

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Unidad Valle de las Palmas



**PROPUESTAS ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR
INCIDENTES CON DRONES DE USO RECREATIVO BASADOS
EN EL ANALISIS DE LOGS**

Tesis para obtener el título de:

Licenciado en Ingeniería Aeroespacial

Presenta:

Gabriel Colina Alvarez

Director de Tesis

M. I. Antonio Gómez Roa

Tijuana, B. C.

Junio, 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**Propuestas Alternativa para Disminuir
Incidentes con Drones de Uso
Recreativo Basados en el Análisis de
LOGs**

Gabriel Colina Alvarez

[Página en Blanco]



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Unidad Valle de las Palmas – Campus Tijuana

TESIS DE LICENCIATURA

Propuestas Alternativas para Disminuir Incidentes con Drones de Uso Recreativo Basados en el Análisis de LOGs

Autor

Gabriel Colina Alvarez

Como requisito para la obtención de:

Licenciado en Ingeniería Aeroespacial

Director de Tesis

M. I. Antonio Gómez Roa

Jurado:

M.C. Juan Antonio Paz González

Dr. Oscar Adrián Morales Contreras

M.C. Mauricio Leonel Paz González

Dr. Juan Antonio Ruiz Ochoa

[Página en Blanco]

DEDICATORIAS

Esta investigación está dedicada primeramente a mis padres, Rafaela Guadalupe Alvarez Hernández y Gabriel Colina Casillas, quienes me dieron la oportunidad de tener una educación completa, sin preocuparme por nada más que en mi desarrollo como persona y profesionista; quienes me han dado una vida tranquila, con acceso a la tecnología y recursos necesarios para mi buen desarrollo, tanto moral, físico, espiritual, educativo y emocional. Ellos, siendo ingenieros y trabajando en equipo para salir adelante, son el ejemplo que me ha formado como futuro ingeniero.

A mi novia, Imalia Gloria Diego, quien no solo me motiva e impulsa llevándome al máximo potencial, sino que también está en todo momento para ayudarme con sus conocimientos. Siendo ella quien me motiva desde el comienzo de cada día a superarme e ir superando los límites y los nuevos retos que acontecen.

A mi hermana Lorena Colina Alvarez, quien me dio el ejemplo de una persona dedicada y concentrada en el estudio y el trabajo. Quien luchó en algún momento por su vida venciendo a una de las más fuertes enfermedades. Ella, fuerte y a la vez sensible, con quien me la pase peleando y discutiendo toda mi infancia pero que al crecer nos dimos cuenta de lo que son los valores de familia, el cariño y apoyo incondicional.

A mis familiares, en especial a mis abuelos Gabriel y Virginia, a tíos y primos, quienes me ayudaron a formarme con valores, respeto y humildad; brindándome un hogar, consejos y apoyo siempre que les fue posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mis padres, Rafaela Guadalupe Alvarez Hernández y Gabriel Colina Casillas, quienes me dieron la vida y me han apoyado de manera incondicional a lo largo de toda mi vida, impulsándome hacia adelante y formando gran parte de lo que ahora soy; motivándome a ser lo que me gusta, siendo feliz y aprendiendo de mis errores para salir adelante, alentándome en todo momento.

Agradezco a la compañía 3DRobotics, quien no solo me brindo todo su apoyo en la etapa final de la carrera y me dio acceso a los recursos necesarios para realizar este documento, sino que también me dio la oportunidad de desenvolverme como un miembro de su equipo, adquiriendo conocimientos y experiencia en el entorno laboral y profesional.

A mis maestros, en especial a Antonio G. Roa, Juan y Mauricio Paz, Francisco Cintora, Erica May, Benjamín González, Chariz Campa, quienes compartieron sus conocimientos y experiencia para formarme como un profesionalista y madurar, tanto en el entorno educativo como laboral.

A mis compañeros y amigos, quienes hacen que los momentos difíciles pasen desapercibidos y porque sé, que estamos para ayudarnos mutuamente para salir adelante cuando se necesita de las amistades.

RESUMEN

Como se ha visto en los últimos años a través de los medios de comunicación, los drones han logrado llegar al alcance de cualquier persona sin importar la edad; esto ha llamado la atención de las autoridades, ya que se ha registrado un creciente número de incidentes causados por descuidos y negligencia por parte de los usuarios. En base a esto, la importancia de realizar esta investigación reside en el análisis de los incidentes, lo cual concluyo con el cumplimiento de la meta de identificar los principales tipos percances aéreos por errores del piloto y sus causas; aportando como resultado, una serie de propuestas como medidas de prevención para evitar un error del piloto e intentar disminuir la probabilidad de incidentes.

ABSTRACT

As has been seen in recent years through the media, drones have managed to reach anyone without regard to age, this has drawn the attention of the authorities, as there has been an increasing number of incidents caused by carelessness and negligence on the part of users. Based on this, the importance of conducting this research lies in the analysis of the incidents, which conclude with the fulfillment of the goal of identifying the main types of incidents due to pilot errors and their causes; Contributing as a result, a series of proposals as prevention measures to avoid pilot error and try to reduce the probability of incidents.

JUSTIFICACION

La investigación realizada tiene como finalidad determinar los tipos de incidentes más frecuentes y sus causas en base al análisis de los vuelos recabados de la memoria localizada dentro del controlador de vuelo de drones de uso recreativo. El propósito de este trabajo es generar en base a los resultados obtenidos, diversas propuestas o medidas alternativas que ayuden a reducir la cantidad de incidentes.

INDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
1.1)	METAS.....	2
1.2)	¿QUE ES UN DRON?	3
1.3)	DESCRIPCION DE SUS COMPONENTES	5
1.4)	ESTADO DEL ARTE.....	12
II.	METODOLOGIA	23
2.1)	ESPECIMEN U OBJETO DE ESTUDIO	26
2.2)	REGISTRO Y ESTADISTICAS	27
2.3)	ANALISIS DE VUELOS	28
2.4)	PARAMETROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS.....	28
III.	ESTADISTICAS Y ANALISIS DE LOS TIPOS DE INCIDENTES MÁS FRECUENTES ..	32
3.1)	ESTADISTICAS.....	32
3.2)	DESCRIPCION DE LOS INCIDENTES MAS FRECUENTES	33
3.3)	ANALISIS DE LOGS.....	34
IV.	CONCLUSIONES DEL ANALISIS DE LOS VUELOS.....	67
4.1)	COLICION COMANDADA POR EL PILOTO	67
4.2)	PERDIDA DE SEÑAL GPS	67
4.3)	PERDIDA DE SEÑAL DE RADIO CONTROL.....	67
4.4)	DESORIENTACION POR ELECTROMAGNETISMO.....	68
4.5)	VUELO FUERA DE RANGO DE OPERACION	68
V.	RESULTADOS Y SOLUCIONES	69
5.1)	REGISTRO Y ESTADISTICAS	70
5.2)	LA CRECIENTE DEMANDA Y PRESENCIA EN EL ESPACIO AEREO	71
5.3)	PELIGRO LATENTE.....	71
5.4)	PROPUESTAS Y MEDIDAS PREVENTIVAS	72

5.5) METAS ALCANZADAS.....	73
VI. FUENTES Y BIBLIOGRAFIA.....	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1) Dron para operaciones públicas.].....	4
Figura 1.2) Dron para operaciones civiles.	4
Figura 1.3) Dron para operaciones recreativas.	5
Figura 1.4) Medidas espaciales del acelerómetro.	5
Figura 1.5) Campo magnético terrestre.....	6
Figura 1.6) Ejemplo de la discrepancia entre el eje magnético y el eje de rotación de la tierra. ..	6
Figura 1.7) Giroscopio (sensor).....	7
Figura 1.8) Altitud medida a través de la presión atmosférica.	8
Figura 1.9) Registro de vuelo asistido con GPS.	8
Figura 1.10) Control de Radio frecuencia (transmisor).	9
Figura 1.11) Servo motor.	9
Figura 1.12) Controlador electrónico de velocidad o “ESC”.....	10
Figura 1.13) Propelas de diversas medidas.	10
Figura 1.14) Baterías Li-Po recargable.....	11
Figura 1.15) Cuadro o armazón de un dron.	11
Figura 1.16) Controlador de vuelo con sensores integrados y puertos IO.	12
Figura 1.17) Plano conceptual del Globo Bombardero Austriaco.	13
Figura 1.18) Ilustración del uso del Globo Bombardero.....	13
Figura 1.19) Demostración en vuelo de un Papalote de Guerra diseñado por Cody.	14
Figura 1.20) Aeroplano automático Hewitt-Sperry (Aero torpedo).	14
Figura 1.21) Aero torpedo “Kattering Bug”.	15

Figura 1.22) Biplanos modificados: “Standard E-1”, “Tiger Moth”, “Fairey III”	15
Figura 1.23) Planeador bomba “GB-2” siendo liberado de el bombardero “B-17”	16
Figura 1.24) Colección de Planeadores y Jets bomba utilizados en la Segunda Guerra Mundial.	16
Figura 1.25) Dron “BTT” de reconocimiento.	17
Figura 1.26) Dron Jet “Ryan BQM-34 - Firebee”.	17
Figura 1.27) Dron “Firebee II” teniendo un despegue asistido en tierra.	18
Figura 1.28) Drones “B-001 - Predator” y “MQ-9 - Reaper”	18
Figura 1.29) Dron “RQ-4 - Global Hawk”	19
Figura 1.30) Dron “Solo” de uso recreativo y filmación.	19
Figura 1.31) Dron “Lily” (Izquierda) y su despegue desde el agua (Derecha).	20
Figura 1.32) Dron desfibrilador (Izquierda) y su aplicación con un paciente (derecha).	20
Figura 1.33) Modelo tridimensional del concepto de un “Dron ambulancia”.	21
Figura 1.34) Dron portable siendo utilizado para filtrar el aire eliminando sus contaminantes. ..	21
Figura 1.35) Dron hibrido viajando bajo el agua controlado alambreadamente.	22
Figura 2.1) Solo, Dron utilizado para la investigación.	26
Figura 2.2) Programa “Mission Planner” para análisis de logs o control en tiempo real.	28
Figura 3.1) Imagen satelital del curso de vuelo.	32
Figura 3.2) Imagen satelital del curso de vuelo.	40
Figura 3.3) Imagen satelital del curso de vuelo.	47
Figura 3.4) Trayectoria del regreso a la zona de despegue.	50
Figura 3.5) Imagen satelital de la zona de impacto.	51
Figura 3.6) Imagen del impacto.	52
Figura 3.7) Imagen satelital del curso de vuelo.	55
Figura 3.8) Imagen del Incidente.	56
Figura 3.9) Imagen satelital del curso de vuelo.	62

INDICE DE GRAFICAS Y TABLAS

Tabla 2.1) Características y parámetros de operación de “SOLO” .	27
Tabla 2.2) Parámetros para el análisis de logs de vuelo.	29
Tabla 3.1) Número de incidentes por error del piloto.	32
Grafica 3.1) Comportamiento de los servo motores.	35
Grafica 3.2) Altitud y modos de vuelo.	32
Grafica 3.3) Comparativa de altitudes.	33
Grafica 3.4) Comportamiento de la señal satelital GPS.	34
Grafica 3.5) comportamiento barométrico.	35
Grafica 3.6) Comandos/maniobras del piloto.	36
Grafica 3.7) Actitud deseada comparada con la real.	37
Grafica 3.8) Comportamiento de los servo motores.	38
Grafica 3.9) Altitud y modos de vuelo.	39
Grafica 3.10) Comportamiento de los filtros EKF.	41
Grafica 3.11) Comportamiento de la señal satelital GPS.	42
Grafica 3.12) Comandos/maniobras del piloto.	43
Grafica 3.13) Actitud deseada comparada con la real.	44
Grafica 3.14) Comportamiento de los servo motores.	45
Grafica 3.15) Altitud y modos de vuelo.	46
Grafica 3.16) Actitud deseada comparada con la real.	48
Grafica 3.17) Comportamiento de la señal de control.	49
Grafica 3.18) Comportamiento de los servo motores.	53
Grafica 3.19) Altitud y modos de vuelo.	54
Grafica 3.20) Comandos/maniobras del piloto.	57
Grafica 3.21) Actitud deseada comparada con la real.	58
Grafica 3.22) Comportamiento del campo magnético.	59

Grafica 3.23) Comportamiento de los servo motores.	60
Grafica 3.24) Altitud y modos de vuelo.....	61
Grafica 3.25) Actitud deseada comparada con la real.	63
Grafica 3.26) Comandos/maniobras del piloto.....	64
Grafica 3.27) Comportamiento de la batería.	65
Grafica 4.1) Número de incidentes registrados	70

Capítulo 1

Introducción

I. INTRODUCCION

A continuación se presenta una vista panorámica de lo que son los drones, información relevante respecto a las partes que componen el sistema, el desglose cronológico del desarrollo y evolución del concepto, desde sus inicios hasta las propuestas para el futuro. Una descripción del uso inapropiado de esta tecnología, sus causas y efectos, para terminar con la explicación de los incidentes más frecuentes generados por las condiciones previamente mencionadas.

1.1) METAS

Se presentan a continuación las metas generales y específicas planteadas para esta investigación.

5.5.1) METAS GENERALES

- Obtener registro de incidentes
- Determinar las causas de los incidentes
- Generar propuestas para prevenir los incidentes

5.5.2) METAS ESPECÍFICAS

- Procesar la información del registro de forma clara
- Detectar los casos de incidentes más frecuentes
- Determinar la causa de un incidente, de cada una de las categorías, de los más frecuentes
- En base a los resultados obtenidos en el análisis, formular propuestas que prevengan cada uno de los incidentes más frecuentes para ayudar a reducirlos.

1.2) ¿QUE ES UN DRON?

Actualmente la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en Inglés) ha nombrado a los drones como parte de un sistema, a diferencia del “UAV” traducido al español en como Vehículo Aéreo No Tripulado, un “UAS” o Sistema del Vehículo Aéreo No Tripulado, no solo toma en cuenta el dron en sí, sino que también engloba los componentes y equipo de la estación de control a distancia, ya sea terrena o aérea, y son utilizados mayormente para combate, reconocimiento, fotografía y cinematografía, entre otros. Tanto con diseños específicos como hechos a la medida. ^[1]

Un dron o UAV es uno de los elementos que componen el Sistema de vehículo aéreo no tripulado.

La FAA ha separado a los drones en las siguientes tres categorías, respecto a su modo de operación:

- Operaciones Públicas (Gubernamentales).
- Operaciones Civiles (No-Gubernamentales).
- Operaciones Recreativas (Hobbies y modelos de aeronaves).

Esta investigación está enfocada en los drones para operaciones recreativas.

1.2.1) DRONES PARA OPERACIONES PÚBLICAS

Las operaciones de las aeronaves públicas están limitados por la ley federal para ciertas operaciones del gobierno dentro del espacio aéreo (figura 1.1). En este tipo de operaciones se encuentra el monitoreo del espacio aéreo, búsqueda y rescate, vigilancia, entre otras aplicaciones.

Las consideraciones al tomar esta determinación son propiedad de las aeronaves, el operador, el propósito del vuelo y las personas a bordo del avión. ^[2]



Figura 1.1) Dron para operaciones públicas. [3]

1.2.2) DRONES PARA OPERACIONES CIVILES

Los drones que realicen cualquier operación que no cumpla con los criterios legales para considerarse una operación pública, se toman como aeronaves de operaciones civiles y deben llevarse a cabo con todas las regulaciones de la FAA, aplicables a la operación (figura 1.2). [4]



Figura 1.2) Dron para operaciones civiles. [5]

1.2.3) DRONES PARA OPERACIONES RECREATIVAS

Para que un dron se considere dentro de las operaciones recreativas o de pasatiempos principalmente no debe infringir ninguna ley relacionada a los "UAV" de operaciones civiles o públicas y deberá pesar menos de 55 libras, ser usado única y exclusivamente para operaciones recreativas, no interferir con las operaciones de las aeronaves tripuladas, no deberá volar a menos de 5 millas alrededor de un aeropuerto como se establece en el sumario de reglas emitido por la FAA (figura 1.3). [6]



Figura 1.3) Dron para operaciones recreativas.^[7]

1.3) DESCRIPCION DE SUS COMPONENTES

A continuación se describen cada uno de los componentes que comúnmente integran a un dron.

1.3.1) ACELEROMETRO

El acelerómetro es un dispositivo electromecánico que mide las fuerzas de aceleración. Estas fuerzas pueden ser estáticas, como la fuerza constante de la gravedad que tira hacia el suelo, o podrían ser dinámicas, causadas por el movimiento o vibración del acelerómetro.

Mediante la medición de la cantidad de aceleración estática debida a la gravedad, es posible conocer con el ángulo de inclinación del dispositivo con respecto a la tierra. Mediante la detección de la cantidad de aceleración dinámica, se puede analizar la forma en que el dispositivo se está moviendo (figura 1.4).^[8]

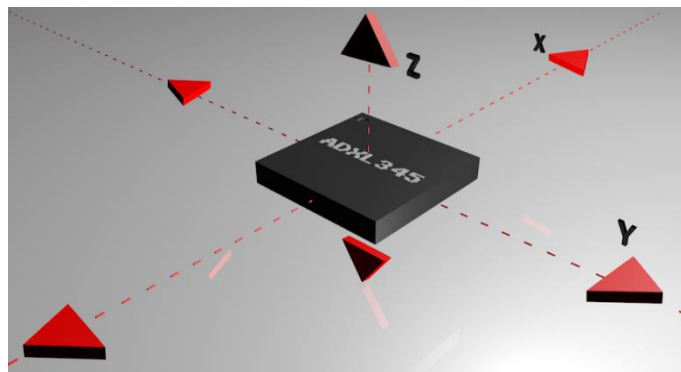


Figura 1.4) Medidas espaciales del acelerómetro.^[9]

1.3.2) MAGNETOMETRO

Para determinar hacia donde apunta una el compás con un magnetómetro, es común que el dron deba estar en una superficie que no genere su propio campo magnético para comenzar calibrando el compás, ya que esto puede generar una lectura errónea del sentido del campo magnético terrestre(figura 1.5).^[10]

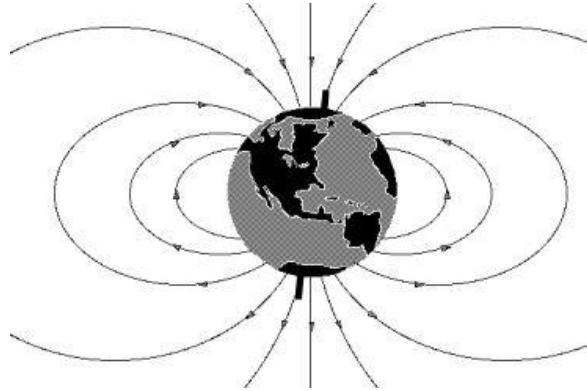


Figura 1.5) Campo magnético terrestre.^[11]

Gracias a la utilización del compás se puede tener una orientación respecto al norte del eje magnético, el cual es distinto al eje de rotación. (Figura 1.6).^[8]

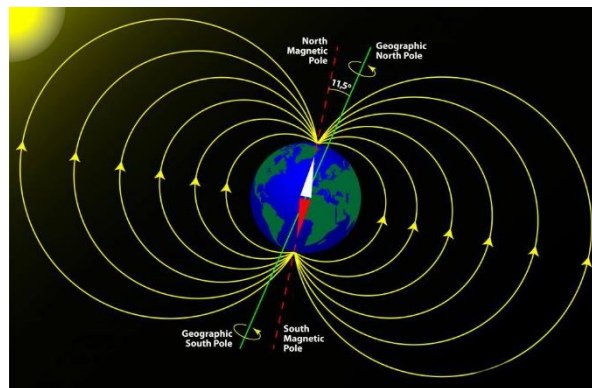


Figura 1.6) Ejemplo de la discrepancia entre el eje magnético y el eje de rotación de la tierra.^[12]

1.3.3) GIROSCOPIO

Un giroscopio es un dispositivo que mide la orientación de los ejes ya que no se ve afectado por la inclinación en relación al plano de referencia (figura 1.7).

Los giroscopios son comúnmente montados en objetos que no se encuentran girando muy rápido, como en este caso, las aeronaves las cuales usualmente solo rotan unos cuantos grados en cada eje. Al detectar estos pequeños cambios, los giroscopios ayudan en la estabilización durante el vuelo midiendo la velocidad angular.^[13]

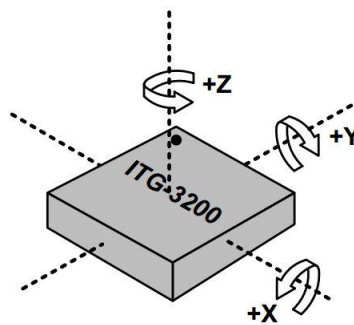


Figura 1.7) Giroscopio (sensor).^[14]

1.3.4) BAROMETRO

El barómetro es un instrumento utilizado para medir la presión atmosférica. Este sensor es comúnmente utilizado en las aeronaves para medir no solo la presión en el ambiente, sino también la altitud ya que al aumentar la altitud, la presión disminuye y de igual manera, al disminuir la altitud, la presión incrementa. Cabe mencionar que esta medición se ve afectada por la temperatura en el ambiente, por lo que debe haber una compensación en la medición (figura 1.8).^[15]



Figura 1.8) Altitud medida a través de la presión atmosférica.^[16]

1.3.5) GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), es un sistema espacial de radio navegación compuesto por una constelación de satélites y una red de estaciones en tierra comúnmente utilizado para el control y monitoreo de la posición de un objeto en tierra. Actualmente existen 32 satélites GPS orbitando a la tierra a una altitud de 11,000 millas (~1,800 km.). El tener un vuelo asistido con GPS no solo indica en qué posición se encuentra el dron, sino también en la estabilidad del vuelo (figura 1.9).^[17]



Figura 1.9) Registro de vuelo asistido con GPS.^[18]

1.3.6) CONTROL DE RADIO FRECUENCIA

Aunque existen métodos de transmisión de datos a través de señales Wi-Fi y Bluetooth para transmitir grandes cantidades de datos, el control por radio frecuencias requiere de un transmisor (figura 1.10) y un receptor, los cuales van colocados en el control y en el dron, respectivamente. Esto permite que el piloto controle el dron a distancia sin necesidad de utilizar un enlace físico como los cables. Actualmente se ha estado implementando el uso de dispositivos móviles para controlar los drones a través de las aplicaciones.^[19]



Figura 1.10) Control de Radio frecuencia (transmisor).^[19]

1.3.7) SERVOMOTORES

Los servomotores son los encargados de generar la fuerza necesaria para elevar el dron, a diferencia de los motores ordinarios que tienen una cubierta exterior fija y un eje independiente que gira en el interior, estos cuentan con una cubierta unida al eje y gira alrededor de unos embobinados en el interior del motor (figura 1.11).^[20]



Figura 1.11) Servo motor.^[21]

1.3.8) CONTROLADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD O “ESC”

Los “ESC’s” son los encargados de modular las velocidad (o revoluciones por minuto) de los motores. Al estar en comunicación continua con el controlador de vuelo, regula la alimentación de energía a los servomotores para mantener la altitud y estabilidad comandada por el controlador de vuelo (figura 1.12).^[20]

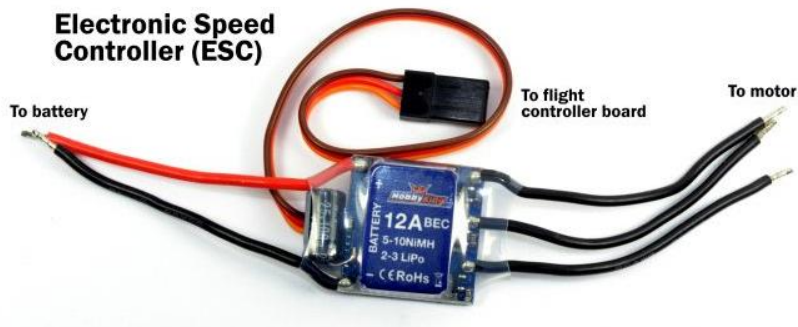


Figura 1.12) Controlador electrónico de velocidad o “ESC”.^[20]

1.3.9) PROPELAS

Las propelas son las encargadas de convertir el giro o revoluciones de los servomotores en fuerza de empuje o levantamiento necesario para poner en vuelo al dron. Al manipular y combinar la velocidad de giro de estas, es posible cambiar la altitud y actitud del dron (figura 1.13).^[22]



Figura 1.13) Propelas de diversas medidas.^[23]

1.3.10) BATERÍA

Por su gran capacidad de descarga, bajo peso y la capacidad de fabricarse a la medida, a diferencia de las demás baterías, las baterías de Polímero de iones de litio (Li-Po) ha tomado el mercado de los Drones. Estas baterías no cuentan con una cubierta rígida, lo cual reduce considerablemente su peso; pero a su vez, las vuelve más vulnerables a los golpes y cambios de temperatura. Con tan solo un rango de descarga del 1% (usualmente), estas pueden llegar a brindar capacidad de descarga continua de más de 140 veces su capacidad de carga, esto puede generar un corto periodo de uso pero brinda la energía instantánea necesaria para despegar y operar un Dron (figura 1.14).^[24]



Figura 1.14) Baterías Li-Po recargable.^[25]

1.3.11) CUADRO

Compitiendo con la batería como el componente más pesado, el cuadro o armazón es la base de un Dron, siendo capaz de cargar todos los demás componentes. Su diseño debe soportar todas las condiciones a las que estará sometido en operación (figura 1.15).^[25]

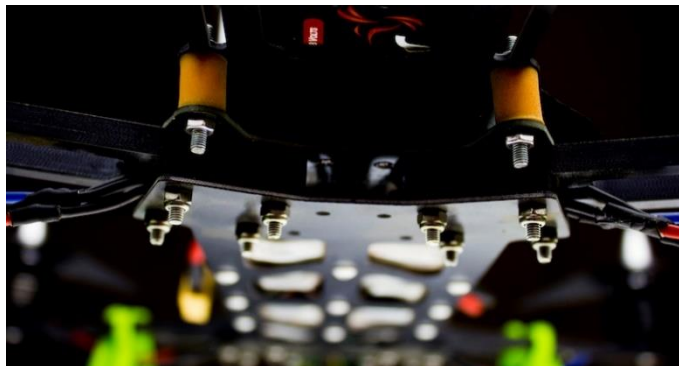


Figura 1.15) Cuadro o armazón de un dron.^[26]

1.3.12) CONTROLADOR DE VUELO

El controlador de vuelo es el cerebro del Dron, es el que procesa la entrada y salida de datos desde y hacia los sensores. También conocido como el “piloto automático”, es el que ayuda a mantener la estabilidad, localización y comunicación de la aeronave. Algunos son capaces de asistir en vuelos autónomos con ayuda de un programa para cargarle misiones previamente diseñadas (figura 1.16).^[27]



Figura 1.16) Controlador de vuelo con sensores integrados y puertos IO.^[28]

1.4) ESTADO DEL ARTE

A continuación, el estado del arte muestra cómo ha ido evolucionando el concepto de los drones con el paso del tiempo, desde sus inicios, hasta los proyectos en desarrollo y conceptos para el futuro.

1.4.1) ANTECEDENTES

GLOBOS BOMBARDEROS AUSTRIACOS: Los primeros vehículos aéreos no tripulados registrados fueron creados para su empleo en tácticas militares de guerra. Se tiene documentado que en el año de 1849, Austria efectuó un ataque a la ciudad de Venecia, Italia. Los austriacos bombardearon la ciudad con globos no tripulados cargados con explosivos, los cuales eran liberados con electromagnetismo a distancia utilizando un cable de cobre aislado y una batería galvanizada en la estación terrena (figura 1.17).^[28]

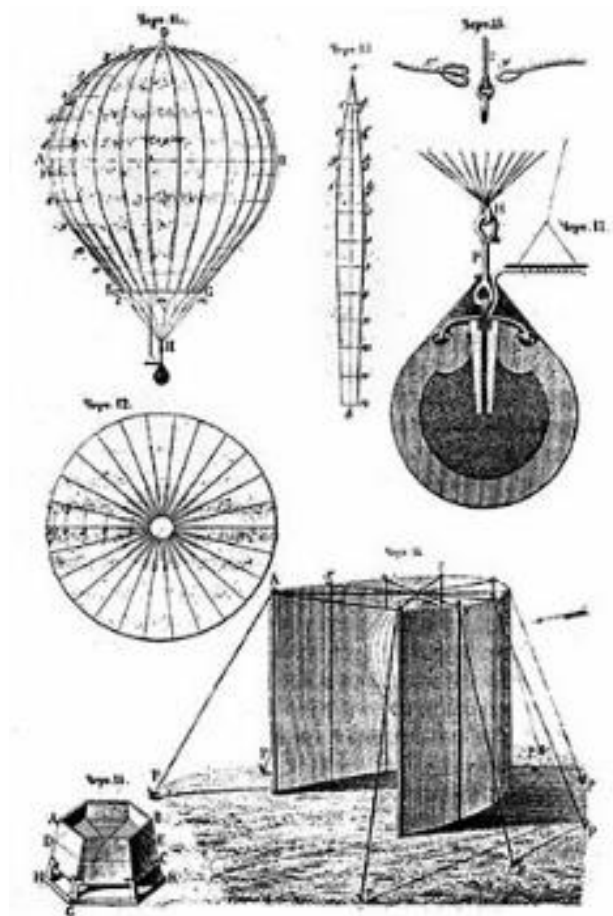


Figura 1.17) Plano conceptual del Globo Bombardero Austriaco.^[29]

Una vez activado el dispositivo, provocaba que las bombas se liberaran y cayeran perpendicularmente y explotaran al entrar en contacto con el suelo (figura 1.18).^[28]



Figura 1.18) Ilustración del uso del Globo Bombardero.^[30]

PAPALOTES DE GUERRA DE CODY: Durante la Segunda Guerra Boer o Segunda Guerra por la Libertad, en la cual participaron principalmente el Reino Unido de Britania e Irlanda, la República Sudafricana, entre otros; dicha guerra comenzó en el año 1899 y terminó en 1902. Samuel Franklin Cody, quien era un estadounidense entusiasta y pionero en la aplicación de globos y papalotes, ofreció al Reino Unido un diseño junto con algunas demostraciones de un papalote para auxiliar en la observación y bombardeo desde el aire (figura 1.19).^[31]



Figura 1.19) Demostración en vuelo de un Papalote de Guerra diseñado por Cody.^[32]

LAS PRIMERAS AERONAVES MODIFICADAS (NO TRIPULADAS): Durante la Primera Guerra Mundial, iniciada en el año de 1914 y terminada en el año 1918, en la que participaron más de treinta países, Estados Unidos demostró la aplicación de aeronaves no tripuladas controladas por radio frecuencia, dichas aeronaves serían utilizadas como Aero torpedos para contraatacar principalmente Zeppelins, entre otros posibles objetivos, como unidades terrestres o navales (figura 1.20).^[33]



Figura 1.20) Aeroplano automático Hewitt-Sperry (Aero torpedo).^[34]

Poco tiempo después, tras la invención del giroscopio, la compañía “Sperry Gyroscopes Company” adaptó dicho instrumento al torpedo aéreo creando así las primeras versiones de los misiles de crucero, los cuales brindaron mayor alcance y precisión. Con esta nueva tecnología, tras una petición de la armada de los Estados Unidos, fueron creados nuevos diseños con motores más potentes y mayor capacidad de carga (Figura 1.21).^[35]



Figura 1.21) Aero torpedo “Kattering Bug”.^[36]

Tras el éxito en la aplicación de vehículos aéreos no tripulados, durante el periodo entre la primera y la segunda guerra mundial, países como Estados Unidos y Gran Bretaña lograron avances tecnológicos al desarrollar las primeras versiones del piloto automático y mejoras en el radio control, también se modificaron para operar sin tripulación algunas aeronaves creadas en un principio para ser tripuladas. Dentro de los modelos modificados se encuentra el biplano estadounidense “Standard E-1” y los biplanos británicos “Tiger Moth” y “Fairey III” (figura 1.22).^[37]



Figura 1.22) Biplanos modificados: “Standard E-1” (Izquierda), “Tiger Moth” (Centro), “Fairey III” (Derecha).^{[38][39][40]}

PLANEADORES Y JETS BOMBA: Durante la Segunda Guerra Mundial, iniciada en el año de 1939 y terminada en 1945, en la cual se vieron involucrados más de 30 países, gracias a la recién inventada tecnología del radar fue posible aumentar considerablemente la precisión de los torpedos aéreos, la distancia entre vehículo aéreo y el operador. Dichos avances tecnológicos en conjunto con el desarrollo de sistemas de control, piloto automático y sistemas de propulsión, fueron puntos clave en el éxito los bombardeos a barcos japoneses y objetivos alemanes en tierra. Estos drones eran cargados y transportados por aviones tripulados, al llegar a un punto estratégico al alcance de los objetivos, pero sin ser detectados, los drones eran liberados para así planear hasta impactar en el blanco (figura 1.23).^[41]



Figura 1.23) Planeador bomba “GB-2” siendo liberado de el bombardero “B-17”.^[42]

Aunque durante este periodo fueron desarrolladas muchos más modelos de vehículos aéreos no tripulados, tan solo una pequeña porción logro entrar en operación, como lo son los Planeadores bomba “ASM-N-2 BAT”, “GB-1”, “GB-4”, y los Jets bomba “JB-1”, “JB-2” y “JB-10” (figura 1.24).^[43]

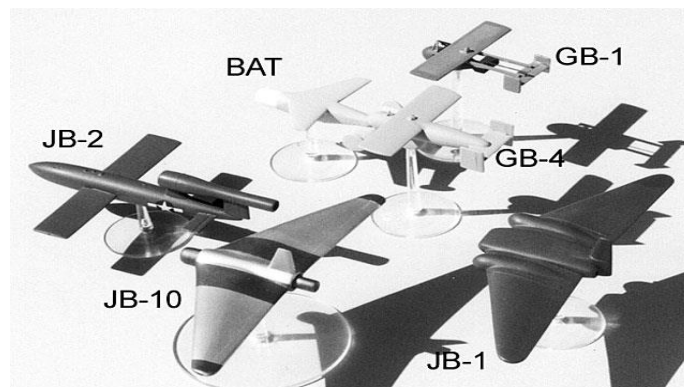


Figura 1.24) Colección de Planeadores y Jets bomba utilizados en la Segunda Guerra Mundial.^[43]

BLANCOS TELEDIRIGIDOS: Los llamados blancos teledirigidos fueron después designados como Blancos de entrenamiento básico o “BTT’s” por sus siglas en inglés, fueron desarrollados y puestos en operación durante la guerra fría, iniciada en el año de 1947 y terminada en 1941. Estos aeroplanos fueron utilizados en operaciones de reconocimiento en el campo de batalla cargados con una cámara y bengalas. Cabe mencionar que su tiempo de vuelo era tan solo de media hora (figura 1.25).^[44]



Figura 1.25) Dron “BTT” de reconocimiento.^[45]

DRONES JET: Con la innovación del propulsor jet al concepto de las aeronaves no tripuladas, fueron creados los “target drones” similares al modelo “BQM-34” de “Ryan Aeronautical” (figura 1.26).^[46]



Figura 1.26) Dron Jet “Ryan BQM-34 - Firebee”.^[47]

Comenzando su desarrollo en la década de los años 50, fueron utilizados en eventos históricos como la Guerra de Vietnam (1955-1975) y la invasión a Iraq (2003) la serie de drones “Ryan Firebee”, estos drones eran liberados en el aire por aviones bombarderos o desde una base en tierra con ayuda de un pequeño cohete de combustible sólido (figura 1.27), tienen la capacidad de cargar misiles y bombas y tienen un tiempo de vuelo de poco más de una hora con un techo de 18,300 metros de altitud.^[48]



Figura 1.27) Dron “Firebee II” teniendo un despegue asistido en tierra.^[49]

1.4.2) ACTUALMENTE

DRONES BOMBARDEROS: Durante los años 80’s y 90’s, gracias al desarrollo y aplicación de diversas tecnologías como lo son el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), transmisión de información a largo alcance, computadoras y equipo ligero, materiales compuestos y la comunicación satelital; género que la nueva generación drones se vieran cada vez más indispensables en operaciones de combate aéreo y terrestre en conflictos militares. Mayormente utilizados por la Fuerza Aérea Israelí y estadounidense, los modelos B-001 “Predator” y el MQ-9 “Reaper” (figura 1.28), fueron utilizados en un principio como drones de reconocimiento, pero poco después fueron armados para entrar en combate.^[50]



Figura 1.28) Drones “B-001 - Predator” (Izquierda) y “MQ-9 - Reaper” (Derecha).^{[51][52]}

DRONES DE RECONOCIMIENTO Y RASTREO: Tras percatarse del impacto que tuvieron la reciente generación de drones en la estrategia militar, poco después se creó el modelo RQ-4 “Global Hawk” (figura 1.29). Utilizado únicamente para reconocimiento y localización de blancos, es capaz de permanecer más de 35 horas en vuelo, cuenta con un techo de operación de 65,000 pies de altitud (~20 km.) y una carga máxima de 2,000 libras (~900 kg.).^[53]



Figura 1.29) Dron “RQ-4 - Global Hawk”.^[54]

FILMACION Y PASATIEMPO: Desde hace algunos años, los drones comenzaron a ser creados con fines no bélicos y a llegar al alcance de cualquier persona, con aplicación como filmación y recreación, capaces de entregar imágenes de alta calidad y simplificando su sistema de control de manera que hasta un niño puede operarlo (figura 1.30).^[55]



Figura 1.30) Dron “Solo” de uso recreativo y filmación.^[56]

DRON A PRUEBA DE AGUA: El recién lanzado al mercado “Lily drone” (figura 1.31) le dio un mayor panorama a la gama de aplicaciones disponibles para los drones, añadiendo la posibilidad de entrar en contacto con el agua sin generar un corto eléctrico. Este dron clasificado como de uso recreacional es capaz de despegar al ser lanzado al aire por el piloto y le permite flotar sobre el agua sin tener problemas con el sistema eléctrico.^[57]



Figura 1.31) Dron “Lily” (Izquierda) y su despegue desde el agua (Derecha).^[57]

1.4.3) PROPUESTAS A FUTURO

DRON DESFIBRILADOR: Con la capacidad de reducir el tiempo de respuesta a un llamado de emergencia de 10 minutos a tan solo 1, estando en etapa de desarrollo, este vehículo cuenta con un sistema desfibrilador para asistir en situaciones en las que una persona requiere asistencia médica para ser resucitada.^[58]



Figura 1.32) Dron desfibrilador (Izquierda) y su aplicación con un paciente (derecha).^[58]

DRONES AMBULANCIA: Este concepto fue creado con el fin de proveer una idea que impactará al sector de la salud, demostrando cómo es posible agilizar el servicio médico en ambientes urbanos con un modelo de transporte eficiente aplicando la tecnología de los drones.^[59]



Figura 1.33) Modelo tridimensional del concepto de un “Dron ambulancia”.^[59]

DRONES PORTABLES: Este concepto fue creado por un grupo de diseñadores con el fin de dar un ejemplo de las aplicaciones que pueden llegar a tener los drones interactuando con los usuarios, tal como se observa en la figura 1.34, este pequeño dron se adhiere a la vestimenta del usuario, al registrar una deficiencia en la calidad de aire, este se posiciona justo enfrente del usuario para brindar aire libre de contaminación al portador.^[60]



Figura 1.34) Dron portable siendo utilizado para filtrar el aire eliminando sus contaminantes.^[60]

DRONES ANFIBIOS: Desarrollado en la universidad Rutgers y financiado por la oficina de desarrollo naval de los Estados Unidos, este dron clasificado como militar, es un híbrido capaz de volar y nadar (figura 1.35). Aunque por el momento solo puede ser operado por un cable ya que es difícil transmitir las ondas de radio frecuencia a través de un entorno acuático, para eliminar el cordón, la ingeniería deberá estudiar primero otras formas alternativas de transmitir las ondas en dicho medio, como lo es la acústica.^[61]



Figura 1.35) Dron híbrido viajando bajo el agua controlado alambreadamente.^[62]

Capítulo 2

Metodología

II. METODOLOGIA

La metodología planteada para investigación comienza primeramente con el planteamiento de la problemática, la cual es el gran número de incidentes por errores de los usuarios o pilotos. Tomando datos del registro de incidentes del modelo “SOLO”, el cual fue proporcionado para la investigación por la compañía 3DRobotics; se localizaran los tipos de incidentes más frecuentes. Una vez categorizados y contabilizados los incidentes, se analizará un vuelo de cada categoría para conocer las causas de falla. Al tener la causa de falla, se propondrán medidas y alternativas para prevenir los tipos de incidentes analizados, acompañados de las acciones y medidas de prevención para reducir estos casos.

A continuación se presenta un diagrama de flujo del proceso utilizado durante esta investigación, el espécimen o modelo de dron estudiado y una visión estadística de los casos documentados, así como la descripción del método de análisis y parámetros utilizados para el mismo, para terminar con la descripción de la evidencia documentada.

DIAGRAMA DEL PROCESO DE LA INVESTIGACION

PLANEACION DEL TEMA:

En base a la creciente problemática con los incidentes de drones, se pretende buscar una alternativa para minimizar o erradicar el problema.

PROBLEMA:

En referencia a la información obtenida de la base de datos se detectará la tendencia en los incidentes

OBJETIVOS:

Detectar, identificar, analizar, generar conclusiones y establecer medidas de prevención y solución al problema con los drones.

INTRODUCCION Y MARCO TEORICO:

Presentar información que identifique los drones, el estado del arte y la introducción del problema.

METODOLOGIA:

Al haber detectado el problema, se presenta la estructura de la investigación, los recursos con que se cuenta y la forma en que se realizara el proceso de investigación.

ESTADISTICAS Y ANALISIS

Tomando la información recabada, se genera un análisis estadístico; y en base a ello, el análisis de cada uno de los vuelos.

RESULTADOS:

Al haber concluido el análisis, se presenta el resultado, las conclusiones y las propuestas a discutir para solucionar el problema.

2.1) ESPECIMEN U OBJETO DE ESTUDIO

El vehículo aéreo no tripulado utilizado durante esta investigación será el “Solo” de la compañía 3DRobotics,^[63]



Figura 2.1) Solo, Dron utilizado para la investigación.^[63]

La siguiente tabla muestra las características y parámetros de operación. Este dron presenta las siguientes características.

Tabla 2.1) Características y parámetros de operación de "SOLO".^[64]

Número de rotores	4 (quad)
Configuración	X
Altura	25 cm
Longitud (rotor a rotor)	26 cm
Peso	1.5 kg
Tiempo estimado de vuelo	Hasta 25 minutos
Altitud máxima preestablecida	46 m sobre el nivel del suelo
Rango de vuelo	0.8 km
Capacidad de carga	450 g
Velocidad crucero	8 m/s
Velocidad máxima	15 m/s
Velocidad de viento límite	11 m/s
Temperatura operacional	0 - 45 grados Celsius
Número de satélites GPS requeridos	≥ 6 satélites
Precisión de posición horizontal	< 5 m
Precisión de velocidad	< 1 m/s
Límite de altitud (FAA)	120 m
Piloto automático	3DR Pixhawk 2
Control	Control único del modelo 3DR Solo
Frecuencia de comunicación inalámbrica (Wi-Fi)	2.4 GHz
Batería	5200 mAh, 14.8 Vdc, Polímero de litio (Li-Po)

2.2) REGISTRO Y ESTADÍSTICAS

Tomando 400 casos de incidentes generados por errores del piloto, se obtendrán los diferentes tipos de falla o categorías utilizados para determinar las causas de los incidentes. Esta información será graficada con el fin presentar de manera visual las diversas variables del problema para poder generar una serie de soluciones.^[65]

2.3) ANALISIS DE VUELOS

El análisis de vuelos o “logs” se utiliza para conocer las condiciones en las que se encontraba el vehículo durante una sesión de vuelo o también para conocer las causas de un incidente al tener registrado toda la entrada y salida de datos del vehículo, dando así una idea de dónde y cómo se encontraba operando.

El programa utilizado para realizar el análisis de logs de vuelo se llama “Mission Planner”, creado para trabajar con el controlador de vuelo Ardupilot. Es una aplicación de estación terrena (figura 2.2), la cual soporta aeronaves, helicópteros y rovers; el cual puede ser utilizado no solo para el análisis de vuelos, sino también para la configuración de los vehículos, la planeación de las misiones autónomas, monitoreo de telemetría y operación en tiempo real.^[66]



Figura 2.2) Programa “Mission Planner” para análisis de logs o control en tiempo real.^[67]

2.4) PARAMETROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS

A continuación se muestra la lista de los parámetros utilizados para el análisis de logs (tabla 2.2) con la finalidad de interpretar los hechos y determinar las razones de lo sucedido.

Tabla 2.2) Parámetros para el análisis de logs de vuelo.^[68]

<p>CUSTOM MODE HEARTBEAT (MODOS DE VUELO): Indica el modo de vuelo en el que se encuentra el vehículo.</p> <p>Loiter: Este modo de vuelos dependiente de GPS, logra mantener el vehículo anclado en una posición con ayuda de las coordenadas geo-referenciadas, compensando su altitud con ayuda de sensor barométrico y su actitud con el giroscopio y acelerómetro.</p> <p>Altitude hold: En este modo de vuelo, el dron mantiene una altitud constante permitiendo controlar la actitud del vehículo. Al estar soportado por el módulo de GPS, la inercia y fuerza del viento son capaces de alterar el curso del dron.</p> <p>Guided: Este modo funciona de manera semejante al modo “loiter”, con la diferencia que este además marca la posición del usuario como punto de referencia a seguir.</p> <p>Brake: Este modo de vuelo funciona únicamente al contar con el soporte del módulo de GPS, ya que detiene cualquier comando en curso y ancla el dron en el punto georreferenciado en el que está localizado, para después retomar el modo “loiter”, funcionando en algunas ocasiones como un paro de emergencia.</p> <p>Return to home: Este modo de vuelo dirige al dron de vuelta al punto de despegue. Es activado en algunas ocasiones al perder comunicación con el control (o estación terrena) como protocolo de seguridad.</p>
<p>SERVO OUTPUT: Indica la señal de salida enviada hacia los rotores.</p>
<p>RC INPUTS: Indica el comportamiento de los controles de actitud.</p> <p>Control del alabeo (Canal 1): Indica el comando del control para controlar el alabeo del vehículo.</p> <p>Control del cabeceo (Canal 2): Indica el comando del control para controlar el cabeceo del vehículo.</p> <p>Control de ascenso y descenso (Canal 3): Indica el comando del control para controlar el ascenso y descenso del vehículo.</p> <p>Control de la guiñada (Canal 4): Indica el comando del control para controlar la guiñada del vehículo.</p>
<p>ALT VFR HUD: Indica la altitud compuesta por varios sensores como lo son el barómetro, acelerómetros, altitud satelital.</p>
<p>ALT GPS: Altitud Satelital, indica la altitud obtenida por el sensor GPS.</p>

ALT AHRS: Altitud barométrica, indica la altitud registrada por el barómetro.
GPS EPH/HDOP: Precisión satelital, Indica la o fiabilidad de la señal GPS.
GPS SATELLITES VISIBLE: Numero de satélites, indica el número de satélites disponibles.
PITCH ATTITUDE: Cabeceo real, indica la posición en que se encuentra el vehículo en relación al cabeceo.
ROLL ATTITUDE: Alabeo real, indica la posición en que se encuentra el vehículo en relación al alabeo.
NAV PITCH ATTITUDE: Cabeceo deseado, indica la posición deseada que debe llevar el vehículo en relación al cabeceo.
NAV ROLL ATTITUDE: Alabeo deseado, indica la posición deseada que debe llevar el vehículo en relación al alabeo.
MAG FIELD: Campo magnético, indica la cantidad de electromagnetismo en el ambiente.
EKF COMPASS VARIANCE: Varianza del campo magnético, indica la variación entre las mediciones de los magnetómetros.
EKF POS HORIZ VAR: Varianza de la posición horizontal, indica la variación satelital respecto a la posición horizontal del vehículo.
EKF POS VERTICAL VAR: Varianza de la posición vertical, indica la variación satelital respecto a la posición vertical o altitud.
VELOCITY VAR: Varianza de velocidad, indica la variación de la velocidad real y la deseada.
REM RSSI: Intensidad de la señal de RC, indica la intensidad de la señal de radiofrecuencia de la conexión entre el vehículo y el control.
IMU X ACC: Aceleración en el eje x, indica las vibraciones registradas por los acelerómetros en el eje x.
IMU Y ACC: Aceleración en el eje y, indica las vibraciones registradas por los acelerómetros en el eje y.
IMU Z ACC: Aceleración en el eje z, indica las vibraciones registradas por los acelerómetros en el eje z.
BATTERY REMAINNING: Porcentaje de la batería restante, indica la cantidad de batería restante porcentualmente.
BATTERY CURRENT: Corriente de la batería, indica el comportamiento de la alimentación del sistema.

Capítulo 3

*Estadísticas y Análisis de los
Incidentes más Frecuentes*

III. ESTADISTICAS Y ANALISIS DE LOS TIPOS DE INCIDENTES MÁS FRECUENTES

En base a los datos obtenidos de la fuente de información del modelo “SOLO”, se da a conocer el registro estadístico de incidentes por error del piloto y sus diversas categorías, así como la descripción de cada uno de ellos y el análisis de un vuelo por cada tipo de falla.^[65]

3.1) ESTADISTICAS

Tras realizar un conteo de los incidentes registrados en la base de datos proporcionada por la compañía 3DRobotics, se obtuvo el número de casos de las principales categorías o tipos de incidentes por error del piloto (diversos pilotos) de un total de 400 casos denominados como “pilot error”.^[65]

Tabla 3.1) Número de incidentes por error del piloto

Tipo de incidente	Número de incidentes registrados
COLICION COMANDADA POR EL PILOTO	100
PERDIDA DE SEÑAL GPS	208
PERDIDA DE SEÑAL DE RADIO CONTROL	52
DESORIENTACION POR ELECTROMAGNETISMO	16
VUELO FUERA DE RANGO DE OPERACION	24

3.2) DESCRIPCION DE LOS INCIDENTES MAS FRECUENTES

A continuación se describe cada uno de los principales incidentes generados por errores del piloto.^[65]

3.2.1) COLISION COMANDADA POR EL PILOTO

Este tipo de incidentes comúnmente ocurre cuando el piloto dirige el vehículo en dirección a un obstáculo con el cual colisiona y se observa que el sistema de navegación siguió en todo momento los comandos del piloto, sin encontrarse falla alguna en los demás sensores.

3.2.2) PERDIDA DE SEÑAL GPS

Este tipo de incidentes comúnmente ocurre cuando el vehículo se encuentra en un área en la cual la señal se ve parcial o completamente bloqueada, ocasionando que el vehículo no pueda continuar operando de manera segura en un modo de vuelo dependiente de la señal GPS, por lo que activa el protocolo de seguridad. En este caso en particular, el vehículo entra en el modo de vuelo manual, el cual utiliza los sensores barométricos, giroscopios y acelerómetros para mantenerse estabilizado y a su vez conservar la altitud. Al encontrarse el piloto volando en modo manual, el vehículo tiende a virar en la dirección del viento o con la inercia de las maniobras; razón por la cual, aumenta la dificultad para controlar el vehículo para así impactar contra un objeto.

3.2.3) PERDIDA DE SEÑAL DE RADIO CONTROL

Este tipo de incidentes comúnmente ocurren cuando el vehículo se encuentra en un área en la cual la señal de radiofrecuencia (o radio control) se ve obstruida por un obstáculo situado entre el piloto y el vehículo. En este caso particular, el vehículo entra en un modo de emergencia el cual lo hace ascender a una altura previamente configurada para regresar al punto de despegue, tomando la ruta más cercana en línea recta. Al no configurar correctamente la altura de este modo, para sobrevolar todos los obstáculos generando que el vehículo colisione en el transcurso hacia el punto de despegue.

3.2.4) DESORIENTACION POR ELECTROMAGNETISMO

Este tipo de incidente comúnmente ocurre cuando el vehículo se coloca a corta distancia de una fuente de electromagnetismo, afectando principalmente los sensores de orientación o en casos más extremos afectando el sistema eléctrico por completo, provocando un colapso en su circuitería.

3.2.5) VUELO FUERA DE RANGO DE OPERACION

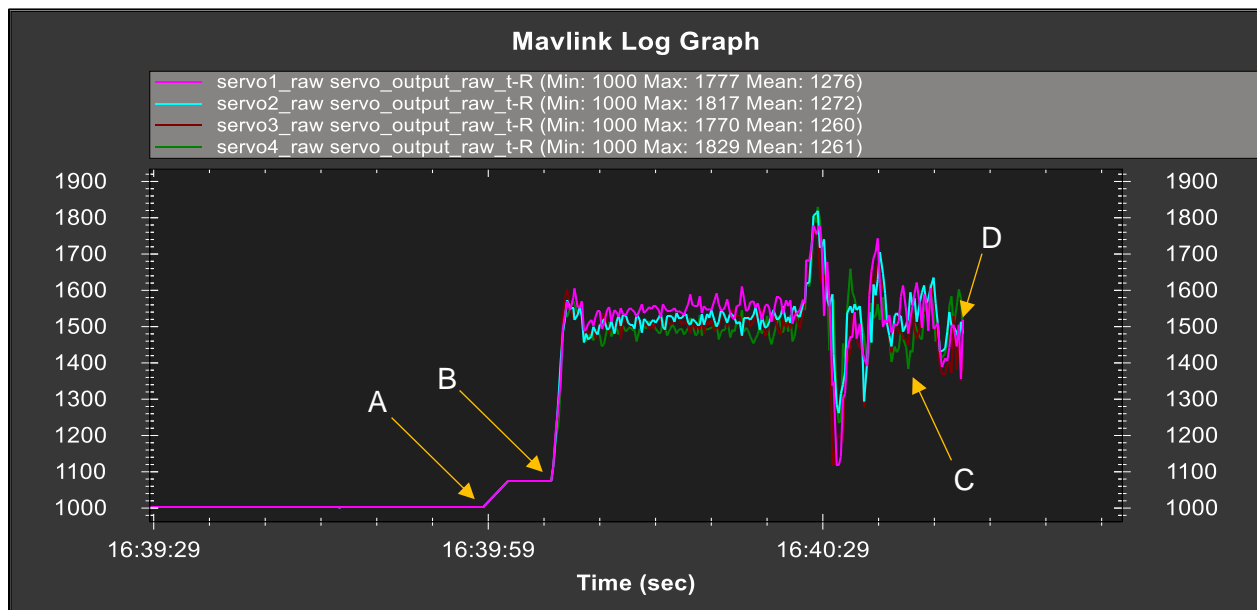
Este tipo de incidentes comúnmente ocurre cuando el vehículo comandado a volar o situarse más allá de la distancia límite operacional o por agotar su fuente de poder antes de aterrizar, provocando así que este se desplome o agote por completo su reserva de energía, antes de finalizar un vuelo.

3.3) ANALISIS DE LOGS

A continuación se da a conocer un análisis de cada uno de los casos más frecuentes de incidentes tomando el registro de la “caja negra” de cada vuelo. Presentando graficas con el comportamiento de cada parámetro acompañado de una descripción.^{[65][66][67][68]}

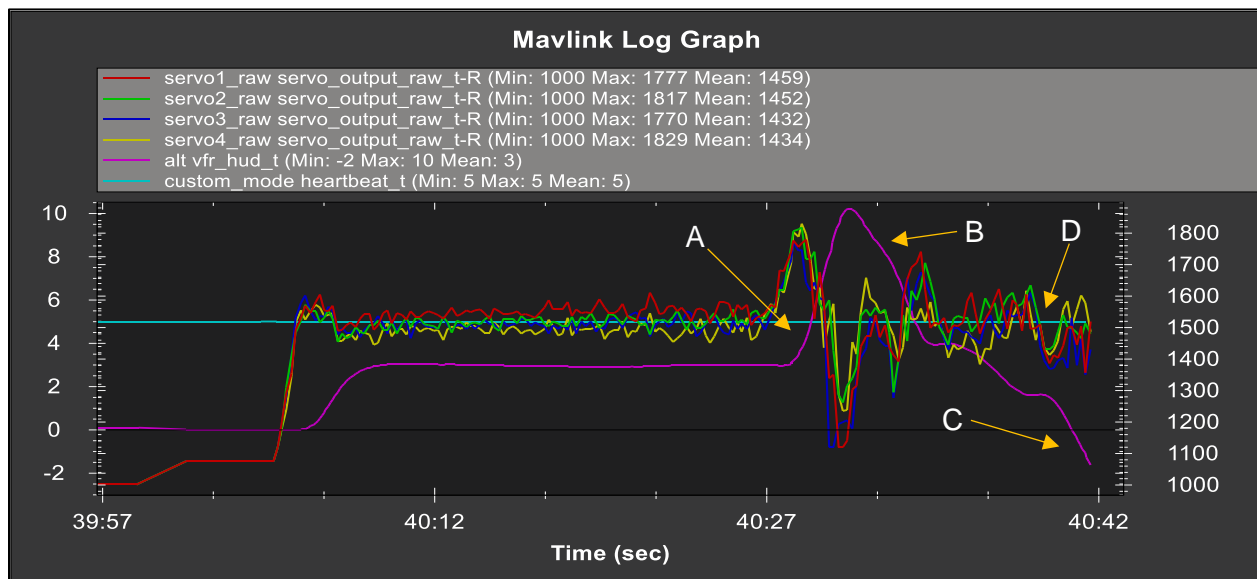
3.3.1) COLICION COMANDADA POR EL PILOTO

Comportamiento de los motores: Para comenzar, tanto este como cualquier otro análisis de logs, primeramente se observa el comportamiento de los servo motores, como se logra apreciar en la gráfica 3.1, inmediatamente después de armar los motores (A), el dron fue despegado sin ningún problema (B), pocos segundos después la señal muestra turbulencia o ruido (C) terminando el vuelo sin haber aterrizado (D), esto es comúnmente visto en los incidentes; por lo que, se puede saber que este log termino de manera inesperada.



Grafica 3.1) Comportamiento de los servo motores.

Altitud y modos de vuelo: Tomando como referencia el comportamiento de los servo motores, se genera una comparativa entre la altitud del vuelo y los modos de vuelos para tener una idea de las condiciones en las que comienzan a verse el ruido en la señal de referencia. En la gráfica 3.2 se puede apreciar que al despegar, el dron mantuvo una altitud constante durante la mayor parte del vuelo, después de un rápido ascenso (A), descendió (B) hasta terminar el vuelo por debajo de la superficie de despegue (C) manteniéndose siempre en el modo de vuelos loiter (D) durante todo el vuelo.



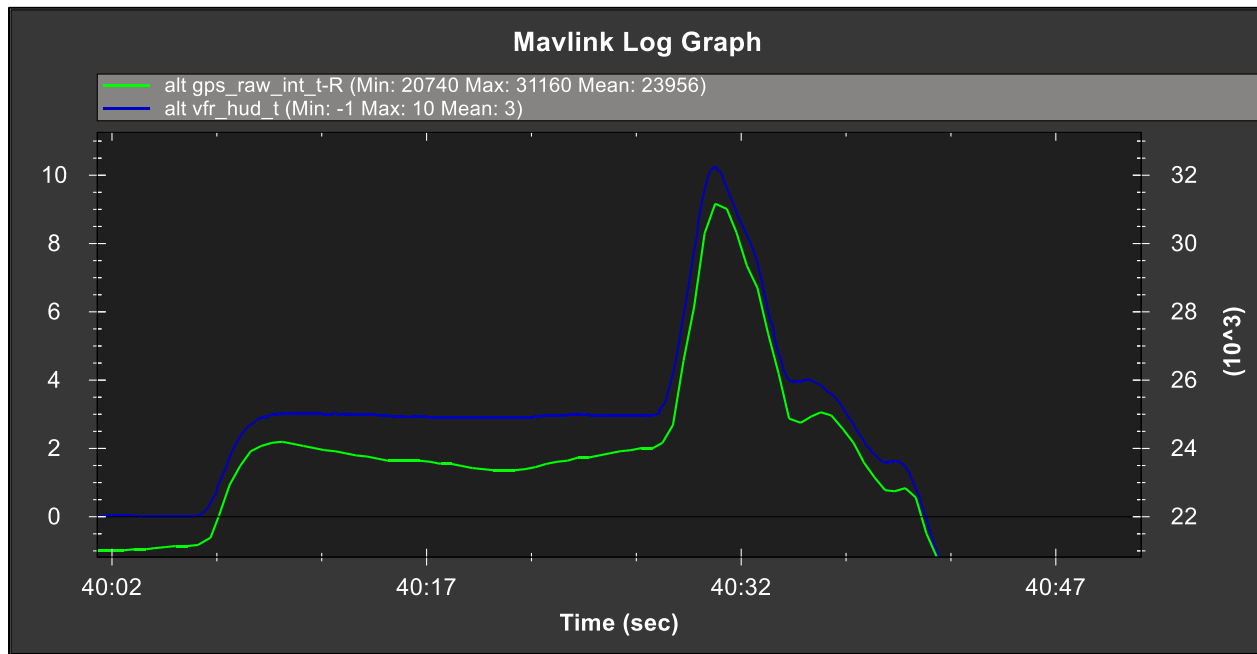
Grafica 3.2) Altitud y modos de vuelo.

Curso del vuelo: Con ayuda de las coordenadas en el espacio registradas por el módulo de GPS, es posible tener una idea del entorno y las condiciones en las que se encontraba el dron durante el vuelo. En este caso se logra apreciar que el dron descendió sobre un pequeño cuerpo de agua.



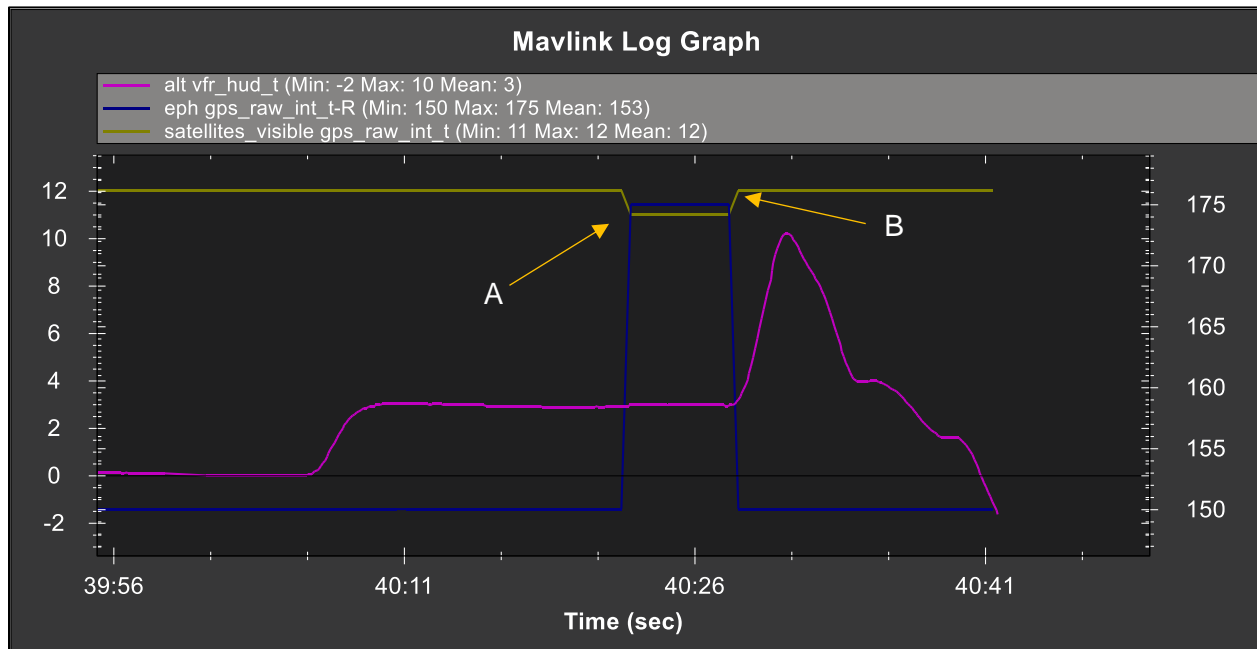
Figura 3.1) Imagen satelital del curso de vuelo.^[80]

Comparativa de altitud: Para corroborar la pérdida de altitud o descenso, la siguiente grafica muestra una comparativa entre la altitud compuesta y la altitud del GPS. Es posible apreciar que ambas lecturas siguen el mismo comportamiento, por lo que se descarta el hecho de una perdida de altitud provocada por algún sensor. Aunque existe una discrepancia entre ambas lecturas, el comportamiento es muy similar; por lo que, no se observa alguna divergencia en las lecturas, es decir, ambas se siguen o son similares.



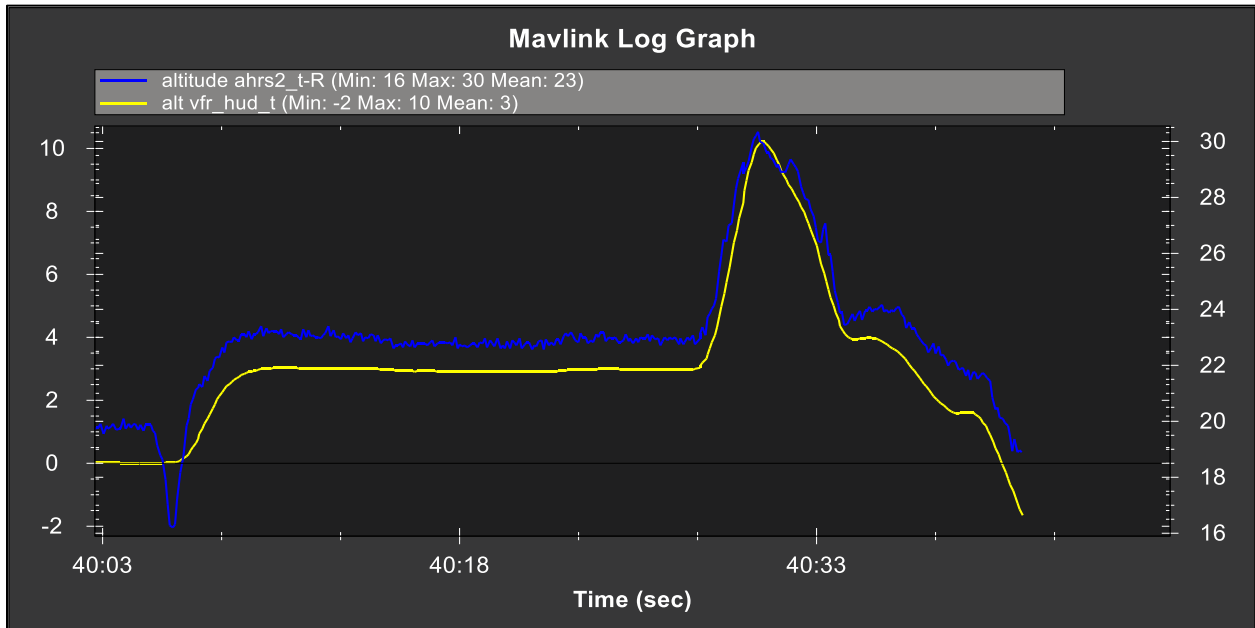
Grafica 3.3) Comparativa de altitudes.

Señal satelital GPS: Para corroborar la fiabilidad de la señal satelital GPS, la gráfica 3.4 presenta el comportamiento del módulo GPS tomando como referencia la altitud durante el vuelo. Se puede apreciar que el dron comenzó el vuelo adquiriendo 12 satélites, lo cual se considera como un señal confiable; y aunque hubo un decremento a 11 satélites por unos momentos (A), la señal regreso de nuevo a 12 satélites antes de la etapa crítica del vuelo (B), es decir, el cambio en el comportamiento de la señal satelital no está relacionada al incidente; por lo que, se descarta cualquier falla por modulo GPS o de la señal proveniente de los satélites.



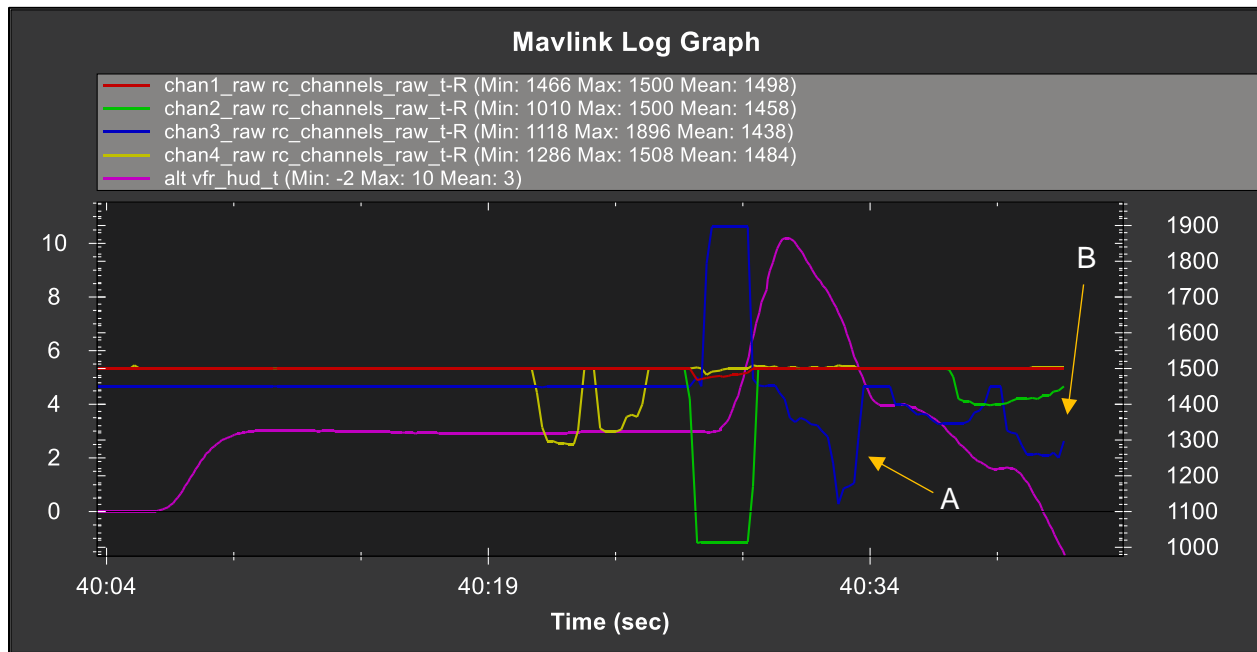
Grafica 3.4) Comportamiento de la señal satelital GPS.

Comportamiento barométrico: Para asegurar que el sensor barométrico funcione de manera correcta durante el vuelo, la gráfica 3.5 muestra el comportamiento de dicho sensor comparándolo con la lectura de la altura compuesta. Se puede apreciar que ambas graficas se siguen por lo que se descarta un fallo a causa del barómetro.



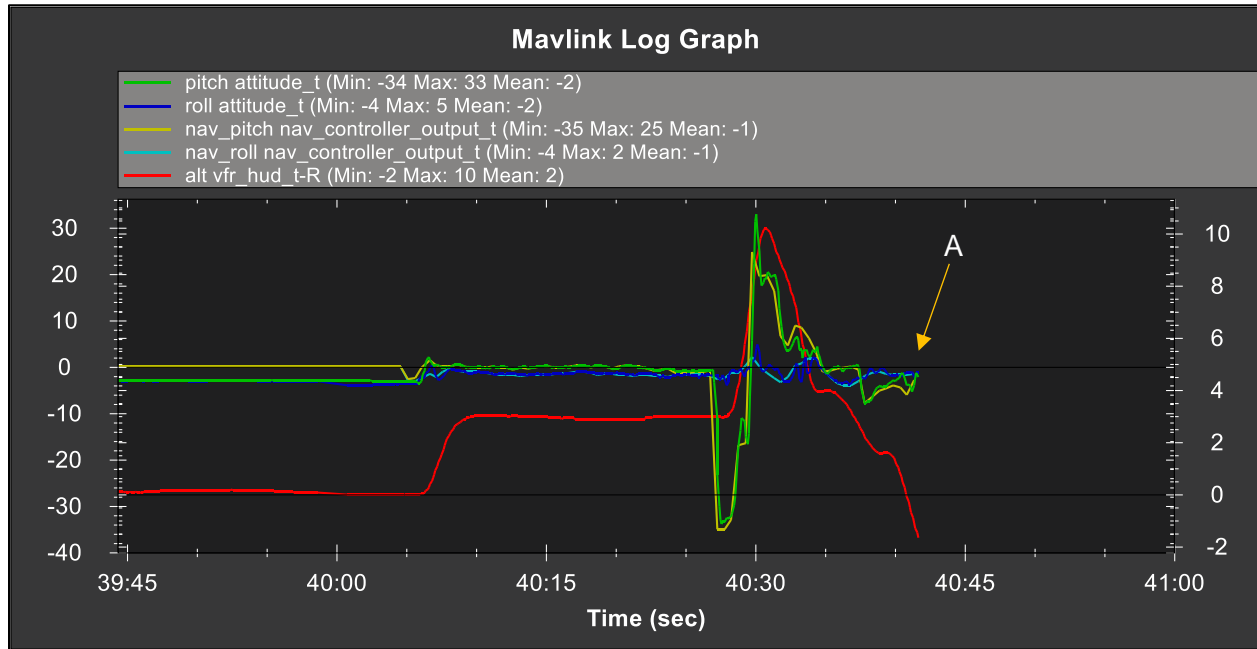
Grafica 3.5) comportamiento barométrico.

Comandos del piloto: Tomando como referencia la altitud compuesta, la gráfica 3.6 muestra los comandos del control ingresados por el piloto. Como se puede apreciar, momentos antes del incidente, el piloto mantuvo el canal 3 bajo (A) hasta el momento en que el vehículo quedo sumergido, esto nos indica que el piloto en todo momento mantuvo control del dron. Al mantener el canal 3 bajo, el piloto ordeno al dron descender, provocando que este terminara cortando el log por un fallo en el sistema eléctrico debido al agua (B).



Grafica 3.6) Comandos/maniobras del piloto.

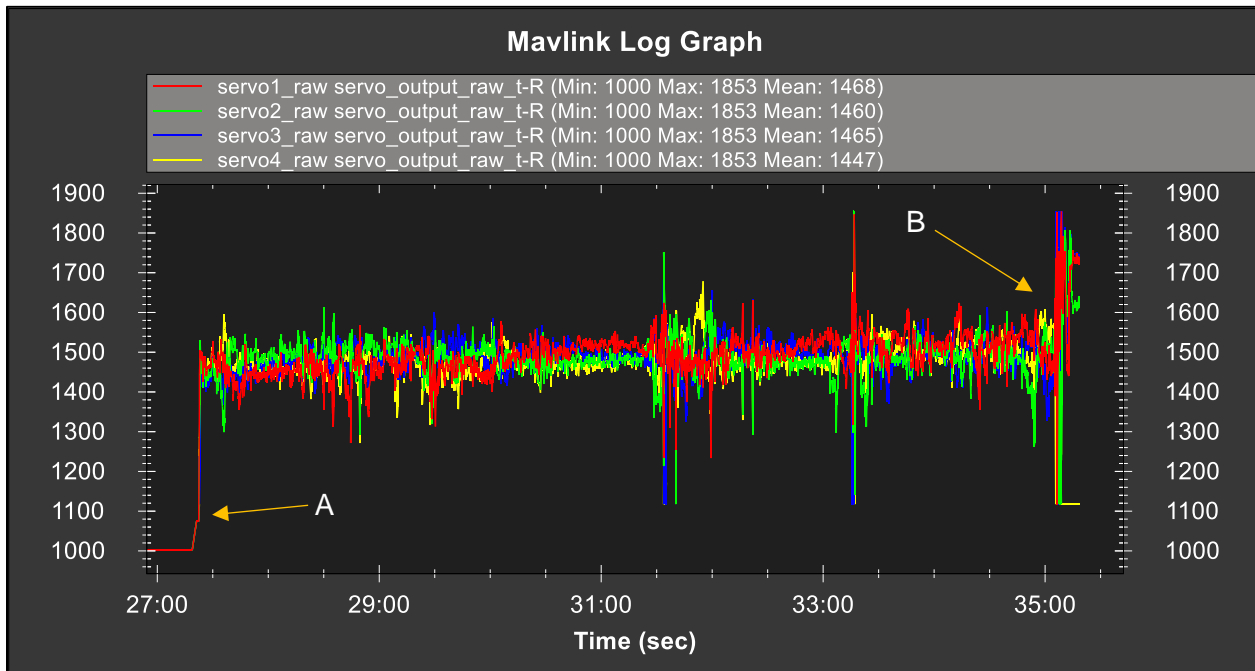
Actitud deseada contra la real: Como parte del procedimiento, se corrobora que el vehículo se encontró siguiendo las órdenes del piloto en todo momento, la gráfica 3.7 muestra como la actitud del vehículo se mantuvo en orden al encontrar que el comportamiento real siempre siguió al comportamiento real, tomando como referencia la altitud compuesta (A) momentos antes de terminar el vuelo.



Grafica 3.7) Actitud deseada comparada con la real.

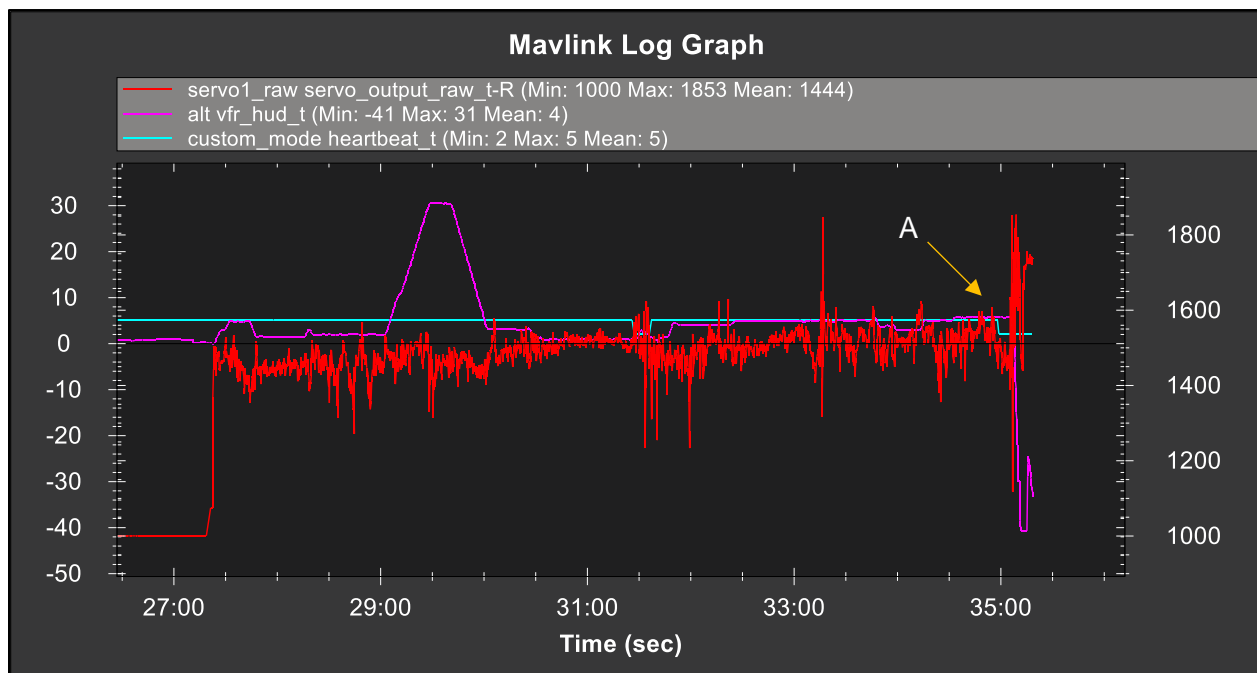
3.3.2) PERDIDA DE SEÑAL GPS

Comportamiento de los motores: Iniciando en análisis de vuelo, la gráfica 3.8 muestra el comportamiento de los servomotores, lo cual indica que el vehículo despegó sin problemas y se mantuvo de esa forma por un periodo aproximado de ocho minutos (A). Poco después de esto, al final del vuelo, se observan perturbaciones en la señal, lo cual indica que el incidente causó el fin del vuelo (B).



Grafica 3.8) Comportamiento de los servo motores.

Altitud y modos de vuelo: Tomando como referencia el comportamiento de uno de los motores, se cuenta con el registro del momento en que sucedió el incidente y se compara con la altitud compuesta y los modos de vuelo, esto para tener un mejor entendimiento de la situación momentos antes, durante, y después del incidente. Como se aprecia, momentos antes de suceder el incidente, el modo de vuelo paso de ser “loiter” a “altitude hold” (A) lo cual pudo haber sucedido por varias razones, ya sea que el usuario decidió tomar control manual del vehículo o que este haya perdido la señal satelital GPS, activando así el protocolo de seguridad para este tipo de situaciones.



Grafica 3.9) Altitud y modos de vuelo.

Curso del vuelo: Tal como lo indica la figura 3.2, el curso de vuelo registrado por los satélites GPS muestra que el vehículo fue armado y despegado en un área rodeada por árboles, los cuales son capaces de interferir con la señal proveniente de los satélites. Como se logra apreciar, una vez en el aire, este avanzó hacia los arboles (A) hasta comenzar a perder la señal (B).

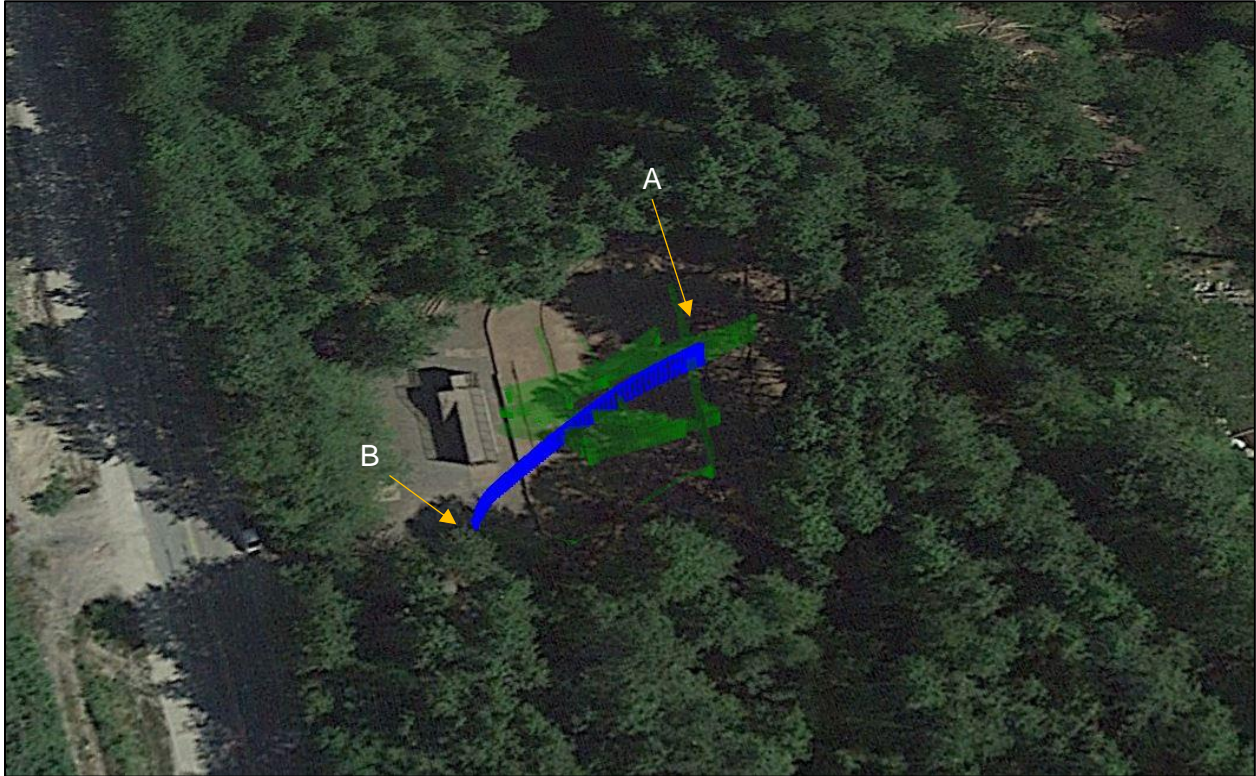
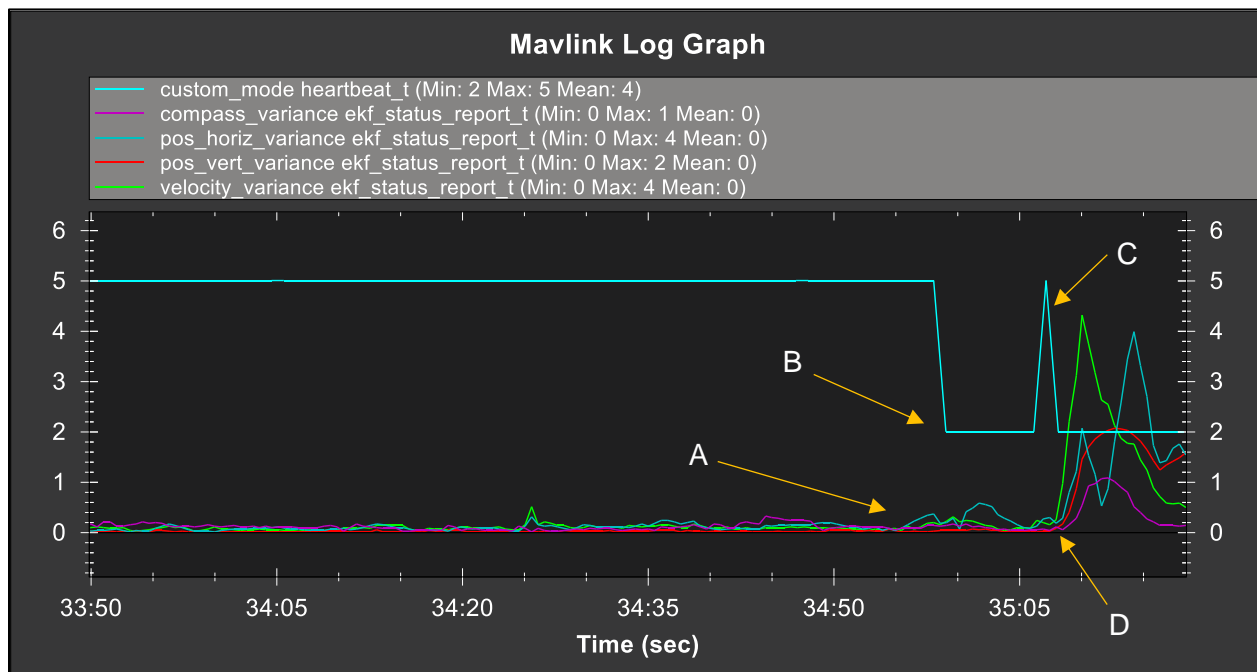


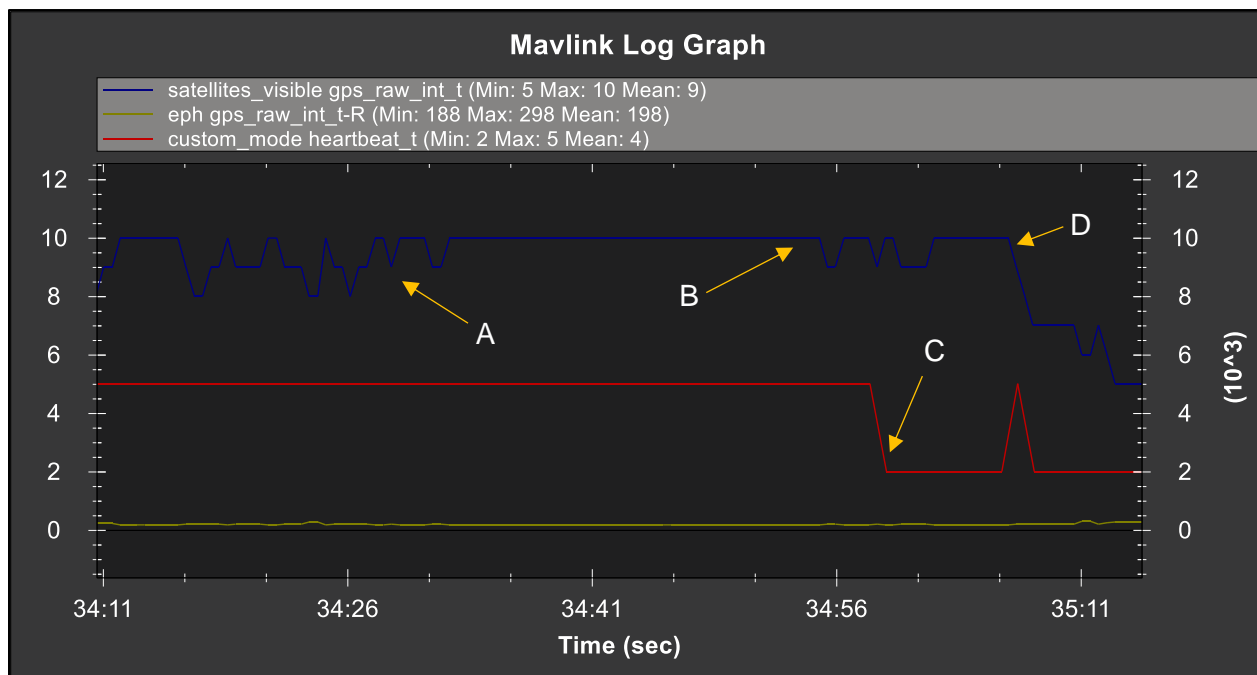
Figura 3.2) Imagen satelital del curso de vuelo.

Comportamiento de los filtros EKF: Al analizar los filtros EKF, tomando como referencia el comportamiento de los modos de vuelo, la gráfica 3.10 muestra como al comenzar a detectarse interferencia en la señal satelital GPS (A), por seguridad, la configuración del vehículo desactiva el modo “loiter” ya que deja de ser confiable y se activa el modo manual (B). También se logra apreciar que aunque el piloto ingresa un comando para regresar al modo de vuelo compensado por la señal GPS (C), al incrementar la interferencia (D) le es imposible mantenerse en ese modo de vuelo, por lo que el vehículo es liberado del anclaje por GPS.



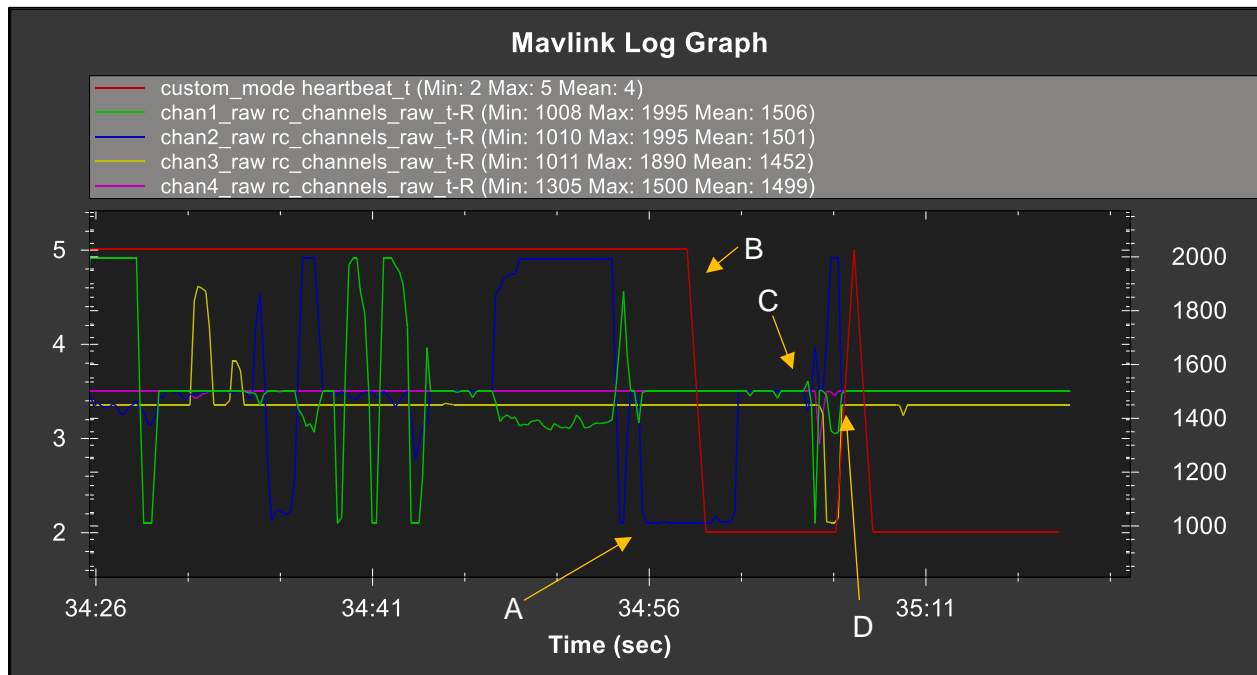
Grafica 3.10) Comportamiento de los filtros EKF.

Señal satelital GPS: Al revisar el comportamiento de la señal satelital GPS, tomando como referencia el cambio en los modos de vuelo, la gráfica 3.11 indica que la señal presentaba interferencia (A). Manteniéndose la señal estable por unos momentos, al dirigirse el vehículo a la barrera de árboles, se logra apreciar como la señal vuelve a ser interrumpida (B) y activa el seguro configurado para cambiar a un modo de vuelo más seguro (C) no dependiente de la señal satelital, como lo es el modo manual. Momentos antes del incidente se observa que el piloto intenta retomar el modo de vuelo con posicionamiento controlado pero la decreciente calidad de la señal le impide efectuar dicho cambio (D).



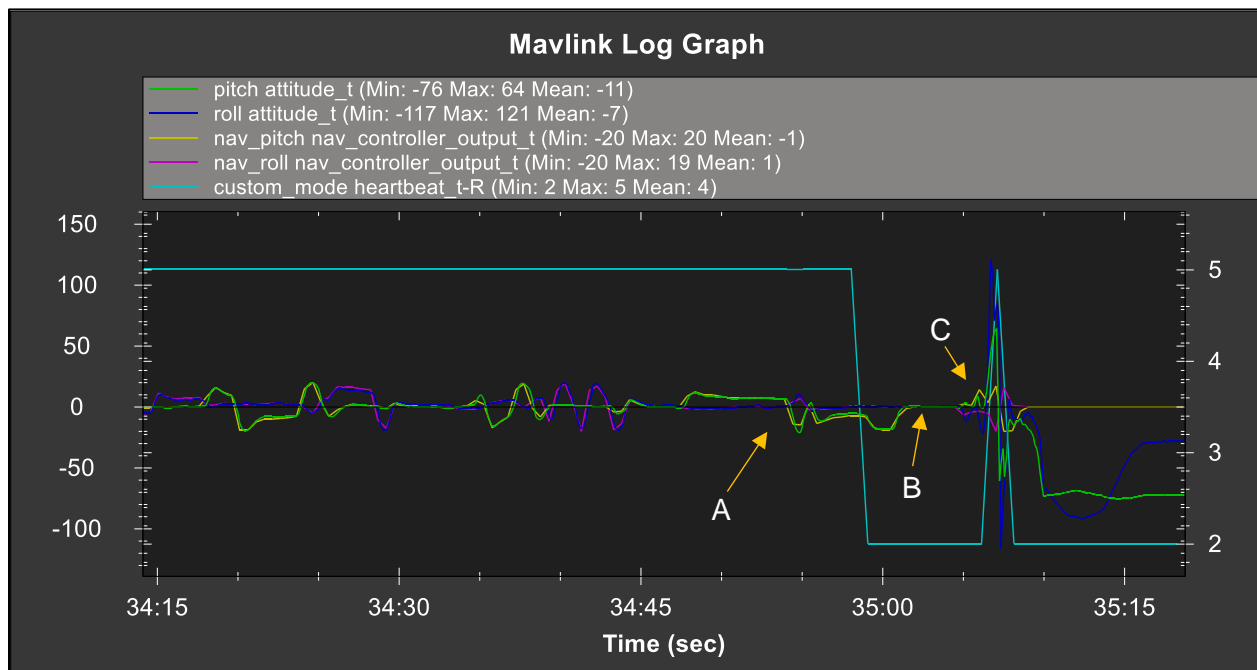
Grafica 3.11) Comportamiento de la señal satelital GPS.

Comandos del piloto: Al desplegar las órdenes del piloto, tomando como referencia el cambio en los modos de vuelo, la gráfica 3.12 muestra como el piloto dirigió el vehículo de frente hacia los arboles (A) previo a la reacción del controlador de vuelo quien cambio el modo de vuelo (B). Es posible apreciar como el piloto, en un intento desesperado justo antes del impacto, realiza maniobras rápidamente, tratando de evitar el impacto (C) cambiando incluso el modo de vuelo sin tener éxito (D).



Grafica 3.12) Comandos/maniobras del piloto.

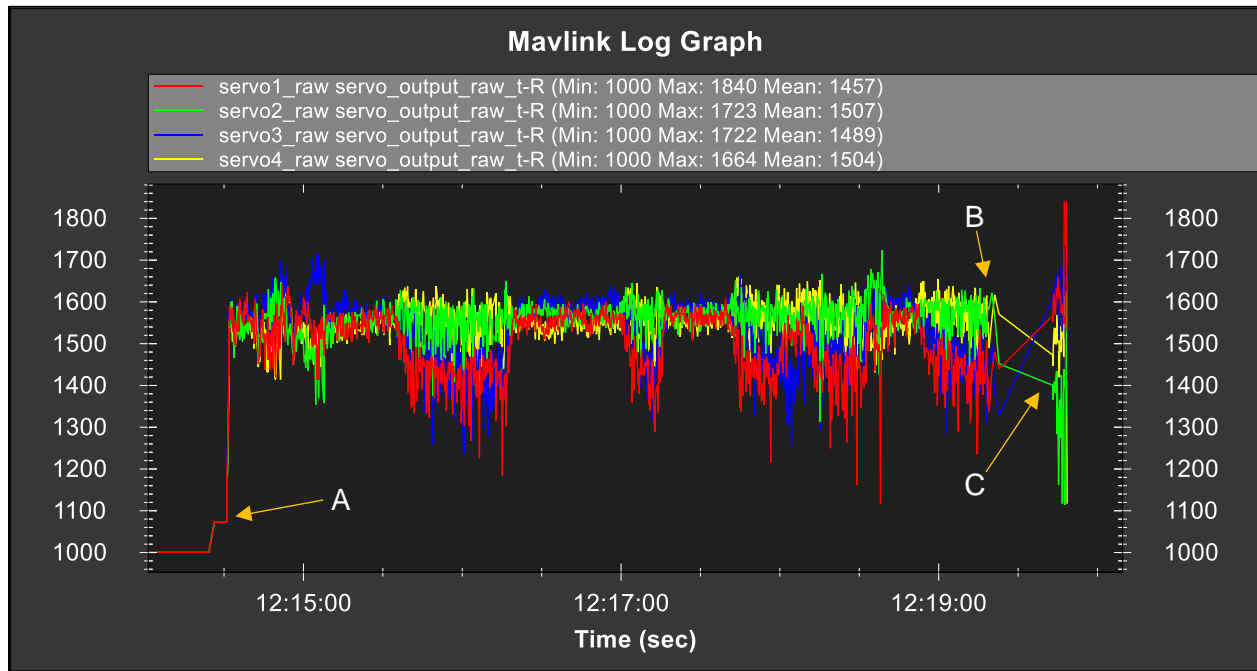
Actitud deseada contra la real: Al comparar el comportamiento real contra el deseado, tomando como referencia el cambio en los modos de vuelo, la gráfica 3.13 muestra que el controlador de vuelo mantuvo controlado el vehículo previo a la interrupción en la señal (A), después se aprecia como el vehículo mantiene una actitud estabilizada pero en modo de vuelo manual, el cual permite que el vehículo mantenga la trayectoria debido a la inercia o comportamiento del viento (B). Al agregar que quedo registrado que el vehículo siguió las ordenes hasta el momento del impacto (C), queda descartada la falla de algún componente.



Grafica 3.13) Actitud deseada comparada con la real.

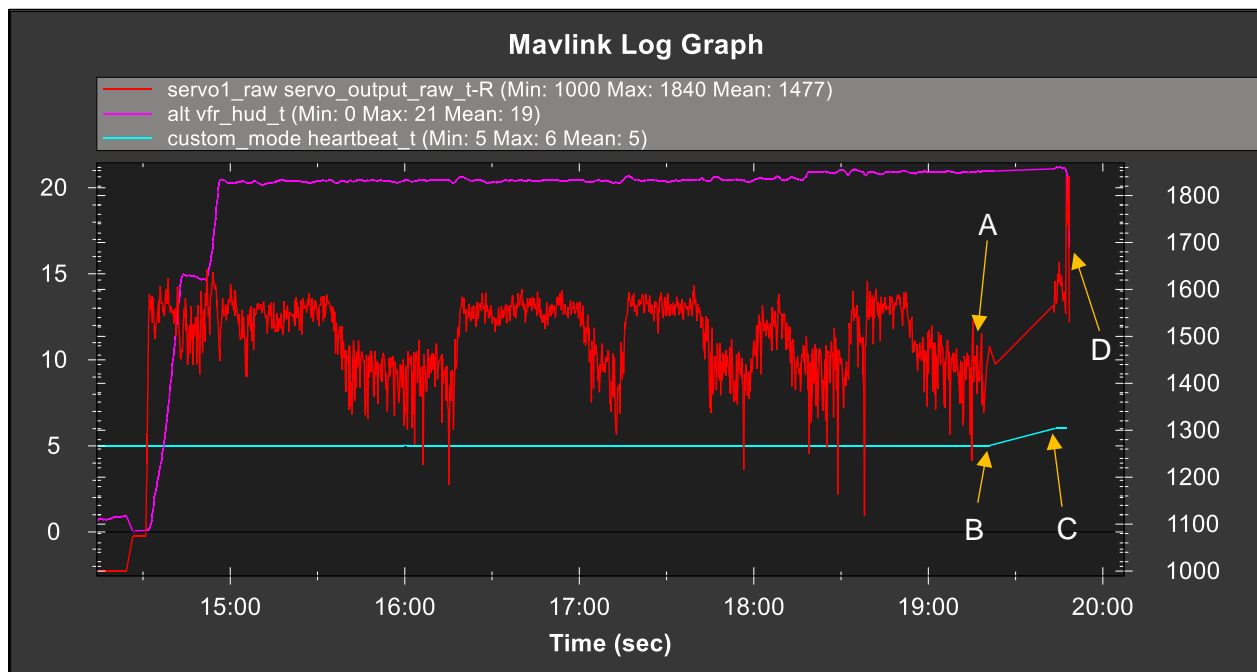
3.3.3) PERDIDA DE SEÑAL DE RADIO CONTROL

Comportamiento de los motores: Analizando el comportamiento de los servomotores, la gráfica 3.14 muestra que el vehículo fue armado, despegando sin problemas (A). Tras varios minutos de vuelo, se puede apreciar que el vehículo perdió comunicación con el control (B), recuperándola poco después, pero registrando de inmediato disturbios en la señal indicando un posible incidente (C).



Grafica 3.14) Comportamiento de los servo motores.

Altitud y modos de vuelo: Al comparar la altitud con el cambio en los modos de vuelos, tomando como referencia el comportamiento de uno de los motores, la gráfica 3.15 muestra el momento en que se perdió la señal de radio frecuencia que enlaza al dron con el control (A), volando en el modo de vuelo “loiter” previo a la perdida de señal (B), al recuperar la señal se puede apreciar el cambio al modo “regreso a casa” (C) y el momento del incidente (D) terminando con el vuelo sin un aterrizaje.



Grafica 3.15) Altitud y modos de vuelo.

Curso del vuelo: Gracias a la imagen satelital de la ruta proporcionada por el modulo GPS, es posible observar que el vehículo se encontraba sobrevolando un arroyo (A) hasta el momento en que perdió telemetría con el control (B), recuperando la señal en camino a la zona de despegue (C) se puede apreciar el momento en que impacto el dron, siendo interceptado por un obstáculo al volar de regreso al punto de partida (D).

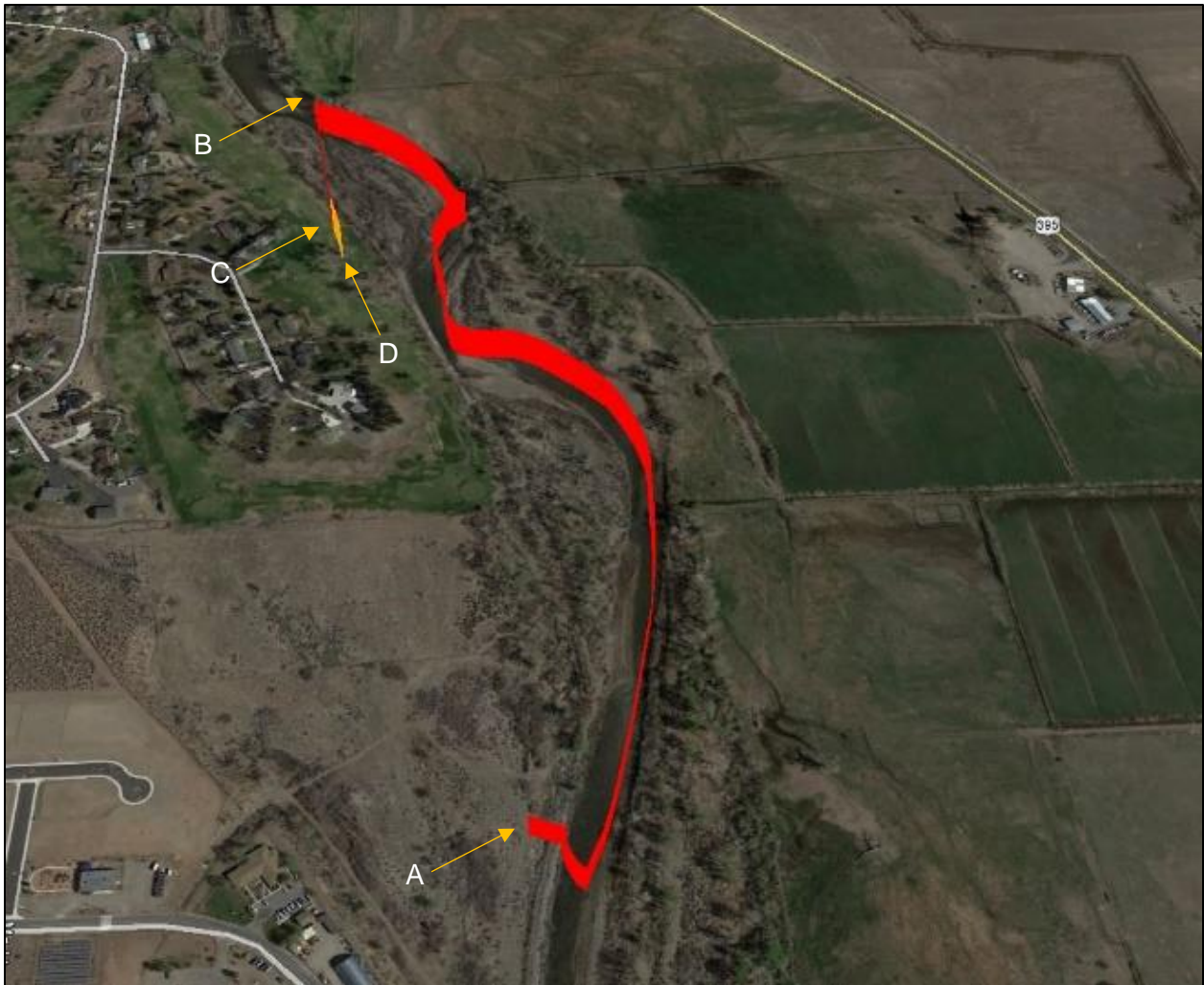
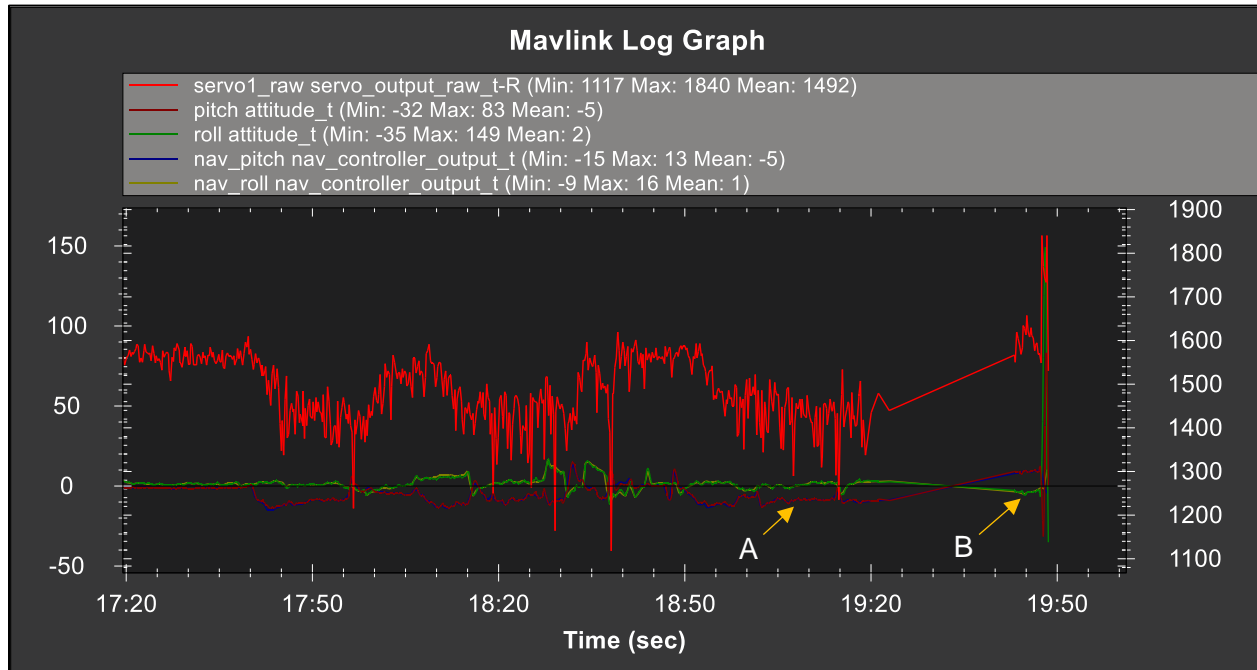


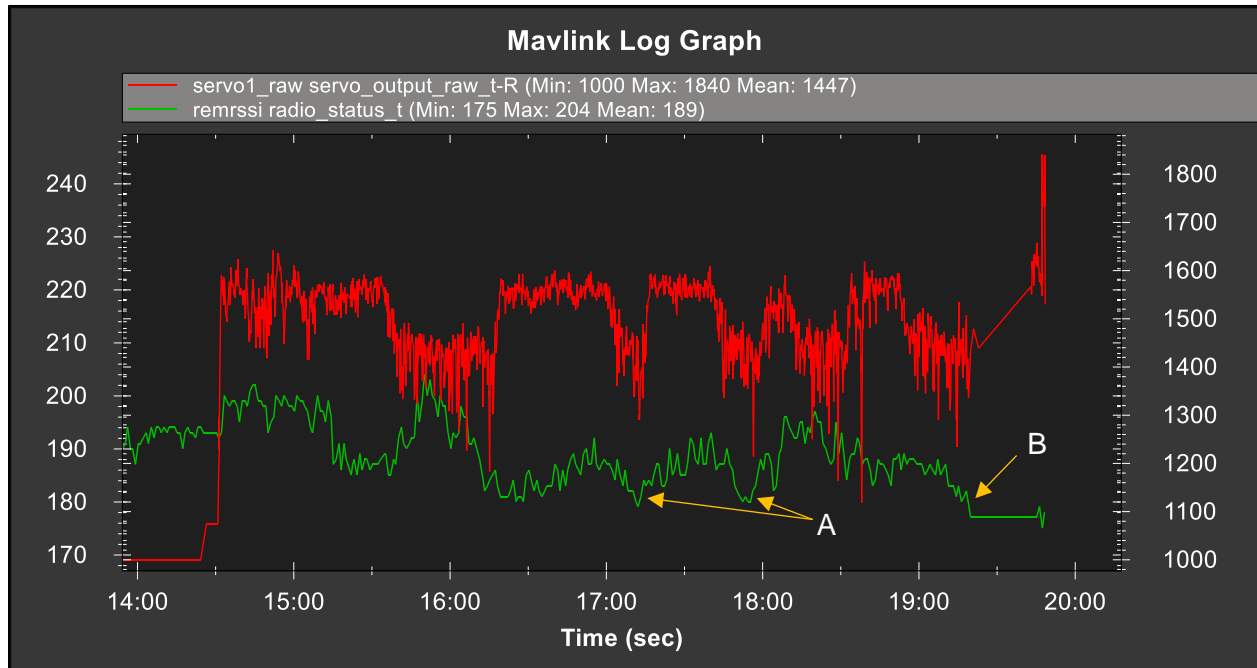
Figura 3.3) Imagen satelital del curso de vuelo.

Actitud deseada contra la real: Al comparar el comportamiento real del vehículo con el deseado, tomando como referencia uno de los motores, se puede observar que el vehículo se encontró en buen estado siguiendo las órdenes del piloto y del piloto automático durante todo el vuelo (A) hasta el momento en que impactó con un obstáculo (B).



Grafica 3.16) Actitud deseada comparada con la real.

Registro de la señal de radiofrecuencia: El análisis de la señal de radiofrecuencia, tomando como referencia el comportamiento de un motor, refleja algunos picos bajos provocados por interferencia (A) hasta llegar al límite y perder comunicación (B), previo al incidente.



Grafica 3.17) Comportamiento de la señal de control.

Regreso a la zona de despegue: Tomando la ruta más corta hacia el punto de despegue (A), el vehículo quedó sin comunicación al volar cerca de un área residencial (B), lo cual tiende a afectar la telemetría. Impactando contra un obstáculo, poco después de perder comunicación (C) el vehículo seguía las órdenes del piloto automático (D).



Figura 3.4) Trayectoria del regreso a la zona de despegue.

Zona de impacto: Tras realizar un acercamiento al último punto registrado por el vehículo (A), se observa en la figura 3.5 la sombra los árboles que interceptaron el vuelo de regreso (B).



Figura 3.5) Imagen satelital de la zona de impacto.

Siendo corroborado por la imagen del lugar, la figura 3.6 muestra la trayectoria previa al impacto (A) y el obstáculo con que colisiono el vehículo (B) terminando el registro del vuelo poco después (C) y descartando la posibilidad de fallo de algún componente.

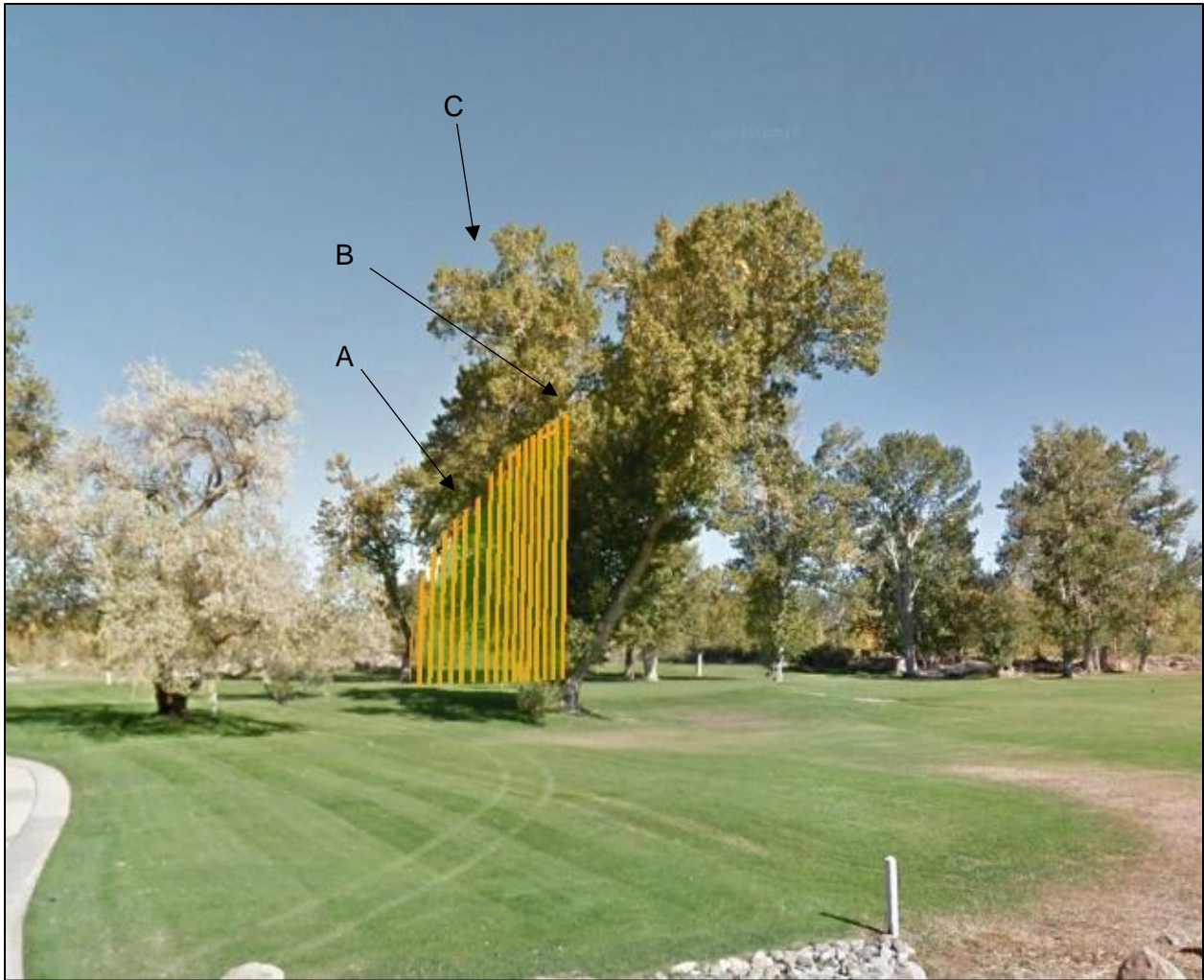
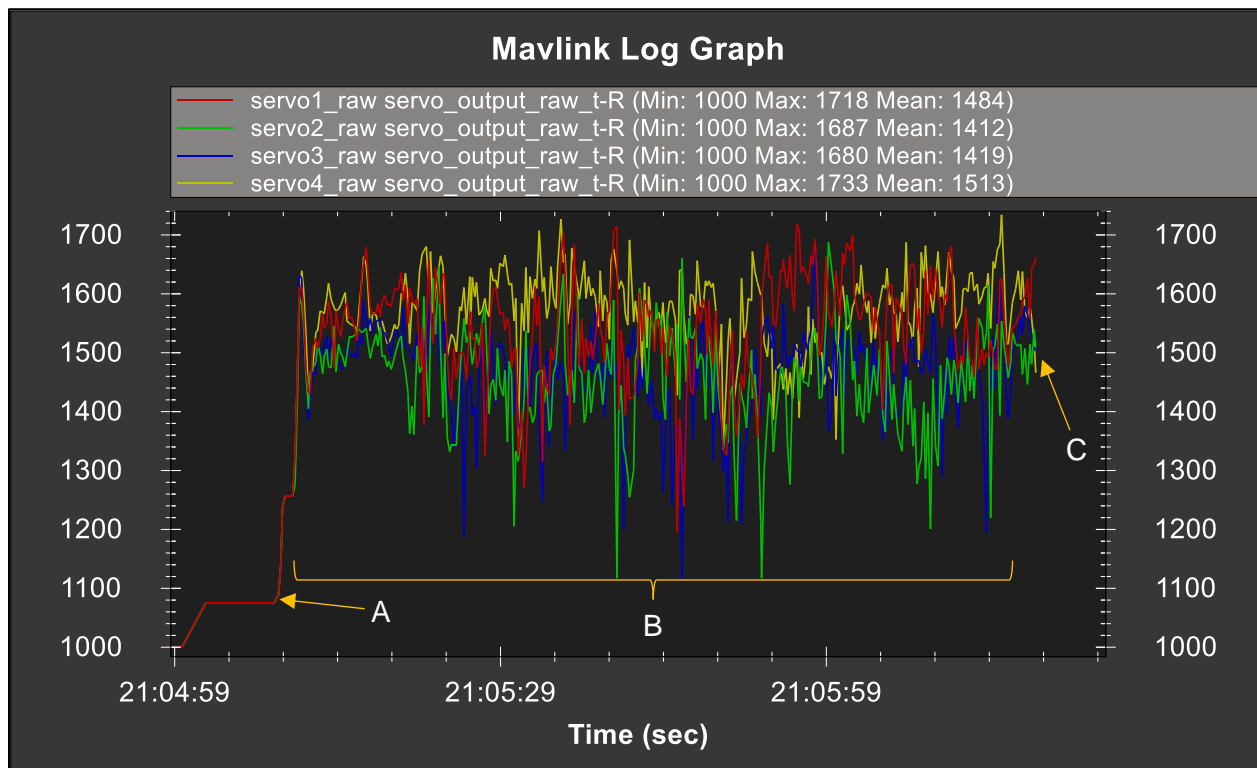


Figura 3.6) Imagen del impacto

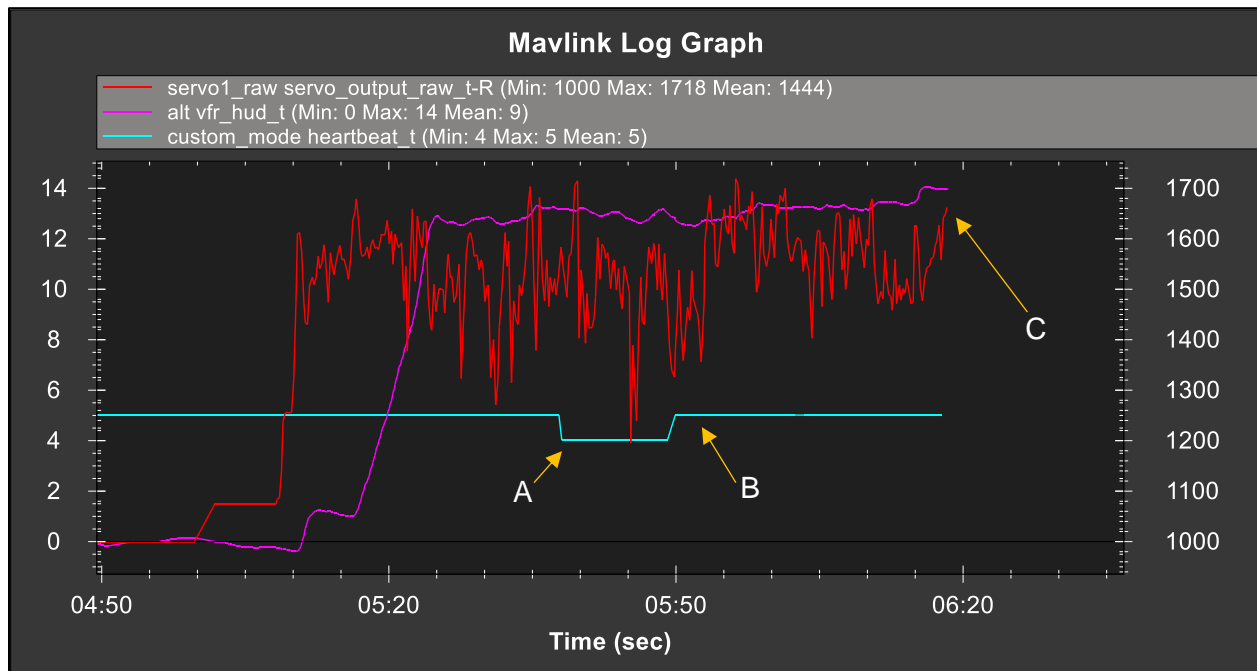
3.3.4) DESORIENTACION POR ELECTROMAGNETISMO

Comportamiento de los motores: Comenzando el análisis observando el comportamiento de los servomotores, la gráfica 3.18 muestra como despegue el vehículo sin problemas (A), también es notable que durante el vuelo los motores registraron lecturas algo ruidosas (B), esto no necesariamente indica que el vuelo fue inestable, ya que puede ser la respuesta del vehículo ante un ambiente con mucho viento. Como se aprecia al final del vuelo, no hubo un aterrizaje lo que corrobora que el vuelo termino de manera inesperada (C).



Grafica 3.18) Comportamiento de los servo motores.

Altitud y modos de vuelo: Tomando como referencia el comportamiento de uno de los motores, la gráfica 3.19 indica la altitud durante el vuelo y los modos de vuelo. Como se aprecia a la mitad del vuelo, el piloto cambio de modo de vuelo “loiter” al modo “guided” (A), pero poco tiempo después regresa al modo “loiter” manteniéndose así hasta terminar el vuelo, esto indica que el piloto se encontraba ascendiendo al suceder el incidente (C).



Grafica 3.19) Altitud y modos de vuelo.

Curso del vuelo: Gracias a la imagen satelital de la ruta del vuelo, la figura 3.7 muestra como el vehículo fue armado en un patio al frente de una casa (A), cambiando los modos de vuelo a pocos metros del punto de despegue (B). Es posible apreciar que el vuelo termino al dirigirse el vehículo hacia la calle frente a la casa (C), lo importante es que justo en ese punto se encuentra una línea o cable, el cual probablemente era de electricidad (D).



Figura 3.7) Imagen satelital del curso de vuelo.

Zona del incidente: Al revisar el lugar del incidente, la figura 3.8 muestra que efectivamente, el vehículo despegó frente a la casa (A) y justo después de ascender (B), el vehículo fue comandado a volar de frente hasta terminar el vuelo (C) justo donde está localizada una línea de energía (D); por lo que, es altamente probable que el vehículo haya sufrido una sobrecarga de electromagnetismo.

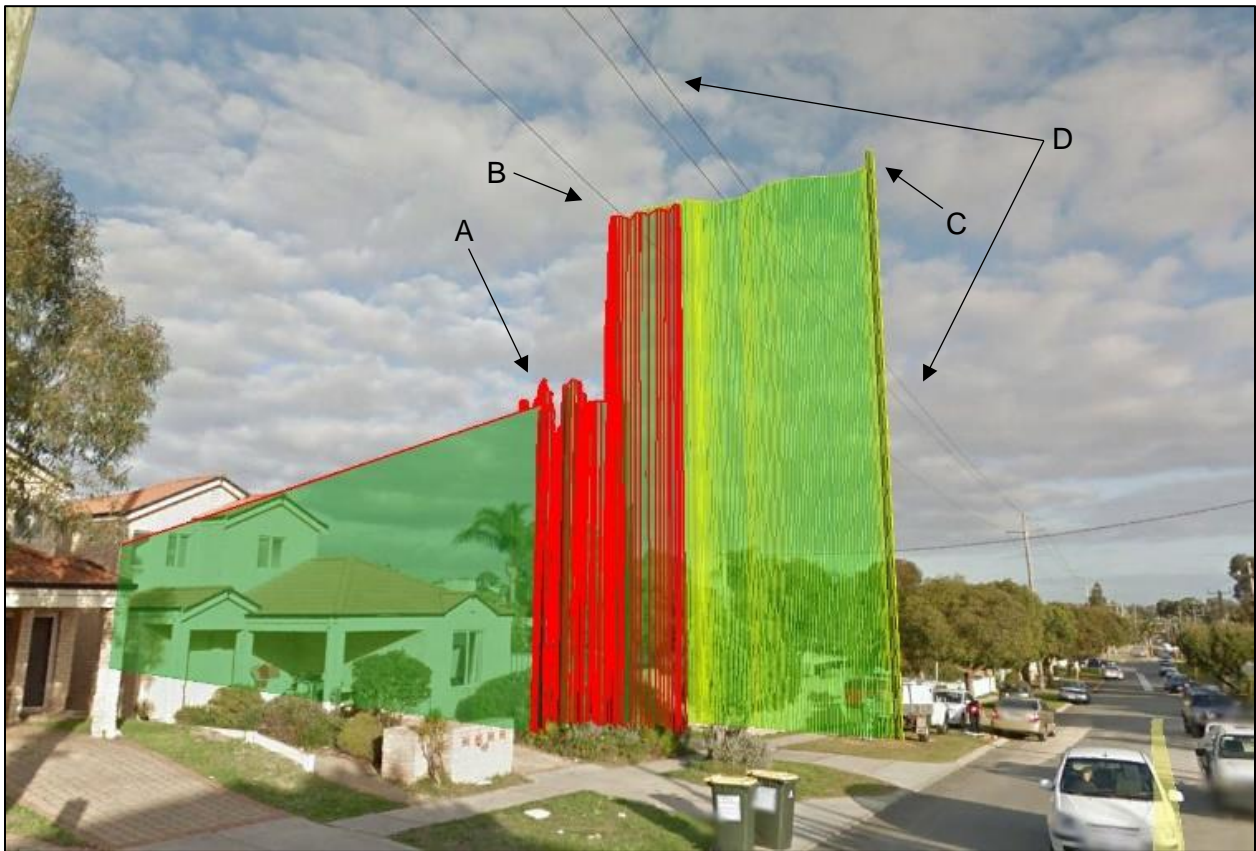
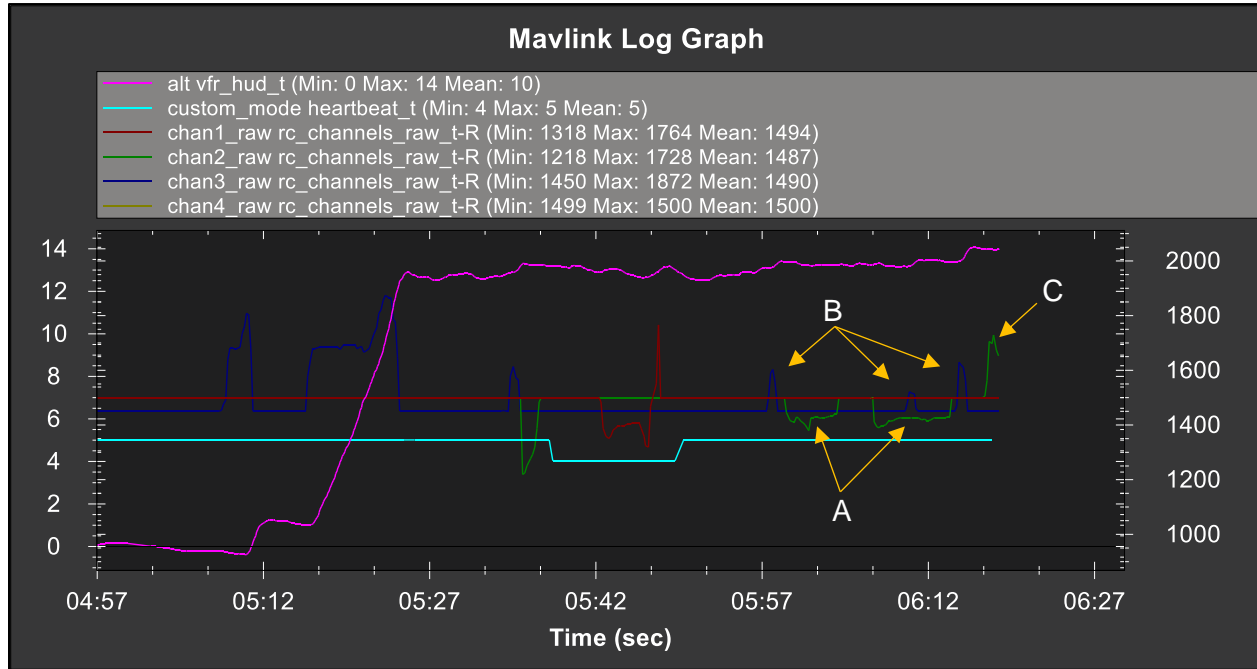


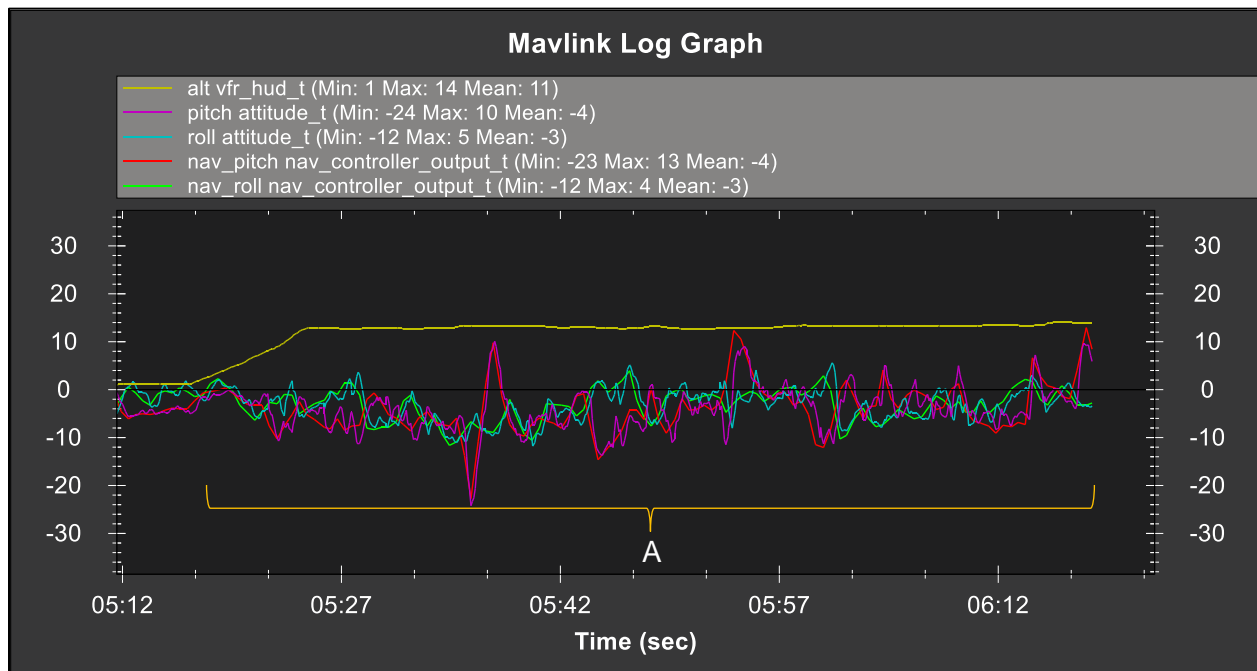
Figura 3.8) Imagen del Incidente.

Comandos del piloto: Al revisar las órdenes del piloto, la gráfica 3.20 muestra como el vehículo fue dirigido hacia adelante (A) ascendiendo (B) hasta terminar el vuelo (C); por lo que, se corrobora que el piloto mantuvo el control previo y durante el incidente.



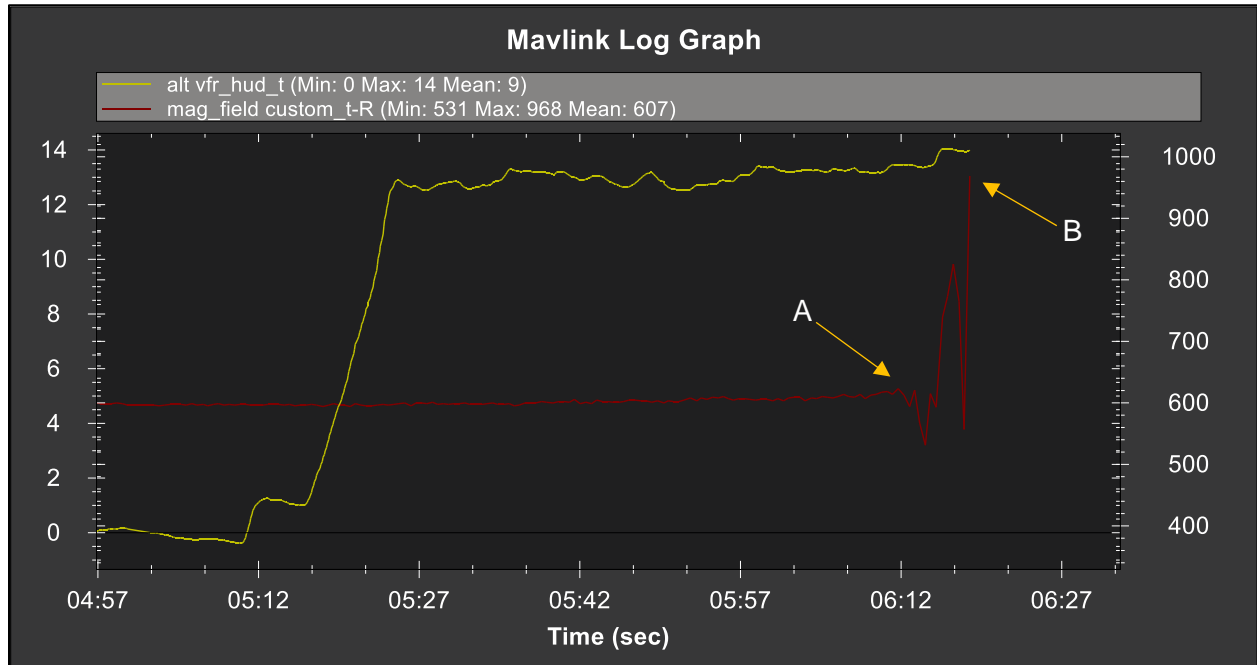
Grafica 3.20) Comandos/maniobras del piloto.

Actitud deseada contra la real: Al comparar el comportamiento real contra el deseado tomando como referencia la altitud del vuelo, la gráfica 3.21 muestra que el vehículo se comportó correctamente al seguir los comandos ingresados por el piloto; como se aprecia, ambas graficas se siguieron durante todo el vuelo (A) indicando que el vuelo estuvo controlado en todo momento.



Grafica 3.21) Actitud deseada comparada con la real.

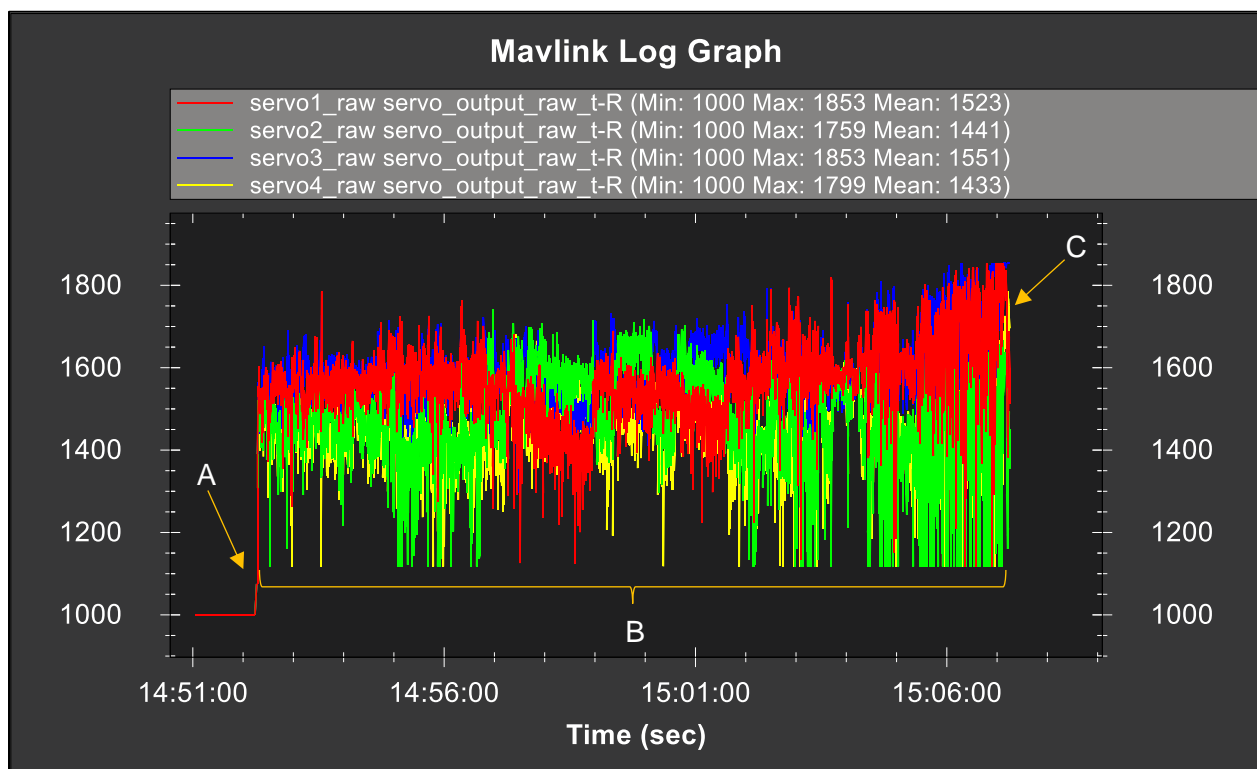
Comportamiento del campo magnético: Al verificar el comportamiento magnético del ambiente en el que volaba el vehículo, la gráfica 3.22 muestra como el vehículo se encontró en un ambiente con presencia de electromagnetismo (A) pero no fue sino hasta que ascendió y voló de frente a las líneas de electricidad que el magnetómetro registro la sobrecarga, generando inestabilidad en los componentes electrónicos del vehículo (B).



Grafica 3.22) Comportamiento del campo magnético.

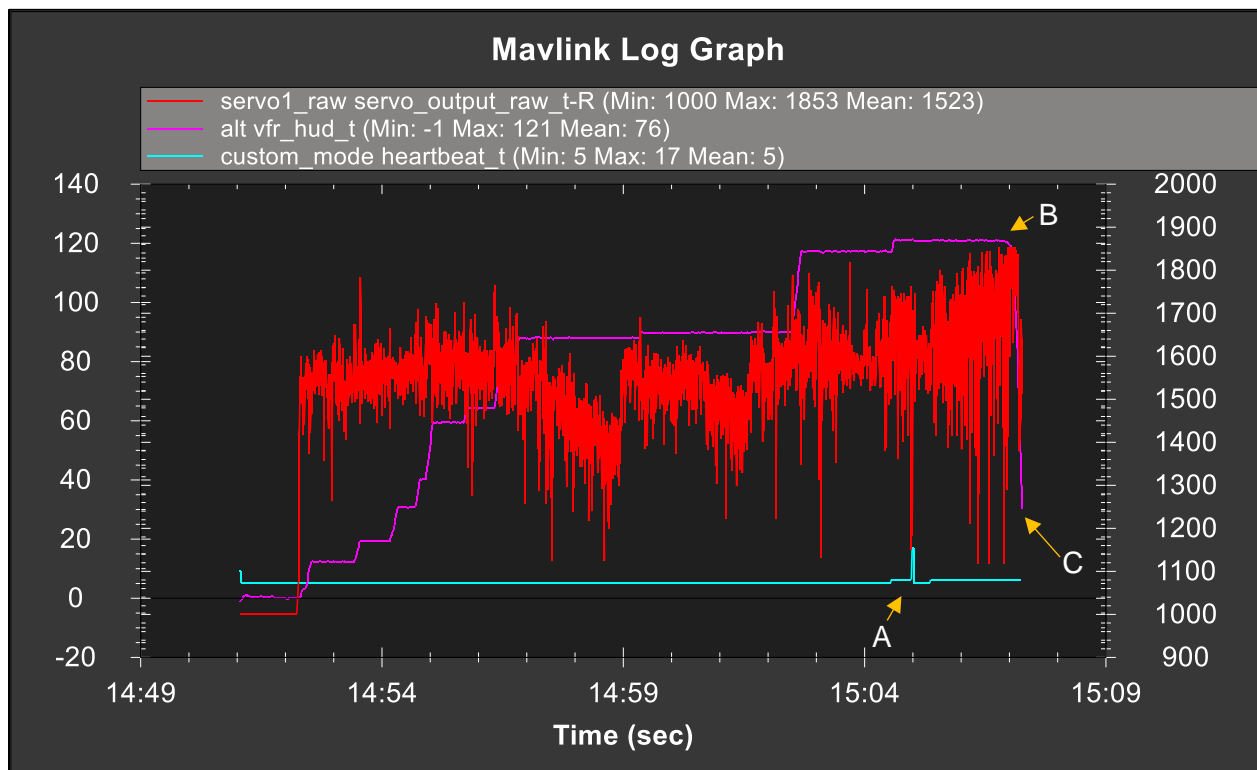
3.3.5) VUELO FUERA DE RANGO DE OPERACION

Comportamiento de los motores: Analizando el comportamiento de los servomotores, la gráfica 3.23 muestra que el vehículo fue armado y despegado sin problemas (A), gracias a la saturación en la lectura de los motores, se sabe que el vehículo fue utilizado en un ambiente con viento (B). También se observa que al final, el vuelo termino sin un aterrizaje por lo debió suceder de manera repentina (C).



Grafica 3.23) Comportamiento de los servo motores.

Altitud y modos de vuelo: Al comparar la altitud con el cambio en los modos de vuelos, tomando como referencia el comportamiento de uno de los motores, la gráfica 3.24 muestra como el vehículo paso del modo de vuelo “loiter” a “RTH” siendo este interrumpido por el piloto como lo indica el modo de vuelo “brake” para después retomar el modo de vuelo anterior (“loiter”) seguido de nuevo por el modo “RTH” (A). Se puede apreciar como el vehículo comienza a perder altitud (B), momentos antes de terminar el vuelo al caer del cielo (C).



Grafica 3.24) Altitud y modos de vuelo.

Curso del vuelo: Gracias a la imagen satelital de la ruta proporcionada por el modulo GPS se puede observar que el vehículo se encontraba volando sobre el mar, lejos de la costa (A). Manteniéndose en el punto más lejano del vuelo (B) para después regresar un poco (C) antes de comenzar la trayectoria a la zona de despegue (D). Lamentablemente, como se aprecia, el vehículo no alcanzo a llegar a la costa, debido a la repentina perdida de altitud (E), ver figura 3.9.

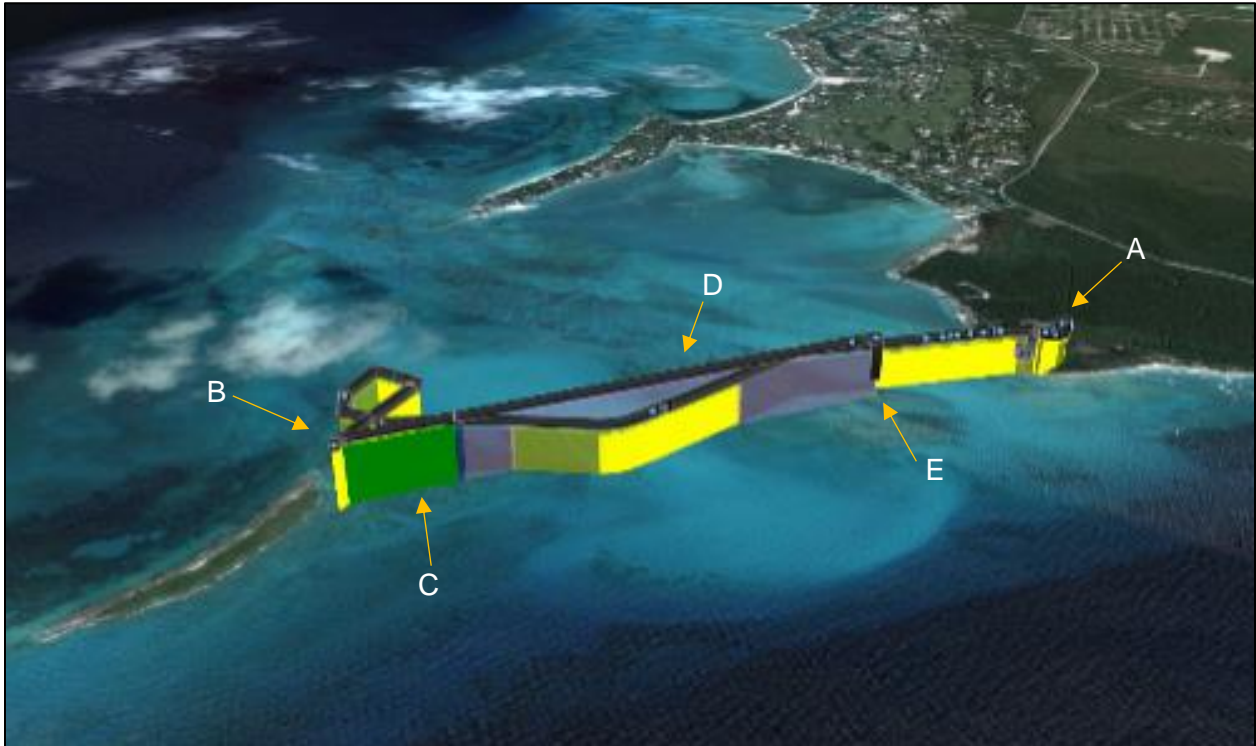
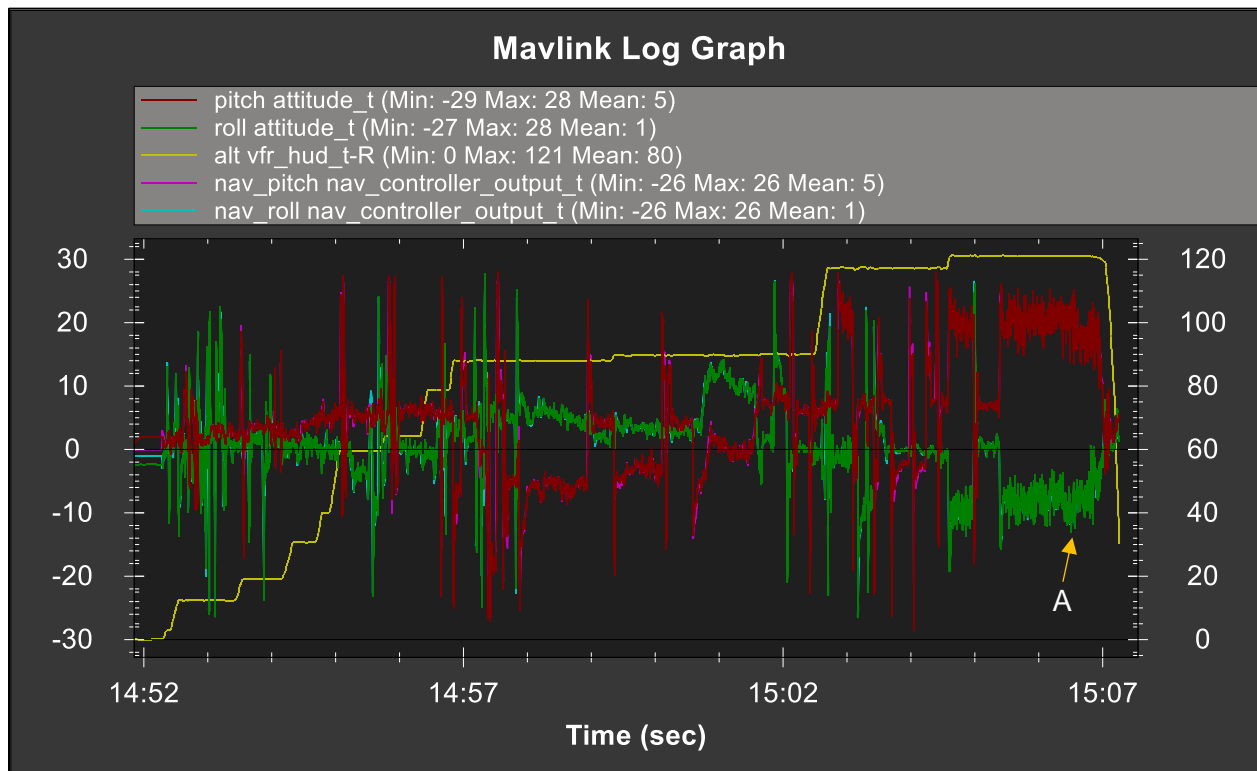


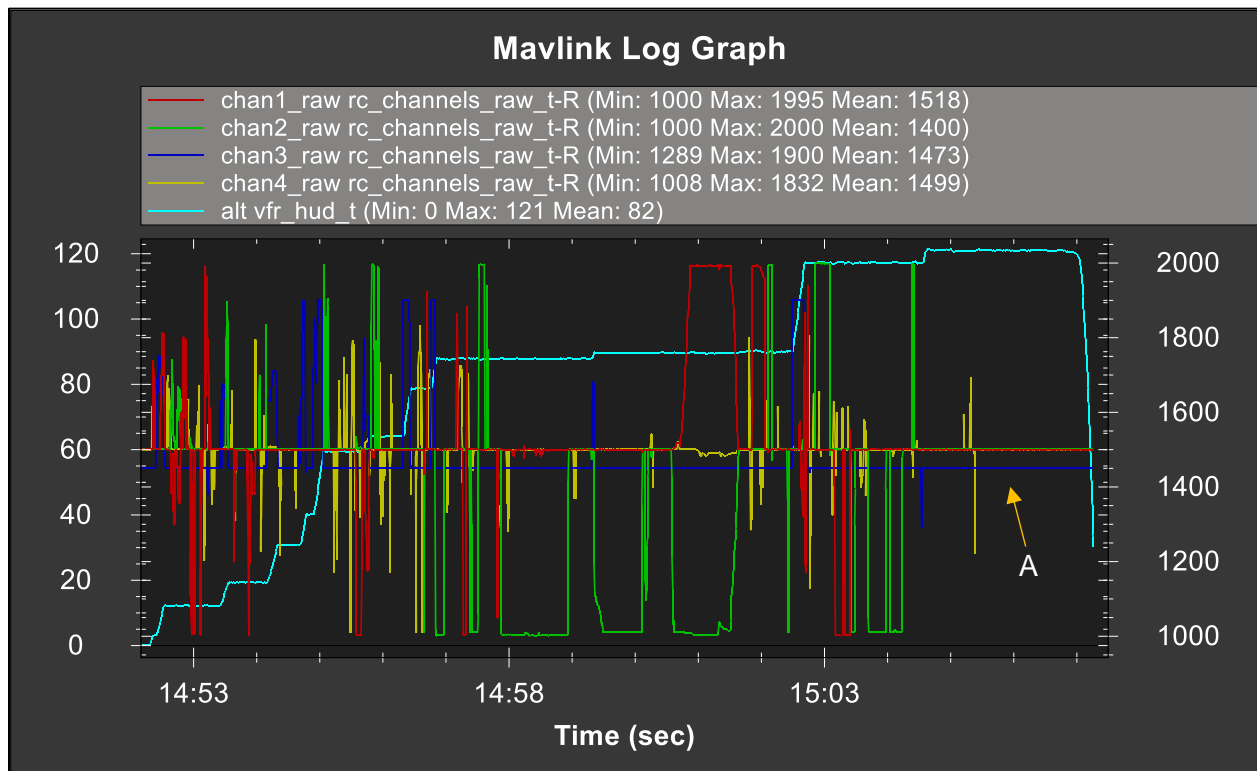
Figura 3.9) Imagen satelital del curso de vuelo.

Actitud deseada contra la real: Al comparar el comportamiento real del vehículo con el deseado, tomando como referencia la altitud, se puede observar que el vehículo mantuvo en vuelo controlado en todo momento; por lo que, se entiende que este seguía las órdenes del piloto (A), ver Grafica 3.25.



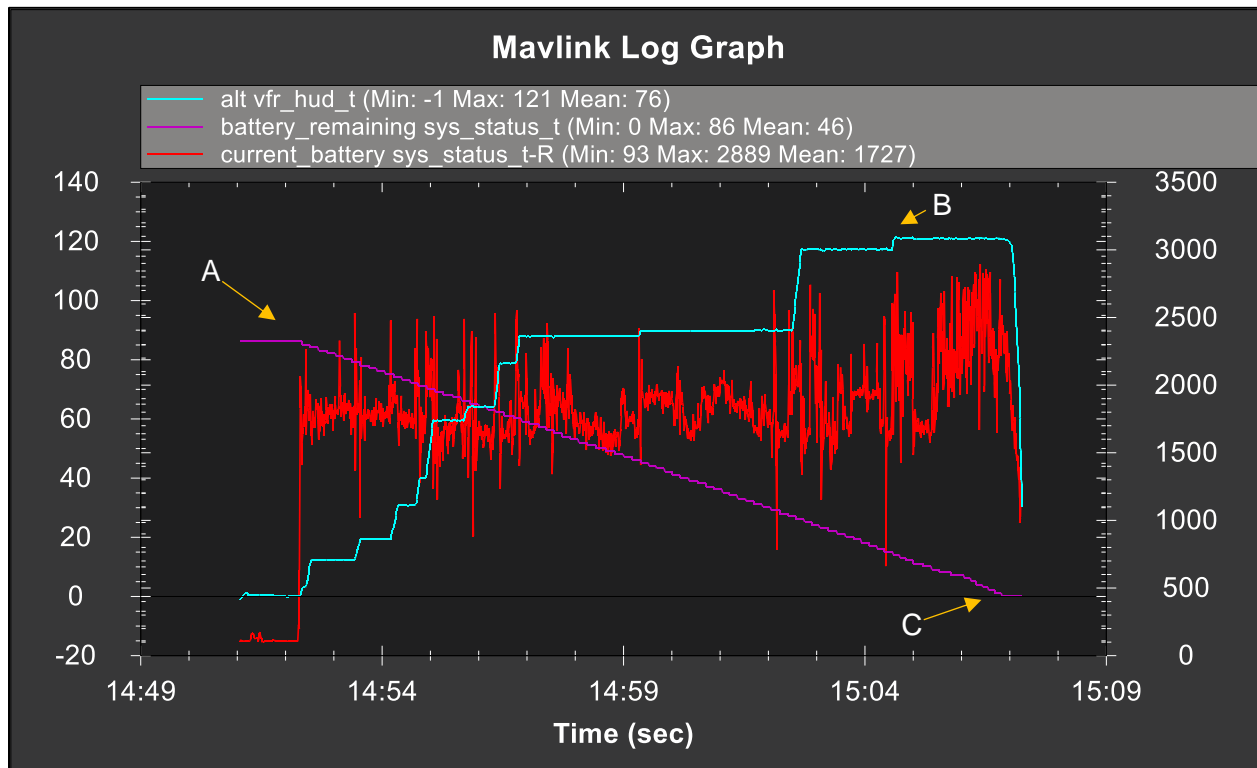
Grafica 3.25) Actitud deseada comparada con la real.

Comandos del piloto: Tal como lo muestra la gráfica 3.26, al graficar los controles ingresados por el piloto, tomando como referencia la altitud, se puede observar que el piloto no fue quien ordeno el descenso (A); por lo que, se descarta la posibilidad de una maniobra controlada por el piloto.



Grafica 3.26) Comandos/maniobras del piloto.

Comportamiento de la batería: Al descartar el descenso por orden del piloto o el comportamiento de algún sensor, lo único que queda por revisar es el comportamiento de la batería. La grafica 3.27 muestra como el vuelo inicio con un nivel de batería aceptable (A), pero casi al terminar el vuelo el dron activo sus sistemas de reserva para regresar a la zona de despegue (B), pero al estar demasiado lejos no logro completar el vuelo de vuelta consumiendo por completo la batería y provocando un desplome.



Grafica 3.27) Comportamiento de la batería.

Capítulo 4

Conclusiones del Análisis de los Vuelos

IV. CONCLUSIONES DEL ANALISIS DE LOS VUELOS

A continuación se encuentra la conclusión de cada uno de los análisis de vuelo para los diversos tipos de falla por errores del piloto.^{[65][66]}

4.1) COLICION COMANDADA POR EL PILOTO

El vehículo no reflejó señales de algún mal funcionamiento, por otra parte, la localización satelital, la relación entre el comportamiento deseado y el real y los comandos del piloto, indican que el piloto comandó al vehículo a sumergirse bajo el pequeño cuerpo de agua localizado cerca del punto de despegue, terminando con una unidad dañada por errores del piloto.

4.2) PERDIDA DE SEÑAL GPS

Al comparar el curso de vuelo con los registros de los componentes del vehículo, se encontró que la causa del incidente fue la interferencia en la señal satelital GPS provocada por los árboles (obstáculos) situados en la trayectoria del vehículo, comandada por el piloto, provocando así que el vehículo realizara un cambio de modo de vuelo más seguro para no depender de la señal GPS, eso a su vez terminó en un impacto del vehículo por falta de experiencia del piloto en el control del vehículo, ya que el controlador de vuelo siguió las ordenes durante todo el vuelo.

4.3) PERDIDA DE SEÑAL DE RADIO CONTROL

Al analizar las lecturas de los sensores y compararlas con la evidencia satelital y de campo, se registró que el piloto comandó al vehículo a situarse en una zona con baja señal de radiofrecuencia, provocando que se perdiera la comunicación. Esto activó el protocolo de seguridad, que ordena al dron a regresar a la zona de despegue, tomando la ruta más corta. Esto descarta la posibilidad de un incidente causado por un malfuncionamiento del equipo, haciendo responsable al piloto.

4.4) DESORIENTACION POR ELECTROMAGNETISMO

Al encontrar que el vehículo termino el vuelo de manera inesperada, la ruta del vuelo indico que esto sucedió al volar muy cerca de unas líneas de electricidad. Corroborando que el piloto mantuvo el control en todo momento, al revisar el comportamiento del magnetómetro, se encontró que él le ordeno al dron volar cerca de unas líneas de tensión eléctrica, generando un corto en los sistemas por sobrecarga de electromagnetismo.

4.5) VUELO FUERA DE RANGO DE OPERACION

Al analizar tanto el comportamiento de los motores, los controles del piloto, la batería, entre otros; se encontró que el vehículo fue ordenado a volar más allá del perímetro seguro o alcance del vehículo, lo que provoco que su bajo nivel de batería activara el comando de regreso a casa por motivos de seguridad al llegar a los niveles de reserva. Es posible observar que al encontrarse volando de regreso, el piloto interrumpió dicha comando, lo cual provoco que el vehículo consumiera más energía de la que requería para completar su vuelo de regreso al punto de partida, terminando la misión con un desplome en el océano. Esto se consideró un error por parte del piloto, por no tomar en cuenta los niveles de la batería y la distancia y ambiente en el que se encontraba volando, ya que al estar expuesto a los vientos del mar abierto, es normal que exista un mayor consumo de energía, insuficiente para completar la misión o vuelo.

Capítulo 5

Resultados y Soluciones

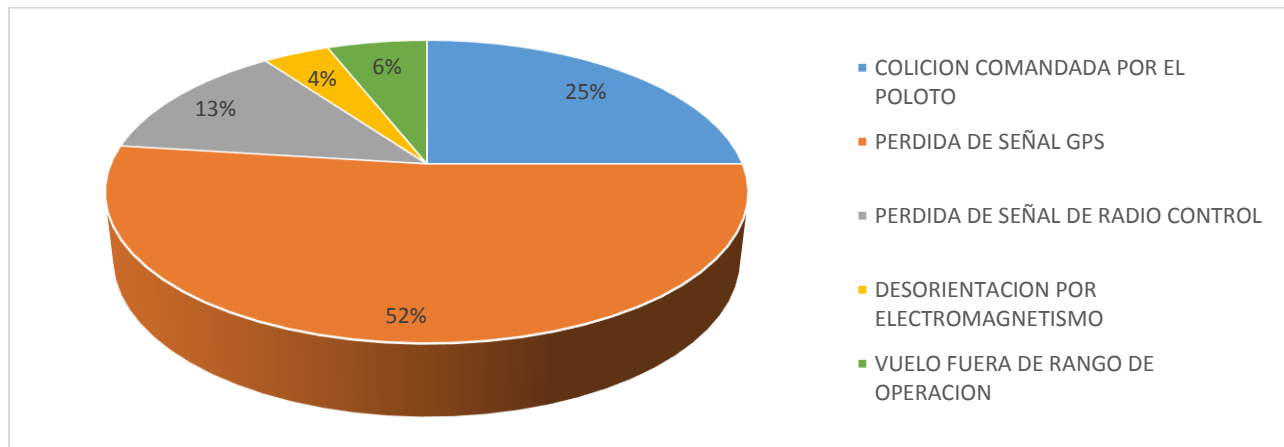
V. RESULTADOS Y SOLUCIONES

A continuación se encuentra el resultado de la información recabada de la base de datos del modelo analizado, una reseña de los peligros que puede generar el uso inapropiado de la tecnología en cuestión, la respuesta por parte de las autoridades encargadas de regular y vigilar el espacio aéreo, las medidas preventivas que se está efectuando y las propuestas para garantizar la seguridad, tanto de los vehículos que transitan el espacio aéreo, como la seguridad de la propiedad privada y terceros.

5.1) REGISTRO Y ESTADISTICAS

Utilizando los datos recabados, en referencia a la cantidad de incidentes para cada categoría, se obtuvieron los siguientes resultados:

Grafica 4.1) Número de incidentes registrados



La grafica 4.1 muestra como los incidentes más frecuentes fueron causados por interferencia en la señal satelital GPS con un 52% del total de los casos, seguido por los incidentes causados por el control de maniobras del piloto con un 25% y con un 23% se encuentra la suma de los otros tres, siendo la perdida de la señal de radio control, exposición a una sobrecarga de electromagnetismo y los vuelos fuera del rango de operación. ^[65]

5.2) LA CRECIENTE DEMANDA Y PRESENCIA EN EL ESPACIO AEREO

Desde hace algunos años se ha visto en el mercado una variedad cada vez más amplia de fabricantes y modelos de drones para el uso recreativo, desde los más pequeños “micro drones”, de un tamaño menor al de la palma de una mano, hasta los creados por aficionados que pueden alcanzar el tamaño de una persona y utilizar más de 6 motores. Esto ha hecho posible adquirir un Dron, dentro de cualquier presupuesto, aunque las funciones no sean las mismas para todos. No obstante, cabe mencionar que la mayoría cuenta con los componentes básicos. Esta facilidad de que cualquier persona pueda adquirir un Dron, ha generado un mayor volumen de objetos transitando por el espacio aéreo.^[69]

5.3) PELIGRO LATENTE

Con el aumento en el uso de los drones ha ido creciendo el número de eventos inesperados, con altas posibilidades de terminar en una tragedia, ocasionados por la falta de sentido común y responsabilidad por parte de los pilotos o usuarios de los drones. Hasta el momento, el peligro está alarmando a las autoridades encargadas de controlar los espacios aéreos, es la intervención de espacios aéreos limitados para el uso de aeronaves tripuladas como los son los aeródromos y aeropuertos. Se tiene registrado que en múltiples ocasiones los drones han volado muy cerca de aviones comerciales, en un caso en particular, un dron voló a 25 metros aproximadamente de un Boeing 777. En caso de que un dron colisionara con una de estas aeronaves, es probable generar daños considerables al fuselaje y fallo de motores, succionar un vehículo no tripulado, en el peor de los casos, esto terminaría en una tragedia.

Otro peligro latente relacionado con el mal uso de los drones es el peligro de colisión con objetos en tierra, como pueden ser las personas que se encuentren transitando por debajo del espacio aéreo; así como daño a propiedades de terceros, tales como, casas, edificios y vehículos, por mencionar algunos.^[70]

5.4) PROPUESTAS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Debido a que la mejor forma de evitar un incidente es previniéndolo, a continuación se enumeran una serie de propuestas y medidas de prevención para disminuir la probabilidad de encontrarse en una situación crítica.

- Estar informado acerca de las condiciones del viento y el clima, antes de planear e iniciar una misión.
- Designar los limitantes de la zona de vuelo.
- Localizar los posibles obstáculos en la zona de vuelo y estar alerta al volar cerca de ellos.
- Planear maniobras de emergencia, en caso de volar cerca de un obstáculo.
- Prestar atención a las antenas y líneas de tensión y evitar volar cerca de ellas.
- Prestar atención a los obstáculos en movimiento.
- Evitar volar cerca de los vehículos aéreos tripulados y de los aeropuertos o aeródromos.
- Evitar volar por debajo de obstáculos, para no interferir con la señal satelital.
- Realizar un vuelo de práctica en la zona de vuelo con fines de reconocimiento, previo a la misión.
- Utilizar sistemas de evasión de obstáculos como ultrasonido o procesamiento de imagen.
- Utilizar protectores de propelas.
- Conocer y respetar las restricciones de diseño de operación del vehículo.
- Leer y comprender la información de los manuales de usuario y operación.
- Realizar una revisión pre-vuelo y calibrar los instrumentos antes de cada misión.
- Evitar consumir por completo las baterías, mantenerlas completamente cargadas antes de cada misión, medir el consumo durante el vuelo.
- Evitar volar a corta distancia de cualquier emisor o fuente generadora de electromagnetismo
- Mantener una distancia segura del vehículo durante el despegue y aterrizaje.

5.5) METAS ALCANZADAS

A continuación se hace un recuento de las metas planteadas al inicio de la investigación.

5.5.1) METAS GENERALES

- Se logró obtener un registro de incidentes, de una base de datos proporcionada por la compañía 3DRobotics, necesaria para conocer la frecuencia y diversidad de los incidentes por error del piloto.
- Se logró determinar las causas de los incidentes más frecuentes por error del piloto, con ayuda del análisis de vuelo de cada uno de los tipos de incidentes registrados.
- En base a los resultados obtenidos, fue posible generar propuestas para prevenir los incidentes causados de manera general por error del piloto.

5.5.2) METAS ESPECÍFICAS

- Se logró procesar la información del registro de forma clara, con la creación de una tabla y su gráfica, así como el análisis de los vuelos registrados para su interpretación y resolución.
- Gracias a la información recabada, fue posible detectar los casos de incidentes más frecuentes, y para finalizar, encontrar las 5 principales categorías por error del piloto.
- Gracias a los resultados entregados por el análisis de cada tipo de incidente, se logró determinar la causa probable de cada una de las categorías de los más frecuentes.
- En base a los resultados obtenidos en el análisis, también fue posible formular propuestas que prevengan cada uno de los incidentes más frecuentes, con el fin de ayudar a reducir el número de casos.

Capítulo 6

Fuentes y Bibliografía

VI. FUENTES Y BIBLIOGRAFIA

A continuación se muestran las fuentes de información utilizadas en esta investigación.

- [1]. “The Numbers Air Traffic Plans and Publications Environmental Reviews Flight Information”. *Unmanned Aircraft Systems*. Extraído en Enero 26, 2016, de <https://www.faa.gov/uas/>.
- [2]. “UAV FAA Public Operations UAV Regulations”. Extraído en Enero 26, 2016, de http://www.hse-uav.com/faa_public_operations_definition.htm.
- [3]. “NASA test Sense-and-Avoid technologie voor drones”. Extraído en Enero 26, 2016, de <https://www.drones.nl/nieuws/2015/06/nasa-test-sense-and-avoid-technologie-voor-drones>.
- [4]. “UAV FAA Civil Operations UAV Regulations”. Extraído en Enero 29, 2016, de http://www.hse-uav.com/faa_civil_operations_nongovernmental.htm.
- [5]. “Top 4 Uses For Drones In Aircraft Maintenance - Aviation Week”. Extraído en Enero 29, 2016, de <http://aviationweek.com/advanced-machines-aerospace-manufacturing/top-4-uses-drones-aircraft-maintenance>.
- [6]. “UAV FAA Model Aircraft Operations UAV Regulations”. Extraído en Enero 29, 2016, de http://www.hse-uav.com/faa_model_aircraft_operations.htm.
- [7]. “Get the shot. Solo”. Extraído en Enero 29, 2016, de <https://3dr.com/solo-drone>.
- [8]. (2015). “Beginners guide to drone autopilots and how they work”. Extraído en Enero 29, 2016, de <http://www.dronetrest.com/t/beginners-guide-to-drone-autopilots-and-how-they-work/1380>.
- [9]. “SparkFun Triple Axis Accelerometer Breakout - ADXL335”. Extraído en Enero 29, 2016, de <https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics>.
- [10]. (2016). “The How and Why of Drone Calibration - Agribotix”. Extraído en Enero 29, 2016, de <http://agribotix.com/blog/2015/12/02/all-about-drone-calibration/>.
- [11]. “Magnetometers”. Extraído en Enero 29, 2016, de <http://www.engineersgarage.com/articles/magnetometer>

-
- [12]. "Livingstone, A., & Seminara, J". *Extraído en Febrero 03, 2016, de* <http://www.wisegeek.com/what-is-magnetism.htm>.
- [13]. "LaFay, B. M. *Understanding How Your Drone Is Controlled*". *Extraído en Enero 29, 2016, de* <http://www.dummies.com/consumer-electronics/drones/understanding-how-your-drone-is-controlled/>.
- [14]. "Taking note of the output value we determined the value at 1 G. *How to calibrate Robogaia accelerometer/gyro shield*". *Extraído en Enero 29, 2016, de* <http://www.robogaia.com/how-to-calibrate-robogaia-accelerometergyro-shield.html>.
- [15]. "How to Make a Drone / UAV - Lesson 4: Flight Controller". *Extraído en Enero 31, 2016, de* <http://www.robotshop.com/blog/en/how-to-make-a-drone-uav-lesson-4-flight-controller-15191>.
- [16]. Garzón, J. C., & Meteorología, J. C. (1970). "PRESIÓN 2". *Extraído en Enero 31, 2016, de* <http://aerocomando.blogspot.com/2015/08/presion-2.html>.
- [17]. (2015). "How does GPS satellite navigation work?". *Extraído en Enero 31, 2016, de* <http://www.explainthatstuff.com/howgpsworks.html>.
- [18]. (2006). "Go Flying - Flight Track logs for Google Earth". *Extraído en Enero 31, 2016, de* http://www.gearthblog.com/blog/archives/2006/04/go_flying_fligh.html.
- [19]. LaFay, B. M. "Drone Flight Controls". *Extraído en Enero 31, 2016, de* <http://www.dummies.com/consumer-electronics/drones/drone-flight-controls/>.
- [20]. "How to Build a Drone - A Definitive Guide For Newbies". *Extraído en Enero 31, 2016, de* <http://beginnerflyer.com/build-a-drone/>.
- [21]. (2016). Oscar Liang "How to choose Motor and Propeller for Quadcopter". *Extraído en Febrero 03, 2016, de* <https://oscarliang.com/quadcopter-motor-propeller/>.
- [22]. (2006). "Drone Propellers – Know Everything About Them!". *Extraído en Enero 31, 2016, de* <http://www.topdronesforsale.org/drone-propellers/>.
- [23]. Matt Brown. (2007) "Hooked-on-RC-Airplanes, Choosing Model Airplane Propellers". *Extraído en Enero 31, de* <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/model-airplane-propellers.html>.
- [24]. Vaszary, Z. (2016). "The Ultimate LiPo Drone Battery Care Guide – Dronethusiast". *Extraído en Enero 31, de* <http://www.dronethusiast.com/ultimate-drone-battery-care/>.
-

-
- [25] (2016). "15 things every LiPo battery user should know". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://thedronegirl.com/2015/02/07/lipo-battery/>.
- [26]. "How to Make a Drone / UAV - Lesson 2: The Frame". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://www.robotshop.com/blog/en/make-uav-lesson-2-platform-14448>.
- [27]. (2006). "How to Pick The Best Multicopter Frame". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://myfirstdrone.com/tutorials/best-multicopter-frame/>.
- [28]. "3DR Pixhawk Mini". Extraído en Enero 31, 2016, de <https://store.3dr.com/products/3dr-pixhawk>.
- [29]. "Remote Piloted Aerial Vehicles". Extraído en Enero 31, 2016, de http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html.
- [30]. "History of drones timeline". Extraído en Enero 31, 2016, de <https://www.timetoast.com/timelines/history-of-drones>.
- [31]. "The Pioneers: An Anthology : Samuel Franklin Cody (Franklin Samuel Cowdery), (1867-1913)". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/cody.htm>.
- [32]. "Design and Technology and vehicles pulled by kites". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://www.design-technology.org/kite9.htm>.
- [33]. "Remote Piloted Aerial Vehicles: The Aerial Target, and Aerial Torpedo". Extraído en Enero 31, 2016, de http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_usa.html.
- [34]. (2016). "Historia de los drones - El Drone". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>.
- [35]. (2015). "2,500 Years of Unmanned Vehicles". Extraído en Enero 31, 2016, de <http://militaryhistorynow.com/2012/09/09/war-by-remote-control-2500-years-of-unmanned-vehicles/>.
- [36]. (2016). "Flight Stories". Extraído en Febrero 01, de <http://fly.historicwings.com/2012/08/george-the-autopilot/>.
- [37]. "The Mother of All Drones Vintage Wings of Canada". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>.
- 38[38]. "1918 Standard E-1". Extraído en Febrero 01, 2016, de <https://www.fantasyofflight.com/collection/aircraft/wwi/1918-standard-e-1/>.
-

-
- [39]. (2016). "Malta Aviation Museum de Havilland DH. 82 Tiger Moth photo by Ray Abela". Extraído en Febrero 03, de <http://www.airplane-pictures.net/photo/104236/9h-raf-malta-aviation-museum-de-havilland-dh-82-tiger-moth/>.
- [40]. (2016). "Fairey MKIIIF/MKIIIM Corsair & MKIV Seal". Extraído en Febrero 03, de <http://www.institutoaeronaval.org/Aeronaves/Aeronaves/Fairey-MKIIIF/MKIIIM-Corsair-MKIV-Seal.html>.
- [41]. (2013). "Guided Glide Bombs of World War II". Extraído en Febrero 01, de <http://www.acmp.com/blog/guided-glide-bombs-of-world-war-ii.html>.
- [42]. "Aerial Bombs". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.303rdbg.com/bombs.html>.
- [43]. Tom Conte. "Predator's Ancestors". Extraído en Febrero 01, 2016, de http://hsfeatures.com/predatorsancestorstc_1.htm.
- [44]. "Estrella War Birds Museum". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.ewarbirds.org/drone/mqm33.html>.
- [45]. "Remote Piloted Aerial Vehicles - The Northrop Radioplane Target Drone". Extraído en Febrero 01, 2016, de http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_radioplane6.html.
- [46]. "History of U.S. Drones". Extraído en Febrero 01, 2016, de <https://understandingempire.wordpress.com/2-0-a-brief-history-of-u-s-drones/>.
- [47]. "Teledyne Ryan Q-2/KDA/xQM-34/BGM-34 Firebee". Extraído en Febrero 01, 2016, from <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-34.html>.
- [48]. "National Museum of the US Air Force. Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/MuseumExhibits/FactSheets/Display/tabid/509/Article/195776/ryan-bqm-34f-firebee-ii.aspx>.
- [49]. (2013). Tarantola, A. "The Ryan Firebee: Grandfather to the Modern UAV". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://gizmodo.com/the-ryan-firebee-grandfather-to-the-modern-uav-1155938222>.
- [50]. "How drones are controlled". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.washingtonpost.com/wp-srv/special/national/drone-crashes/how-drones-work/>.
- [51]. (2009). "The Predator Drone". Extraído en Febrero 03, 2016, de <https://trident3.wordpress.com/2009/12/09/the-predator-drone/>.
-

-
- [52]. (2016). "US Double Standards toward Drone Strike Victims". Extraído en Febrero 03, 2016, de <http://alwaght.com/en/News/67921/US-Double-Standards-toward-Drone-Strike-Victims>.
- [53]. RQ-4 Global Hawk. Extraído en Febrero 03, 2016, de <http://www.military.com/equipment/rq-4-global-hawk>.
- [54]. (2016). Missions. Extraído en Febrero 03, 2016, de http://www.mybaseguide.com/air force/19-85/beale_afb_missions.
- [55]. (2016). Wingfield, N. "A Field Guide to Civilian Drones". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.nytimes.com/interactive/2015/technology/guide-to-civilian-drones.html>.
- [56]. "DIY Drones". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://diydrones.com/>.
- [57]. Clicking, B. "Lily- Camera. Reinvented". Extraído en Febrero 01, 2016, de <https://www.lily.camera/>.
- [58]. "Drones For Good. Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.alecmomont.com/projects/dronesforgood>.
- [59]. Wilson, M. "Argodesign - Drone Ambulance. Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.argodesign.com/work/drone-ambulance-argodesign.html>.
- [60]. Lamkin, B. P. (2015). "Incredible wearable drones of the future". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.wearable.com/wearable-tech/incredible-wearable-drones-of-2030-revealed-at-sxsw2015>.
- [61]. (2015). "US Navy Funds Amphibious Drone Research - UAS VISION". Extraído en Febrero 01, 2016, de <http://www.uasvision.com/2015/10/28/us-navy-funds-amphibious-drone-research/>.
- [62]. (2015). "The 'Transformer' flying drone that's also a SUBMARINE: Navy funds research into robot that can swim as well as it flies". Extraído en Febrero 03, 2016, de <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3370947/The-Transformer-flying-drone-s-SUBMARINE-Navy-funds-research-UAV-swim-flies.html>.
- [63]. "Get the shot. Solo". Extraído en Febrero 03, 2016, de <https://3dr.com/solo-drone/>.
- [64]. "Solo Vehicle. Extraído en Febrero 01, 2016, de <https://3dr.com/solo-drone/specs/>.
- [65]. (2016). Base de datos en línea – Logs, registro de vuelos, incidentes e información relacionada. Extraído en Noviembre 20, 2015, de <https://drive.google.com/drive/folders/0BxgQZwlwFgq0ck5GQjVLd2p3eVk?usp=sharing>
-

-
- [66]. “Downloading and Analyzing Data Logs in Mission Planner”. Retrieved January 01, 2016, from <http://ardupilot.org/copter/docs/common-downloading-and-analyzing-data-logs-in-mission-planner.html>
- [67]. Mission Planner Overview¶. (n.d.). Retrieved January 01, 2016, from <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>
- [68]. Downloading and Analyzing Data Logs in Mission Planner¶. (n.d.). Retrieved January 01, 2016, from <http://ardupilot.org/copter/docs/common-downloading-and-analyzing-data-logs-in-mission-planner.html>
- [69]. Dunn, D. H. (2016). Unregulated drones are accidents – and worse – waiting to happen | David Dunn. Retrieved March 05, 2016, from <https://www.theguardian.com/commentisfree/2016/mar/07/drones-near-miss-heathrow-disaster-unregulated-accident-terror-aircraft>
- [70]. Top pilot sees risk in unregulated US drones. (n.d.). Retrieved March 05, 2016, from <http://phys.org/news/2014-12-unregulated-drones.html>