



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



IMPLEMENTACIÓN DE VANT (VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS) “DRONES” EN LA INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES



TESINA
Que para obtener el título de
Especialista en Vías Terrestres

PRESENTA
Ing. Marco Antonio Vértiz Torres

DIRECTOR DE TESINA
M. en I. Francisco Javier Granados Villafuerte

Ciudad Universitaria, CD. MX. 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TEMA	PAG.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco Teórico	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Clasificación	6
1.3.1. Según su uso	6
1.3.2. Según su forma	6
1.3.3. Según su método de control	8
1.4. Componentes básicos	10
1.5. Uso de Tecnologías de la Información	11
1.5.1. Diferencia entre Datos, Información y Sistemas de Información	11
1.5.2. Tecnologías base	12
1.5.3. Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)	13
1.5.4. Relación de los VANT con las TIC	13
1.6. Relación con Sistemas Inteligentes Aplicados al Transporte y Sistemas de Información Geográfica	15
1.6.1. Aplicaciones de los SIAT	15
1.6.2. Aplicaciones de los SIG	17
1.6.3. Aplicaciones de los drones dentro de los SIAT y los SIG	18
1.7. Presente y futuro	21
1.8. Justificación	22
1.9. Legislación y regulaciones	23
1.9.1. Requisitos para obtener la licencia de piloto de un “RPAS Grande”	24
1.9.2. Pasos para el registro de “RPAS Pequeños y Micro”	24
2. OBJETIVOS	27
2.1. Análisis de algunos ejemplos de aplicación de VANT en la Ingeniería de Vías Terrestres	27
2.2. Comparación de las ventajas y deficiencias del uso de VANT respecto a otras tecnologías ya establecidas	27
2.3. Implementación de los VANT en un caso de estudio en el área de Ingeniería de Tránsito	27
3. HIPÓTESIS	28
3.1. Exposición de beneficios de la implementación de VANT en el ejercicio de las Vías Terrestres	28
3.2. Desarrollo de un caso de estudio donde se utilicen VANT buscando mostrar varias de las ventajas de su implementación	28

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PAG.
4. EJEMPLOS DE ALGUNAS ÁREAS DE APLICACIÓN	29
4.1. <i>Mapeo urbano</i>	29
4.2. <i>Reconocimiento en sitio para construcción de carreteras</i>	30
4.3. <i>Inspección de componentes de puentes</i>	31
4.4. <i>Levantamientos topográficos para Vías Terrestres (Fotogrametría)</i>	32
4.5. <i>Análisis avanzado de tráfico urbano a partir de datos obtenidos de video aéreo</i>	34
4.6. <i>Comparativa de tecnologías</i>	36
5. METODOLOGÍA	38
6. CASO DE ESTUDIO	40
6.1. <i>Zona de Estudio: "Cerro del Agua y Eje 10"</i>	40
6.2. <i>Aplicaciones</i>	40
6.2.1. Reconocimiento en sitio	41
6.2.2. Monitoreo del comportamiento del conductor y peatón	43
6.2.3. Cumplimiento de señales de tránsito	44
6.2.4. Análisis de operación del transporte	45
7. RESULTADOS	48
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	50
9. REFERENCIAS	51

1. INTRODUCCIÓN

Hasta hace pocos años la aviación se había basado en la concepción de las aeronaves como vehículos tripulados con operadores a bordo, actualmente esta idea comienza a evolucionar con la aparición de los Vehículos Aéreos No Tripulados "VANT" (UAV, por sus siglas en inglés), los cuales suponen un cambio en la operación ya que el piloto controla la aeronave de manera remota.

Las ventajas de aplicar esta tecnología son variadas, actualmente sirve como herramienta de apoyo en diversas disciplinas, una de ellas la Ingeniería Civil, donde ha demostrado mejorar procesos y ser de gran ayuda en la captura de datos.

Los drones permiten recopilar información a través de los sensores con los que están equipados, siendo quizás el más común el uso de cámara para capturar video, sin embargo, la evolución de estos dispositivos ha dado grandes pasos, no es extraño ver VANT con componentes dedicados a cumplir tareas específicas (como pueden ser cámaras infrarrojas, LIDAR, extremidades robóticas etc.).

El modelo más popular es el dron multicóptero (ilustración 1), ya que debido a la disposición de sus motores permite una mayor estabilidad y control durante el vuelo, además de requerir un área mínima para su despegue (ascenso vertical) en comparación con otras tecnologías.



Ilustración 1. Dron Multicóptero de 4 motores. © DJI

Debido a la caída de sus precios en el mercado y a la mayor facilidad de adquisición, muchas personas comienzan a adquirir drones por diversión, lo cual ha llevado a conceptualizarlos como juguetes; por esta razón es que se necesita delimitar su uso recreativo a áreas adecuadas y supervisadas, además de poner normativas a su modo de utilización y altitud de operación, así como también se hace necesario implementar una licencia de vuelo para su ejercicio profesional.

Por ello el propósito de este trabajo es presentar y definir esta tecnología, sus componentes básicos, como los clasificamos, sus ventajas y desventajas contra tecnologías ya establecidas, el cuestionamiento de su potencial como posible SIAT (Sistema Inteligente Aplicado al Transporte), su utilidad como herramienta de apoyo para los SIG (Sistemas de Información Geográfica) y hacer un análisis de la aplicación y utilidad en la Ingeniería Civil; particularmente se aborda un ejemplo práctico en la Ingeniería de Tránsito con el fin de demostrar su utilidad en el análisis del comportamiento humano (transporte privado, público y peatones).

1.1. MARCO TEÓRICO

El nombre más común por el cual se refiere a este tipo de vehículos es el de dron, sin embargo, es conveniente definir algunos conceptos y terminología relacionada que suele ser usada para referirnos a los VANT:

- UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Es cualquier vehículo capaz de volar sin tripulación, sin importar sus características o usos.
- UAS (Unmanned Aerial System). Se refiere al conjunto de componentes que permiten la operación del dron, no solo al dispositivo.
- Dron (drone). Sinónimo parcial de UAS. Es un sistema aéreo no tripulado que cumple una función concreta, por ejemplo, al agregarle una cámara con el fin de practicar reconocimiento de terreno.
- RPA (Remotely Piloted Aircraft). Una forma más concreta y detallada de llamar a los UAV. Es la nomenclatura específica por la cual conocemos a la interfaz entre el sistema de control y la aeronave controlada de manera remota.
- Multicópteros. Aeronaves con múltiples rotores los cuales les permiten despegar de manera vertical, existen varias clasificaciones según el número de motores.

Las instituciones educativas y gubernamentales que investigan los VANT y comienzan a desarrollar aplicaciones van en aumento, es gracias a esto que se comenzaron a descubrir las ventajas que los drones pueden ofrecer en diferentes áreas, entre ellas la que atiende este documento, la Ingeniería Civil en su rama de Vías Terrestres.

Es importante mencionar que, debido al gran auge de esta tecnología en el uso civil, particularmente en el recreativo, es necesario el desarrollo de normativas y leyes que regulen el uso del espacio aéreo y delimiten las características que deben cumplir vehículos y pilotos, con el fin de garantizar

la seguridad y la correcta operación de los mismos.

En este trabajo se toma como organizaciones de referencia a la **FAA (Federal Aviation Administration)** y a la **OACI (Organización de Aviación Civil Internacional)**, además de tomar como base bibliográfica algunos estudios realizados por universidades de renombre que han comenzado a implementar el uso de VANT en diversas áreas.

Finalmente, desde el 2005 se comenzó a crear un marco normativo internacional el cual, gracias al apoyo de las diferentes instituciones involucradas y relacionadas en el ámbito, ha logrado evolucionar con el paso de los años y actualmente sirve como referencia para el correcto uso y operación de los VANT alrededor del mundo.

En México se busca crear una normativa sólida que regule su uso e imponga sanciones adecuadas a infractores.

1.2. ANTECEDENTES

Como muchas tecnologías, los drones vieron su nacimiento como una aplicación militar; durante el siglo XIX ya se ponían a prueba globos aerostáticos no tripulados con fines militares por parte del ejército austriaco (Ilustración 2).

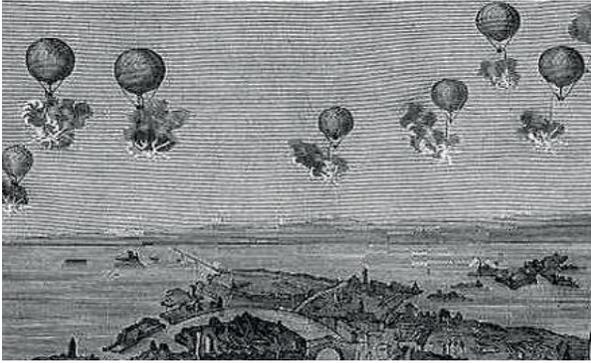


Ilustración 2. Uso de globos aerostáticos con fines bélicos.
© Wikimedia Commons.

Su evolución natural pasó por el uso del vapor como motor, hasta lograr una de las primeras fotografías de reconocimiento aéreo al dotar a un cometa de una cámara durante la guerra hispano-americana de 1898; tecnología que seguiría siendo usada durante la primera guerra mundial por el ejército de los Estados Unidos.

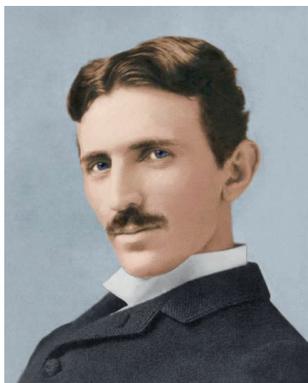


Ilustración 3. Nikola Tesla © Wikimedia Commons.

Sería a finales del siglo XIX y de la mano de la gran mente de Nikola Tesla (Ilustración 3), que se diseñaría y crearía un vehículo (un

barco a escala) tripulado por radio control; la creación de esta tecnología implicaría un enorme nicho de oportunidad para los VANT al poder brindarles la posibilidad a los usuarios de operarlos a distancia gracias a la radio frecuencia.

Además de la implementación de la radio frecuencia por los ejércitos de las potencias mundiales a inicios del siglo XX, con la inclusión del giroscopio a prototipos de VANT se logró un control más preciso y una mayor estabilidad; las vueltas, los ascensos y descensos verticales fueron las mejoras más notables.

Después de la primera guerra mundial se realizaron varios prototipos de los cuales destacan el avión automático de Hewitt-Sperry y el modelo alemán Siemens torpedo planeador.

Pero sería la pérdida de grandes cantidades de aeronaves y recursos humanos durante las guerras lo que impulsaría a Estados Unidos a diseñar una fuerza aérea robótica.

Durante 1951 la compañía Ryan desarrolló el "Firebee" (ilustración 4) el cual fue capaz de volar durante dos horas y alcanzar alturas de hasta 60 000 pies (18 288 m).



Ilustración 4. El VANT Firebee © Wikimedia Commons.

El desarrollo de los drones se vio entorpecido durante varios años debido a que los ejércitos adoptaron el uso de misiles controlados de manera remota, ya que estos dieron mejores resultados para sus fines balís-

ticos y no sería hasta la guerra de Vietnam (la cual podría considerarse como la primera guerra tecnológica) que se implantó el uso de sensores y supercomputadoras en apoyo a la logística del campo de batalla; fue en esta guerra que los Firebee se utilizaron para sobrevolar zonas críticas y hacer reconocimiento de terreno con el fin de identificar movimientos y avance de los enemigos.

Para la guerra fría el potencial de reconocimiento de los drones había avanzado y la empresa Ryan logró crear varios modelos de aeronaves no tripuladas, las cuales podían ser controladas desde una nave tripulada por medio de radio control, para ser recuperadas después por helicópteros; a estos VANT se les denominaba "insectos".

Posterior al año 1960, Estados Unidos comenzó a sustituir a sus icónicos U-2 (ilustración 5) por VANT para realizar reconocimientos en áreas sensibles después de la guerra fría, como lo eran Cuba, China y Corea del Norte; esto marcaría el comienzo del desarrollo y utilización de la tecnología con fines de espionaje. En la actualidad la CIA (Central Intelligence Agency) aún utiliza este tipo de aeronaves con dichos fines sobre zonas de interés militar, como Irán.



Ilustración 5. Avión espía U-2.

Foto tomada por Master sgt. Rose Reynolds.

En Vietnam los VANT conocidos como "luciérnagas" se utilizaron para gran variedad de misiones y recolección de datos; debido a la gran cantidad de pérdidas humanas y materiales, se abrió el camino para que los

drones militares sustituyeran a las aeronaves tripuladas en varias misiones.

Durante los años setenta se había logrado en buena medida lo que el ejército de los Estados Unidos buscaba desde comienzos del siglo; consiguieron diseñar pre-drones más compactos, capaces de transportar cámaras y de realizar vuelos sencillos con fines de vigilancia; estos VANT no requerían complejos sistemas de maniobras y tampoco eran capaces de regresar a casa de manera programada.

Fue durante estos años que Ryan y Boeing se unieron para desarrollar VANT de mayores capacidades, aptos para volar durante 24 horas, podían ser pilotados desde el suelo y volar a gran altitud; este sería el proyecto más ambicioso de la fuerza aérea norteamericana hasta esa fecha, dentro de esta colaboración también nacieron prototipos "mini" como es el caso del modelo "Aquila rpv-drone". Estos prototipos podían transportar cámaras de video y láser, además de estas aeronaves de vigilancia, el ejército de los Estados Unidos comenzó a experimentar con Firebees equipados con armamento.

Durante los años ochentas, gracias a la evolución del control electrónico y la computación, fue que comenzaron a tomar forma los drones como los conocemos hoy día.

Impulsados por los avances de la inteligencia cartográfica, los drones comenzarían su carrera entre lo legal y lo tecnológico cuando fue creado el VANT "Predator" (ilustración 6); este modelo contemporáneo es capaz de identificar a un objetivo puntual y darle "caza" con gran precisión.

Si bien ya se utilizaban VANT en el espacio aéreo de Afganistán desde el año 2000, sería hasta después del 11-S que comenzarían los vuelos con drones armados en misiones de inteligencia militar por parte de la CIA con la finalidad de encontrar y abatir a integrantes de grupos terroristas, lo cual lograron exitosamente.



Ilustración 6. "MQ-1B Predator", un dron de uso militar
© Wikimedia Commons

electrónicos.

Debido a su popularización, los UAV ya son producidos industrialmente y vendidos al público en general, también existen empresas que se dedican al desarrollo de modelos que cumplen actividades específicas dentro del sector privado y profesional (como aplicaciones a diversas áreas de la ingeniería), de esto se hablará con más detalle en siguientes puntos de este documento.

Como toda tecnología que ha nacido de aplicaciones bélicas, los VANT no están fuera de polémicas, el panorama actual de los drones de uso Bélico pone en duda el futuro de las guerras debido a las capacidades y letalidad que han alcanzado pero son ellos también los que abrieron las puertas para que los VANT evolucionaran.

Así, desde comienzos del siglo XXI, los drones comenzaron su aplicación dentro de la sociedad civil de manera más activa, fueron las grandes casas de estudio de países desarrollados las que comenzaron a crear modelos simples diseñados por ingenieros de áreas afines a la electrónica, mecánica y computación, los cuales cumplían la finalidad de servir como experimentos didácticos dentro de las aulas.

Pronto se logró mejorar y adaptar los prototipos a diferentes áreas de aplicación, se convirtieron en herramientas de apoyo capaces de realizar actividades que ningún otro tipo de vehículo podía realizar. El modelo más común utilizado por su estabilidad es el "quadcopter", el cual ha recorrido un largo camino desde los primeros prototipos diseñados en 1907 por Louis Breguet.

Al día de hoy, los modelos de uso civil más avanzados son capaces de volar de manera estable, autónoma y confiable, recolectar información variada gracias a los sensores que incorporan en su cuerpo y transmitirla al operador o almacenarla en sus elementos

1.3. CLASIFICACIÓN

Es importante destacar que la definición actual de un VANT puede ser confusa debido a los diversos sinónimos y términos relacionados, los cuales suelen referirse a una misma tecnología. Actualmente conocemos como dron a una aeronave que vuela sin tripulación y que es controlada remotamente; partiendo de ese punto se presenta la siguiente clasificación y se detallan algunas particularidades de los mismos:

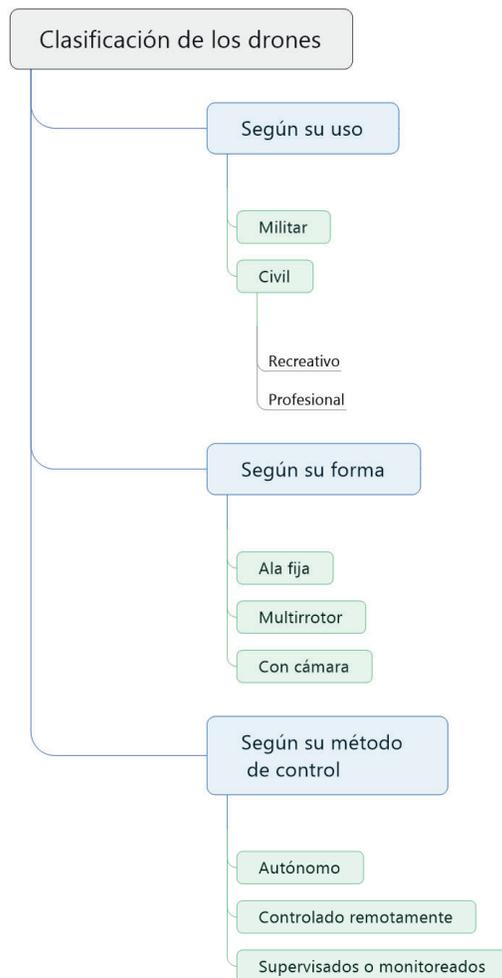


Ilustración 7. Mapa Mental
"Clasificación de los drones"

1.3.1. SEGÚN SU USO

Clasificación más común que suele darse a los drones según la aplicación que se les da.

- **De uso Militar.**

Como se comentó en la reseña histórica sobre la evolución de los VANT, los drones nacen de una necesidad militar; actualmente siguen evolucionando y son capaces de utilizar sensores muy avanzados y sistemas de georeferencia para localizar objetivos de manera precisa.

Algunos modelos actuales cuentan con armamento a bordo y son capaces de viajar grandes distancias a gran velocidad durante tiempos prolongados, volviéndolos casi imperceptibles a los radares, demostrando así su gran potencial como arma remota; claro que esto implica un costo muy alto por unidad, ya que disponen de tecnología de punta en todos sus componentes.

- **De uso Civil.**

Debido a que en la actualidad los drones son más asequibles, es común ver personas comprando estos equipos con fines recreativos, aunque también hay profesionistas que los han visto como una potencial herramienta de apoyo en diferentes áreas de aplicación. Existen modelos comerciales, aunque también hay modificados o hechos especialmente para usos particulares.

1.3.2. SEGÚN SU FORMA

Clasificación según su número de motores y su diseño.

- **Drones de ala fija.**

Este tipo de dron cuenta con un diseño similar al de una avioneta (ilustración 8), pero de pequeñas proporciones. Tiene varias ventajas, la más significativa es que no depende de tener activado el motor todo el tiempo de vuelo, ya que puede planear con sus alas, además de que el aterrizaje es más estable al minimizar el riesgo de impacto con el suelo; algunos modelos incluso pueden tener

motor de combustión. En sus puntos negativos tenemos su tamaño, que suele ser mayor al de otros modelos; además de que debido a que requiere mayor espacio horizontal para su despegue y descenso, necesita de zonas amplias para su maniobra. Estos modelos pueden o no incluir cámara y precisan la supervisión de un técnico, así como del empleo de un control remoto.



Ilustración 8. Dron de ala fija TG5-F © TYCGIS.

• **Drones multirrotor.**

Son drones que tienen por lo menos tres hélices, presentan un diseño más simple y estable al tener sus motores distribuidos a la misma distancia del centro de gravedad (ilustración 9); poseen muchas ventajas al permitir una mayor estabilidad y control en el vuelo, pero también se tiene un inconveniente considerable, ya que difícilmente soportan más de 20 minutos de vuelo debido a su consumo energético.



Ilustración 9. Dron multirrotor Quadcopter (cuatro hélices) © DJI.

Para el ejemplo práctico de este documento se utilizó un dron multicóptero de cuatro motores, pero resulta interesante presentar las diversas configuraciones que este tipo de drones pueden presentar.

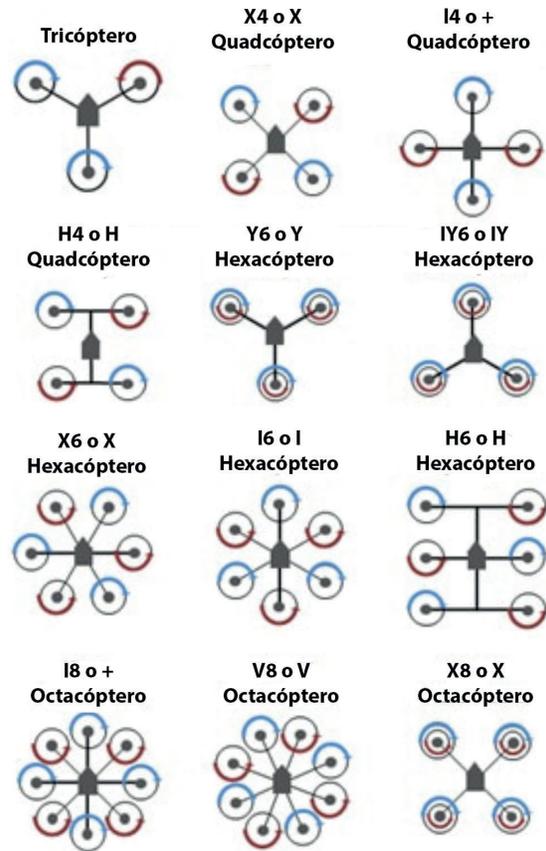


Ilustración 10. Diferentes configuraciones de dron multirrotor @ www.dronezon.com

• **Drones con cámara.**

Es el modelo más común actualmente y el que ha ganado mayor aceptación en el público general, técnicamente no es muy diferente a los dos tipos descritos anteriormente, pero es tal su importancia en la implementación de esta tecnología que se merece una mención aparte (ilustración 11); por lo general los drones que llevan cámaras son del tipo multirrotor (aunque también los hay de ala fija), esto debido a la mayor esta-

bilidad y precisión que estos requieren para tomar foto y video detallado. Son de gran importancia en nuestra sociedad actual debido a esta característica en particular.



Ilustración 11. Dispositivo óptico (cámara) en la parte inferior de un dron © DJI.

1.3.3. SEGÚN SU MÉTODO DE CONTROL

Según la vigilancia o supervisión que se le tenga que dar al equipo.

- **Drones autónomos.**

Son drones que no necesitan un controlador debido a que previamente fueron programados para realizar un vuelo planificado tras el cual, al ser completado, regresarán al punto que fue designado. De esta manera, en el ámbito mercantil, por ejemplo, pueden transportar mercancía de un lugar a otro y en el campo de la ingeniería, pueden realizar recorridos para recolectar imágenes (fotogrametría).

- **Drones controlados remotamente.**

Son el primer tipo de dron que se fabricó y uno de los más extendidos a nivel mundial debido a su bajo precio en relación al de los

modelos autónomos. Requieren de un control remoto y una persona que estará operándolo con ayuda de un controlador, dicho controlador suele tener como apoyo una pantalla que está conectada a la cámara a bordo, la cual le permitirá transferir en tiempo real mediante una conexión inalámbrica (similar a la transferencia de información en los dispositivos móviles que usamos), imagen o video, así como otros datos de relevancia al operador, como son la fuerza y dirección del viento, su ubicación vía GPS, la altitud a la que se encuentra y la distancia horizontal que recorrió respecto a un punto de referencia (suele ser el área de despegue); este tipo de características varían según el modelo y dependen básicamente del tipo de sensores que implementen, así como la tecnología del controlador.

- **Drones supervisados o monitoreados.**

En la actualidad también existe este tipo de dron, el cual se considera el punto intermedio entre los dos anteriores; pueden seguir una ruta previamente programada, pero a su vez tienen la posibilidad de que un operador supervise dicha ruta. Esta opción es útil cuando por alguna circunstancia no planificada se desea modificar la ruta de vuelo, por ejemplo, para evitar colisiones o por si alguna cuestión técnica impide que el dispositivo sea capaz de seguir la programación y pierda el control, esto implicaría un posible factor de riesgo, aunque existen en la actualidad modelos que tienen programada una función de "regreso a casa" que se activa de manera automática cuando el equipo está por agotar la energía de su batería o pierde la conexión con el controlador; esta función le permite al dron de manera autónoma regresar al mismo punto de donde despegó gracias al GPS incorporado.



Ilustración 12. Controlador expandido gracias a la interconexión con un dispositivo portátil (Tablet) © DJI.

Algunos modelos de mayor costo permiten adaptar al controlador un dispositivo portátil, como puede ser una tablet o un smartphone que se convertirán en el cerebro que carga instrucciones sobre una ruta programada (ilustración 12), a la vez que pueden desplegar en su pantalla todo tipo de información; también permiten al operador tener una perspectiva de visión aérea a través del sensor óptico (cámara).

1.4. COMPONENTES BÁSICOS

Conocer los elementos que constituyen un dron es de vital importancia para poder darles un mejor uso y mantenimiento, a continuación, se presenta un mapa mental que muestra sus componentes básicos.

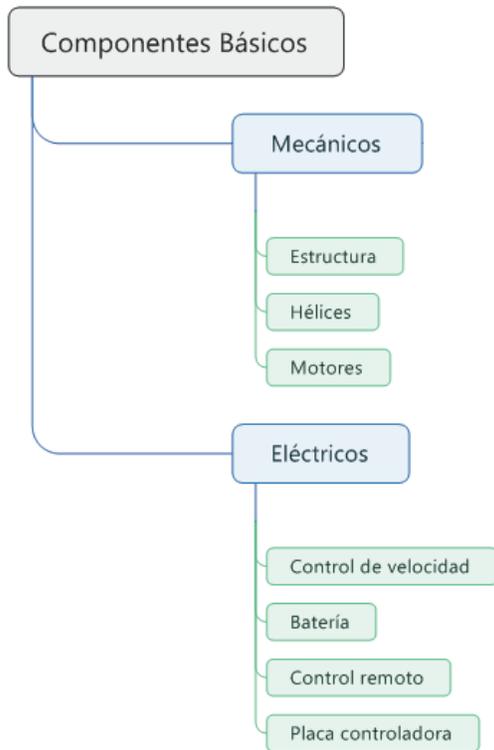


Ilustración 13. Mapa Mental “Componentes y Movilidad de un dron”.

A continuación, se presentan los elementos básicos de un dron quadcopter (ilustración 14):

- A. Propulsión estándar (hélices)
- B. Propulsión de tipo empujador
- C. Motores sin escobillas
- D. Montaje del motor
- E. Tren de aterrizaje
- F. Brazo

- G. Parte principal del cuerpo del dron
- H. Controladores de velocidad
- I. Controladores de vuelo
- J. Módulo GPS
- K. Receptor
- L. Antena
- M. Batería
- N. Monitor de la batería
- O. Gimbal
- P. Motor del Gimbal
- Q. Cámara
- R. Sensores

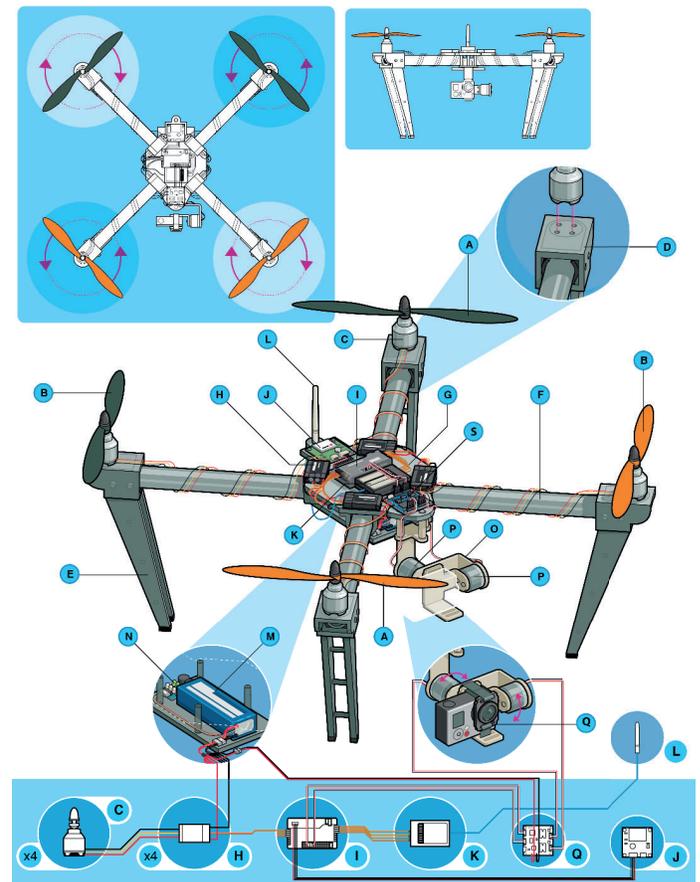


Ilustración 14. Componentes Básicos de un dron de 4 Hélices @ <http://makezine.com>

1.5. USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

1.5.1. DIFERENCIA ENTRE DATOS, INFORMACIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN.

A continuación, se presentan las definiciones de dato, información y sistema:

Según la RAE.

Dato: 1. M. Información sobre algo concreto que permite su conocimiento exacto o sirve para deducir las consecuencias derivadas de un hecho.

Información: 5. F. Comunicación o adquisición de conocimientos que permiten ampliar o precisar los que se poseen sobre una materia determinada.

Sistema: 2. M. Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a un determinado objetivo.

Es importante remarcar la importancia que tiene la recolección de datos; con el desarrollo de la tecnología y su implementación en diversas disciplinas se ha vuelto más eficiente la toma de datos en campo, aunque paradójicamente se han generado problemas como lo son la saturación de información y los datos "basura". Los drones son dispositivos electro-mecánicos programados para cumplir con una actividad determinada y son capaces de capturar grandes cantidades de información; aprender a discretizar dicha información adquiere un rol muy importante para la ingeniería moderna. Al igual que otras tecnologías que apoyan la ingeniería, es importante conocer su funcionamiento buscando obtener en la mejor medida, la información adecuada en el ejercicio de la práctica profesional.

Uno de los problemas particulares que presentan en la actualidad los drones, está relacionada con la manera en que estos transmiten la información que capturan, tenemos la tecnología de red utilizada y los medios de almacenamiento donde se deposita la in-

formación.

Lo común para drones económicos es que su conexión se realice a través de una red WiFi, esta conexión permite mandar video desde el vehículo hasta el controlador para después ser recibido por el dispositivo móvil que tengamos conectado al controlador (aunque algunos controladores ya tienen una pantalla integrada) y así reproducir lo que la cámara del equipo capte; lamentablemente este tipo de conexiones presentan algunos inconvenientes, tienden a ser inestables si el dron presenta un diseño pobre, por lo general presentan hasta un segundo de retraso en la transmisión de imagen y requieren forzosamente el uso conjunto de un smartphone o tablet.

La otra opción de conexión es a través de la frecuencia 5,8GHz, que, aunque presenta una menor calidad de video, tiene la ventaja de transmitir con menor retraso la imagen, además de que podemos utilizar algún monitor u otro medio externo para visualizar la información transmitida por el dron sin depender de un smartphone o tablet; sin mencionar que esta conexión posee una mayor estabilidad de transferencia por lo que es recomendable para vuelos a mayor velocidad.

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías de red móviles, muchos de los problemas que ahora se presentan en cuanto a conexiones entre dron-operador para transmisión de datos, serán superadas debido al incremento en el ancho de banda (mayor capacidad de transmisión de datos) que estas podrán soportar. Con la llegada de la red 5G se espera tener una baja latencia y alcanzar velocidades mayores (10 Gbps de entrada), de hecho, en este año 2019 se han comenzado a presentar modelos industriales de maquinaria, drones y vehículos autónomos que ya utilizan esta nueva tecnología para convertir a sus dispositivos huésped en parte del IoT (del inglés Internet of Things). Es importante mencionar estos avances ya que en un futuro próximo se contempla que

en este tipo de redes donde todos los dispositivos (tanto caseros como industriales) estarán interconectados entre sí (ilustración 15).

Más allá de las implicaciones tecnológicas, la evolución orientada a la interconexión vía red 5G permitirá a los drones captar imagen, audio y video de alta resolución (incluso en 360°), transmitirlo en tiempo real a un computador y disponer de la información ya sea en almacenamiento físico (discos duros, memorias flash, etc.) o medios virtuales (la nube).



Ilustración 15. El futuro de la interconexión multiplataforma, el Internet de las Cosas.

1.5.2. TECNOLOGÍAS BASE

Estas incorporan aquellos componentes de hardware, software o tecnologías en general que impactan de una manera u otra al motor de una base de datos. Por ejemplo, tecnologías o infraestructura de redes, almacenamiento en discos, innovaciones en hardware, procesos o tecnologías de la información (TIC), etc.

Un lenguaje de programación popular es SQL (ilustración 16), por sus siglas en inglés Structured Query Language (Lenguaje de Consulta Estructurado), es un lenguaje cuyo dominio específico está vinculado con la gestión de bases de datos de carácter relacional. Gracias a la utilización del álgebra y de cálculos relacionales, el SQL brinda la

posibilidad de realizar consultas con el objetivo de recuperar información de las bases de datos de manera sencilla.



Ilustración 16. SQL, un lenguaje útil en la manipulación de base de datos.

En base a lo anterior, entendemos la importancia de generar bases de datos que permitan almacenar diferentes tipos de información relevante según el contexto para su uso posterior, así como también contar con herramientas adecuadas para gestionar dicha información.

Por su parte, “la nube”, es un gran avance tecnológico y representa quizás la mayor base de datos del mundo, esta ya se ha incorporado a la vida diaria del usuario común, permitiéndole almacenar o compartir datos vía internet a cualquier parte del mundo en instantes, seguramente en un futuro cercano se verán desplazados medios físicos tradicionales para dar paso a estas tecnologías.

En el ámbito de los sistemas de transporte se tiene una serie de implementaciones tecnológicas a través de la telemática, las cuales ven su aplicación al mejorar la operación y seguridad del transporte terrestre, aéreo y marítimo; gracias a la interconexión con la nube, pronto será común ver aplicaciones del Internet de las cosas en el ámbito industrial, por ejemplo, al permitir monitorear en tiempo real un vehículo y transmitir información relevante sobre el mismo a través de una cámara y sensores integrados.

Al crear bases de datos recolectados de un sistema de transporte, obtenemos infor-

mación sólida sobre el funcionamiento y comportamiento del mismo, solo por dar un ejemplo, este tipo de "tecnologías base" se explotan ya en los llamados Sistemas Inteligentes Aplicados al Transporte (SIAT), los cuales permiten generar enormes bases de datos de información diversa sobre los sistemas de transporte y los elementos que los conforman, todo esto con diferentes aplicaciones, además de que la comparten en tiempo real; algo impensable hace algunos años.

1.5.3. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC)

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) son todos aquellos recursos, herramientas y programas que se utilizan para procesar, administrar y compartir la información mediante diversos soportes tecnológicos, tales como: computadoras, teléfonos móviles, televisores, reproductores portátiles de audio y video o consolas de videojuegos. Cabe mencionar que los drones se valen de estas herramientas para cumplir sus diferentes funciones.

Actualmente el papel de las TIC en la sociedad es muy importante porque ofrecen muchos servicios como:

- Correo electrónico.
- Búsqueda de información.
- Banca online.
- Descarga de música y video.
- Comercio electrónico.
- Almacenamiento y transmisión de información.
- Etc.

Por esta razón las TIC han incursionado fácilmente en diversos ámbitos, tanto de la vida cotidiana como de la profesional, entre estos, podemos mencionar el del desarrollo de la ingeniería.

En cuanto al transporte se refiere, en México

se comienza a ampliar su uso a través de los llamados Sistemas Inteligentes Aplicados al Transporte, los cuales se valen del uso de la conexión de banda ancha (fibra óptica) para capturar información que aparte de ser recolectada, es transmitida en tiempo real tanto a operadores de la red como a usuarios; si bien nuestro país cuenta con poca extensión a nivel carretero sobre estas tecnologías, se prevé un incremento en su aplicación a un futuro próximo, aunque hay varias problemáticas a enfrentar para su exitosa implementación, principalmente la delincuencia.

Entre algunas de las aplicaciones se mencionan las siguientes:

- Ubicar mercancía o un vehículo vía GPS (logística).
- Obtener mapas de tráfico y congestión vehicular en tiempo real (tránsito).
- Reconocimiento de zonas accidentadas (operación de vías terrestres).
- Cobertura de red celular e internet en varias vías que conectan las diferentes ciudades del país.
- Conocer información relevante de tránsito sobre una vía, o de las condiciones de la misma (TDPA, Mantenimiento de Vías Terrestres).

1.5.4. RELACIÓN DE LOS VANT CON LAS TIC

Los VANT comparten información a través de una conexión satelital, aprovechan sus GPS incorporados para lograr ubicarse en el espacio y transmiten información directa con un controlador, todo esto se logra aprovechando las redes inalámbricas de información como la red 4G (por la cual nuestros equipos portátiles tienen acceso al internet). Poseen componentes físicos que al interconectarse permiten la comunicación entre el piloto y el dron; en el caso de la captura de datos, por ejemplo, pueden hacerse uso de cámaras para la toma de imágenes, video, e

inclusive existe una tecnología láser llamada LIDAR para mapear un entorno tridimensional.

Los sensores instalados en el equipo permiten recopilar información diversa que puede ser enviada y recibida; la distancia máxima entre el controlador y el dron para que este proceso sea posible, varía dependiendo de las capacidades tecnológicas y circuitería incluida en los equipos, además de las condiciones climáticas, entre otros factores. Es importante mencionar que dicha información también puede ser enviada a un equipo de cómputo tradicional (servidor), o a dispositivos portátiles como puede ser una tablet o smartphone (ilustración 17). Dependiendo del tipo de proyecto se utilizará alguno de los anteriores, siendo usualmente, los dispositivos móviles los más utilizados por su tamaño y practicidad, además del incremento de potencia en hardware y software que han ganado en los últimos años.



Ilustración 17.
Relación Dron - Controlador – Computador.

Dada la simpleza con la que los drones pueden mandar y recibir información, es importante que el usuario tenga conocimiento adecuado sobre las tecnologías de la información, así como también sobre componentes de almacenamiento y es necesario que esté familiarizado con formatos de video e imagen digital para el uso de herramientas profesionales como son LIDAR u otros dispositivos y sensores.

Los datos pueden ser almacenados comúnmente dentro del dron, muchos de estos equipos permiten la incorporación de memorias micro SD como las que se utilizan en dispositivos electrónicos tales como Smartphones, ya sea dentro de cámaras ajustables (action cams) o desde la incorporada en el equipo desde su fabricación. Algunos equipos también pueden hacer "streaming" de video en tiempo real y mandarlo a la pantalla del Smartphone del piloto, y mediante la interconexión en tiempo real, mandar ese mismo video o las imágenes capturadas a un computador el cual puede almacenar la información o transmitirla a otros lugares por medio de conexiones de mayor capacidad (como la fibra óptica); dispositivos modernos además ofrecen conexión a la nube para respaldo automático de la información.

Pros:

- Captura de imagen y video en tiempo real.
- Recopilación y transmisión de datos variados gracias a sus sensores incorporados.
- Compatibilidad con dispositivos de almacenamiento portátil y otros comerciales.
- Alta calidad de muestreo de imagen y video.
- Conexión inalámbrica remota y mediante GPS.

Contras:

- Limitaciones en la transferencia de datos por redes de comunicación inalámbrica (ancho de banda).
- Susceptibles a las condiciones climatológicas.
- Dependiendo de los sensores incluidos y el tipo de modelo, podría haber dificultad para maniobrar en espacios aislados.
- Almacenamiento y transferencia de grandes cantidades de información basura.

1.6. RELACIÓN CON SISTEMAS INTELIGENTES APLICADOS AL TRANSPORTE Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

1.6.1. APLICACIONES DE LOS SIAT

Los SIAT, también conocidos como SIT (Sistemas Inteligentes de Transporte), pueden definirse como aplicaciones tecnológicas de la información y comunicación en los sistemas de transporte, entre sus ventajas están la ampliación de interacciones entre todos los componentes del sistema, sin embargo, su relevancia radica en el diseño del control lógico y sus implementaciones.

En el siguiente esquema se muestran algunas ramificaciones de los Sistemas Inteligentes aplicados al transporte:

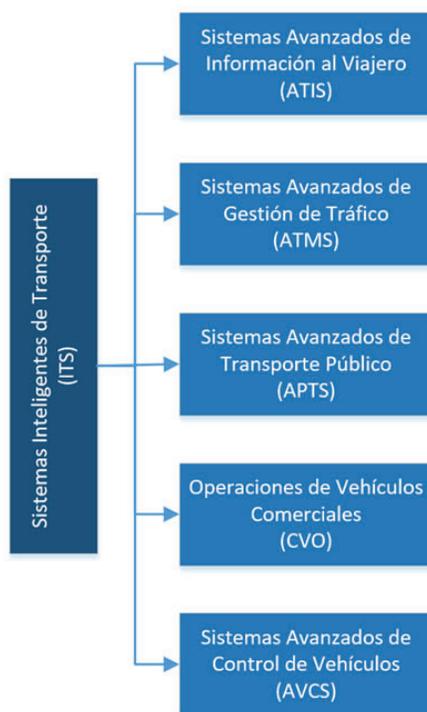


Ilustración 18. Ramas de los Sistemas Inteligentes Aplicados al Transporte. @ Sistemas avanzados de control de tráfico (ATCS): un ejemplo de ITS, M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte (II UNAM), 2018.

Su marco de funcionamiento general se da gracias a su estructura típica de sistema de control-retroalimentación que transmite la información de un componente a otro.

La interacción principal en los SIT se puede definir por medio de sus tres principales participantes; el conductor, el vehículo y la infraestructura.

Estas redes de información permiten aumentar la interacción de los usuarios con el entorno en el que están dispuestos los sistemas de transporte, monitoreando y regulando cada participante del sistema (el tráfico, la accesibilidad, el control, la ubicación, etc.).

Los SIAT también cobraron fuerza con el propósito de aumentar la seguridad en las vías terrestres a partir del atentado del 11 de septiembre en los Estados Unidos.

Nuestro país pretende atender algunas problemáticas mayores apoyándose de los SIAT, estas son principalmente:

- Reducir el número de muertes en carreteras.
- Disminuir la contaminación generada por los grandes congestionamientos viales en torno a las ciudades (libramientos).
- Aumentar la seguridad de los usuarios del sistema de transporte y de los agentes externos teniendo un mayor control de infractores.

Entre muchas otras aplicaciones menores que ya se aplican, como la implementación de peaje inteligente a través de tarjetas o dispositivos (con fines varios como mejorar la eficiencia del sistema), cuidar el medio ambiente, y ahorrar tiempo en traslados evitando o minimizando congestionamientos.

En nuestra ciudad ya se pueden apreciar algunas de estas implementaciones, como lo son las cámaras capaces de detectar placas de vehículos infractores y la tarjeta inteligente en la red del metro de la CDMX, la cual permite pagar por los servicios en conjunto

con otros sistemas de transporte de la gran urbe, permitiendo así, la adopción de un sistema multimodal de cobro. Sin embargo, estamos muy lejos de aplicar y obtener un provecho real de los SIAT como ya lo hacen países de primer mundo, hecho que les ha ayudado a crecer y mejorar las condiciones de sus sistemas de transporte, y por consiguiente, la calidad de vida de sus habitantes.

Un ejemplo sobresaliente es Japón, el cual mantiene una infraestructura vial articulada y potenciada por los SIAT, lo cual da como resultado que se pueda viajar a todas las zonas del país en un tiempo mínimo sin depender de vehículos personales casi en lo absoluto.

La correcta implementación de nueva tecnología nos llevará a consolidar una red de transporte mejor adaptada a nuestras necesidades actuales y más capacitada para solucionar problemas típicos como los que sufrimos en el país, principalmente por costos de operación, contaminación, tiempos de traslado, etc.

Si se utilizaran todas las herramientas que los SIAT ofrecen, se podrían mitigar dichas problemáticas y como consecuencia lógica se otorgarían claros beneficios a la población y a la infraestructura del país. Es de vital importancia que se desarrollen estas tecnologías (como es el caso de los drones, ya que confieren muchas aportaciones a los SIAT) ahora que se están haciendo esfuerzos por integrar todos los modos de transporte, principalmente el ferroviario y carretero. Como se menciona anteriormente, el aplicar estas tecnologías en la etapa de construcción trae consigo muchas ventajas y reducción de recursos en la realización de un proyecto.

Para poder llevar a cabo un proyecto es necesario cumplir con ciertas regulaciones y organismos internacionales (un problema actual es la regulación que se debe dar a los RPAS). El éxito y el fracaso de los proyectos que se han llevado a cabo en otros países,

son una oportunidad para México de aprender y desarrollar sus propios proyectos, aplicando así la experiencia adquirida a los problemas que afectan a nuestra sociedad.

México es un país que necesita un nuevo modelo de sistema de transporte, sobre todo por los beneficios que los SIAT ofrecen. Siendo una economía en desarrollo y aprovechando que el uso del Internet y de los teléfonos celulares está en expansión, se debería de comenzar a generar conciencia en los habitantes con respecto a la gestión del transporte, de esa forma sería mucho más sencillo su introducción a la vida cotidiana de la población. Está comprobado que la implementación de estos sistemas a la construcción de vías terrestres proporciona muchas ventajas; se han observado muchos casos donde la aplicación de los drones en carreteras podría aportar mucho para la solución de problemas, por ejemplo, para evaluar una zona de riesgo ante un siniestro o accidente de tránsito. Otro beneficio podría ser el monitoreo del estado de la infraestructura que constituye parte importante de las vías como son las carreteras, ya que sería posible hacer una revisión aérea del estado del pavimento o los señalamientos.

No podemos dejar de lado el potencial que tienen los RPAS dentro de los SIAT, de hecho, esta tecnología ya es aplicada en otros países con buenos resultados en diferentes tareas, como determinar el grado de riesgo en un accidente químico en una carretera o para identificar incendios; sirve prácticamente ante cualquier siniestro, no solo aquellos que puedan afectar la integridad de la infraestructura sino también en los que se suponga un riesgo para el personal capacitado (que de manera habitual son los que suelen realizar dichas tareas). Con la utilización de RPAS podrían disminuir estos factores de riesgo y así no poner en peligro vidas humanas.

1.6.2. APLICACIONES DE LOS SIG

SIG (Sistemas de Información Geográfica) según el INEGI: Son el conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real.

Objetivos:

- Almacenamiento, manejo y manipulación de grandes volúmenes de datos espacialmente referenciados.
- Proveer los medios para llevar a cabo análisis que implican, de manera específica, el componente de posición geográfica.
- Organización y administración de los datos, de tal forma que la información sea fácilmente accesible a los usuarios.
- Vinculación de diversas bases de datos.

Aplicaciones de los SIG

- Catastro
- Planificación urbana
- Gestión de recursos naturales
- Gestión de servicios
- Rutas de transporte
- Cartografía
- Planificación comercial
- Evaluación de riesgos y emergencias
- Impacto ambiental
- Estudios sociológicos y demográficos

Un ejemplo es el que se lleva a cabo en las calles de la CDMX, donde a través de cámaras y otros dispositivos se pueden recopilar datos durante un periodo de tiempo determinado para generar una base de datos, la cual nos permita ubicar accidentes automovilísticos, clasificarlos según su tipo y gravedad, y de esta manera localizar las principales zonas de siniestros en el espacio y en el tiempo, para posteriormente con ayuda del entorno visual de inspección que

permiten los SIG, implementar medidas de corrección a los diferentes problemas detectados, como podrían ser la implementación de cámaras de seguridad, semáforos o señalamientos para mitigar los accidentes y desalentar a los infractores con multas.

Para fines analíticos, más adelante en este documento se aplicarán SIG mediante tecnología LIDAR, esta ofrece grandes ventajas a comparación de los métodos tradicionales para realizar cartografía aérea; si bien la unión entre drones y LIDAR es una aplicación relativamente nueva, sus ventajas van en aumento y su utilización en proyectos de vías terrestres toma mayor fuerza.

La tecnología LIDAR está basada en escáneres de alta precisión, en Sistemas de Posicionamiento Global "GPS" y en Sistemas de Navegación Inercial "INS"; combinados forman un potente procesador de señales, con un amplio campo de medición capaz de procesar múltiples segmentos, cada uno de estos detectan datos de distancia críticos y obstáculos, permitiendo así, la inspección de estructuras, entre otras acciones.

No es despreciable la capacidad que poseen los UAV para tomar datos de diversa índole, los cuales pueden ser de utilidad para armar capas de información que alimenten a los SIG, aunque esto de momento se reduce más al sector privado y militar debido a que son ellos quienes cuentan con una mejor tecnología.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de posibles campos de aplicación para proveer datos desde los UAV a los SIG:



Ilustración 20. Algunas aplicaciones de los UAV dentro del campo de los SIG.

1.6.3. APLICACIONES DE LOS DRONES DENTRO DE LOS SIAT Y LOS SIG

Como se mencionó anteriormente, los dro-

nes pueden tener aplicaciones ingenieriles interesantes dado a sus capacidades técnicas de captura y manejo de información, abordando el tema que interesa en este trabajo, las aplicaciones de esta tecnología a la ingeniería civil son variadas, y en años recientes, muchas universidades comenzaron a hacer pruebas y experimentos con drones obteniendo resultados en su mayoría, alentadores.

No podemos negar la utilidad del uso del dron a la hora de realizar proyectos de ingeniería, ya que no solo ayudan a la recopilación de datos, sino que también pueden sustituir al factor humano en tareas de alto riesgo lo cual aumenta la seguridad en las obras.

Ejemplos de aplicaciones de UAS a las Vías Terrestres:

- Identificación de incendios en carreteras o áreas sensibles.
- Identificación de riesgo de avalanchas en zonas montañosas nevadas.
- Reconocimiento del área de influencia en accidentes carreteros (camiones de diesel, químicos agresivos, etc.)
- Reconocimiento del terreno en la construcción de una vía terrestre.
- Cuantificación de volúmenes de obra y avance de proyecto.
- Recopilación de muestreos de flujo vehicular.
- Reconocimiento de daños estructurales en puentes.
- Transmisión en tiempo real de información relevante en el flujo de tránsito vial (accidentes, tramos en reparación, congestión vehicular, accesos bloqueados, entre otros).

Como podemos intuir, la incorporación de drones supone la posibilidad de interconexión con sistemas inteligentes aplicados al transporte, además al ser capaces de mandar información en tiempo real sobre

diferentes aspectos ocurridos dentro de una obra de vías terrestres pueden proveer datos útiles para los Sistemas de Información Geográfica; en particular son de importancia los que permiten conocer cierto tipo de información relevante al operador o al usuario, quien podrá tomar las acciones correspondientes en base a lo obtenido.

El proceso es simple y se describe a continuación:

El dron toma información de un tramo en particular.

1. Almacena y transmite en tiempo real la información al operador.
2. Este a su vez retransmite a un servidor, el cual está interconectado con la señalización de una vía (SIAT), adicionalmente pueden generar una base de datos con la información recopilada para su posterior aplicación en un SIG.
3. El operador del servidor interpreta la información recibida por el dron, y envía mensajes a los usuarios; esta información puede ser desde un cambio de tiempos en semáforos, hasta avisos sobre la condición y estado de una vía.
4. El usuario puede tomar decisiones acertadas respecto al tiempo, seguridad o algún otro factor que le permita dar mejor uso a la vía.

Si bien este trabajo pretende informar sobre aplicaciones a las vías terrestres, esto no quiere decir que se limitan únicamente a esta área.

Algunos ejemplos en otras áreas de la ingeniería civil son:

- Complemento a la instrumentación en la revisión de estructuras verticales.
- Análisis fotográfico del comportamiento del caudal de un río.
- Inspección de zonas tóxicas en rellenos de desechos o plantas de tratamiento de agua al aire libre.

- Control de maquinaria y movimiento de materiales de construcción en obra.

Aunque son algunos ejemplos, con esto se permite demostrar el potencial de la tecnología en muchas áreas de la ingeniería civil, y queda a la imaginación y creatividad de los profesionistas especializados en dichas áreas, idear y proponer el uso de tecnologías como los VANT en el ejercicio de su profesión.

En esta tesina se enfatiza el uso de los VANT en la Ingeniería de tránsito, donde sus aplicaciones son muy diversas y actualmente permiten realizar muchos estudios de manera muy práctica (a comparación del pasado, donde se realizaban a pie o con equipos poco sofisticados). La información recopilada a través de estos vehículos puede ser diversa, como, por ejemplo: las características y comportamiento de los usuarios de una vía, la operación de la señalización y su relación con el usuario, etc. Los resultados obtenidos suelen ser bastante significativos, ya que no alteran el comportamiento del usuario debido a que no notarán la presencia del dron que estará sobrevolando el área de estudio.

Este simple detalle por si solo es importante, ya que garantiza la obtención de resultados más fidedignos sobre el comportamiento del flujo, pero eso se abordará con más detalle en el ejemplo de aplicación.

Además, los drones al poder captar imágenes y video, pueden ser de gran utilidad para generar mapas de zonas determinadas, y gracias a la recopilación de información, nos pueden ayudar a formar capas de datos aplicables a Sistemas de Información Geográfica con diferentes finalidades, como pueden ser la identificación de señalización averiada, la determinación y análisis de zonas de incidencia de accidentes. Una vez conociendo las condiciones en las que la vía se encuentra, se hace la consideración de medidas de mitigación (sustitución de señalamientos o aumento de seguridad, entre

otras).

También es importante darle su lugar a los VANT en los SIAT, ya que como se ha mencionado antes, son capaces de proveer información en tiempo real, lo cual es un factor diferenciador de los sistemas inteligentes.

En resumen, la portabilidad y las diferentes capacidades de los VANT, hacen de estos, candidatos perfectos para asistir en diferentes áreas de la ingeniería civil (como la ingeniería de tránsito), ya que permiten recopilar y transmitir información en tiempo real que puede resultar relevante y determinante para el usuario y el operador de una vía. Todo esto se logra gracias a la interconexión con un servidor central (a través de fibra óptica y redes inalámbricas), que se encargará de recibir, interpretar y accionar en función de la información recibida, y redirigirla a diferentes puntos de la vía mediante la señalización inteligente (carretera inteligente); además al permitir la captura de datos críticos, pueden ser una excelente herramienta de apoyo para la generación de base de datos SIG con diferentes aplicaciones dentro de la ingeniería.

1.7. PRESENTE Y FUTURO

Actualmente los drones representan una alternativa viable a comparación de varias tecnologías y metodologías antiguas, representando mayor seguridad, menores tiempos de operación y un ahorro en varios procesos de la ingeniería. También se debe considerar el aumento y popularidad que han ganado en el sector comercial; no es raro ver el uso de los mismos para realizar videos dedicados a entretenimiento, por mencionar un ejemplo.

En cuanto a lo que este subtema refiere, tenemos aplicaciones variadas: los drones se utilizan actualmente para asistir médicamente a algún enfermo vía remota, e inclusive en algunas ciudades de primer mundo son los encargados de repartir paquetería desde una base o almacén hasta las manos del cliente. Si bien el desarrollo de estas aplicaciones aún está a prueba y en etapa de adaptación, muestra un poco el potencial y avance que se tiene hasta ahora en la tecnología de los VANT de uso comercial, y es debido a esta visión que detrás de esta ciencia aplicada hay intereses económicos de gran escala por parte de inversionistas y gobiernos en todo el mundo.

Es de vital importancia crear normativas y leyes sobre los VANT, para que en un futuro el uso del espacio aéreo esté bien regulado y se puedan ver nuevas aplicaciones o expandir las existentes, por ejemplo, en el área de logística y paquetería; inclusive se podrían tener taxis autónomos que vuelen por vías aéreas en los próximos años.

Pero el futuro va más allá, el hombre sueña en conquistar el espacio y las naves no tripuladas serán grandes aliadas en nuestra búsqueda por explorarlo; puede sonar como algo sacado de una película de ciencia ficción, pero si algo aprendió el hombre con el paso del tiempo, es que la brecha entre realidad y ficción es sumamente estrecha, y que los VENT (Vehículos Espaciales No Tripulados) serán una realidad en un futuro

próximo, ayudando a la humanidad a explorar el espacio y abrir nuevas fronteras como ya lo hacen otros dispositivos de manera similar en las profundidades del mar.

1.8. JUSTIFICACIÓN

Descritas las características y componentes de las diferentes tecnologías implicadas, incluyendo la composición de los drones y sus diferentes tipos, resta preguntarse por qué considerar esta tecnología como una herramienta más en la labor ingenieril.

Hasta este punto se ha realizado un compendio de la historia, evolución, tipos y aplicaciones de los drones, así como su relación con la ingeniería (en particular la Ingeniería en Vías Terrestres); esto último debido a que esta tecnología es sumamente útil en varios campos de esta y otras profesiones. Podemos apreciar la eficiencia y eficacia que tienen los drones en la recolección de datos, los cuales son la base de todo estudio y trabajo de ingeniería. Además, su empleo implica menores costos, menos tiempo, y mayor seguridad para los operadores.

Queda claro que no podemos ignorar la evolución tecnológica y el impacto que esta tiene en el mundo, y que el área de vías terrestres también necesita ponerse al día en cuanto a nuevos métodos y técnicas, ya que como se ha ejemplificado a lo largo de este escrito, la tecnología moderna está revolucionando esta profesión.

Claro está que no se puede depender ciegamente de las tecnologías "inteligentes"; las bases que cimientan esta profesión y los métodos clásicos deben ser revisados y actualizados apoyándose en estas nuevas herramientas, pero no deben ser desechadas las técnicas, ni el conocimiento adquirido, con la idea en la mente de que una máquina va a pensar por nosotros. Esta es una reflexión importante ya que es labor del ingeniero contemporáneo resolver las nuevas problemáticas que surgen del uso de la tecnología y encontrar en ella un uso equilibrado.

Sin embargo, la otra reflexión importante que aborda este trabajo es justamente lo que sucede cuando los profesionistas deci-

den no adoptar las nuevas tecnologías por miedo, desconocimiento, poco interés, etc. También es importante tomar en cuenta los esfuerzos de muchas grandes casas de estudio en otros países, las cuales comparten sus investigaciones y experiencias en torno a los VANT y cómo estos han sido probados en muchas áreas y han resultado ser mejores opciones en comparación a los métodos clásicos. Por lo que este documento, no solo sirve como una guía básica para tomar como referencia, sino que también busca ejemplificar campos de aplicación en el área de vías terrestres, esperando así, animar al lector a considerar a los UAV como una nueva herramienta para el ejercicio de la profesión; una muy útil y que tiene potencial de revolucionar muchas de las áreas implicadas.

1.9. LEGISLACIÓN Y REGULACIONES

En nuestro país es posible adquirir drones con cierta facilidad en varios centros de venta como plazas o tiendas especializadas, sin embargo, al comprar uno de estos equipos no se adquiere la licencia necesaria para seguir con su operación, y en el peor de los casos, el usuario no conoce tampoco la normativa a seguir.

Actualmente en México existe una norma sobre el uso de RPAS emitida por la Dirección General de Aeronáutica Civil de la SCT, la cual determina los lineamientos para pilotar los UAV, no obstante, el incumplimiento de esta norma solo se produce una sanción de carácter civil. También cabe mencionar que se solicita a los propietarios de drones que realicen el registro de su dispositivo vía online.

Es por las razones antes mencionadas y debido al incremento de ilícitos que se realizan con estos equipos, que nace la necesidad de hacer más robustas las normas que los rigen y tener leyes que los regulen; a nivel internacional esta condición cuenta con un mayor desarrollo, como es el caso de la OACI, organización que ya ha redactado documentos y recomendaciones al respecto (aunque no es la única asociación que trabaja en ello). Se sobreentiende la necesidad de que el operador requiera de una licencia para poder manipular drones, cuestión que se volvió oficial a partir de diciembre de 2018.

De igual forma se planea implementar el proceso de regulación comenzando el año 2019, con el fin de modificar todos los estatutos actuales sobre RPAS y así poder introducir el concepto del buen uso, implementar el manejo de licencias, y la asignar de multas para quien incumpla lo establecido.

Es así como se planea realizar una publicación en el Diario Oficial de la Federación donde se detallen y apliquen los cambios a las normativas, que podrían venir acom-

pañados de multas que rondan los 403 mil pesos, ya que el uso indebido de los drones en campo aéreo puede ocasionar colisiones con otras aéreonaves tripuladas, poniendo en riesgo la vida de sus tripulantes y ocasionando posibles daños colaterales.

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) considera que la responsabilidad que tienen los pilotos de drones es igual de relevante que la que posee cualquier otro piloto; es debido a esto y a que ambos tipos de aeronaves ocupan un mismo espacio aéreo, que se debe tener en cuenta que la presencia de un VANT puede poner en peligro a aeronaves comerciales o de pasajeros.

Lo que se busca principalmente es lograr un "mapeo" en donde se muestre qué zonas son seguras para volar RPAS y en cuáles se puede comprometer la seguridad de otras aeronaves; esto se hace también considerando la altitud máxima en la que pueden sobrevolar los dispositivos y que estos no deben salir del rango de visión del operador. Además, aún no se tiene claro si los RPAS inferiores a 2 kg de peso entrarán bajo la misma normativa (la tendencia mundial no es clara aún, pero se considera reducir de 2 kg a 250 gramos para requerir una licencia o permiso). Muchas personas compran drones para su uso recreativo, y si bien no todos los modelos son capaces por su propia composición de causar estragos mayores, se deben tomar en cuenta los otros posibles factores derivados del mal uso, como lo son daños a personas y propiedades. Es importante mencionar que la DGAC actualmente sí considera la necesidad de un permiso y de regulaciones para dicho tipo de aeronaves en México, principalmente las vendidas en centros comerciales e internet.

Este carácter legal es de gran importancia ya que, por un lado, permitirá que su mal empleo sea regulado y consecuentemente mitigado, mientras que, por otro lado, no entorpecerá el potencial que tiene en varios campos, como los tratados en este docu-

mento en relación a la ingeniería.

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la DGAC, las siguientes son las consideraciones a tomar en cuenta para registrar y volar un RPAS en México.

Clasificaciones:

- RPAS micro (2 kg o menos)
- RPAS pequeño (de 2 kg hasta 25 kg)
- RPAS grande (25 kilogramos o más)

1.9.1. REQUISITOS PARA OBTENER LA LICENCIA DE PILOTO DE UN "RPAS GRANDE"

1. Solicitud por escrito.
2. Tener al menos 18 años.
3. Acta de nacimiento o documento que te acredite como mexicano.
4. Formatos cédula de registro que te dé la Aeronáutica Civil.
5. Comprobante de pago de derechos por permiso de formación, aplicación de examen y expedición de licencia.
6. Documento que acredite haber presentado y aprobado los exámenes prácticos y teóricos establecidos por la autoridad aeronáutica.
7. Certificado expedido por un centro de instrucción reconocido por la autoridad aeronáutica.
8. Constancia de aptitud psicofísica vigente 90 días a partir de la fecha de expedición, emitida por la Dirección General de Protección y Medicina preventiva del transporte.
9. La licencia tiene una vigencia de tres años a partir de su expedición y podrá ser cancelada por la autoridad aeronáutica por operación irresponsable, por uso con fines delictivos y a petición del interesado.

El registro es gratuito y el trámite tiene una duración estimada de 10 días.

En el caso de los RPAS "pequeños" y "mi-

cro" no se requiere licencia, pero sí deben ser registrados vía online.

1.9.2. PASOS PARA EL REGISTRO DE "RPAS PEQUEÑOS Y MICRO"

1. Debe registrarse ante la Dirección General de Aeronáutica Civil antes de operarlo. Para poder registrarlo debes tener nacionalidad mexicana, ser mayor de edad (de no ser así puede hacerlo el padre o tutor) y llenar un formulario.
2. Una vez llenado el formulario, enviarlo aclarando alguna de estas dos opciones: para Registro de RPAS comercializados en México o Registro de RPAS por propietarios según sea el caso.
3. Si eres persona física tienes que acreditar tu personalidad adjuntando copia digitalizada de tu INE o cualquier identificación oficial.
4. Si eres persona moral tienes que acreditar tu personalidad adjuntando copia digitalizada del acta constitutiva (registro legal de la creación de la empresa) y el poder notarial del representante legal.
5. Se debe tener a la mano la copia digitalizada de la documentación que acredite la propiedad o posesión de su RPAS (formatos admitidos: .pdf, .docx, .jpg o .png).
6. Se envía un correo electrónico a la dirección rpas@sct.gob.mx solicitando la obtención de registro para un RPAS, anexando el formulario ya completo en Excel, junto con una versión impresa firmada por ti, agregando manualmente tu RFC con homoclave; también las copias digitalizadas de la documentación que acredite la propiedad o posesión del RPAS.
7. Finalmente, espera tu folio de registro o las consideraciones a cubrir para la obtención el mismo en la dirección electrónica que diste.

El Diario Oficial de la Federación publicó el 18 de agosto de 2018 un decreto en el que se reformaron y adicionaron diversas disposiciones a la ley de aviación civil y a la ley de aeropuertos, en las cuales se plantearon muchas modificaciones, una de ellas es que ya se consideran a las aeronaves no tripuladas dentro de las leyes que plantean el correcto uso, las regulaciones y los alcances de los UAV; dicho documento puede ser descargado de la página web del DOF para su consulta y se planeaba que entrara en vigor a partir de diciembre del 2018.

Sin embargo, ralentizado por el cambio de gobierno en nuestro país y con ello la correspondiente reestructuración dentro de la SCT, se prevé que tome más tiempo su aplicación pues se necesita hacer la correcta revisión y ampliación de nuevas normativas respecto al tema.

Por su parte la FAA ha presentado un reglamento modelo que consta de 11 partes, buscando llevar un orden y control respecto al manejo y aplicación de la tecnología:

- 1 – Políticas, procedimientos y definiciones generales
- 2 – Otorgamiento de licencias al personal
- 3 – Organizaciones de instrucción reconocidas
- 4 – Matrícula y marcado de las aeronaves
- 5 – Aeronavegabilidad
- 6 – Organizaciones de mantenimiento reconocidas
- 7 – Instrumentos y equipo
- 8 – Operaciones
- 9 – Administración y certificación del explotador de servicios aéreos
- 10 – Transporte aéreo comercial por explotadores de servicios aéreos extranjeros dentro del estado.
- 11 – Trabajos aéreos

La FAA como organismo regulador en Estados Unidos, ha propuesto y desarrollado una gran cantidad de normativas y reglamentos gracias a la retroalimentación que han obtenido durante los años por parte de diversas instituciones y países asociados; resulta de mucho interés e importancia visitar su página web donde existe un apartado dedicado completamente a estos ámbitos, los cuales sirven de ejemplo para la realización de normativas específicas en países como el nuestro, donde no se ha recopilado aún suficiente información sobre los UAS y se carece de experiencia en estos campos.

A continuación, se rescatan las reglas y requisitos generales que la FAA tiene vigentes en los Estados Unidos para vuelos comerciales y recreacionales, estos resultan de interés y sirven como base a tener en cuenta para la operación general; también debemos apreciar, que, si bien en cada región se están generando reglas particulares, es una buena práctica tener de referencia las que se utilizan en países con mayor desarrollo y aplicación de las tecnologías.

PARA VUELO RECREACIONAL

- Debe volar solo por pasatiempo o recreación (no se permiten trabajos secundarios, ni trabajos específicos).
- Debe registrar su UAV con la FAA en el sitio web de "faadronezone".
- Debe volar dentro de la línea de visión.
- Debe seguir las pautas de seguridad basadas en la comunidad y volar dentro de la programación de una organización basada en la comunidad (CBO) a nivel nacional, como la AMA.
- Debe volar un dron de menos de 55 libras (25 kg), a menos que esté certificado por una organización comunitaria.
- Nunca debe volar cerca de otro avión.
- Debe notificar al aeropuerto y a la torre de control de tráfico aéreo antes de volar a menos de 5 millas de un aeropuerto.
- Nunca debe volar cerca de una zona donde se realicen esfuerzos de rescate o emergencia.

PARA VUELO COMERCIAL

- Se debe tener un certificado de piloto remoto emitido por la FAA para volar comercialmente.
- Debe registrar su UAV con la FAA en el sitio web de "faadronezone".
- Al despegar, su UAV debe pesar menos de 55 libras (25 kg), incluida la carga útil.
- Debe volar en espacio aéreo Clase G (espacio aéreo no controlado).
- Debe mantener su UAV dentro de la línea de visión.
- Debe volar a 400 pies (122 metros) o menos.
- Debe volar durante el día o el crepúsculo civil.
- Debe volar a 100 mph (160.93 km/h) o menos.
- Debes ceder el paso a los aviones tripulados.
- No puede volar directamente sobre la gente.
- No puede volar desde un vehículo en movimiento, a menos que esté en un área escasamente poblada.

2. OBJETIVOS

2.1. ANALIZAR ALGUNOS EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE VANT EN LA INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

Se presentan algunos ejemplos prácticos de aplicaciones de VANT, particularmente en el campo de la ingeniería civil, con la finalidad de expandir la visión teórica antes expuesta en este documento a través de la implementación de esta nueva tecnología en el ejercicio de la profesión.

2.2. COMPARAR LAS VENTAJAS Y DEFICIENCIAS DEL USO DE VANT RESPECTO A OTRAS TECNOLOGÍAS YA ESTABLECIDAS

Es de importancia el conocer las ventajas y desventajas que esta tecnología ofrece frente a otras metodologías clásicas, tomando como base diversos estudios realizados por universidades e instituciones gubernamentales en otros países, los cuales aplican esta tecnología desde comienzos del siglo XXI.

2.3. IMPLEMENTAR LOS VANT EN UN CASO DE ESTUDIO EN EL ÁREA DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Se presenta un caso de estudio en campo donde se muestra la utilidad de los VANT aplicados a la ingeniería de tránsito, se analizan algunos puntos de interés para la mejora en la recolección de datos, asimismo se estudia su potencial para complementar y volver más eficientes los estudios en dicha área.

3. HIPÓTESIS

3.1. EXPONER ALGUNOS BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE VANT EN EL EJERCICIO DE LAS VÍAS TERRESTRES.

Tras exponer algunos ejemplos de aplicación de los VANT en el área de vías terrestres y demostrar el provecho que se puede obtener con ellos, se hará una comparación entre esta tecnología y las metodologías clásicas; mostrando tanto sus ventajas como sus desventajas, con el fin de poner en perspectiva lo que es necesario hacer para salvaguardar los recursos socio-económicos y el desarrollo sustentable en un proyecto de ingeniería que haga uso de estos vehículos.

¿Qué tan viable es la utilización de la tecnología VANT en el campo de la ingeniería civil?

3.2. DESARROLLAR UN CASO DE ESTUDIO DONDE SE UTILICEN VANT BUSCANDO MOSTRAR VARIAS DE LAS VENTAJAS DE SU IMPLEMENTACIÓN.

Se analiza un video grabado mediante un dron en la intersección de Avenida Cerro del Agua con Eje 10 en la delegación Coyoacán de la Ciudad de México, con la finalidad de realizar algunas aplicaciones al área de vías terrestres y obtener algunos datos relevantes para la ingeniería de tránsito; estos últimos pueden ser observaciones del comportamiento de los conductores, del cumplimiento de las señales de tráfico y la operación de los sistemas de transporte público, por mencionar algunos.

¿Es útil la aplicación de los VANT para analizar el comportamiento de los usuarios de una vía terrestre desde el enfoque de la ingeniería de tránsito?

4. EJEMPLOS DE ALGUNAS ÁREAS DE APLICACIÓN

4.1. MAPEO URBANO

La primera aplicación trata sobre la utilización de drones para realizar ortoplanos de una ciudad, es decir, mapas generados a partir de un gran número de fotografías aéreas (ilustración 21), las cuales deben ser tomadas a una misma altitud y mantener una relación de 90° respecto al suelo (sin deformación angular); dichas ortofotografías pueden ser utilizadas como planos debido a estas características.



Ilustración 21. Ejemplo de una ortofotografía (Bérgamo, Italia). © Wikimedia Commons

Para realizar este tipo de mapas se requiere de un dron equipado con una cámara de resolución suficiente para obtener fotos con una calidad alta, en general, la mayoría de estos vehículos ya cuentan con cámaras de alta resolución, las cuales les permiten captar eficientemente contenido multimedia y guardarlo en un dispositivo de almacenamiento de datos.

Un dato importante a considerar para esta práctica, es el tipo de dron a utilizar; se optará por uno con tamaño y peso reducidos, además de estar fabricado con materiales ligeros debido al peligro de colisión o desplome en una zona urbana (ilustración 22), así se logra minimizar el riesgo para la po-

blación, flora y fauna del área de estudio.



Ilustración 22. Dron Ligero - ebee © Sensefly.

Además de realizar mapeos de un área en particular, esta aplicación igualmente tiene la utilidad de ubicar zonas potenciales de riesgo como incendios e inundaciones (ilustración 23), entre otros, así como también sitios donde no se tiene un fácil acceso o es una región de conflicto social.



Ilustración 23. Identificación de zonas de riesgo de inundación © Tanzanian Open Data Initiative 2015.

La ventaja que representa el uso de esta herramienta, no solo es de carácter funcional, sino que también representa un beneficio de tipo económico y por si fuera poco resulta ser más práctico que otros métodos, como es el caso del uso de imágenes satelitales o vuelos utilizando vehículos aéreos tripulados (comúnmente avionetas); los cuales en ocasiones suelen presentar imágenes no representativas de un lugar debido a diversos factores como son el control, la precisión, la resolución, etc.

4.2. RECONOCIMIENTO EN SITIO PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Otra aplicación de los UAV que cobra fuerza en el mundo es la utilización de drones para reconocimiento en sitio, previo a la construcción o como revisión al diseño de una vía terrestre como puede ser una carretera; de hecho, este es un requisito que ahora la SCT pide previo a la realización de una obra.

De esta manera, la utilidad de esta aplicación radica en la posibilidad de volar un dron sobre un terreno, el cual, se encuentra dentro del derecho de vía por donde planea ser construida una ruta, y de esta manera se pueden obtener varios datos relevantes por medio de la captura de fotos y videos, los cuales a su vez, permiten conocer la configuración del terreno y los elementos que lo conforman; por ejemplo, gracias a esto se puede obtener una mejor idea de qué maquinaria ha de utilizarse dependiendo de las condiciones del terreno (ilustración 24). Esta acción puede ser conjunta con la utilización de LIDAR, el cual permite obtener modelos en 3D de la zona y gracias a puntos de control georreferenciados, obtener información importante como pueden ser el volumen de movimiento de tierras necesarios para la construcción de la vía o también las elevaciones de diseño.

Las ventajas son variadas, en una obra principalmente se logran reducir los tiempos debido a que este método suele ser más rápido y seguro que la topografía clásica, además de que se emplea el método de procesamiento digital de imágenes que resulta ser de utilidad a lo largo del proyecto.

De esta manera se logra monitorear y recopilar información valiosa durante la realización del movimiento de tierras y en el diseño de taludes, asimismo se adquiere el control de la ubicación de la maquinaria y se posibilita el hacer revisiones aéreas preventivas para evitar posibles problemas de inestabilidad de suelos.



Ilustración 24. Supervisión de obras de construcción, Caracas, Venezuela © Geodesíamania 2017.

4.3. INSPECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN PUENTE

Similar a la aplicación anterior, en este caso se utilizan los drones para realizar revisiones periódicas a estructuras como pueden ser puentes, aunque también se debe mencionar su utilidad en la revisión de rellenos sanitarios, canales, obras de diversa índole.

En general esta metodología no solo es práctica, sino que también busca hacer más segura la revisión de puentes, en especial aquellos que están suspendidos a una gran distancia del suelo o sobre un cuerpo de agua, es así que su importancia principal radica en la seguridad de los operadores.

Por otro lado, actualmente la utilización de los drones permite recolectar información de un puente permitiendo grabar video, tomar fotografía, hacer acercamientos a detalle de zonas de interés, y obtener imágenes térmicas de las estructuras (las cuales son utilizadas para ver deterioros en las mismas, como fisuras). Un punto a denotar es que los drones en la actualidad permiten ser controlados sin utilizar el GPS, lo que les permite volar bajo puentes o en zonas de difícil acceso, además de que ahora es posible diseñar UAV específicos para cumplir esta tarea.

El proyecto AEROBI (ilustración 25), por ejemplo, es el pionero en confeccionar un dron con características específicas para la revisión de puentes; aún no es un sistema validado, pero se planea que lo sea en el año 2020. Este UAV permite inspeccionar, de forma rápida y eficiente, un puente a profundidad, detectando así, posibles daños causados por deterioro como lo es el agrietamiento. Esto puede realizarlo sin afectar la circulación de tráfico aledaña al elemento a evaluar, además claro de no arriesgar la seguridad del personal.

La peculiaridad de este modelo de dron es que incluye un brazo multiarticulado para realizar revisiones de contacto de manera

más fiable, además está equipado con sensores y software de detección inteligente, los cuales pueden recopilar todos los parámetros necesarios para que incluso el sistema, una vez procesado la información, sea capaz de calificar en el acto la condición del puente.



Ilustración 25. Dron articulado con sensores y cámaras para evaluación de puentes © Proyecto AEROBI 2018

4.4. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS PARA VÍAS TERRESTRES (FOTOGRAMETRÍA)

Esta técnica nos permite conocer diferentes propiedades geométricas de un objeto o una superficie a partir de la información obtenida tras capturar varias imágenes con información redundante, esto es, que un objeto para poder ser construido debe aparecer en un número suficiente de imágenes y con esta información repetida sea posible formular su estructura.

El dron debe de ser capaz de tomar una serie de fotografías mientras sigue un recorrido previamente configurado (ilustración 26), estas deben cumplir con una característica, y es que cada foto consecutiva contenga en cada uno de sus extremos los mismos elementos que permitan a un software especializado, tomarlos como puntos de referencia, y así poder unir varias capturas en una sola imagen (overlap); claro está que las fotos deben ser tomadas a una misma altitud y respetando la ortogonalidad.

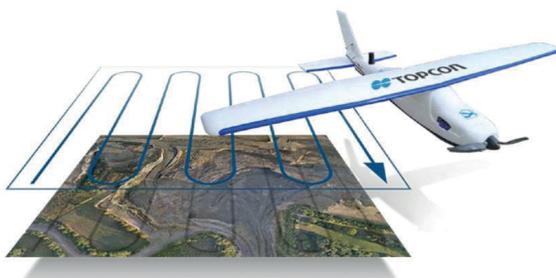


Ilustración 26. Ejemplo de ruta planificada de un dron para aplicaciones de fotogrametría © Topcon.

Para esta tarea el porcentaje de "solape" entre imágenes suele oscilar entre el 60% y 90%, este es calculado por un software de planificación de vuelos previamente instalado y configurado a través de un dispositivo móvil (Smartphone o Tablet) en el controlador del dron; este software permite calcular

secuencias de disparos fotográficos a partir de la posición del dron, su altura y el solape que se le asigne.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que, sin una buena planificación de vuelo, una sola variable como la condición climatológica, puede afectar de manera negativa a la recolección de datos y dar por resultado una toma de información basura.

Cumpliendo correctamente con la metodología, el siguiente paso sería procesar las imágenes utilizando un software especializado, este debe ser capaz de inferir la ubicación tridimensional de millones de puntos, los cuales servirán para la reconstrucción de polígonos en 3D (ilustración 27), la formación de una nube de puntos o la anteriormente mencionada "ortofotografía"; cabe mencionar que las licencias de estos software no son económicas y suponen una inversión considerable, además de que requieren contar con equipos de cómputo de altas especificaciones para su correcta operación.

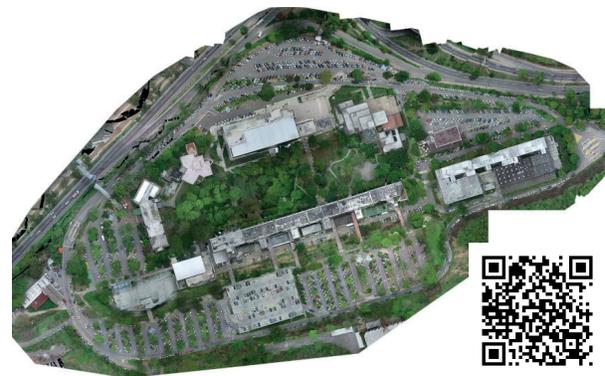


Ilustración 27. Ejemplo de una imagen en alta resolución renderizada en 3D a partir de fotogrametría utilizando drones.

Las ventajas de esta nueva tecnología frente a las clásicas como son el uso de helicópteros, avionetas o satélites, son principalmente, la rapidez con la que se realiza el trabajo, costos menos elevados, un mayor control en la operación y mejores resultados. Cabe mencionar que el precio de renta de vehícu-

los tripulados es considerablemente mayor que el de los VANT; y si bien la tecnología de satélite no es tan cara, ofrece una resolución pobre en comparación a los drones, además de que se pueden presentar problemas como la presencia de nubes que ocasionarían datos basura.

4.5. ANÁLISIS AVANZADO DE TRÁFICO URBANO A PARTIR DE DATOS OBTENIDOS DE VIDEO AÉREO

En cuanto a la aplicación a la ingeniería de tránsito, se tiene lo que sería una evolución alternativa a los métodos tradicionales de recopilación de datos de tráfico.

Debido a su portabilidad, precisión, versatilidad y a la capacidad que poseen para cubrir grandes áreas en poco tiempo, la utilización de drones en esta área trae consigo muchas ventajas.

En este ejemplo de aplicación, nuevamente los sensores y software integrados en el dron juegan un rol determinante, ya que serán utilizados para proporcionar la cantidad suficiente de datos que permitirán calcular la ubicación de los vehículos y el monitoreo de su movimiento sobre el rango de captura de la cámara.

Este tipo de cálculos suelen ser complejos y requieren de software versado en el reconocimiento de objetos según su relación de píxeles y colores dentro de la captura de imagen, sin embargo, un dron especializado podría contar con la programación necesaria para realizar dichos cálculos en tiempo real y mandar los resultados al operador.

Una vez que el software identifica un patrón de movimiento en particular de un medio de transporte (como el de un camión, un auto particular, una bicicleta, etc.), puede realizar un seguimiento de los píxeles que lo conforman, y esto permite calcular varios parámetros fundamentales como lo son: datos de velocidad, la brecha entre vehículos y la aceleración de los mismos. Con esta herramienta también se puede cuantificar el número de vehículos que salen o entran de un punto de control, (como una intersección semafórica), además de poder identificar y clasificar los vehículos que circulan por la vía (flujo de tráfico), detectar anomalías en el flujo del sistema, obtener su volumen e incluso estimar un cálculo de emisión de

contaminantes.

Una de las aplicaciones básicas a considerar en la práctica de la ingeniería de tránsito es el conteo de vehículos; los métodos clásicos necesitan de equipos robustos como pudieran ser cámaras fijas, o inclusive la asistencia de personas, para poder realizar un conteo en la zona de estudio. Con estas nuevas tecnologías se utilizan aparatos especializados que a través de sensores realizan también dicha función (ilustración 28) y pueden, entre otras cosas, identificar también el tipo de vehículos que circulan por una vía.



Ilustración 28. Método alternativo (dispositivo con sensores) para contar vehículos en sitio © trafficcom.

Si bien es posible considerar factible el uso de las diferentes tecnologías existentes, ahora se hace más presente el uso del dron, pues para la captura de video tenemos apoyo de software especializado con el que se pueden delimitar zonas de "entrada" y "salida" en diferentes colores (ilustración 29), en este caso, verde y rojo respectivamente; el software identificará cada uno de los medios de transporte que pasen por dichas líneas de control y realizará el conteo de cada vehículo que cruce estos segmentos, entregando un reporte con los resultados al operador o usuario.

Las ventajas entonces, son claras debido a que, en contraposición a otras metodologías, la practicidad del estudio, la no inva-

sión del terreno y la claridad de los resultados, hacen superior a esta tecnología, ya que en las otras técnicas se tiene una serie de desventajas evidentes, como, por ejemplo, que el costo de los equipos de conteo es elevado, y como estos deben permanecer instalados en sitio (ilustración 28), requieren de supervisión en contra de robos. Otro factor relevante en el caso del uso de cámaras de video, es que las personas tienden a desconfiar si detectan que están siendo grabadas debido a la inseguridad que se vive en diversas zonas, o también puede darse el caso de que la gente modifique su comportamiento, haciendo que los resultados de un estudio, arrojen una representación no adecuada. Es debido a todo esto y a otros factores más, que la alternativa propuesta con el uso de drones no solo es práctica, sino que también conlleva un aumento en la eficiencia de recolección de datos al ofrecer una visión panorámica de la zona de estudio, donde antes se tendría que hacer varios muestreos por separado o en conjunto, requiriendo más personal humano y aparatos; el dron puede realizar esta compleja tarea con un solo muestreo.

Los VANT presentan una ventaja notoria en la recolección de datos básicos en la ingeniería de tránsito, y el caso de estudio presentado en este documento pretende ejemplificar además de esta, otros beneficios que resultan de mucho interés para esta área y que difícilmente logran ser percibidos por métodos clásicos.



Ilustración 29. Ejemplo de aplicación de software especializado para el conteo de vehículos, inmediaciones del Metro Martín Carrera, CDMX © Datafromsky 2017.

4.6. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS

Finalmente, en esta sección de ejemplos se ofrece un pequeño resumen donde se exponen puntos a positivos y negativos del uso de drones así como una tabla de referencia realizada por el "International Journal of Transportation Science and Technology" en 2016, donde se comparan varios factores importantes entre los UAV, los MAV (de las siglas en inglés, Manned Aerial Vehicle) y las cámaras estáticas, lo cual ayuda a tener una mejor comprensión de las fortalezas y debilidades de cada tecnología.

Hablando sobre los puntos negativos de la tecnología, se tienen los problemas de seguridad ya antes comentados, ya que, debido al tamaño de los drones y su capacidad de transportar cosas de manera remota, se tienen registrados usos ilícitos como transporte de droga o espionaje, los cuales son condiciones relevantes que están en revisión y consideración para la posterior implementación de normativas más severas y leyes que regulen mejor el uso de los mismos.

Otro punto negativo radica en la tecnología de las baterías, ya que estas, aún tiene poca capacidad y no permiten al dron volar por tiempos prolongados; comúnmente este tiempo es de 20 minutos para drones comerciales.

El vuelo en situaciones climatológicas adversas, es otro problema porque no se puede operar el dron en vientos fuertes por posibilidad de desplome, y tampoco bajo lluvia o nieve por las mismas razones (esto es debido a sus materiales tienden a ser ligeros y por ello presentan una menor resistencia a impactos); además no se puede volar de noche, para ello se requieren permisos especiales.

En cuanto a sus puntos positivos, tenemos un bajo costo de adquisición y mantenimiento, su portabilidad y su facilidad de despegue; esta última resulta del hecho de que no requiere grandes extensiones de te-

rreno para despegar, ya que puede hacerlo de manera vertical (dron multirotor). Sus capacidades de procesamiento de datos también son de gran utilidad y son mucho mejores que las de sus competidores, y debido a su efectividad en la transferencia de información por medios físicos e inalámbricos, resultan ser una gran herramienta para la recolección y almacenamiento de datos.

Entonces, podemos definir a los **VANT**, como una **tecnología eficiente, práctica, portable, de poco costo y con buena interconexión** con los sistemas de información.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre los UAV y otras tecnologías.

Concepto	Cámaras Estáticas	MAV	UAV
Covertura de distancia	Baja	Alta	Alta
Seguridad/privacidad	Media	Media	Baja
Costo (adquisición y mantenimiento)	Baja	Alta	Baja
Usos múltiples	Baja	Alta	Alta
Eficiencia energética	Baja	Baja	Alta
Despliegue	Baja	Alta	Baja
Tiempo de operación	Alto	Alto	Bajo
Operación en clima adverso	Media	Baja	Baja
Riesgo	Bajo	Alto	Medio
Resistencia	Alta	Alta	Baja
Post procesamiento de video	Medio	Alto	Alto
Transferencia de datos, comunicación y almacenamiento de información	Baja	Alta	Alta
Habilidades requeridas para operación	Baja	Alta	Media
Entrenamiento requerido	Bajo	Alto	Medio
Complejidad	Media	Alta	Media

Tabla 1. Comparativa entre UAV y tecnologías clásicas.

5. METODOLOGÍA

El dron utilizado es un Phantom Pro de la marca DJI (ilustración 31) y la metodología utilizada para el caso de estudio se presenta a continuación:

Previo al vuelo:

1. Revisar la normativa vigente y contar con la licencia necesaria para la operación del UAV.
2. Revisar las condiciones físicas del dron y asegurarse que no cuente con algún elemento dañado.
3. Cargar las baterías necesarias según los requerimientos del muestreo (tiempo de vuelo), si las baterías ya han cumplido su ciclo de vida, se deben sustituir.
4. Si el proyecto requiere captura de datos multimedia para reconocimiento en sitio, se debe programar una ruta mediante computadora o directamente desde alguna aplicación especializada (Tablet o Smartphone), esta se ejecutará al momento del vuelo.
5. Revisar que todos los elementos que conforman al dron estén debidamente guardados en su empaque de transporte.
6. Contar con los permisos especiales correspondientes, si es que estos se requieren.

Durante el vuelo:

1. Revisar que las condiciones climatológicas sean las adecuadas para volar el dron, esto requiere que de preferencia se tenga un cielo despejado, sin vientos fuertes. La capacidad de resistencia al viento de cada equipo es determinada por el fabricante y varía dependiendo el tipo de dron.
2. Ubicar una zona despejada donde se pueda plantar el dron para iniciar el despegue; es necesario que el sitio no presente obstrucciones a nivel del suelo, ni que existan otros elementos que pudieran afectar el arranque de la aeronave.
3. Colocar la batería, revisando el nivel de

carga de la misma; esta debe estar cargada preferentemente arriba del 90% de su capacidad. La batería posee un indicador LED para revisar la energía de carga en el momento que se desee.

4. Se coloca el dron en el punto de partida y se verifica que el controlador esté en óptimas condiciones de operación y que tenga cargada su batería.

5. Se conecta el dispositivo portátil en el controlador mediante un cable USB, luego se ejecutan las aplicaciones pertinentes y se asegura que el dron esté correctamente vinculado al controlador.

6. Revisar que todos los elementos del dron estén en orden y en un estado adecuado para su correcta operación, se debe poner especial atención en las hélices y los rotores; en el vehículo utilizado en el ejemplo, un Phantom Pro de la empresa DJI, las hélices deben ser colocadas de manera manual, y una vez puestas, el controlador procederá a hacer una revisión de los rotores, de la cámara, de los sensores y de los demás elementos, y si existe algún problema, el VANT lo indicará por medio de sus luces LED (color rojo). Así se verifican los elementos internos y se asegura que las hélices no salgan expulsadas por una mala colocación; de estar en orden todo se indicará a través de las luces LED (color verde).

7. Se procede a realizar el despegue, este debe ser de manera lenta; una vez se consigue una altitud considerable, se procede a volar el dron de manera manual o se puede cargar mediante el software, la ruta previamente generada para trabajos tales como la fotogrametría.

8. Para el caso de estudio se desea hacer un vuelo manual; el dron nunca debe salir de nuestro rango de visión, y una vez colocado en posición, se deja el equipo suspendido por el tiempo que dure el muestreo y se ajusta el ángulo de captura de video de la cámara, así como otras funciones. Si la

batería baja a un nivel crítico, el dron debe regresar a tierra firme para sustituirla. Toda la información puede verse en la pantalla de nuestro dispositivo móvil.

9. Una vez acabado el muestreo, se procede a regresar el dron al punto de partida; cuando el VANT está previamente programado puede realizar esta tarea de manera automática, sin embargo, siempre debemos tener contacto visual en caso de que surja alguna eventualidad en el vuelo.

10. Se apaga el dron y se retiran las hélices, se procede a guardarlo en su empaque de transporte junto con todos sus elementos.

11. El dron captura imagen y video, después manda toda esta información al aparato que se esté utilizando para su almacenamiento. Algunos equipos permiten la colocación de dispositivos de almacenamiento externo directamente en el vehículo o inclusive estos pueden contar con almacenamiento interno, otros como ya se mencionó anteriormente, mandan en tiempo real la información al controlador y este a su vez, al dispositivo sincronizado, el cual se encarga de guardar la información.

12. Se obtiene un video el cual debe ser ajustado o editado según las necesidades del proyecto para su posterior análisis.



Ilustración 31. El dron utilizado, un PHANTOM PRO de la marca DJI.

6. CASO DE ESTUDIO

6.1. ZONA DE ESTUDIO: "CERRO DEL AGUA Y EJE 10"

La zona de estudio se da en la intersección entre Cerro del agua y Eje 10 Sur, delegación Coyoacán, CDMX (ilustración 32). Se trata de una intersección conflictiva debido al gran flujo vehicular que se presenta, y esto termina derivando en congestiones frecuentes.



Ilustración 32. Mapa de la zona de estudio extraído de Google Maps.

6.2. APLICACIONES:

Para el ejemplo de aplicación se tomó un video de muestra a través de un dron con una duración de 6 minutos con 20 segundos, en el cual se analizaron varios aspectos de interés para la ingeniería de tránsito, sin embargo, se aborda un tema particular, y es el comportamiento humano y cómo este influye en la utilización de una vía terrestre. Esta es una tarea muy sencilla que tiene como fin mostrar la utilidad de los drones y la obtención de datos que únicamente es posible con la ayuda de estos.

6.2.1. RECONOCIMIENTO EN SITIO

En puntos anteriores se habló sobre la comparativa entre las imágenes satelitales y las de alta resolución que pueden ser captadas utilizando un dron, la siguiente es una imagen de la zona extraída del muestreo en video que se realizó con el VANT (ilustración 33), en la cual podemos observar la gran calidad que presenta, e incluso podemos compararla con una imagen de la misma zona tomada desde la plataforma de Google Earth (ilustración 34).

Si bien en un medio impreso como el papel la diferencia de nitidez y claridad es casi imperceptible, es cuando se utilizan medios electrónicos que puede compararse de mejor manera tanto la calidad, como la resolución entre ambas tecnologías, siendo el dron un medio de obtención de imagen y video de mejor calidad gracias a su cámara incorporada.

Además, el dron es capaz de obtener una ortofotografía del sitio y realizar un vuelo programado para recopilar imágenes que pueden servir para el análisis de zonas dañadas que influyen en el tráfico y congestión del lugar de estudio; con estas fotografías se puede efectuar el análisis de colas, por dar un ejemplo. En el caso de estudio a desarrollar, ambas herramientas (satelital y dron) son viables; la obtención de la imagen satelital de los servidores de Google es gratuita, lo cual supone un punto a su favor si lo que se quiere es únicamente revisar la zona.

Al realizar un recorrido con un VANT para obtener una ortofotografía, se debe evitar la captura de objetos en movimiento, tales como personas, animales o vehículos, ya que los objetos capturados en la primera toma podrían cambiar de lugar o no

ser los mismos en la segunda; generando así, un efecto de sobreposicionamiento, lo que tendría como resultado la obtención de fotografías con información basura. Las condiciones ideales para realizar recorridos aéreos y obtener ortofotografías con mejor calidad, son en zonas y horarios donde se presente la menor cantidad de movimiento de los objetos.

El factor determinante para decidir entre los VANT y otras tecnologías, es la capacidad para tomar video, ya que esta ofrece la recopilación de una gran cantidad de datos en tiempo real, que resultan de interés en varios estudios de la ingeniería de tránsito; el dron resulta ser el más eficiente para esta tarea. Anteriormente ya se mencionaron varias aplicaciones que se pueden efectuar a través de software especializados, como lo son, el hacer conteo de vehículos, identificarlos, obtener sus propiedades básicas, calcular flujos vehiculares, obtener la matriz origen-destino etc. Para nuestro ejemplo, hablaremos de algunos aspectos relacionados con la conducta humana, los cuales resultan de gran importancia si se busca interpretar los resultados de un muestreo de manera realista y no solo como un objeto matemático estadístico.

Otro aspecto relevante es que un vuelo previo para revisar la zona nos permitirá identificar si existe algún hecho circunstancial que pueda alterar el estudio, como puede ser un accidente, el mal funcionamiento de algún elemento de control (semáforo), deterioro en las vías (baches), o desgaste de las señales de tránsito, en fin, cualquier factor que resulte de interés al ingeniero que analiza la zona y que influya en la captura de datos; en ocasiones estos elementos pasan desapercibidos cuando se utilizan otros métodos clásicos, pero la revisión aérea resulta muy útil en la realización de esta tarea.

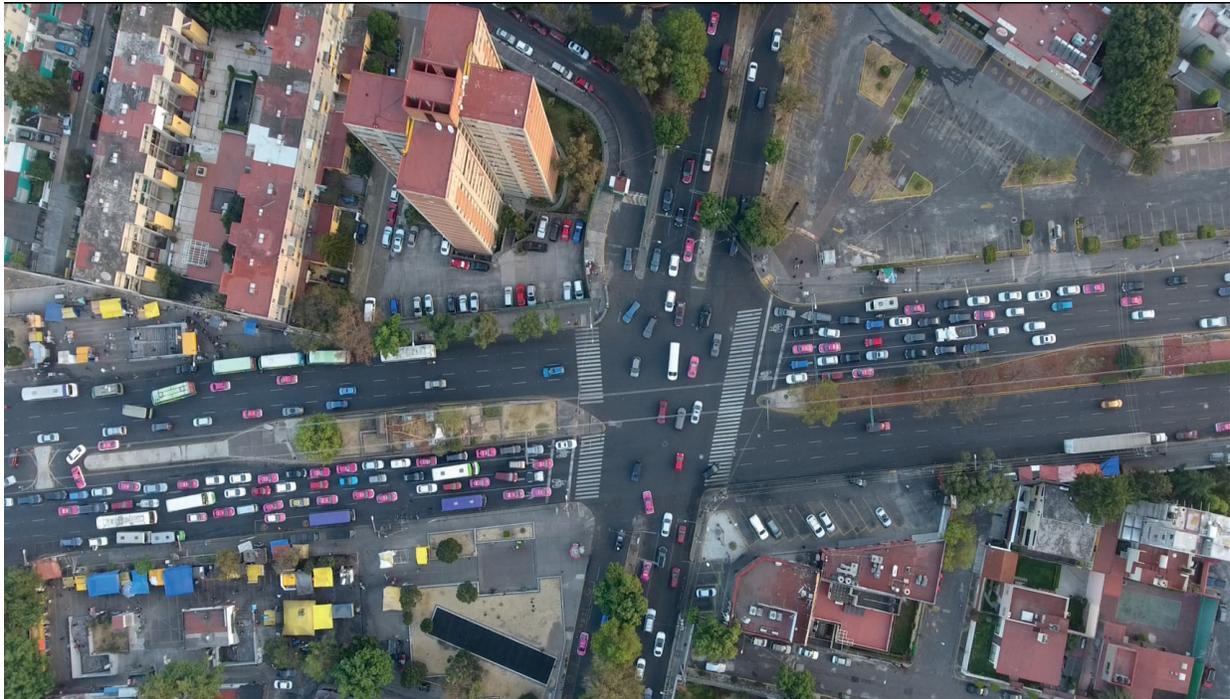


Ilustración 33. Imagen Capturada utilizando un dron.



Ilustración 34. Imagen capturada utilizando Google Earth.

6.2.2. MONITOREO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONDUCTOR Y PEATÓN (MCCP)

Un factor que no es posible capturar y analizar de manera simple, sencilla y práctica es el comportamiento del conductor y del peatón; utilizando otros métodos como la toma de video desde cámaras estáticas es posible observar acontecimientos que incluyen a estas variables, pero tener una vista aérea permite definir de mejor manera un acontecimiento debido a que disponemos de mayor cantidad de información del mismo suceso por el gran rango de visión que se posee.

Analizar estos elementos no solo resulta interesante, sino también de vital importancia para poder inferir las posibles causas de problemáticas que se presentan en una intersección, por ejemplo, la incidencia de accidentes en un punto en particular. Con el monitoreo es posible analizar el problema desde varias perspectivas diferentes, como la del vehículo y la del peatón; también se puede vislumbrar la importancia y la participación de los distintos elementos de infraestructura implicados en la zona de estudio, como pueden ser: puestos ambulantes, estructuras que carecen de capacidad adecuada ante un flujo de vehículos determinado, señalamientos en mal estado, etc.

A continuación, se indican algunos fotogramas con situaciones que pudieron ser identificadas y clasificadas según este análisis:

Fotograma 1:

Descripción: Vehículos que se detienen fuera del área de estacionamiento de un comercio local, obstruyendo la circulación y poniendo en riesgo a los vehículos que dan vuelta por su cercanía a la esquina.



Fotograma 1

Fotograma 2:

Descripción: Conflicto entre peatones que buscan cruzar la calle y vehículos que dan vuelta en ese mismo momento, problemática común en varias intersecciones de la ciudad.



Fotograma 2

6.2.3. CUMPLIMIENTO DE SEÑALES DE TRÁFICO (CST)

Las señales de tráfico nos ayudan a mantener el orden vial delimitando una serie de lineamientos y normativas, que, si llegan a ser quebrantadas, ameritan una sanción administrativa para quienes las incumplan. Este sistema fue concebido para evitar o mitigar accidentes y problemáticas derivadas del mal uso de la vía, sin embargo, aún con estos señalamientos, se aprecia una cantidad considerable de condiciones adversas, por lo que es de vital importancia seguir refinando el sistema; y esto se logra a través de analizar los factores que están involucrados en la falta de cumplimiento de estas reglas.

Gracias a la captura de video aérea del dron, es posible observar de manera fidedigna cuando los usuarios no respetan el señalamiento, y al tener un mayor rango de visión, permite a través de un análisis, intuir las posibles causas de ese comportamiento. De este análisis, se pueden concebir soluciones o mejores a este tipo de situaciones, por ejemplo, si una intersección solo cuenta con semáforos vehiculares, para poder cruzar, los peatones utilizan el tiempo de rojo, esto conlleva al problema de que los vehículos que dan vuelta utilizan esta misma fase, pudiendo ocasionar un siniestro; por lo que una solución sería la adición de semáforos peatonales para dar un tiempo específico de cruce a estos usuarios.

Algunos ejemplos de este análisis este análisis:

Fotograma 3:

Descripción: Conductores que no respetan la fase de rojo y dan vuelta ocasionando riesgo de colisión con otros vehículos.



Fotograma 3

Fotograma 4:

Descripción: Invasión de vehículos en el área para bicicletas, también se puede observar como invaden los carriles buscando posicionarse para dar vuelta.



Fotograma 4

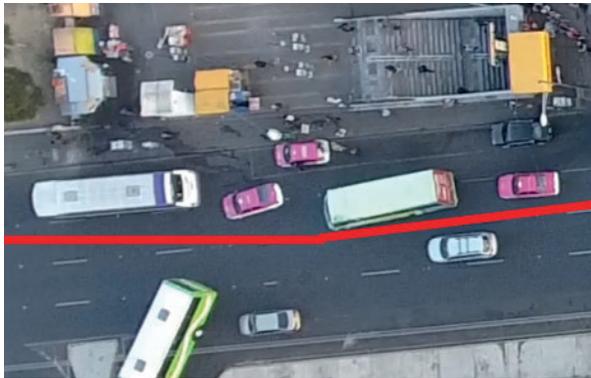
6.2.4. ANÁLISIS DE OPERACIÓN DEL TRANSPORTE (AOT)

Otro aspecto relevante, es la operación de los diferentes sistemas de transporte que se ubican y transitan por la zona de estudio, y la influencia que el comportamiento de estos, tiene en los vehículos particulares. El no contar con sistemas de transporte bien controlados, sincronizados y organizados, es un factor que ocasiona grandes pérdidas de tiempo, producto del congestionamiento vial; además de ser una posible causa de accidentes y de una mayor generación de contaminantes.

Situaciones identificadas bajo este análisis:

Fotograma 5:

Descripción: Transporte público estacionándose en carriles centrales, obstruyendo el tránsito vehicular en las inmediaciones del acceso al metro Copilco.



Fotograma 5

Fotograma 6:

Descripción: Base de Taxis mal ubicada, obstruye un carril además de ocasionar conflicto por el exceso de taxis que dan vuelta en "U" buscando estacionarse en su base.



Fotograma 6

Fotograma 7:

Descripción: Camiones de carga pesada estacionados en carril lateral, obstruyen la circulación además de aumentar el deterioro del pavimento que no está diseñado para soportar ese tipo de cargas estáticas.



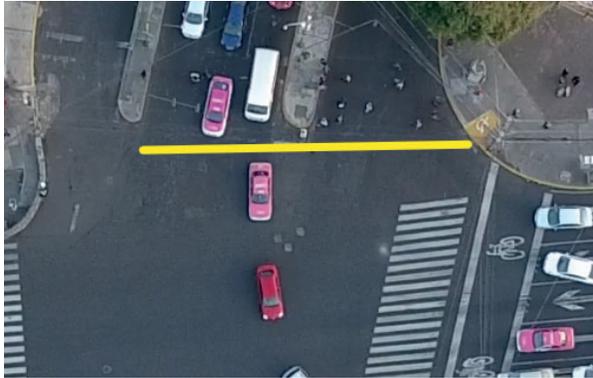
Fotograma 7

También se presentaron algunos casos donde es posible aplicar más de un análisis de manera simultánea, los cuales se muestran a continuación:

Fotograma 8:

Análisis: CST, MCCP.

Descripción: Falta de señalamiento horizontal y vertical que indique al peatón en que momento y por donde cruzar.



Fotograma 8

Fotograma 9:

Análisis: CST, AOT, MCCP.

Descripción: Exceso de camiones y taxis estacionados esperando por el ascenso de usuarios, en la imagen se aprecian hasta 3 carriles bloqueados y usuarios que buscan ingresar a los vehículos aún estando estos en los carriles centrales.

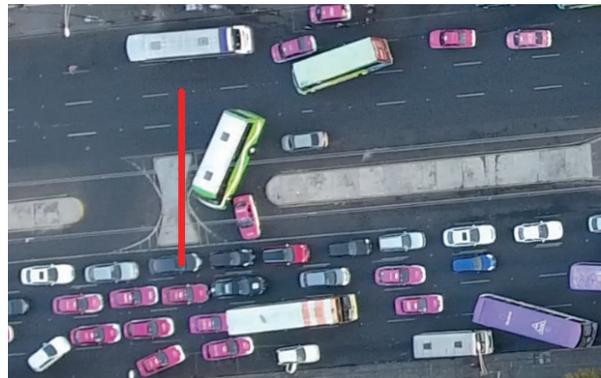


Fotograma 9

Fotograma 10 y 11:

Análisis: AOT, MCCP.

Descripción: Bloqueo de carril ocasionado por camión que busca dar vuelta en el retorno, la acción es impedida debido a la cola de vehículos que se forma en el carril al que busca ingresar.



Fotograma 10

En este mismo ejemplo podemos observar como el radio de giro del retorno es insuficiente para los camiones, lo cual puede ocasionar accidentes ya que el camión invade dos carriles al lograr hacer el cambio de carril y casi colisionando con otro vehículo.



Fotograma 11

Fotograma 12:

Análisis: CST, MCCP.

Descripción: Motociclistas que no respetan los señalamientos, alternando entre carriles durante la fase de rojo y verde.



Fotograma 12

Fotograma 13:

Análisis: CST, MCCP.

Descripción: Peatones cruzando durante la fase de verde deteniendo la circulación y exponiéndose a un accidente.



Fotograma 13

Fotograma 14:

Análisis: CST, MCCP.

Descripción: Vehículos que buscan dar vuelta y quedan detenidos en la parte central de la intersección, este caso se da en ambos sentidos.



Fotograma 14

Fotograma 15:

Análisis: CST, MCCP.

Descripción: Falta de carril exclusivo para que circulen bicicletas, sumado a la base de camiones que al ocupar el carril lateral, obligan a ciclistas a desplazarse por carriles centrales.



Fotograma 15

7. RESULTADOS

A través de la grabación se buscó identificar diferentes problemáticas en la zona de estudio para justificar la utilidad del dron como herramienta para el análisis de tránsito, y si bien se trató de un ejemplo simple de aplicación, este nos permitió observar con éxito, varios problemas típicos que suelen existir en una intersección, derivados del comportamiento humano y de la propia infraestructura vial. Con este análisis, es posible proponer medidas de mitigación que se pueden implementar para evitar en medida de lo posible, que los usuarios cometan infracciones que puedan poner en riesgo su seguridad personal, la de otros usuarios, y afecten el buen funcionamiento del sistema.

La consideración de la variable humana en la operación del transporte y el uso de la vía es de suma importancia; el dron permite captar muchos de estos aspectos que difícilmente se pueden observar a través de otros métodos tradicionales, y así como el VANT ofrece esta ventaja, también cuenta con otras características particulares que hacen de esta tecnología una gran herramienta a considerar, en comparación de otras existentes; a continuación, una pequeña tabla comparativa entre drones y dos tecnologías utilizadas comúnmente para conteo de vehículos:

Concepto (Considerando un muestreo para conteo de vehículos)	Dron "Quadcopter" Equipado con cámara de alta resolución	Sensor (Arduino con manguera sensible a presión y panel LED)	Cámara fija de alta resolución (Colocada en un edificio)
Costo (equipo y software especializado)	Alto	Bajo	Medio
Tiempo en operación	Bajo	Alto	Medio
Riesgo de Robo (CDMX)	Alto	Medio	Bajo
Calidad del material multimedia obtenido (video/Imagen)	Alta	Ninguna	Alta
Fidelidad de la información capturada en campo	Alta	Media	Media
Rango de captura de información (área de aplicación)	Alto	Bajo	Medio
Portabilidad	Media	Alta	Baja
Facilidad de colocación	Media	Alta	Baja
Flexibilidad de uso en diversos proyectos	Alta	Baja	Alta

Tabla 2. Comparación entre tecnologías de apoyo a la Ingeniería de Tránsito

Como podemos observar, el dron se presenta como una herramienta práctica comparada a otras que se utilizan en el mismo campo de estudio, y da el "plus" de tener la posibilidad de recolectar una mayor cantidad de información útil y variada para el proyecto, ya sea en la planeación, operación, re-diseño, ampliación, etc. Principalmente se debe resaltar su versatilidad, capacidad de cumplir múltiples funciones vía software y su capacidad de facilitar el análisis del comportamiento del conductor y peatón, además de los operadores de transporte público. Esto último nos permitirá delimitar una solución al problema de manera más eficiente y real.

En este proyecto se analizaron datos que pueden ayudar a solucionar o mejorar los siguientes puntos:

- Seguridad peatonal.
- Seguridad en la operación vehicular.
- Incorrecta operación de los sistemas de transporte.
- Necesidad de modificaciones geométricas a la vía.
- Identificación de señalamientos deficientes o nulos.
- Identificación de patrones de conducta reincidentes en conductores de la zona.
- Identificación de mal trazo o diseño de vías.
- Identificación de daños u obstrucciones en la vía.
- Incumplimiento con el reglamento de tránsito por parte de vehículos pesados.
- Identificación de zonas de conflicto (base de taxis, zonas aledañas al metro Copilco, comercio ambulante).
- Señalamientos deficientes o falta de rampas de acceso para ciclistas y personas con capacidades diferentes.
- Detección de zonas donde pueden implementarse otros tipos de señalamientos

como semáforos peatonales o señalamiento horizontal.

- Identificación de posibles carriles exclusivos para transporte público o ciclovías.

Finalmente se debe aclarar que el uso de drones presenta ventajas y desventajas, por ejemplo citando algunos conceptos de la tabla 2, es complicado operar un dron en una ciudad debido al peligro potencial de robo al operador, en localidades alejadas donde las personas no se encuentran familiarizadas con estas tecnologías se corre el riesgo de derribe del equipo con armas de fuego.

Además se deben considerar medidas de seguridad mas altas al operar un dron ya que se corre riesgo de colapso que puede dañar a peatones/inmuebles en una intersección como la utilizada como ejemplo práctico en este escrito.

Sin embargo no se puede negar el uso de estos dispositivos como una herramienta útil y versátil ya que pueden abarcar áreas de captura de información mayores a otras tecnologías y la calidad de los archivos de video e imagen que se obtienen son de alta calidad y fidelidad.

Gracias a que sus precios han disminuido y que la tecnologías está en constante evolución pronto algunos puntos débiles de la tecnología serán superados, permitiendo mayores tiempos de vuelo y mayor portabilidad, además de que serán más seguros gracias a los nuevos sensores que apoyarán al operador en caso de eventualidades y al uso de inteligencia artificial como copiloto.

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La implementación de drones en la ingeniería ha sido de gran utilidad en diversos campos, no solo es su precio cada vez más asequible, también su practicidad y versatilidad son ante diversas circunstancias, las que los ponen en ventaja frente a varios métodos tradicionales; debemos aprender a utilizar más esta y otras nuevas tecnologías a favor de mejorar o complementar la metodología clásica de la profesión.

Por otro lado, es clara la inminente incursión de los VANT a la vida diaria de las personas, en un futuro próximo serán ellos los que transporten nuestros paquetes a domicilio de manera remota como ya lo hacen vehículos autónomos en las vías terrestres; aprovecharán el espacio aéreo para esta y otras funciones, incluso será posible en algún momento que nos transporten por el aire sin necesidad de un conductor, es por eso que es importante redactar normativas y leyes que los conduzcan a una normalización y uso correcto.

Los drones tienen muchas aplicaciones en diversas ramas de la ingeniería civil, como es el caso del área de vías terrestres, en donde debido a la evolución constante de esta tecnología, se verán mayores beneficios en un futuro próximo. Gracias a esto, será posible reducir aún más los costos y el tiempo de un proyecto en cualquiera de sus etapas donde fuere que se apliquen, ya que facilitarán la realización de los procesos que, hasta hace poco, implicaban una mayor utilización de recursos.

Además, son portables y generan una gran cantidad de información, que, manejada correctamente, posibilita la generación de bases de datos confiables y útiles en varias aplicaciones. Cabe mencionar que son amigables con el medio ambiente, ya que no generan emisiones contaminantes y sus componentes pueden ser reciclados al terminar su vida útil, de hecho, su misma

composición puede ser en buena medida fabricada con materiales renovables, por lo tanto, también contribuyen al tema de sustentabilidad.

Otro aporte importante es la seguridad; la sustitución de personas por drones en áreas de trabajo de alto riesgo, habilita la preservación de recursos humanos valiosos en ejercicio de actividades peligrosas, como la revisión de puentes elevados, conteo de vehículos en campo etc.

Y, por último, pero no por eso menos importante, es que debido a sus capacidades, principalmente a la de transmitir información en tiempo real, ya son considerados herramientas o partes importantes de varios Sistemas Inteligentes Aplicados al Transportes, permitiendo transmitir información útil dentro de un sistema de señalamiento de tráfico, por ejemplo, accidentes, bloqueos en carriles, inspección de siniestros, análisis de tráfico, etc.

Es labor de los ingenieros el apoyar y hacer crecer esta tecnología, no solo por las muchas bondades prestadas al ejercicio de la profesión, sino también para ayudar a regular el uso de la misma, y así, cada vez sea posible implementar más y mejores drones en nuestros proyectos, demostrando que más allá del uso recreacional y de los actos ilícitos que se cometen con ellos, existe un campo de aplicación positivo y útil para la sociedad.

9. REFERENCIAS

Páginas Web Consultadas:

- <https://www.dronezon.com> 17 de diciembre de 2018.
- https://www.rctecnic.com/blog/107_que-es-un-drone--tipos-nombres-y-componentes 22 de diciembre de 2018.
- <https://pixabay.com> 15 de enero de 2019.
- <https://uavcoach.com/drone-laws-in-united-states-of-america/> 16 de enero de 2019.
- <https://www.faa.gov/uas/> 17 de enero de 2019.
- <https://tycgis.com/tg6-m-dron-ala-fija-teledeteccion-multiespectral/> 18 de enero de 2019.
- <https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/> 20 de enero de 2019.
- <https://www.geodronesmx.com> 15 de febrero de 2019.
- <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/3-servicios/35-rpas-drones/> 24 de febrero de 2019.
- <https://www.google.com/intl/es/earth/> 26 de febrero de 2019.

Documentos consultados:

- The development strategy of unmanned aircraft systems (UAS), Archives of Transport System Telematics, 2016.
- Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), Organización de Aviación Civil Internacional, 2015.
- Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges, Emmanouil N. Barmounakis, Eleni I. Vlahogianni, John C. Gollias, 2017.

Conferencias y Seminarios consultados:

- Sistemas avanzados de control de tráfico (ATCS): un ejemplo de ITS, M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte (II UNAM), 2018.

- The Use of Unmanned Aerial Systems (UAS) to Remotely Collect Data for Road Infrastructure, World Road Association, 2018.

Bibliografía:

- Gaetano Fusco, (2017), Intelligent Transport Systems (ITS) Past, present and future directions, Nueva York, Nova Science Publishers.