona susceptible al deslizamiento de laderas. Dicho fenómeno podría dejar grandes pérdidas en vidas humanas, así como daños severos a la infraestructura. Las condiciones que pueden generar los deslizamientos de laderas deben ser determinadas *a priori* para tomar medidas preventivas y uno de los factores para esto es conocer la morfología del terreno, y para esto es posible utilizar el modelo digital de superficie (Figura 3- 13) para identificar desniveles del área de estudio.

Sí este estudio se realizará con un vuelo tripulado tendríamos que considerar gastos como movilización de la aeronave, el procesamiento de las imágenes obtenidas, entre otros, lo que

genera un costo total de 199,948 pesos; en cambio, con el uso de RPAS la cantidad sería de 9,967

Tabla 3 - 1 Cotización de un vuelo tripulado.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL PESOS
Movilización de la aeronave	1	27,500.00	27,500
Vuelo fotogramétrico 10 cm pixel, RGB	140 HA	300.00	42,000
Aerotriangulación fotogramétrica	140 HA	35.00	4,900
Restitución fotogramétrica digital	140 HA	150.00	21,000
Modelo Digital de Superficie	140 HA	250.00	35,000
Modelo Digital de Terreno	140 HA	300.00	42,000

Total	172,400
IVA	27,584
Gran Total	199,948

Cálculo de costo usando un RPAS

Depreciación anual del equipo

$$D_{LR} = (P - VR)/n$$

Donde

D_{LR} = Depreciación anual

P= Valor original del activo

VR= Valor de rescate

n= Número de años de vida útil del activo

Aplicando la fórmula ().

P = 60,000 (valor factura)

VR= 18,000 (30%)

n= 3 años (periodo de soporte técnico)

$$D_{LR} = \frac{(60,000 - 18,000)}{3}$$

$$D_{LR} = 14,000$$

Depreciación mensual

$$D_m = \frac{D_{LR}}{12}$$

$$D_m = \frac{14,000}{12}$$

$$D_m = 1,166.7$$

Tabla 3- 2 Cotización de un vuelo con RPAS.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL, PESOS
Gastos de nómina de personal en campo	3 personas	3,000
Depreciación mensual	1 mes	1,167
Restitución Fotogramétrica Digital, Modelo Digital de Superficie y Modelo Digital de Terreno	1 mes	5,800
TOTAL		9,967

Modelo Digital de Superficie

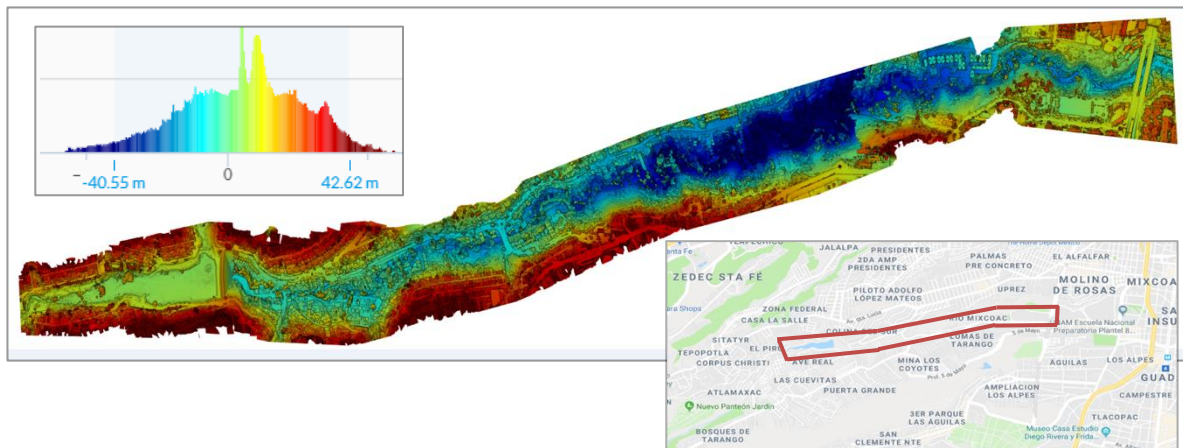


Figura 3- 13 Modelo Digital de Superficie del Río Mixcoac.

d) Preparación

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de preparación como.

Actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante el impacto de un fenómeno perturbador en el corto, mediano y largo plazo. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

En esta etapa podemos describir misiones en las que se obtuvieron imágenes y videos aéreos en ejercicios de los equipos de socorro con el fin de mejorar la capacidad de respuesta en caso de una inundación. Los rescatistas utilizan botes-salva vidas para evacuar a las personas que se refugian en azoteas o zonas altas; sin embargo, el rescate se complica cuando la víctima se encuentra en el paso de una avenida (Figura 3- 14), en este caso se sigue un protocolo de rescate que puede ser monitoreado con las imágenes aéreas obtenidas con RPAS. Esto permite documentar y verificar en tiempo real cómo se realizan los protocolos de evacuación y atención, además de la posibilidad de hacer un análisis posterior, por ejemplo:

- Aproximación a la víctima.
- Maniobras de remoque y extracción.
- Técnicas de flotación.
- Tiempo de extracción.
- Cuidado del bote (ej. Equilibrio, choque con objetos).



Figura 3- 14 Documentar ejercicio de rescate en inundación, que permite el análisis posterior para buscar mejorar el tiempo de respuesta y en sitio identificar riesgos en el entorno.

En el simulacro “Protección animal del sector agropecuario ante peligros del volcán Popocatepetl”, en coordinación con los diferentes niveles de gobierno y organizaciones civiles, se ejercitó la evacuación de las personas y sus animales, por lo que se requirió una logística de conteo e identificación de cada animal y la ubicación del albergue de resguardo. Asimismo, verificar que cada animal no estuviera enfermo para evitar el contagio a los demás en el albergue. Con ayuda del dron se pudo documentar y observar con seguridad el procedimiento de evacuación de los animales (Figura 3- 15 y 3- 16), el número que faltaba de evacuar y los que ya lo habían hecho. En caso de que alguno se hubiese salido del grupo, el dron podría seguirlo desde el aire para determinar su ubicación, además de esto, también se puede revisar el estado de las rutas de evacuación.



Figura 3- 15 Evacuación de animales de traspatio, derivado de los riesgos producidos por la erupción del volcán Popocatepetl. Se trasladan al refugio temporal.



Figura 3- 16 Refugio de animales de traspatio previamente identificados, sin incluir animales enfermos, los cuales permanecerán en el refugio temporal de animales hasta que riesgo disminuya para la población y animales.

e) Mitigación

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de mitigación como:

Es toda acción orientada a disminuir el impacto o daños ante la presencia de un agente perturbador sobre un agente afectable. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

Cuando se ha identificado el riesgo (Figuras 3- 17 y 3- 18), las obras de mitigación son el siguiente paso, como es caso del río Xelajú, en Motozintla, Chiapas. Motozintla se traduce como *mototl*, ardillas, y *zintla*, ladera. Por su ubicación y clima, la zona es proclive de sufrir deslizamientos del terreno cuando llueve de manera importante, lo que hace a la población vulnerable, de ahí la importancia de dichas obras de mitigación para esta problemática.

Plantear escenarios de inundación es fundamental en el diseño de obras de mitigación (Figuras 3- 19 y 2- 20). Estos escenarios requieren un Modelo Digital de Terreno que puede ser obtenido mediante la fotogrametría programada en un RPAS. A diferencia de un vuelo tripulado, el dron puede despegar desde el sitio, lo que permite ahorrar el traslado en aire de una aeronave tripulada y los costos de mantenimiento.



Figura 3- 17 Medida del cauce.



Figura 3- 18 En esta figura se puede observar un puente para cruzar el río, sus dimensiones son de 80 m. También se puede notar el asolvamiento del río. La población cercana al río cubre 200 m de su margen y en caso de un desbordamiento serían los primeros afectados.



Figura 3- 20 Escenario de inundación sin obras de mitigación Después de haber obtenido el modelo digital de superficie, se tienen elementos para realizar este tipo de escenarios en los cuales se pueden identificar las zonas de falla en el río y determinar el área afectada, así como la altura del tirante de inundación.



Figura 3- 19 Escenario de inundación con obras de mitigación. En este caso se determinó simular un dique en la zona de falla del río para contener el agua de la avenida del río. Se puede apreciar que el área afectada se redujo considerablemente.

f) Auxilio

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de auxilio como:

Respuesta de ayuda a las personas en riesgo o las víctimas de un siniestro, emergencia o desastre, por parte de grupos especializados públicos o privados, o por las unidades internas de protección civil, así como las acciones para salvaguardar los demás agentes afectables. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

La inmediatez con la que ocurre un desastre obliga a los tomadores de decisiones tener información de manera rápida, certera y desde el lugar de los mayores daños de viviendas (Figura 3- 21) o instalaciones estratégicas (Figura 3- 22). Las primeras horas son de gran importancia para la búsqueda de supervivientes en el caso de un terremoto, por ejemplo, los ocurridos el 7 y 19 de septiembre de 2017.

Las imágenes obtenidas por un RPAS son valiosas para los equipos de respuesta, pues les permite evaluar de forma inmediata la seguridad estructural y otros riesgos circundantes de una estructura colapsada.

Tomaremos el caso de una estructura colapsada en Juchitán, Oaxaca, a nivel de piso (Figura 3- 23) se puede observar el riesgo en los cables de energía eléctrica y la inestabilidad de la estructura. En la fotografía aérea (Figura 3- 24) se pueden confirmar los riesgos vistos a nivel de piso, existe peso muerto en la azotea y se descarta la existencia de tanque de gas a la intemperie en el inmueble colapsado y en los circundantes.

En el edificio de Álvaro Obregón 286 en la Ciudad de México, tras el sismo del 19 de septiembre, sólo quedo de pie la planta baja y las escaleras de emergencia en la parte posterior. Los cinco pisos superiores cayeron. En este inmueble se concentraron las maniobras de rescate (Figura 3- 25) Con las imágenes aéreas de un RPAS fue posible mostrar las zonas de avance y los sectores de búsqueda (Figura 3- 26).



Figura 3- 21 Vivienda colapsada en Juchitán, Oaxaca. Se observa peso muerto (1) del lado del colapso y un tanque de gas LP (2) en la casa de atrás.

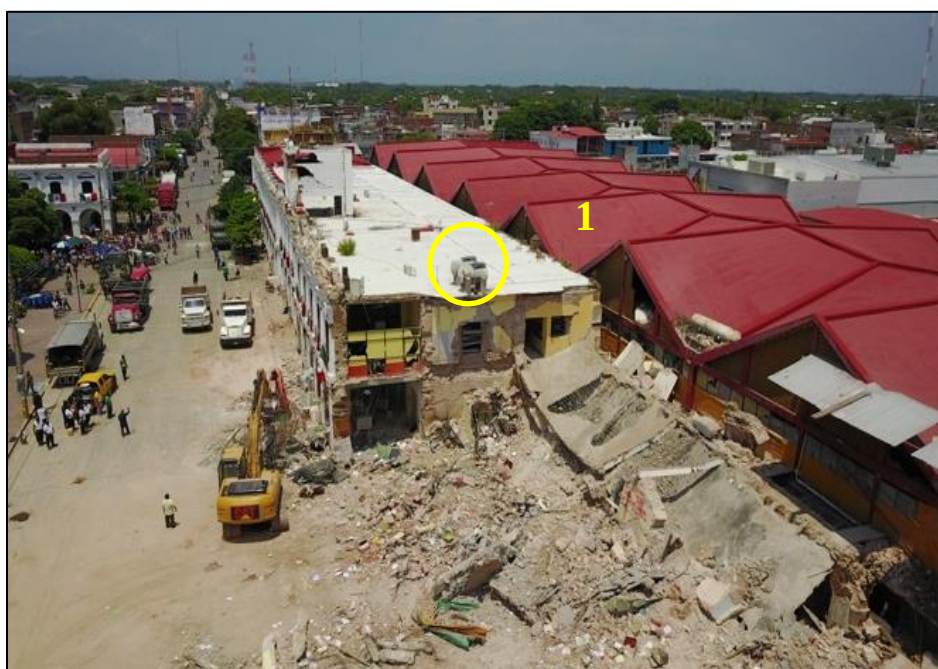


Figura 3- 22 Daños en el palacio municipal de Juchitán, Oaxaca. Se observan dos tanques de gas en la orilla de la estructura sin colapso (1). Escombros de la fachada caída en la marquesina, que pudieran caer en el caso de una réplica.



Figura 3- 23 Fotografía a nivel de piso de un edificio colapsado en Juchitán, Oaxaca. Sólo podemos visualizar el riesgo que representan los cables de distribución eléctrica (1).



Figura 3- 24 Imagen aérea de un edificio colapsado en Juchitán, Oaxaca. Podemos observar carga muerta en la azotea (1) y se descarta la existencia de tanques de gas LP en el mismo y en su vecindad.

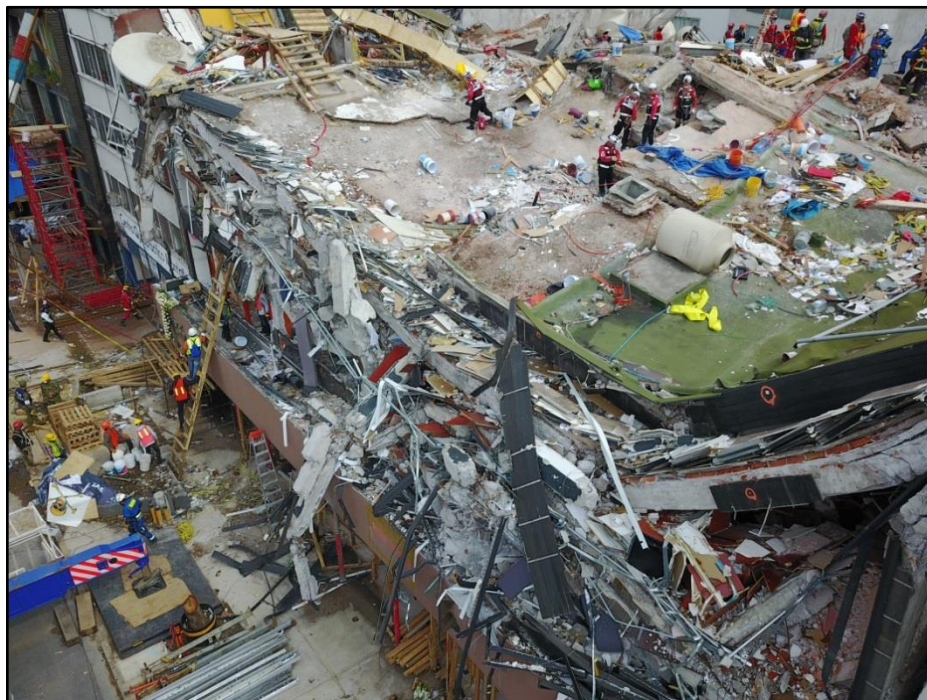


Figura 3- 25 Vista de la fachada que tenían los familiares de las víctimas, sin poder observar el área de trabajos de rescate.

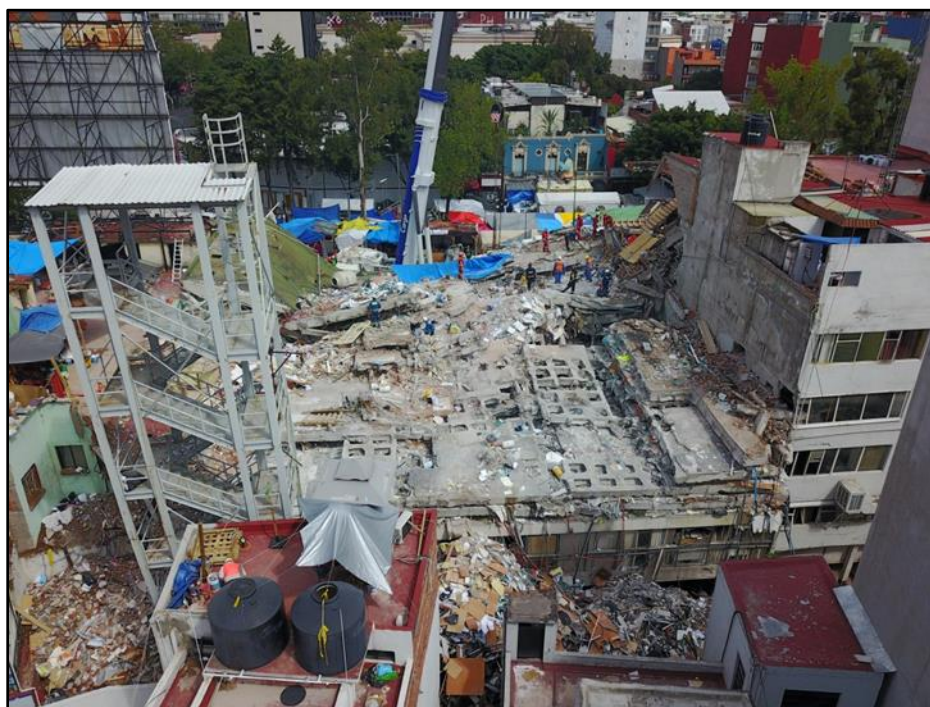


Figura 3- 26 Parte trasera en donde se realizaron los trabajos de rescate de víctimas.

g) Recuperación

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de recuperación como:

Proceso que inicia durante la emergencia, consistente en acciones encaminadas al retorno a la normalidad de la comunidad afectada. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

Rehabilitar las instalaciones estratégicas como centros comerciales, escuelas, bancos; servicios vitales como agua o energía eléctrica es el inicio de la recuperación y es a partir de la misma emergencia. En el caso de la comunidad de Matías Romero, Oaxaca, considerada por los poblados circundantes como un centro de comercio abastecedor de alimentos, productos básicos y aparatos electrónicos. El mercado principal fue afectado por el sismo del 7 de septiembre de 2017. Con ayuda de imágenes aéreas de un RPAS se pudo evaluar la estructura del techo y riesgos perimetrales con el fin de habilitar en el menor tiempo dicho mercado (Figura 3- 27).



Figura 3- 27 Mercado de la comunidad Matías Romero, Oaxaca. Se descartó daño en el techo de lámina (1), estructuras colapsadas en la periferia del mercado (2). Con una adecuada señalización y delimitación de un perímetro de acercamiento no representa peligro para los compradores.

Por otra parte, es importante resaltar los daños que tuvo el “Centro Escolar de Juchitán” en el municipio de Juchitán, Oaxaca (Figura 3- 28). Este centro escolar es emblemático porque fue fundada el 11 de septiembre de 1938 por el general Heliodoro Charis Castro, en la época del presidente Lázaro Cárdenas del Río y fue utilizado como cuartel militar. Con estos antecedentes y la utilidad actual de las instalaciones resulta fundamental habilitar el espacio (Figura 3- 29). Durante la demolición de esta escuela, las imágenes aéreas tomadas por un RPAS son importantes para identificar estructuras débiles y para dar aviso en caso de un colapso no planeado.



Figura 3- 28 Centro Escolar, Juchitán, Oaxaca, 10/09/2017, presenta daños estructurales a causa del sismo del 7 de septiembre de 2017, queda inhabilitado para su uso hasta su rehabilitación.



Figura 3- 29 Centro Escolar, Juchitán, Oaxaca 22/03/2018, fue reconstruido por el ejército mexicano para recuperar el espacio y continuar con las actividades normales.

h) Reconstrucción

En el artículo 2 de la Ley General de Protección Civil se encuentra definida la fase de recuperación como:

La acción transitoria orientada a alcanzar el entorno de normalidad social y económica que prevalecía entre la población antes de sufrir los efectos producidos por un agente perturbador en un determinado espacio o jurisdicción. Este proceso debe buscar en la medida de lo posible la reducción de los riesgos existentes, asegurando la no generación de nuevos riesgos y mejorando para ello las condiciones preexistentes. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017)

En 2013, las fuertes lluvias que provocó el huracán *Manuel* los días 15 y 16 de septiembre, ocasionaron el reblandecimiento y el deslizamiento del terreno en el estado de Guerrero, dejando 71 personas muertas y decenas de casas bajo la tierra. Debido a lo anterior se reconstruyeron 187 viviendas, un centro de salud y un centro escolar, lo cual permitió la inauguración de La Nueva Pintada.

Se hicieron estudios del terreno y se decidió que se enclavara en la planicie más alta, no obstante, el riesgo de un nuevo deslizamiento podría ser inminente. Se realizaron obras de mitigación en laderas como insertar vegetación para evitar la humedad y obras civiles para la contención de material entre otras (Figura 3- 30). El río es otro riesgo, pues la crecida

puede ser tan grande que afecte a la comunidad. Para identificar estos riesgos las imágenes aéreas obtenidas de un RPAS resultan de gran ayuda para la toma de decisiones tanto de planeación como en una emergencia.



Figura 3- 30 La Nueva Pintada, Guerrero, se pueden distinguir las obras de mitigación en la ladera afectada, contención de masa con recubrimiento de concreto (1). Se plantó vegetación (2) con el fin de absorber la humedad de la tierra y las viviendas fueron reubicada (3).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres utiliza RPAS en la Gestión Integral del Riesgo, al final de 2018, con tres diferentes drones; Phantom 3 profesional, Phantom 4 pro y Mavic Pro se tenían 29 misiones en ocho estados de la República Mexicana y una en Ecuador. En promedio, cada uno termino ese año con 1,100 minutos de vuelo, el costo promedio por minuto es de 44 pesos mexicanos y por misión es de 5,617. El dron con el que iniciaron las misiones fue derribado por zopilotes en la misión 16, que se realizó en el estado de San Luis Potosí. En la siguiente Tabla se muestra a detalle el lugar de las misiones, ubicación, objetivo y productos obtenidos, así como el tiempo de vuelo de cada una.

Misiones realizadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres

Tabla 3- 3 Misiones realizadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres.

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
1	19 de diciembre de 2015	Ciudad de México	Documentar un evento de extracción vehicular	Mejorar la capacidad de respuesta en una emergencia, para reducir el tiempo de rescate	Fotografía aérea	0.66
2	6 de febrero de 2016	Centro Nacional de Prevención de Desastres	Exhibición de maniobras de rescate, por grupos de respuesta	Identificar áreas de oportunidad en las maniobras de rescate	Fotografía aérea	0.5
3	9 de febrero de 2016	La Pintada, Guerrero	Supervisar las obras de mitigación del deslizamiento de laderas	Identificar peligros y verificar estado de obras de remediación	Fotografía aérea	0.33
4	22 abril-10 de mayo 2016	Ecuador, Manta y Puerto Viejo, Ecuador	Ayudar al grupo de búsqueda y rescate en estructuras colapsadas después del sismo en Ecuador	Identificación de peligros y reducir la vulnerabilidad de los grupos de respuesta	Fotografía aérea	8
5	19 de mayo de 2016	Zona del Barreal, Cd. Juárez Chihuahua	Realizar fotogrametría y el modelo digital de terreno en el fraccionamiento el Barreal	Generar insumos para realizar simulación de inundación e identificar obras de mitigación	Modelo Digital de Superficie	0.66

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
6	16 de junio de 2016	Estado de México, Mina Tezoyuca	Realizar fotogrametría y el modelo digital de terreno en el banco de materiales en Tezoyuca, con el fin de identificar la estabilidad de los taludes	Identificar peligro que expongan las vidas de las personas y a sus bienes	Modelo digital de Superficie	0.5
7	7 de julio de 2016	Estado de México, San Vicente Chicoloapan	Realizar sobrevuelos en zonas donde se reportaron vibraciones en el suelo	Identificar vulnerabilidad que expongan las vidas de las personas y a sus bienes	Fotogrametría	0.5
8	11 y 12 de julio de 2016	Guerrero, La Pintada	Identificar las viviendas expuestas al fenómeno de deslizamiento de laderas, en las comunidades las siguientes comunidades • La Pintada • El mirador • San Vicente	Prevenir daños por fenómenos naturales en las viviendas reconstruidas	Fotografía aérea	0.66
9	21 de julio de 2016	Teotihuacán	Documentar el evento de rescate del comando norte	Mejorar la capacidad de respuesta en una emergencia, reducir el tiempo de rescate	Fotografía aérea	0.66

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
10	4 de agosto de 2016	Benemérita Universidad de Puebla, Tecamachalco	Documentar el simulacro de evacuación animal ante un escenario de erupción del volcán Popocatepetl	Identificar áreas de oportunidad en la maniobra de evacuación de animales	Fotografía aérea	1
11	25 al 27 de agosto 2016	Puebla • Coahuila • Jaltepec	Evaluar la inestabilidad de laderas en la sierra norte de Puebla tras el paso del huracán Earl Evaluar los predios seleccionados para la reubicación de las familias afectadas por los deslizamientos de laderas tras el paso del huracán <i>Earl</i>	Identificar viviendas en riesgo, determinar zonas de menor vulnerabilidad ante fenómenos naturales	Fotografía aérea	1.5
12	29 de agosto de 2016	Ciudad de México, Desierto de los leones	Evaluar la estabilidad de un talud en un fraccionamiento ubicado en el Desierto de los Leones	Dar certeza o no a los habitantes del fraccionamiento de la seguridad de sus viviendas	Modelo digital de Superficie	0.66

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
13	11 de septiembre de 2016	Ciudad de México, Santa Fe	Evaluar la estabilidad de un talud en el conjunto habitacional, Vista del Campo	Dar certeza o no a los habitantes del conjunto habitacional, de la seguridad de sus viviendas y en su caso determinar obras de remediación	Fotografía aérea	0.66
14	11 de diciembre de 2016	Ciudad de México, Basílica de Guadalupe	Documentar las concentraciones masivas de personas	Identificar áreas de oportunidad en flujo de masas de personas	Fotografía aérea	1
15	19 de diciembre de 2016	Estado de México, Nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México	Evaluar las acciones preventivas en las actividades de la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Identificar riesgos que pudieran retrasar la construcción	Fotografía aérea	0.66
16	18 de enero de 2017	San Luis Potosí, Comunidad Pezmayo	Evaluar una ladera en la localidad de Pezmayo	Tener elementos para poder regresar a la población a sus viviendas	Modelo digital de Superficie	1.5
17	25 de enero de 2017	Ciudad de México, embarcadero Nativitas	Evaluar los hundimientos reportados en el embarcadero Nativitas	Determinar cuáles son las viviendas en mayor riesgo.	Fotografía aérea y Fotogrametría	3

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
18	2 de marzo de 2017	Estado de México, Teotihuacán	Documentar el evento de rescate	Mejorar la capacidad de respuesta en una emergencia y reducir el tiempo de intervención con el fin de tener la mayor posibilidad de vida	Fotografía aérea	1.33
19	30 de marzo de 2017	Guerrero, La Pintada	Evaluar las obras de reconstrucción tras el deslizamiento de 15 de septiembre de 2013	Garantizar la seguridad de las obras de remediación, tener elementos para la toma de decisiones	Modelo 3D	1
20	8-16 de septiembre de 2017	Oaxaca, Juchitán	Apoyo a los grupos de búsqueda y rescate en estructuras colapsadas después del sismo del 7 de septiembre en las costas de Chiapas	Mejorar la capacidad de respuesta de la emergencia, reducir la vulnerabilidad de los equipos de socorro	Fotografías Aérea, modelo digital de superficie	1.66
21	19 de septiembre al 3 de octubre de 2017	Ciudad de México	Apoyo a los grupos de búsqueda y rescate en estructuras colapsadas ante el sismo del 19 de septiembre al norte de Morelos	Mejorar la capacidad de respuesta de la emergencia	Fotografías aéreas	13.33

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
22	17 de noviembre de 2017	Morelos, Tepoztlán	Evaluar la estabilidad de la peña “Los gemelos” que se encuentra en el camino del Tepozteco	Tener elementos para la reapertura de la zona arqueológica el "Tepozteco"	Fotogrametría y Modelo 3D	0.66
23	20 de octubre de 2017	Ciudad de México, Delegación Xochimilco	Evaluación de grietas originadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017	Identificación de viviendas que podrían ser afectadas por las grietas	Fotogrametría	0.33
24	21 de noviembre de 2017	Ciudad de México, Río Mixcoac	Recabar insumos para la generación de escenarios de inundación	Determinar alturas de inundación por lluvia o desbridamiento, así como las otras de remediación para evitar inundaciones	Modelo digital de Superficie y Modelo 3D	2.33
25	15 de marzo de 2018	Ciudad de México, Chapultepec	Adquirir imágenes para determinar si existe línea de vista para la instalación de antenas	Conocer de manera veloz el desplazamiento que habría en caso de un sismo	Fotografía aérea	0.33
26	23 de marzo de 2018	Ciudad de México, Colonia Roma	Obtener imágenes para determinar si existe línea de vista para la instalación de antenas	Conocer de manera veloz el desplazamiento que habría en caso de un sismo	Fotogrametría y Fotografía Aérea	0.33

	Fecha	Ubicación	Objetivo	Beneficio	Productos obtenidos	Tiempo de vuelo en horas
27	23 al 28 de abril de 2018	Col. Luis Donaldo Colosio, Acapulco, Guerrero.	Realizar fotogrametría y el modelo digital de terreno en el fraccionamiento el Barrial	Generar insumos para realizar simulación de inundación y realizar obras de mitigación	Fotogrametría	2.66
28	2 de agosto de 2018	Mixquiahuala, Hidalgo.	Identificar riesgos para el personal de rescate	Colaborar con la seguridad de los rescatistas	Fotografía aérea	0.5
29	9 de agosto de 2018	Xochimilco, Ciudad de México	Obtener insumos para la generación de escenarios de inundación	Determinar alturas de inundación por lluvia o desbridamiento, así como las otras de remediación para evitar inundaciones	Fotogrametría	0.6
					Total	57.66

i) Especificaciones de RPAS utilizados

Panthon 3 profesional

Cámara 4 K
 Alcance 1 000 metros
 Tiempo de vuelo 25 min
 Peso 1280 g
 Velocidad 16 m/s

Panthon 4 pro

Cámara 20 MP, 4 K
 Alcance
 Tiempo de vuelo 30 min
 Peso 1 388 g
 Velocidad 20 m/s

Mavic pro

Cámara 12.3 MP, 4K
 Alcance 13 Km
 Tiempo de vuelo 27 min
 Peso 734 g
 Velocidad 18 m/s

Matrice 600

Cámara 16 MP, 4K
 Alcance 13 Km
 Tiempo de vuelo 25 min
 Peso 9,900 g
 Velocidad 18 m/s

Casos de estudio

Para mostrar los productos se sobrevoló, con un Sistema de Aeronave Pilotadas a Distancia. Modelo Phantom 4, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) que está delimitado por un polígono de 1.6 hectáreas.

Se utilizó la aplicación Pix4d. Se obtuvieron imágenes con 80% de traslape con los siguientes metadatos. El tiempo destinado para esta actividad fue de 15 minutos de vuelo.

- Latitud
- Longitud
- Altitud

Para obtener la precisión de este levantamiento, se midió de forma terrestre con una estación total marca TOPCON dos puntos conocidos en el terreno (Figura 3- 31). El resultado se comparó con los obtenidos en el ortomosaico realizado con el RPAS.

Tabla 3- 4 Comparación de distancia entre puntos.

Instrumento	Distancia entre puntos (m)
RPAS	55.317
Estación total	54.88
Variación	0.432

Para obtener la exactitud en la vertical

Tabla 3- 5 Comparación de distancia vertical entre los puntos.

Instrumento	Punto 1 (m)	Punto 2 (m)	Distancia entre puntos (m)
Estación total	99.735	95.494	4.241
RPAS	2284.546631	2280.328613	4.218
		Variación	0.023

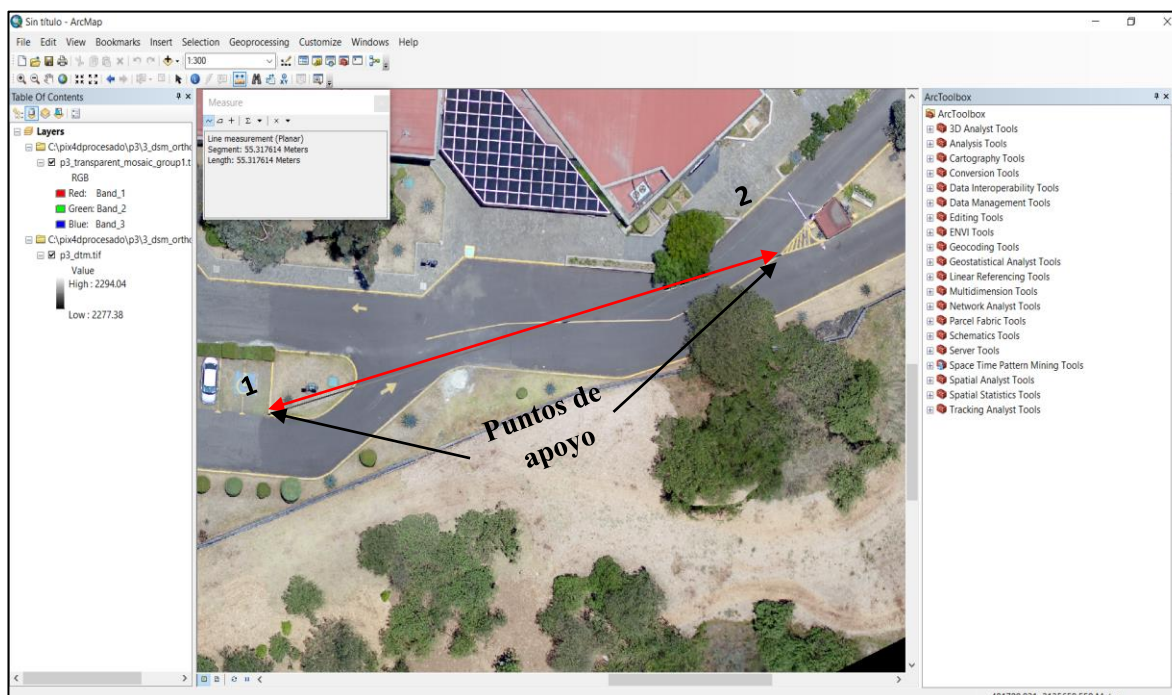


Figura 3- 31 Ubicación de puntos de apoyo en el CENAPRED.

Generar escenarios de peligro por inundación en la colonia Barrio 18, de la alcaldía Xochimilco, Ciudad de México, y en la colonia Luis Donaldo Colosio, en el municipio de Acapulco, Guerrero. Los insumos serán obtenidos por un Sistema de Aeronave Pilotadas a Distancia.

j) Antecedentes

Actualmente, existen para todo el país Modelos Digitales de Terreno (MDT) con una resolución horizontal de 15 metros. Estos modelos son elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); sin embargo, no son lo suficientemente precisos para elaborar escenarios de inundación, entre otras cosas, porque no considera infraestructura como puentes, obras de protección o bordos. Ante este vacío se requiere generar un MDT preciso que permita la elaboración de escenarios de peligro por inundaciones y consideren la infraestructura sobre el río principal y sus tributarios como vegetación.

El MDT del INEGI tiene una resolución de 15 metros por pixel; en cambio, el MDT con RPAS alcanza una resolución de 5 cm por pixel, por esta razón este modelo es idóneo para la generación de escenarios de peligro por inundación.

k) Colonia Barrio 18, Xochimilco

El caso de esta colonia, se tiene registro de una problemática hidrológica en los fraccionamientos consecuencia de lluvias extremas, por lo que se necesita el Modelo Digital de Superficie. Los insumos se obtuvieron mediante vuelos programados de un RPAS. El MDS permitió identificar las zonas más altas y bajas para ubicar áreas de riesgo de inundación y realizar medidas de mitigación.

Características del área de estudio

- Área: 0.48 Km²
- Perímetro: 3.62 Km
- Población: 10,470
- Número de viviendas: 3,013

Fotogrametría

Para realizar este levantamiento se utilizó un dron multirrotor, con el cual se programaron los polígonos, los cuales cubrieron 140 hectáreas Figura 3.21, con 517 fotografías la cuales contienen los siguientes datos:

- Altitud
- Longitud
- Altura
- Fecha y hora

Polígono de vuelos programados para obtener el ortomosaico.



Figura 3- 32 Plan de vuelo en el Río Mixcoac, 140 hectáreas, 517 imágenes aéreas.

Una vez hecho el sobrevuelo con las imágenes capturadas se realiza el proceso de ellas en el software Dronedeploy con el fin de obtener el ortomosaico (Figura 3- 33) y el modelo digital de superficie, con esto se puede generar los escenarios de inundación.

Productos obtenidos



Figura 3- 33 Ortomosaico de la colonia Barrio 18, alcaldía Xochimilco.



**Imagen de Satélite
15 m por pixel**

**Fotografía RPAS
8 cm por pixel**

Figura 3- 34 Comparativa en la definición.

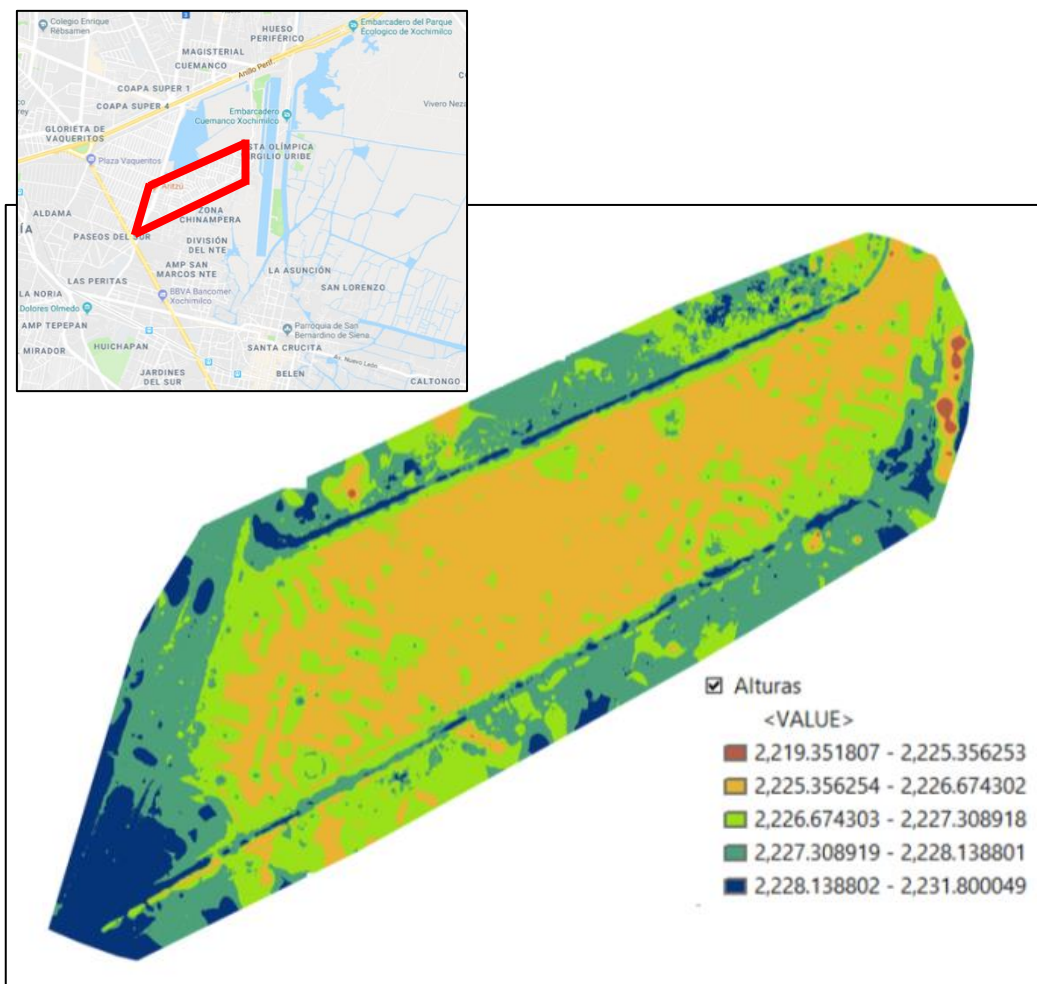


Figura 3- 35 Modelo de Digital de Superficie de la colonia Barrio 18, alcaldía Xochimilco. Podemos identificar que las zonas más bajas son de 2,219.35 metros y la más alta es de 2,231.80 metros, lo que da un diferencial de 12.45 metros.

Modelo de inundación

Con el programa Iber se realiza el escenario de inundación con una lluvia con duración de una hora, se mostrarán dos escenarios, cuando el drenaje funcione y cuando no funcione.

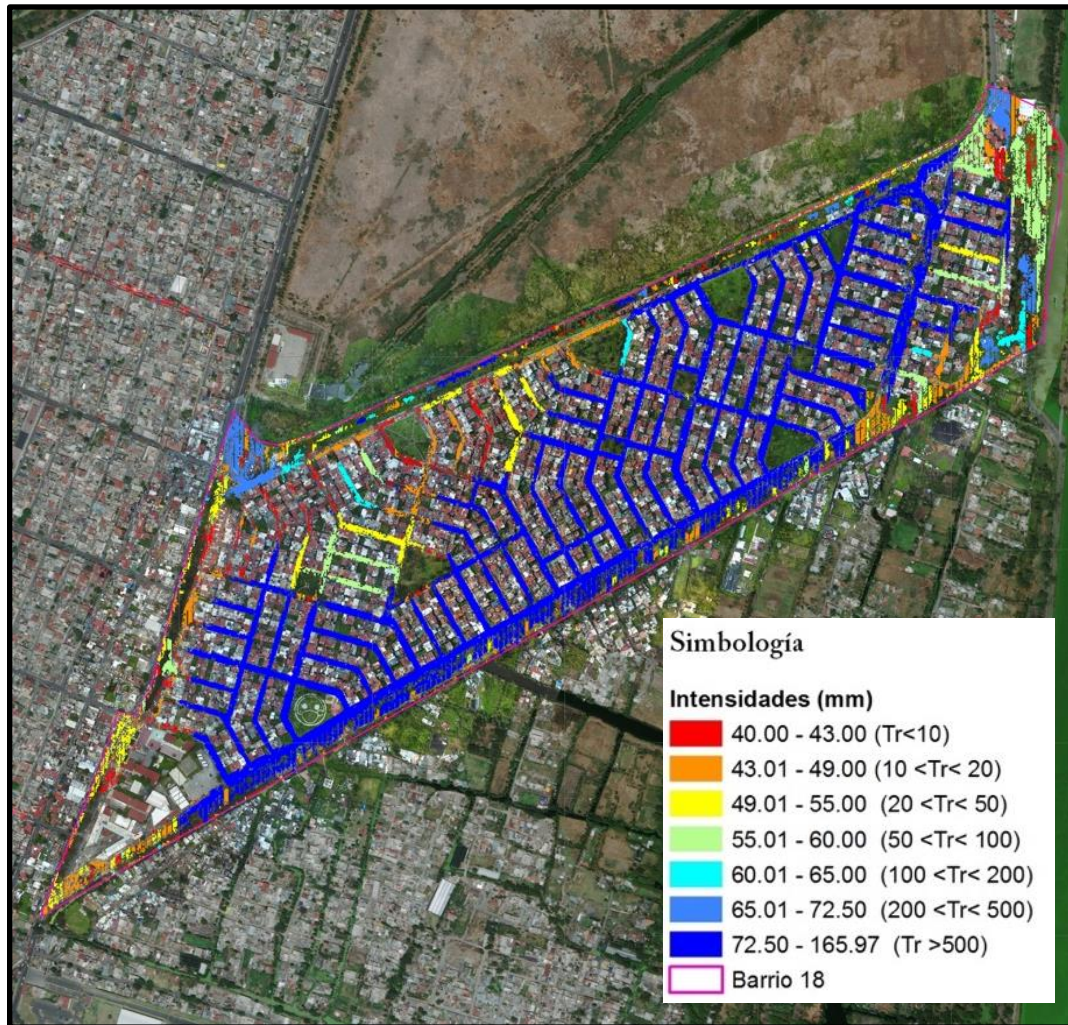


Figura 3- 36 Escenario de inundación con el drenaje funcionando. Podemos identificar que, a mayor intensidad, mayor área de afectación y mayor periodo de retorno, lo que significa una probabilidad menor de que ocurra un evento de esta magnitud.

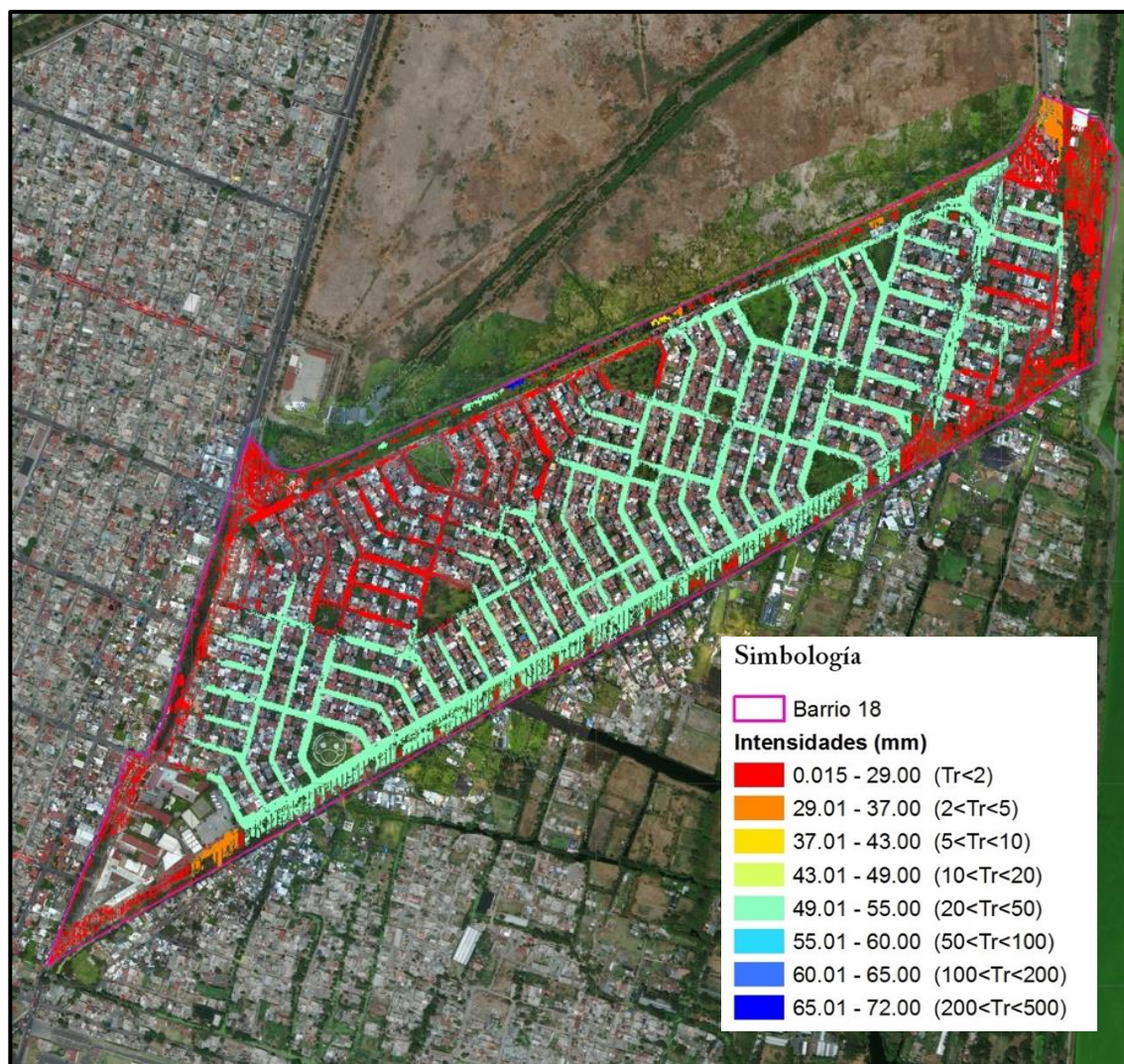


Figura 3- 37 Escenario de inundación del sin drenaje funcionando, con una menor intensidad afecta a una mayor área de a la colonia, se reduce el periodo de retorno, es decir la probabilidad de ocurrencia es alta

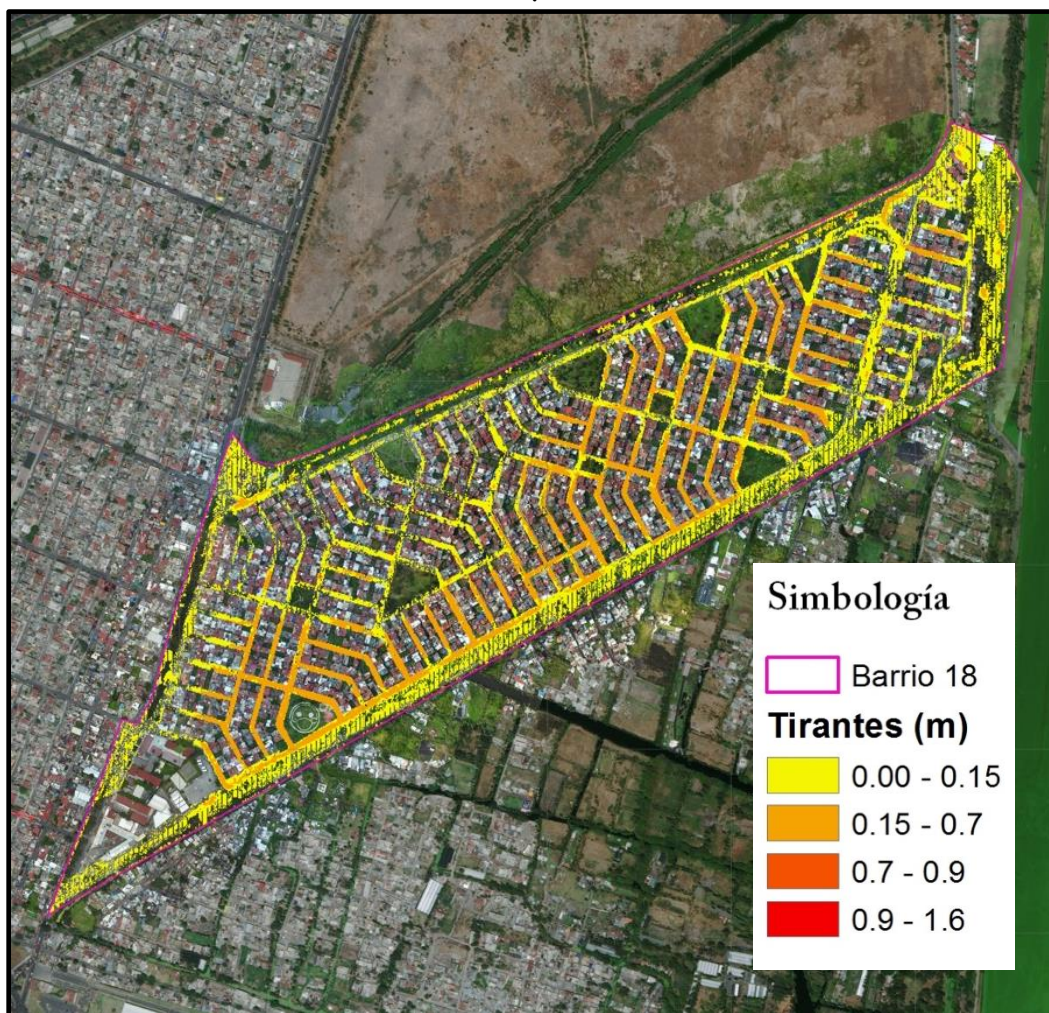


Figura 3- 38 Niveles de inundación. Podemos identificar las zonas que están más expuestas a inundaciones y hasta qué altura podría llegar el agua en las calles.

l) Colonia Luis Donaldo Colosio

La colonia Luis Donaldo Colosio, en el estado de Guerrero fue afectada por el paso del huracán *Manuel* en el año 2013. En ese evento la Secretaría de Comunicaciones y Transportes afirma daños en el Aeropuerto Internacional de Acapulco, en la Autopista del Sol, a cinco ejes carreteros a las redes federales libre de peaje y de caminos rurales. (El Universal, 2015)

Características de la colonia

- Área: 1.84 km²
- Perímetro: 5.87 km
- Población: 16,612
- Número de viviendas: 10,754
- Establecimientos de salud: 1
- Número de escuelas: 22
- Supermercados: 2
- Bancos: 3

Descripción de Procedimiento

Instalar estación base GPS y establecer puntos de control

Se establece en un punto una base GPS para obtener sus coordenadas exactas. La estación deberá tener una conexión con al menos cuatro satélites que permitirán corregir las coordenadas, y esto depende de la cercanía del punto más cercano a la Red Geodésica Nacional Activa del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). En este caso, el más próximo es el de Toluca, dos horas es el tiempo de corrección para que el error sea insignificante. Una vez teniendo el punto establecido con el mínimo error, se procede a realizar las lecturas de los puntos de control mediante el GPS Móvil.

Establecer los puntos de control con objeto de tener referencias en el procesamiento de la información recogida por el RPAS, lo que permitirá corregir errores de elevación y longitud. (Figuras 3- 39 y 3- 40).



Figura 3- 39 Los puntos de control se marcan con aerosol cuyos colores contrasten para que sean ubicados en las imágenes aéreas.



Figura 3- 40 Toma de lectura de los puntos de control.

Fotogrametría

Para realizar este levantamiento se utilizó un dron multirrotor con el que se programaron los polígonos, que cubrieron 146 hectáreas, (Figura 3- 41) de las cuales de obtuvieron 1,700 imágenes con siguientes datos.

- Altitud
- Longitud
- Altura

Fecha y hora



Figura 3- 41 Polígono de vuelos programados para obtener el ortomosaico.

Con lo anterior se puede realizar un proceso con ayuda del programa Pix4D, para obtener los productos antes mencionados para generar escenarios de inundación.

Productos obtenidos



Fotografía RPAS
3 cm por pixel

Imagen de Satélite
15 m por pixel

Figura 3- 42 Comparativa en la definición.



Figura 3- 43 Ortomosaico de la colonia Luis Donaldo Colosio.

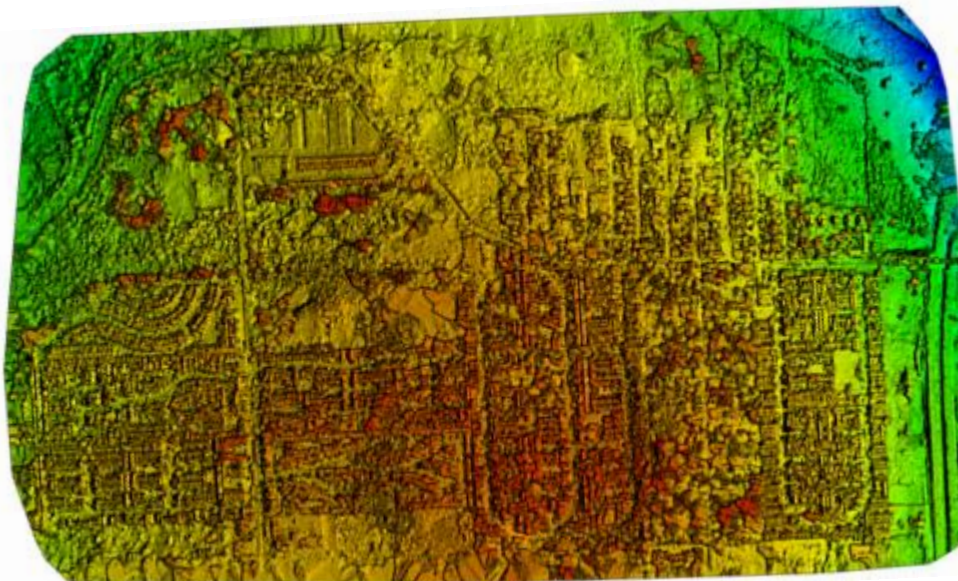


Figura 3- 44 Modelo Digital de Superficie de la colonia Luis Donaldo Colosio.

Escenario de inundación

Con el programa Iber se obtienen escenarios de inundación del área sobrevolada; sin embargo, no se profundizará en este proceso y sólo se presentarán los resultados y las condiciones para dicho escenario.

- El periodo de retorno es de 50 años
- La intensidad de lluvia es de 35.22 mm/h

La inundación es resultado del desbordamiento del río La Sabana 4.4 horas después de iniciarse la avenida, la inundación en la colonia Luis Donaldo Colosio comenzaría 6.33 horas después de que se desborde el río, con las elevaciones sobre el nivel del terreno con valores de 10 cm y 1 m en las zonas pobladas y en las no pobladas entre 3.22 m y 6.14 m.

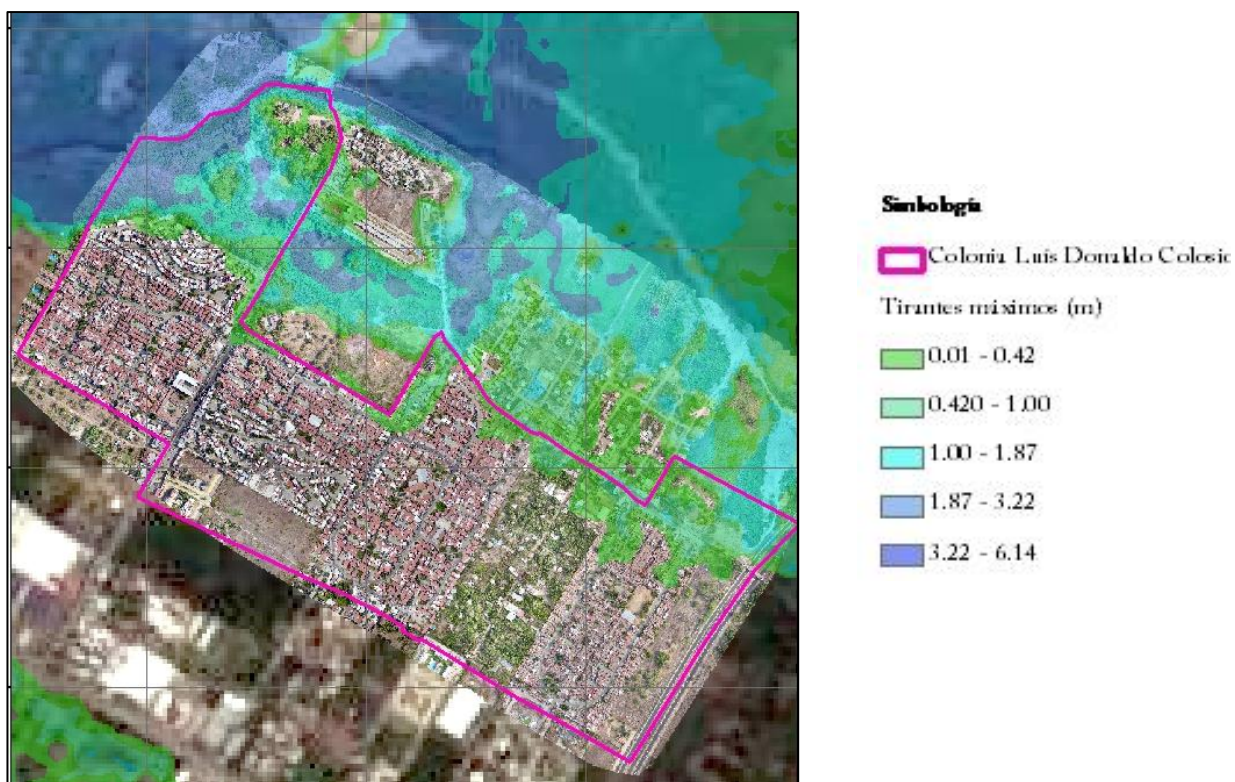


Figura 3- 45 Escenario de inundación en la colonia Luis Donaldo Colosio.

CAPÍTULO IV

GUÍA BÁSICA

Como se explicó los RPAS, pueden ser utilizados en las diferentes fases de la GIR, sin embargo, para hacer eficiente su uso se debe analizar la aplicación que se le va a dar para poder hacer una buena selección de la aeronave, hacer un plan de vuelo y consultar el clima de la zona de vuelo, son recomendaciones que se deben de tener presentes.

Selección de aeronave

Identificar las tareas esenciales de la unidad de protección civil, a continuación, describiré las ventajas y desventajas de las aeronaves multirrotor y de ala fija (Tablas 4- 1 y 4- 2).

Tabla 4 - 1 Ventajas e inconvenientes de los drones multirrotor.

Multirrotor	
Ventajas	Desventajas
Puede tomar videos horizontales	Menor tiempo de vuelo
Menor espacio para aterrizaje y despegue	Poca aerodinámica
Acceso a zonas estrechas	Mayor ruido
Vuelo estático	Menor área de cobertura

Tabla 4 - 2 Ventajas e inconvenientes de los drones de ala fija.

Ala fija	
Ventajas	Desventajas
Mayor tiempo de vuelo	Gran superficie de vuelo
Los vuelos cubren más superficie	Riel de lanzamiento
Estructura flexible	Sin vuelo estático
Silencioso	Espacio más grande para dar vuela

Como ya lo hemos mencionado antes el dron tendrá que contar con los siguientes componentes:

- Cámara
- GPS
- Sensores de proximidad
- Al menos dos baterías de repuesto
- Case rígido de traslado
- Mochila de traslado
- SD de 16 Gb clase 10
- Tablet de uso exclusivo para el vuelo

Accesorios

- Disco duro con al menos 4 Tb
- Tapete de despegue
- Filtros de luz
- Inversor de corriente
- Sombra para Tablet

Iniciación de aprendizaje

Los componentes meteorológicos son importantes en cada vuelo, no obstante, para la curva de aprendizaje es imprescindible hacerlo sin vientos fuertes. Al observar las hojas de los árboles se puede saber en qué dirección podría ser empujado el dron y chocar. Para esta variable es recomendable consultar en la de la aplicación “UAV Forecast for DJI Quadcopter & UAV Drone Pilots”. En la Figura 4- 1 podemos consultar las siguientes variables.

- Dirección de viento
- Velocidad de viento
- Probabilidad de lluvia
- Porcentaje de cobertura de nubes
- Visibilidad
- Temperatura
- Índice Kp



Figura 4 - 1 Además de indicarnos la lectura de diferentes variables para volar, hace una evaluación y nos indica si existen condiciones para un vuelo seguro y cuantos aeropuertos tenemos cerca.

Índice Kp

Esta variable es importante, pues indica las explosiones solares medidas por magnetómetros. La escala es del 0 al 9, si el índice es mayor de 4, es indicador de tormenta geomagnética (Tabla 4- 3), lo que puede interferir en las comunicaciones electromagnéticas; por ejemplo, la conexión radio-dron o con la constelación de los satélites. (Geofísica UNAM, 2019)

Tabla 4 - 3 Índice Kp.

Kp	NOAA	Estado
Kp = 0	Sin tormenta	Campo geomagnético inactivo
Kp = 1	Sin tormenta	Campo geomagnético muy tranquilo
Kp = 2	Sin tormenta	Campo geomagnético tranquilo
Kp = 3	Sin tormenta	Campo geomagnético intranquilo
Kp = 4	Sin tormenta	Campo geomagnético activo
Kp = 5	G1	Tormenta geomagnética menor
Kp = 6	G2	Tormenta geomagnética moderada
Kp = 7	G3	Tormenta geomagnética mayor o fuerte
Kp = 8	G4	Tormenta geomagnética severa
Kp = 9	G5	Tormenta geomagnética muy severa

La configuración modo aprendizaje o jaula virtual permitirá que el dron no se aleje más de 30 metros de distancia y 40 de altitud. El piloto en entrenamiento podrá tenerlo siempre en línea de vista y ganará confianza en sus movimientos.

El área de entrenamiento deberá de estar libre de personas para evitar lesiones en caso de que se pierda el control de la aeronave. Es recomendable que el área de despegue sea de 15 x 15 metros.

Verificar que la configuración del home point se realice. En la mayoría de los drones las coordenadas de este punto se establecen automáticamente cuando se conectan los satélites suficientes; la que se debe de establecer de manera manual es la altura que deberá de elevarse el dron, en el punto en el que se activa el regreso a casa. Esa altura podrá ser cero, pero se recomienda que sea al menos de 30 metros para evitar algún obstáculo en el trayecto.

Conocer la ubicación y altura de los vuelos comerciales es de vital importancia para evitar la colisión del dron en un vuelo tripulado. Para obtener esta información nos ayudaremos de aplicación “Flightradar24 Rastreador de vuelos Flight tracker” (Figura 4- 2). Es importante conservar el techo de máximo de 122 metros que se establece en la legislación vigente.

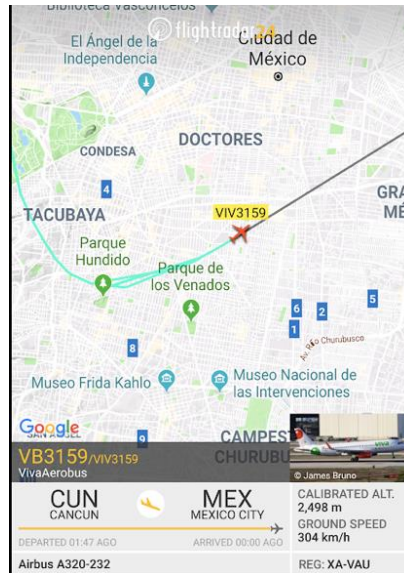


Figura 4 - 2 Flightradar24, Aplicación conocer la Altitud y ubicación de los vuelos comerciales.

a) Acciones que nunca se deben hacer

- **Volarlo sin leer las instrucciones**

Saber las funciones del radio control del dron permitirá un mejor control y en caso de una emergencia, como perdida de la señal o vientos fuertes, tendremos herramientas para recuperar la aeronave y evitar causar daños a las personas o a la infraestructura, en último caso, causar el menor daño posible.

- **Volar por debajo de 30% de la batería**

El software calculará continuamente el porcentaje de batería necesario para regresar al home point y comparará las coordenadas de despegue con las que el dron tiene en el vuelo. Este porcentaje necesario sólo contempla el traslado de un punto a otro, no contempla factores como el clima y el viento que obligarían a requerir mayor batería.

b) ¿Cómo hacer un vuelo seguro?

Para hacer un vuelo seguro, empezaremos por conocer la aeronave, cuáles de los componentes descritos en el capítulo I son con los que se cuenta, así como las configuraciones iniciales.

Configuraciones Básicas

- Configuración del home point (automático).
- Configuración de modo regreso a casa (altura de vuelo al regresar).
- Configuración de brújula e IMU (calibrar antes del vuelo).
- Configuraciones de sticks (configuración antes del vuelo).

Modos de vuelo

Modo P, o bien, posicionamiento hace uso de la conexión señal GPS. Según la cantidad de satélites conectados se definirá estos sub modos.

P-GPS: Satélites conectados = > 8 . La aeronave utiliza el GPS para el posicionamiento.

P-ATTI: Satélites conectados < 8 . La aeronave sólo utiliza el barómetro para mantener la altitud.

Modo A, es decir, actitud, no obstante, de poder tener más de ocho satélites conectados, la aeronave sólo utilizará el barómetro para mantener la altitud y de existir conexión con los suficientes satélites GPS podrá usar la función de retorno a casa

Modo F, también conocido como función, Este modo permite utilizar ciertos vuelos inteligentes, por ejemplo, seguir un objetivo, según la versión y modelo del dron puede seguir únicamente al radio control o un objetivo seleccionado.

Principales controles

Generalmente el radiocontrol cuenta con dos sticks (Figura 4- 3), para los cuales se les ha nombrado stick izquierdo, elevación y rotación, stick derecho, movimiento horizontal.

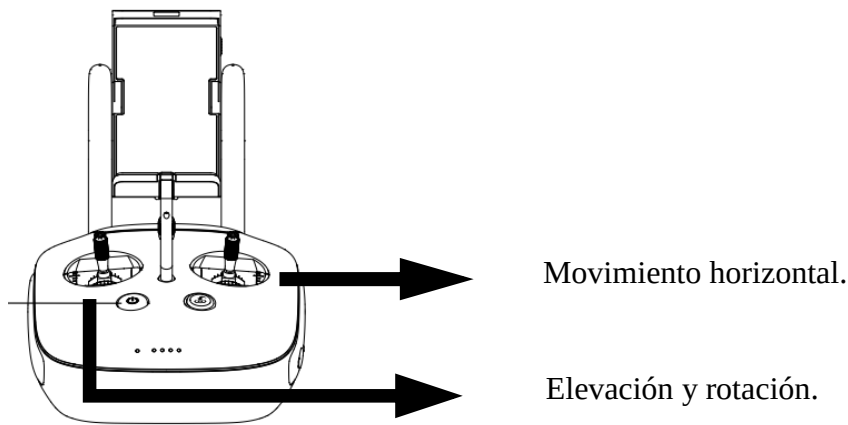


Figura 4 - 3 Movimientos básicos de radiocontrol.

Movimientos básicos

Es recomendable que en la curva de aprendizaje sólo se realice uno de estos movimientos a la vez, de manera suave y constante.

Elevación y descenso

Con el stick derecho elevación y rotación (Figura 4- 4), este movimiento no cambia a pesar de su orientación (Tabla 4.4), para hacer este movimiento.

Tabla 4 - 4 Movimiento arriba, abajo del dron.

Movimiento stick derecho.	Movimiento dron
Arriba	Elevación
Abajo	Descenso

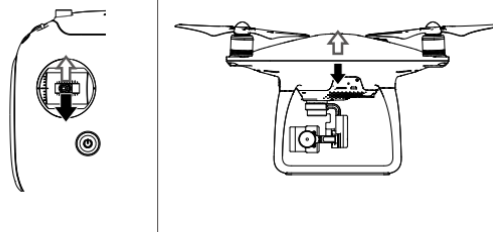


Figura 4 - 4 Movimiento de dron.

Rotación

El dron rotará respecto al su eje vertical (Figura 4- 5), en sentido horario o antihorario, no depende de la orientación del dron (Tabla 4- 5).

Tabla 4 - 5 Movimiento rotación del dron.

Movimiento stick derecho	Movimiento dron
Derecha	Horario
Izquierda	Antihorario

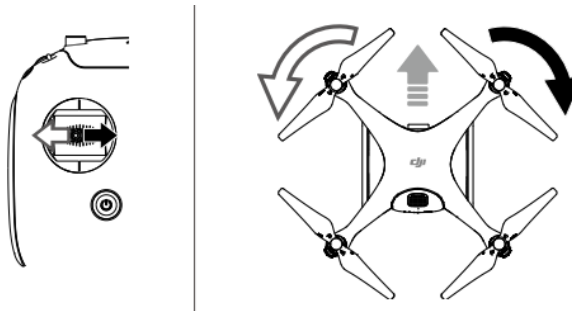


Figura 4 - 5 Rotación horaria, antihoraria de dron.

Adelante-atrás

Este movimiento depende de la orientación del frente del dron. (Figura y Tabla 4- 6).

Tabla 4 - 6 Movimiento adelante y atrás del dron.

Movimiento stick izquierdo	Movimiento dron
Arriba	Adelante
Abajo	Atrás

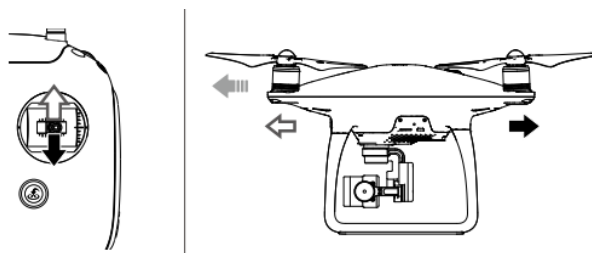


Figura 4 - 6 Movimiento hacia delante o atrás de dron.

Izquierda-derecha

Este movimiento también depende de la orientación del frente del dron (Figura y Tabla 4- 7).

Tabla 4 - 7 Movimiento hacia la izquierda, derecha del dron.

Movimiento stick	Movimiento dron
Derecha	Derecha
Izquierda	Izquierda

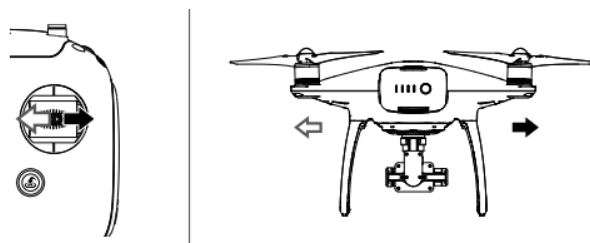


Figura 4 - 7 Movimiento hacia la izquierda, derecha de stick.

Movimiento de cámara

Esta acción permite inclinar la cámara con respecto al eje horizontal de la siguiente manera (Figura y Tabla 48).

Tabla 4 - 8 Movimiento hacia la izquierda, derecha de stick.

Movimiento stick	Movimiento dron
Derecha	Arriba
Izquierda	Abajo

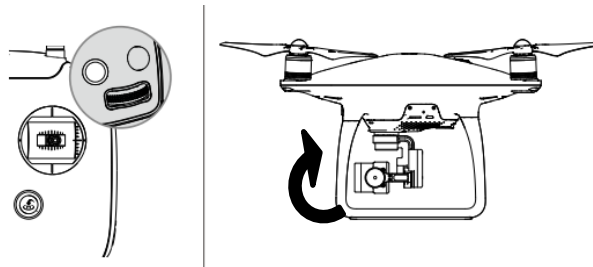
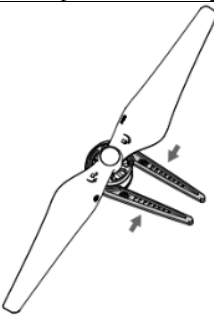


Figura 4 - 8 Movimiento hacia la arriba, abajo de cámara.

c) Procedimiento de vuelo

1. Procedimiento de Prevuelo

Actividad	Representación Grafica
Establecer un área con dimensiones de 3x3 metros mínimos y de ser posible acordonar el área.	 Figura 4 - 9 Espacio despejado y delimitado.
Ubicar el Dron en una superficie plana.	 Figura 4 - 10 Tapete de aterrizaje y despegue.
Instalar hélices, evitando al máximo el movimiento de motores.	 Figura 4 - 11 Instalación de hélices.

Actividad	Representación Grafica
• Verificar que esté insertada la tarjeta SD • Verificar que la(s) batería(s) a utilizar, tengan la suficiente carga para realizar el vuelo	 Figura 4 - 12 Inserta tarjeta SD en el dron para capturar imágenes en alta calidad.
• Quitar inmovilizador del gimbal. • Instalar la(s) batería(s).	 Figura 4 - 13 Remoción de inmovilizador.
• Encender iPad • Conectar iPad al radio control • Abrir aplicación DJI o PIX4D • En caso de tener plan de vuelo abrirlo o elaborarlo. • Encender radiocontrol • Encender dron • Verificar la rutina de inicio	 Figura 4 - 14 Radiocontrol encendido, conexión con el Dron.

2. Procedimientos de lanzamiento

Actividad	Representación Grafica
• Iniciar la app y verificar la conexión RPA-control remoto-iPad	 Figura 4 - 15 Interfaz de la app, se destaca es estado de conexión.

Actividad	Representación Grafica
Verificar que la SD esté detectada por iPad	 Figura 4 - 16 Interfaz de la app, se destaca estado de conexión y verificación de SD en el dron.
Verificar la calibración del IMU y compás	 Figura 4 - 17 Interfaz de la app, se destaca es estado de configuración de IMU y brújula.
Verificar conexión con al menos ocho satélites	 Figura 4 - 18 Interfaz de la app, se destaca el número de satélites conectados al dron.
- Comprobar punto de retorno - Verificar la dirección del viento con el anemómetro, se puede verificar con la vegetación. - Prender motores - Dejar funcionar los motores un minuto antes de realizar el vuelo vertical	 Figura 4 - 19 Interfaz con la app, se destaca mensaje punto de origen grabado.

Actividad	Representación Grafica
• Iniciar vuelo vertical a una altura mínima de 3 metros y así evitar que impacte con la base o los miembros de la base.	 Figura 4 - 20 Interfaz con la app, se destaca altura del dron.

3. Procedimientos durante el vuelo

Actividad	Representación Grafica
• Verificar intensidad de señal de conexión dron-control • Número de satélites conectados • Verificar los porcentajes de batería del RPA y control • Verificar altura de vuelos comerciales en el perímetro de vuelo • Captura de app de vuelo	 Figura 4 - 21 Interfaz con la app, se destacan intensidad de señal, satélites conectados, porcentaje de baterías.

4. Procedimiento de aterrizaje/recuperación

Actividad	Representación Grafica
• Verificar dirección del viento • Aproximar el RPA a la superficie plana preestablecida	 Figura 4 - 22 Interfaz con la app, se destacan distancia horizontal.

• Descender a velocidad suave y constante hasta estar en una superficie firme • Apagar motores • Verificar que se haya terminado de guardar la información. • Apagar dron	 Figura 4 - 23 Interfaz con la app, se destacan porcentaje de batería.
--	---

5. Procedimientos después del vuelo

Actividad	Representación Grafica
• Colocar inmovilizador de gimbal • Inspeccionar estructura del dron y hélices • Llenar libro de bitácora	 Figura 4 - 24 Interfaz con la app, se destacan distancia horizontal.
• Quitar memoria sd, poner memoria sd en pc. • Copiar la información almacenada en la sd en carpeta de pc.	 Figura 4 - 25 Respaldo de información.
• Vaciar memoria sd y formatear • Quitar memoria sd de pc • Insertar en dron	 Figura 4 - 26 Instalar en dron para su próximo uso.

			Fecha	/	/
Marca y modelo de la aeronave	DJI PHANTOM 4 PRO	Número de serie de la aeronave pilotada a distancia			

· LIBRO DE BITÁCORA DE VUELO

Registro de los parámetros operacionales, irregularidades o incidentes en la operación

Nombre completo del piloto del RPAS	
Nombre completo del observador del RPAS (si aplica)	
Altura y tipo de vuelo	
Tipo de operación	

Lugar de salida		Hora de salida	
Lugar de llegada		Hora de salida	
Número del defecto o falla			

Notas

Firma del piloto al mando de la aeronave	
--	--

			Fecha	/	/
Marca y modelo de la aeronave	DJI PHANTOM 4 PRO	Número de serie de la aeronave pilotada a distancia			

LIBRO DE BITÁCORA DE MANTENIMIENTO

Registro de mantenimiento

Número del defecto o falla					
Defectos o fallas de componentes/partes o sistemas de la aeronave					
Nombre y firma del piloto del RPAS que registra					
Nombre y firma del personal de mantenimiento					
Fecha de registro del defecto o falla			Fecha de mantenimiento		

■ Acciones de mantenimiento

Inspecciones realizadas:
Servicios de mantenimiento programado:
Tareas diferidas de acuerdo a la Lista de Equipo Mínimo (si aplica):

■ Relación de componentes/partes removidos e instalados.

Nombre de la unidad			
Número de parte		Número de serie (si aplica):	

CONCLUSIONES

El desarrollo de las aeronaves no tripuladas se dio en el contexto de la guerra, paradójicamente su objetivo fue la salvar vidas, pero en específico de los pilotos experimentados, cumpliendo la encomienda principal de hacer el mayor daño posible al enemigo, ocasionando un gran número de víctimas.

La reducción de costos, conservación de la vida de sus mejores pilotos y el aumento de objetivos acertados, motivó el desarrollo de nuevas aplicaciones de los drones en operaciones bélicas como reconocimiento del terreno, operaciones encubiertas, señuelos, vigilancia nocturna. Cuando los drones pasaron al uso civil, el costo de adquisición fue bastante alto, con la adaptación de una tarjeta Arduino como controladora de vuelo, el Mexicano Jordi Muñoz, bajó considerablemente los costos, lo que permitió mejorar los componentes y desarrollar otros.

Al igual que en la guerra, diferentes sectores civiles utilizaron esta herramienta para economizar gastos y reducir tiempos, ejemplo de estos sectores son la agricultura, cinematografía, vigilancia fronteriza, energéticos, preservación del medio ambiente, industria del espectáculo, entre otros.

La expansión del uso de estos desarrollos hizo que la dirección de la Agencia Federal de Aviación Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes emitiera la NOM-107-SCT3-2019, que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano, esta norma es la evolución de lo que anteriormente fue la Circular Obligatoria CO AV-23/10 y la CO AV-58/19 para realizar vuelos seguros y en específico esta última en caso de emergencia o desastre, la desventaja de estas es que legalmente no eran de carácter oficial, porque carece de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. No obstante, la Fracción XVII en el artículo 88 de la Ley de Aeronáutica Civil, penaliza a los pilotos que se nieguen a participar en las operaciones de búsqueda o salvamento.

Una de las razones por las que los drones son una herramienta para la GIR es que se pueden obtener los siguientes productos.

- Fotografías Aéreas
- Videos Aéreos
- Modelos Digitales de superficie
- Modelos Digital del terreno
- Modelos Digitales de elevación
- Modelo 3D

Considero que no existen drones mejores o peores, el desempeño del dron será tan optimo si en la selección se considera en qué etapa de la Gestión Integral del Riesgo se va a ocupar. Si lo que se requiere son acciones preventivas, es recomendable utilizar un dron de ala fija, en cambio sí se ocupa en misiones de intervención, un dron multirrotor es lo más conveniente, sí el equipo que va a operar el dron requiere de misiones de intervención como preventivas, el multirrotor es la opción por elegir, es importante mencionar que la pericia del piloto influye en el desempeño del dron. Las ventajas del uso de esta tecnología en las diferentes etapas de la GIR son las siguientes.

- 1) Reducción de tiempo en obtención de datos. Una manera de obtener estas imágenes aéreas son vía satelital, lo que requiere tiempo de procesamiento y un alto costo económico, además que la resolución de las tomas están en función de la nubosidad existente en el área, tomarlas desde un vuelo tripulado se tiene que planear con antelación el plan de vuelo, en cambio con los drones el plan de vuelo puede hacerse en el sitio, tal fue el caso de los sismos ocurridos en septiembre del año 2017 tanto en la Ciudad de Juchitán, como en la Ciudad de México.
- 2) Menor superficie de aterrizaje y despegue. Para un vuelo tripulado se requieren zonas específicas y debidamente registradas para realizar estas maniobras lo que implicaría un costo de traslado en función de la distancia recorrida en el caso de los drones, las zonas para estas maniobras no requieren registro por lo que pueden elegirse durante la planeación de la misión y si fuese necesario hacer un cambio se puede hacer en el sitio, tal fue el caso de los sobre vuelos en el colapso del edificio en Álvaro obregón 256, en donde se realizaban sobrevuelos periódicos para mostrar a los familiares el avance de las maniobras de rescate y también establecer puntos de referencia que verificaba el dron, para determinar la estabilidad de la estructura en las labores de rescate.
- 3) Pueden acceder a lugares pequeños. Los desarrollos de la tecnología permiten acceder a espacios confinados sin poner en riesgo la vida de los socorristas.

- 4) Bajo costo de mantenimiento, mientras que para una aeronave tripulada requiere un mantenimiento complejo, para los drones requieren de una inspección visual calibrar sensores, detección de obstáculos, brújula, motores, estado de las hélices.
- 5) Costo de operación y capacitación. Mientras que para un vuelo tripulado el costo por 140 hectáreas es de \$ 122,060 pesos para esa misma área de cobertura el costo con un dron sería de \$ 9,967 pesos.

Existe una diferencia sustancial en la forma de obtener mediciones y estudios en la siguiente Tabla se explica la diferencia de realizar las tareas en cada una de las etapas de la Gestión Integral del Riesgo.

Tabla 5- 1 Comparativa de uso de RPAS en la GIR

Etapas de la GIR	Sin RPAS	Con RPAS
Identificación	Diferentes instrumentos de medición, por lo que se requiere personal capacitado en cada uno de ellos. • Estación total • Estación GPS de alta precisión • Fotogrametría con vuelo tripulado	Único instrumento en el que está integrado. • GPS • Cámara fotográfica
Previsión	Diferentes instrumentos de monitoreo de riesgos geológicos de lento desplazamiento. • Distanciómetros • Extensómetro	Con la obtención periódica de productos obtenidos con un Dron, se puede realizar el monitoreo de hundimiento regional, desplazamiento del terreno.
Prevención	Generar los productos que nos permitan realizar escenarios de inundación, identificación de vegetación sana y/o monitoreo de algunos fenómenos, resulta ser un gasto oneroso e implica mayor tiempo de planeación.	Generar los productos que nos permitan realizar escenarios de inundación, identificación de vegetación sana y/o monitoreo de algunos fenómenos, resulta ser un gasto significativo y con un tiempo menor de planeación lo que nos permite realizar mayores muestreos.
Mitigación	Se prescinde de modelos digitales de superficies que permitan hacer diseños resistentes para futuros riesgos, puesto que los insumos se obtienen de vuelos tripulados y resultan caros.	Al tener un costo bajo, se obtienen modelos digitales de superficie y de terreno, lo que permite hacer eficiente los costos de obras de remediación.

Etapas de la GIR	Sin RPAS	Con RPAS
Preparación	Evaluación de ejercicios de simulacros, con personal de tierra lo que no permitiría ver detalles de movimientos por el ángulo de visión.	Evaluar ejercicios de simulacros con una vista aérea lo que permite ver a detalle los movimientos de los rescatistas y no solo realizar análisis durante el ejercicio también se podrá realizar posterior a él.
Auxilio	Identificación de riesgos y peligros para los rescatistas resulta ser lenta, imprecisa y expone la integridad de personas.	Identificación de riesgos y peligros para los rescatistas durante sus maniobras de manera rápida sin exponer la vida del personal experimentado.
Recuperación	Para la habilitación de instalaciones estratégicas los especialistas deben trasladarse hasta el lugar para hacer una inspección periférica para descartar riesgos.	Los especialistas no necesitan acudir a los lugares para hacer la inspección, pueden recibir imágenes aéreas de los inmuebles para descartar riesgos y solo acudir a los que generan incertidumbre.
Reconstrucción	Los costos altos para la obtención de modelos que permitan la identificación de menor riesgo, por ser con un vuelo tripulado.	Los costos bajos para la obtención de modelos que permitan la identificación de menor riesgo, por ser con un no vuelo tripulado.

Uno de los retos que presenta esta tecnología para la Protección Civil en México es, el monitoreo del Volcán Popocatepetl. Es un reto porque en México es el volcán más activo con una población expuesta de 8 mil personas y colinda con tres estados, Puebla, Estado de México, y Morelos, por lo cual es el más monitoreado y tiene un reporte diario para saber el estado en el que se encuentra, para ello mucho ayudaría tener imágenes del cráter después de actividad importante con el fin de tener información sobre la formación o destrucción del domo y el volumen del mismo. No sólo el Popocatepetl es un reto, la gran diversidad de fenómenos de origen natural y antropogénico, a lo largo de un País tan grande y complejo, requeriría que cada Municipio tuviera un grupo de pilotos y de drones con las capacidades preventivas y reactivas.

Tabla 5- 2 Costo de RPAS para los 2,458 municipios.

Dron y características	Costo	Costo total para los 2,458 municipios
Mavic 2 pro zoom • GPS • Cámara • 12 megapíxeles, Video 4k • Maleta transportadora • 3 baterías, cargador y cargador para vehículo • Hélices de repuesto • Capacitación	\$50,000	\$122'900,000

Por lo anterior se demostró que el uso de los Sistemas de Aeronaves Piloteadas a Distancia en la Gestión Integral del Riesgo es transversal en sus diferentes etapas, por lo que se convierte una herramienta importante e indispensable para que los equipos de protección civil municipal, estatal y federal transiten a la GIR.

BIBLIOGRAFÍA

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2014). *Reglamento de la ley de aviación civil*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2017). *Ley General de Protección Civil*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2018). *Ley de Aviación Civil*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2018). *Ley Orgánica de la Administración Pública Federal*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- Chang, R. (2002). *Química*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana Editores. S.A. de C.V.
- Coral, E. (2015). *Generación de Modelos de Elevación Digital a partir de imágenes obtenidas desde vehículos aéreos no tripulados(UAVs)*. Bogotá. D.C.: Pontifica Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería.
- Cultura Colectiva. (24 de junio de 2018). *CC Historia*. Obtenido de <https://culturacolectiva.com/historia/10-inventos-militares-que-hoy-son-de-uso-cotidiano/>
- Dávalos, P. (2018). *Aerofotogrametría Inteligente*. Perú: Aerofotogrametría Inteligente AFI.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. (2017). *Circular Obligatoria CO AV 10/23*. Ciudad de México.
- El Universal. (16 de 09 de 2015). *El universal*. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2015/09/16/realiza-sct-recuento-de-danos-por-ingrid-y-manuel-sobre-guerrero>
- Elorza López, N. (2016). *Diseño y desarrollo sustentable de un FRAME de Carrizo (Arundo Donax) para un Drone cuadricoptero*. Nezahualcóyotl, Estado de México.: Universidad Nacional Autónoma de México .
- Field, K. (2018). *Cartography*. California, United States of America: esri PRESS.
- Geofísica UNAM. (04 de 11 de 2019). *Escalas NOAA de Clima Espacial*. Obtenido de Escalas NOAA de Clima Espacial: <http://www.sciesmex.unam.mx/significado-de-avisos/>
- Gutiérrez, F. G., & Gutiérrez, Á. G. (2016). *Sistemas de aeronaves de turbina*. Valencia: NoBooks.
- Jordan, J., & Baqués, J. (2014). *Guerra de Drones*. Madrid: Biblioteca nueva S.I.
- Oppenheimer, A. (2014). *¡Crear o Morir!. La esperanza de América Latina y las cinco claves de la Innovación*. Bogota, Colombia : Penguin Random House grupo editorial S.A.S.

Posadas, G. D., & Villegas, F. V. (2016). *Generación de Modelos Digitales de Elevación de alta resolución empleando UAV, caso de estudio Barranca el Zaguán, Nevado de Toluca*. Estado de México : Universidad Autónoma del Estado de México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2009). *Reglamento Interno de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Sevilla, U. d. (13 de 04 de 2015). *Wiki, Departamendo de Fisica aplicada*. Recuperado el 02 de 08 de 2018, de http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto

Stratfor. (27 de marzo de 2007). <https://worldview.stratfor.com/>. Recuperado el 11 de 11 de 2018, de <https://worldview.stratfor.com/article/bams-role-furthering-us-naval-dominance>

Velarde, S. C. (2017). *Los Dornes y su legislación en México* . Ciudad de México: Tirant lo blanch.

Vergara Merino, R. (2016). *Piloto de dron (RPAS)*. Madrid, España: Paraninfo.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 0- 1 GRÁFICA PHANTOM COSTO VS ALCANCE.....	11
FIGURA 1- 1 MODELO LIBERTY EAGLE AERIAL TORPEDO, PESO 81 KG, 65 KM DE ALCANCE. TIEMPO DE VUELO SEGÚN LA CANTIDAD DE COMBUSTIBLE.	15
FIGURA 1- 2 MODELO V-1, UTILIZABA UNA PLATAFORMA FIJA PARA SU LANZAMIENTO, DESTRUYO 1 150 000 CASAS SIN TENER BAJAS DE TRIPULACIÓN.	16
FIGURA 1- 3 TDR-1 FUE UNA AERONAVE NO TRIPULADA QUE SE CONTROLABA DESDE UN VUELO TRIPULADO. 16	
FIGURA 1- 4 RP-71 FALCONER, PRIMER AERONAVE NO TRIPULADA PARA REALIZAR RECONOCIMIENTO DEL TERNO, ESTE MODELO DEJA DE SER UNA AERONAVE DE UN SOLO VUELO.....	17
FIGURA 1- 5 AERONAVE NORTEAMERICANA TRIPULADA, PARA HACER RECONOCIMIENTO DEL TERRENO, FUE DERRIBADA POR LOS SOVIÉTICOS, LO QUE OCASIONÓ UN COSTO POLÍTICO.	17
FIGURA 1- 6 147-LIGHTNING-BUG, AERONAVE NORTEAMERICANA NO TRIPULADA PARA RECONOCER EL TERRENO FUE DERRIBADA POR LOS CHINOS.	18
FIGURA 1- 7 LIGHTNING BUG 147-J, AERONAVE NO TRIPULADA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO, VERSIÓN MEJORADA DEL 147-LIGHTNING-BUG, AUMENTÓ SU RESOLUCIÓN Y NO DEPENDÍA DE LA NUBOSIDAD.	18
FIGURA 1- 8 HQ-50 FUE LA PRIMERA AERONAVE NO TRIPULADA DE ALA ROTATORIA, FUE EQUIPADA CON LANZAGRANADAS, METRALLETAS, MODIFICACIONES MECÁNICAS, QUE LE OCASIONARON FALLAS EN EL VUELO.	19
FIGURA 1- 9 D-21 AERONAVE NO TRIPULADA ULTRASÓNICA SE UTILIZABA PARA VUELOS DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO, TODAS SUS MISIONES FRACASARON.....	19
FIGURA 1- 10 RQ-4A GLOBAL GAWK AERONAVE NO TRIPULADA CON AUTONOMÍA DE VUELO Y UN ALCANCE DE 16 000 KM.	20
FIGURA 1- 11 MODELO TRIDIMENSIONAL DE UN AIRBUS, SE ANALIZA LA CONTINUIDAD DE LA ESTRUCTURA DEL FUSELAJE DE LA AERONAVE TRIPULADA.	21
FIGURA 1- 12 HAWKS, DRON DE RESCATE EN LOS ALPES ITALIANOS QUE PERMITE CONTINUAR LA BÚSQUEDA AUN CON MAL TIEMPO.	22
FIGURA 1- 13 DRON ELIOS, DISEÑADO PARA BÚSQUEDA Y RESCATE.	22
FIGURA 1- 14 ETAPAS DE MOTOR A REACCIÓN.	26
FIGURA 1- 16 ANTENA CON AMPLIFICADO Y ACOPLAMIENTO DE IMPEDANCIAS, COSTO \$ 1, 700 MXN.....	29
FIGURA 1- 16 ARREGLO DE ANTENAS PARA SIN ACOPLAMIENTO, \$ 950 MXN.....	29
FIGURA 1- 17 RADIO CONTROL CON ARREGLO DE ANTENAS MONOPOLO SIN ACOPLAMIENTO INSTALADO.	30
FIGURA 1- 18 CONEXIÓN EN PARALELO DE DOS BATERÍAS IDÉNTICAS.....	30
FIGURA 1- 19 CONEXIÓN EN SERIE DE DOS BATERÍAS IDÉNTICAS.	31
FIGURA 1- 20 DRON DE ALA FIJA, TIENE AL MENOS UN ROTOR COLOCADO DE MANERA VERTICAL.....	36
FIGURA 1- 21 DRON MULTIRROTOR, TIENE LOS ROTORES DE MANERA HORIZONTAL.....	36
FIGURA 1- 22 EN ESTA FIGURA SE OBSERVA QUE EL GIRO DE LAS HÉLICES SE ALTERNA EN SENTIDO HORARIO Y ANTIHORARIO.	36
FIGURA 1- 23 CONFIGURACIÓN DE MOTORES EN DRONES DE MÁS DE CUATRO ROTORES.....	37
FIGURA 1- 24 CONTROLADORES PARA MOVIMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL.	37
FIGURA 1- 25 MOVIMIENTO HORIZONTAL DE ROTORES CONFIGURACIÓN EN X.	38
FIGURA 1- 26 MOVIMIENTO HORIZONTAL DE ROTORES CONFIGURACIÓN EN X.	38
FIGURA 1- 27 ROTACIÓN HORARIA Y ANTI HORARIA.	39
FIGURA 1- 28 FUERZAS ACTUANTES.....	40
FIGURA 1- 29 ASCENSO DE DRON DE ALA FIJA. SE PUEDE OBSERVAR QUE REQUIERE UN DISEÑO AERODINÁMICO PARA HACER EL EQUILIBRIO DE FUERZAS.	41
FIGURA 1- 30 ALABEO O CABECEO DE DRON MULTIRROTOR PARA REALIZAR MOVIMIENTOS HORIZONTALES, ES DECIR, EL COMPONENTE HORIZONTAL DE LA SUSTENTACIÓN.	41

FIGURA 3- 1 NUBE DE PUNTOS DEL CENAPRED. RECONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS. PARA MEJORAR LA CALIDAD Y DEFINICIÓN ES MARCA CON POLÍGONOS LOS EDIFICIOS Y VEGETACIÓN, ES DECIR, SEGMENTAR LA NUBE DE PUNTOS.	60
FIGURA 3- 2 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS) DEL CENAPRED. LAS PARTES DE COLOR ROJO SON LAS DE MAYOR ALTITUD; LAS PARTES BAJAS SON DE COLOR VERDE Y EN EL CENTRO OBSERVAMOS FORMAS GEOMÉTRICAS MUY DELIMITADAS DE COLOR ROJO QUE CORRESPONDEN A LA REPRESENTACIÓN DEL EDIFICIO.	61
FIGURA 3- 3 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) DEL CENAPRED. SE MANTIENE LA MISMA PALETA DE COLORES Y PODEMOS APRECIAR LAS FORMAS GEOMÉTRICAS DEL CENTRO QUE FUERON ELIMINADAS, LOS PEQUEÑOS BULTOS AMARILLOS FORMADOS TAMBIÉN FUERON BORRADOS Y REPRESENTABAN A LOS VEHÍCULOS.	61
FIGURA 3- 4 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) DEL VOLCÁN DE FUEGO DE COLIMA.	62
FIGURA 3- 5 ORTOMOSAICO DEL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED).	63
FIGURA 3- 6 DELO 3D DEL CERRO DEL TEPOZTECO, A LA IZQUIERDA SE PUEDE OBSERVAR LA ZONA ARQUEOLÓGICA DEL TEPOZTECO (1); EN MEDIO SE OBSERVA EL BLOQUE DE ROCAS “LOS GEMELOS” (2), QUE ESTÁN EN RIESGO DE CAÍDA DERIVADO DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017, LO QUE REPRESENTA UN RIESGO PARA LOS VISITANTES, YA QUE SE ENCUENTRA EN EL CAMINO PARA LLEGAR A LA ZONA ARQUEOLÓGICA.	64
FIGURA 3- 7 CONTEO DE VIVIENDAS AFECTADAS 21 EN TOTAL.	66
FIGURA 3- 8 IDENTIFICACIÓN DE ÁREA DE RIESGO.	66
FIGURA 3- 9 ALTURA DE TALUD Y PARED PERIMETRAL.	66
FIGURA 3- 10 ALTURA DE TALUD.	66
FIGURA 3- 11 MINA DE MÁRMOL EN DENGANTZHA, MUNICIPIO DE MIXQUIAHUALA DE JUÁREZ, HIDALGO. SE IDENTIFICÓ UNA GRIETA EN LA PARED NORTE DE LA MINA (1) JUSTO POR ENCIMA DE LAS MANIOBRAS DE RESCATE (2). SE INFORMÓ AL COMANDANTE DE OPERACIONES DE SOCORRO.	67
FIGURA 3- 12 SOBREVUELO EN LA BASÍLICA DE GUADALUPE, EL 11 Y 12 DE DICIEMBRE. SE IDENTIFICAN ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO (1) Y CORTES EN EL FLUJO DE PERSONAS (2).	68
FIGURA 3- 13 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE DEL RÍO MIXCOAC.	70
FIGURA 3- 14 DOCUMENTAR EJERCICIO DE RESCATE EN INUNDACIÓN, QUE PERMITE EL ANÁLISIS POSTERIOR PARA BUSCAR MEJORAR EL TIEMPO DE RESPUESTA Y EN SITIO IDENTIFICAR RIESGOS EN EL ENTORNO.	71
FIGURA 3- 15 EVACUACIÓN DE ANIMALES DE TRASPATIO, DERIVADO DE LOS RIESGOS PRODUCIDOS POR LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL. SE TRASLADAN AL REFUGIO TEMPORAL.	72
FIGURA 3- 16 REFUGIO DE ANIMALES DE TRASPATIO PREVIAMENTE IDENTIFICADOS, SIN INCLUIR ANIMALES ENFERMOS, LOS CUALES PERMANECERÁN EN EL REFUGIO TEMPORAL DE ANIMALES HASTA QUE RIESGO DISMINUYA PARA LA POBLACIÓN Y ANIMALES.	72
FIGURA 3- 17 MEDIDA DEL CAUCE.	73
FIGURA 3- 18 EN ESTA FIGURA SE PUEDE OBSERVAR UN PUENTE PARA CRUZAR EL RÍO, SUS DIMENSIONES SON DE 80 M. TAMBIÉN SE PUEDE NOTAR EL ASOLVAMIENTO DEL RÍO. LA POBLACIÓN CERCANA AL RÍO CUBRE 200 M DE SU MARGEN Y EN CASO DE UN DESBORDAMIENTO SERÍAN LOS PRIMEROS AFECTADOS.	74
FIGURA 3- 19 ESCENARIO DE INUNDACIÓN CON OBRAS DE MITIGACIÓN. EN ESTE CASO SE DETERMINÓ SIMULAR UN DIQUE EN LA ZONA DE FALLA DEL RÍO PARA CONTENER EL AGUA DE LA AVENIDA DEL RÍO. SE PUEDE APRECIAR QUE EL ÁREA AFECTADA SE REDUJO CONSIDERABLEMENTE.	74
FIGURA 3- 20 ESCENARIO DE INUNDACIÓN SIN OBRAS DE MITIGACIÓN DESPUÉS DE HABER OBTENIDO EL MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE, SE TIENEN ELEMENTOS PARA REALIZAR ESTE TIPO DE ESCENARIOS EN LOS CUALES SE PUEDEN IDENTIFICAR LAS ZONAS DE FALLA EN EL RÍO Y DETERMINAR EL ÁREA AFECTADA, ASÍ COMO LA ALTURA DEL TIRANTE DE INUNDACIÓN.	74
FIGURA 3- 21 VIVIENDA COLAPSADA EN JUCHITÁN, OAXACA. SE OBSERVA PESO MUERTO (1) DEL LADO DEL COLAPSO Y UN TANQUE DE GAS LP (2) EN LA CASA DE ATRÁS.	76

FIGURA 3- 22 DAÑOS EN EL PALACIO MUNICIPAL DE JUCHITÁN, OAXACA. SE OBSERVAN DOS TANQUES DE GAS EN LA ORILLA DE LA ESTRUCTURA SIN COLAPSO (1). ESCOMBROS DE LA FACHADA CAÍDA EN LA MARQUESINA, QUE PUDIERAN CAER EN EL CASO DE UNA RÉPLICA.	76
FIGURA 3- 23 FOTOGRAFÍA A NIVEL DE PISO DE UN EDIFICIO COLAPSADO EN JUCHITÁN, OAXACA. SÓLO PODEMOS VISUALIZAR EL RIESGO QUE REPRESENTAN LOS CABLES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA (1).	77
FIGURA 3- 24 IMAGEN AÉREA DE UN EDIFICIO COLAPSADO EN JUCHITÁN, OAXACA. PODEMOS OBSERVAR CARGA MUERTA EN LA AZOTEA (1) Y SE DESCARTA LA EXISTENCIA DE TANQUES DE GAS LP EN EL MISMO Y EN SU VECINDAD.	77
FIGURA 3- 25 VISTA DE LA FACHADA QUE TENÍAN LOS FAMILIARES DE LAS VÍCTIMAS, SIN PODER OBSERVAR EL ÁREA DE TRABAJOS DE RESCATE.	78
FIGURA 3- 26 PARTE TRASERA EN DONDE SE REALIZARON LOS TRABAJOS DE RESCATE DE VÍCTIMAS.	78
FIGURA 3- 27 MERCADO DE LA COMUNIDAD MATÍAS ROMERO, OAXACA. SE DESCARTÓ DAÑO EN EL TECHO DE LÁMINA (1), ESTRUCTURAS COLAPSADAS EN LA PERIFERIA DEL MERCADO (2). CON UNA ADECUADA SEÑALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE UN PERÍMETRO DE ACERCAMIENTO NO REPRESENTA PELIGRO PARA LOS COMPRADORES.	79
FIGURA 3- 28 CENTRO ESCOLAR, JUCHITÁN, OAXACA, 10/09/2017, PRESENTA DAÑOS ESTRUCTURALES A CAUSA DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017, QUEDA INHABILITADO PARA SU USO HASTA SU REHABILITACIÓN.	80
FIGURA 3- 29 CENTRO ESCOLAR, JUCHITÁN, OAXACA 22/03/2018, FUE RECONSTRUIDO POR EL EJÉRCITO MEXICANO PARA RECUPERAR EL ESPACIO Y CONTINUAR CON LAS ACTIVIDADES NORMALES.	81
FIGURA 3- 30 LA NUEVA PINTADA, GUERREO, SE PUEDEN DISTINGUIR LAS OBRAS DE MITIGACIÓN EN LA LADERA AFECTADA, CONTENCIÓN DE MASA CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO (1). SE PLANTÓ VEGETACIÓN (2) CON EL FIN DE ABSORBER LA HUMEDAD DE LA TIERRA Y LAS VIVIENDAS FUERON REUBICADA (3).	82
FIGURA 3- 31 UBICACIÓN DE PUNTOS DE APOYO EN EL CENAPRED.	91
FIGURA 3- 32 PLAN DE VUELO EN EL RÍO MIXCOAC, 140 HECTÁREAS, 517 IMÁGENES AÉREAS.	92
FIGURA 3- 33 ORTOMOSAICO DE LA COLONIA BARRIO 18, ALCALDÍA XOCHIMILCO.	93
FIGURA 3- 34 COMPARATIVA EN LA DEFINICIÓN.	93
FIGURA 3- 35 MODELO DE DIGITAL DE SUPERFICIE DE LA COLONIA BARRIO 18, ALCALDÍA XOCHIMILCO. PODEMOS IDENTIFICAR QUE LAS ZONAS MÁS BAJAS SON DE 2,219.35 METROS Y LA MÁS ALTA ES DE 2,231.80 METROS, LO QUE DA UN DIFERENCIAL DE 12.45 METROS.	94
FIGURA 3- 36 ESCENARIO DE INUNDACIÓN CON EL DRENAJE FUNCIONANDO. PODEMOS IDENTIFICAR QUE, A MAYOR INTENSIDAD, MAYOR ÁREA DE AFECTACIÓN Y MAYOR PERIODO DE RETORNO, LO QUE SIGNIFICA UNA PROBABILIDAD MENOR DE QUE OCURRA UN EVENTO DE ESTA MAGNITUD.	95
FIGURA 3- 37 ESCENARIO DE INUNDACIÓN DEL SIN DRENAJE FUNCIONANDO, CON UNA MENOR INTENSIDAD AFECTA A UNA MAYOR ÁREA DE A LA COLONIA, SE REDUCE EL PERIODO DE RETORNO, ES DECIR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA ES ALTA.	96
FIGURA 3- 38 NIVELES DE INUNDACIÓN. PODEMOS IDENTIFICAR LAS ZONAS QUE ESTÁN MÁS EXPUESTAS A INUNDACIONES Y HASTA QUÉ ALTURA PODRÍA LLEGAR EL AGUA EN LAS CALLES.	97
FIGURA 3- 39 LOS PUNTOS DE CONTROL SE MARCAN CON AEROSOL CUYOS COLORES CONTRASTEN PARA QUE SEAN UBICADOS EN LAS IMÁGENES AÉREAS.	99
FIGURA 3- 40 TOMA DE LECTURA DE LOS PUNTOS DE CONTROL.	99
FIGURA 3- 41 POLÍGONO DE VUELOS PROGRAMADOS PARA OBTENER EL ORTOMOSAICO.	100
FIGURA 3- 42 COMPARATIVA EN LA DEFINICIÓN.	100
FIGURA 3- 43 ORTOMOSAICO DE LA COLONIA LUIS DONALDO COLOSIO.	101
FIGURA 3- 44 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE DE LA COLONIA LUIS DONALDO COLOSIO.	101
FIGURA 3- 45 ESCENARIO DE INUNDACIÓN EN LA COLONIA LUIS DONALDO COLOSIO.	102

FIGURA 4 - 1 ADEMÁS DE INDICARNOS LA LECTURA DE DIFERENTES VARIABLES PARA VOLAR, HACE UNA EVALUACIÓN Y NOS INDICA SI EXISTEN CONDICIONES PARA UN VUELO SEGURO Y CUANTOS AEROPUERTOS TENEMOS CERCA.....	104
FIGURA 4 - 2 FLIGHTRADAR24, APLICACIÓN CONOCER LA ALTITUD Y UBICACIÓN DE LOS VUELOS COMERCIALES.....	106
FIGURA 4 - 3 MOVIMIENTOS BÁSICOS DE RADIOCONTROL.....	107
FIGURA 4 - 4 MOVIMIENTO DE DRON.....	108
FIGURA 4 - 5 ROTACIÓN HORARIA, ANTIHORARIA DE DRON.	108
FIGURA 4 - 6 MOVIMIENTO HACIA DELANTE O ATRÁS DE DRON.	109
FIGURA 4 - 7 MOVIMIENTO HACIA LA IZQUIERDA, DERECHA DE STICK.....	109
FIGURA 4 - 8 MOVIMIENTO HACIA LA ARRIBA, ABAJO DE CÁMARA.	110
FIGURA 4 - 9 ESPACIO DESPEJADO Y DELIMITADO.	110
FIGURA 4 - 10 TAPETE DE ATERRIZAJE Y DESPEGUE.	110
FIGURA 4 - 11 INSTALACIÓN DE HÉLICES.....	110
FIGURA 4 - 12 INSERTA TARJETA SD EN EL DRON PARA CAPTURAR IMÁGENES EN ALTA CALIDAD.	111
FIGURA 4 - 13 REMOCIÓN DE INMOVILIZADOR.	111
FIGURA 4 - 14 RADIOCONTROL ENCENDIDO, CONEXIÓN CON EL DRON.	111
FIGURA 4 - 15 INTERFAZ DE LA APP, SE DESTACA ES ESTADO DE CONEXIÓN.....	111
FIGURA 4 - 16 INTERFAZ DE LA APP, SE DESTACA ESTADO DE CONEXIÓN Y VERIFICACIÓN DE SD EN EL DRON.....	112
FIGURA 4 - 17 INTERFAZ DE LA APP, SE DESTACA ES ESTADO DE CONFIGURACIÓN DE IMU Y BRÚJULA.	112
FIGURA 4 - 18 INTERFAZ DE LA APP, SE DESTACA EL NÚMERO DE SATÉLITES CONECTADOS AL DRON.	112
FIGURA 4 - 19 INTERFAZ CON LA APP, SE DESTACA MENSAJE PUNTO DE ORIGEN GRABADO.....	112
FIGURA 4 - 20 INTERFAZ CON LA APP, SE DESTACA ALTURA DEL DRON.	113
FIGURA 4 - 21 INTERFAZ CON LA APP, SE DESTACAN INTENSIDAD DE SEÑAL, SATÉLITES CONECTADOS, PORCENTAJE DE BATERÍAS.....	113
FIGURA 4 - 22 INTERFAZ CON LA APP, SE DESTACAN DISTANCIA HORIZONTAL.	113
FIGURA 4 - 23 INTERFAZ CON LA APP, SE DESTACAN PORCENTAJE DE BATERÍA.....	114
FIGURA 4 - 24 INTERFAZ CON LA APP, SE DESTACAN DISTANCIA HORIZONTAL.	114
FIGURA 4 - 25 RESPALDO DE INFORMACIÓN.	114
FIGURA 4 - 26 INSTALAR EN DRON PARA SU PRÓXIMO USO.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 0- 1 PRODUCTOS DE LOS RPAS EN LA GIR.....	11
TABLA 0- 2 DESCRIPCIÓN SERIE PHANTOM.....	11

TABLA 1- 1 PRINCIPALES DRONES COMERCIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS.	23
TABLA 1- 2 BANDAS DE FRECUENCIA Y LONGITUDES DE ONDA.	28
TABLA 2 - 1 FECHAS DE ACTUALIZACIONES A LA CO AV-23/10, PUBLICACIÓN DE PROYECTO DE NORMA Y MODIFICACIÓN A LA LEY GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL.	43
TABLA 2 - 2 CLASIFICACIÓN EN LA NOM-107-SCT3-2019, POR PESO MÁXIMO DE DESPEGUE Y EL USO.	50
TABLA 2 - 3 CUATRO SON LAS ALTURAS DE VUELO EN AERÓDROMOS PARA LOS DRONES DE LA CATEGORÍA MICRO PARA TODOS LOS USOS	55
TABLA 2 - 4 DOS SON LAS ALTURAS DE VUELO EN HELIPUERTOS PARA LOS DRONES DE LA CATEGORÍA MICRO. 55	
TABLA 2 - 5 CONDICIONES PARTICULARES POR CATEGORÍA Y POR USO.	56
TABLA 2 - 6 EN COMPARACIÓN CON NUESTRA LEGISLACIÓN AGREGA UNA CUARTA CATEGORÍA CON PESO MAYOR DE 150 KG.	57
TABLA 2 - 7 CATEGORÍA LEGISLACIÓN SUECIA	58
TABLA 2 - 8 EN ESTA CATEGORÍA LA PRIMERA CLASIFICACIÓN CONTEMPLA HASTA 10 KG, ES UN RANGO MAYOR A LA CATEGORÍA MÁS BAJA EN NUESTRO PAÍS.	58
TABLA 3- 1 COMPARATIVA CÁMARA ÓPTICA VS LIDAR.	65
TABLA 3- 2 COTIZACIÓN DE UN VUELO CON RPAS.	70
TABLA 3- 3 MISIONES REALIZADAS POR EL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES.....	83
TABLA 3- 4 COMPARACIÓN DE DISTANCIA ENTRE PUNTOS.	90
TABLA 3- 5 COMPARACIÓN DE DISTANCIA VERTICAL ENTRE LOS PUNTOS.	90
TABLA 4 - 1 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DRONES MULTIRROTOR.....	103
TABLA 4 - 2 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DRONES DE ALA FIJA.	103
TABLA 4 - 3 ÍNDICE Kp.....	104
TABLA 4 - 4 MOVIMIENTO ARRIBA, ABAJO DEL DRON.	108
TABLA 4 - 5 MOVIMIENTO ROTACIÓN DEL DRON.....	108
TABLA 4 - 6 MOVIMIENTO ADELANTE Y ATRÁS DEL DRON.	109
TABLA 4 - 7 MOVIMIENTO HACIA LA IZQUIERDA, DERECHA DEL DRON.	109
TABLA 4 - 8 MOVIMIENTO HACIA LA IZQUIERDA, DERECHA DE STICK.	109
TABLA 5- 1 COMPARATIVA DE USO DE RPAS EN LA GIR.....	119
TABLA 5- 2 COSTO DE RPAS PARA LOS 2,458 MUNICIPIOS.	121