

**SISTEMAS CRÍTICOS EN AERONAVES
NO TRIPULADAS: UN EJEMPLO DE
OPTIMIZACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO**

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Numerario por

D. Antonio Javier Mesa Fortún

el día 28 de abril de 2017

**SISTEMAS CRÍTICOS EN AERONAVES NO
TRIPULADAS: UN EJEMPLO DE
OPTIMIZACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO**

SISTEMAS CRÍTICOS EN AERONAVES NO TRIPULADAS: UN EJEMPLO DE OPTIMIZACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Numerario por
D. Antonio Javier Mesa Fortún
el día 28 de abril de 2017

Arrecife (Lanzarote), Real Club Náutico de Arrecife

ÍNDICE

I. Introducción.	7
II. La seguridad como fundamento de la aeronavegabilidad.	10
III. Aeronaves no tripuladas y seguridad.	18
IV. Del Challenger a los RPAS's.	21
V. Sistemas críticos en las aeronaves no tripuladas.	23
VI. Tecnología de los sistemas de terminación de vuelo.	26
<i>VI.1 Segmento terreno de los sistemas de terminación de vuelo.</i>	<i>27</i>
<i>VI.2 Segmento aéreo. Verificación en la estación terrena. Recepción a bordo del RPAS.</i>	<i>35</i>
VII. El desastre del Global Hawk.	39
VIII. El “cónclave tras el desastre”.	40
<i>VIII.1 Definición de requisitos y especificaciones.</i>	<i>43</i>
<i>VIII.2 Exploración de la tecnología existente.</i>	<i>43</i>
<i>VIII.3 Definición de la solución adoptada.</i>	<i>44</i>
<i>VIII.4 Recomendaciones para una estandarización del sistema FTS digital.</i>	<i>45</i>

IX. Aplicaciones de los sistemas de terminación de vuelo a los RPAS's.	46
X. Conclusiones.	48
XI. Despedida.	49
XII. Acrónimos.	51

I. Introducción.

Excmo. Sr. Presidente de esta Academia.

Señor Presidente del Real Club Náutico de Arrecife.

Excmo. Sr. Tte. General, Director General de Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

Ilmo. Sr. Subdirector de Sistemas Aeronáuticos de INTA.

Ilmo. Sr. Director del Centro Espacial Canarias INTA.

Señoras y Señores Académicos.

Señoras y Señores todos.

Amigos todos.

Buenas noches.

En primer lugar, quería agradecer a todos vuestra asistencia esta noche en este acto tan importante para mí. Importante porque supone mi acceso como Académico Numerario de la Academia de Ciencias, Ingeniería y Humanidades de Lanzarote.

El protocolo me ha dictado el anterior orden protocolario de saludos, citando en primer lugar a la Academia encabezada en la figura de su presidente, como entidad co-organizadora del acto. Posteriormente al presidente de la entidad que ejerce como anfitrión y co-organizador, Real Club

Náutico de Arrecife. Seguidamente el patrocinador INTA y por último autoridades y asistentes al acto. Pero me van a permitir que proceda a una reorganización del protocolo. Porque, con el permiso del Presidente de nuestro querido “Casino”, el gran anfitrión de esta noche es la Isla de Lanzarote. Todos los que la conocemos, por ser nuestro lugar de residencia, o bien por visitarla, sabemos que es un entorno mágico y único. Los que me conocen saben cuánto me orgullece haberme criado en esta tierra. Lo que la convierte en mucho más especial para mí. Pero parte de esa “belleza física y de encanto” que posee Lanzarote, contribuye que disponga de una Academia. Una organización que contribuye a la divulgación científica, cultural, humana y tecnológica en la Isla, de cualquier disciplina. Tanto provenga de ella, del Archipiélago Canario, como del resto de España. Y en Lanzarote, y en un acto de nuestra querida Academia, quería agradecer públicamente, sin pretender olvidar a nadie, pero si resaltar la gran labor, de nuestros queridos Francisco y Dominga. De ellos es sin duda el mérito de que hoy nos encontremos aquí reunidos. La Academia es fruto del esfuerzo de muchos, pero en especial de su esfuerzo personal durante muchos años, de que un lugar tan mágico como Lanzarote, disponga de una *Academia de Ciencias, Ingeniería y Humanidades*, con el consiguiente enriquecimiento cultural de la isla. Haciéndola si cabe, más mágica y rica, a nuestra querida isla. Se juntan pues los dos primeros actores de esta noche: Academia y Lanzarote, Lanzarote y Academia.

Por otro lado, no debemos olvidar en donde se enmarca el acto de esta noche, como clausura de las jornadas Cesar Manriqueñas. Figura de ilustre nombre, bien conocida por todos, y a la que Lanzarote le debe tanto. Sin olvidar por supuesto, las figuras de Blas Cabrera Felipe, el Doctor José Molina Orosa y el recientemente fallecido D. Manuel Díaz Rijo. Todos ellos han marcado, y seguirán marcando, las líneas de divulgación de nuestra “*Querida Academia*”.

Y toco el turno para trasladarnos físicamente al lugar en el que nos

encontramos esta noche. El Real Club Náutico de Arrecife, nuestro querido “Casino”. Espacio de grandes recuerdos de mi niñez, donde he jugado, he navegado y he pasado, y es mi intención seguir pasando, grandes momentos.

Por último debo referirme a mi querido INTA, “*Instituto Nacional de Técnica aeroespacial*”. Para mí profesionalmente ha sido mi gran referente. Las oportunidades de trabajo que me ha presentado han sido y seguirán siendo únicas, para el desarrollo de la labor profesional de un Ingeniero Aeronáutico. Permítanme que mencione una frase que un compañero, estando yo recién incorporado al INTA, me transmitió: “*Antonio, el INTA engancha*”. Y como de cierta era aquella aseveración. Al cabo de los años me siento enganchado a las posibilidades profesionales que INTA me ofrece día a día. Y que hacen que cada día de trabajo sea diferente, sin monotonía y enriquecedor en lo profesional y personal.

Uniendo todo estos actores: Lanzarote, Real Club Náutico de Arrecife, Academia de Ciencias, Ingeniería y Humanidades de Lanzarote e INTA, hacen todos ellos, que esta noche sea mágica para mí, en un lugar y entorno mágico. Significan todos ellos, junto a mi familia y amigos, mis grandes pilares en mi vida personal y profesional.

Me dirijo a todos ustedes, después de aquel emotivo 31 de enero de 2014, para presentarles mi discurso de ingreso como Académico Numerario en la Academia de Ciencias, Ingeniería y Humanidades de Lanzarote. Nuevamente una noche emotiva en lo personal. Rodeado de personas a las que quiero y admiro. Y nuevamente pienso lo mismo que aquella noche me vino a mis pensamientos. ¿Qué he hecho yo para tan grato reconocimiento? Así que más gracias a su generosidad, que a mis méritos personales y profesionales, me dirijo a todos ustedes, para presentarles mi discurso de toma de posesión.

“SISTEMAS CRÍTICOS EN AERONAVES NO TRIPULADAS: UN EJEMPLO DE OPTIMIZACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO”

II. La seguridad como fundamento de la aeronavegabilidad.

Como comienzo, vamos a reflexionar sobre el título de la ponencia y el concepto “aeronave no tripulada”. Como tal debemos primeramente analizar el sustantivo: “aeronave”. Como tal se entiende, cualquier vehículo más pesado que el aire, que se desplaza de forma controlada por él, bien con propulsión, o sin ella.

Cuando aquella fría mañana del 17 diciembre de 1903 en Kitty Hawk, en South Caroline (USA), los hermanos Wright consiguieron que el Flyer I se desplazara por el aire, la primera aeronave del mundo, eran conscientes de que estaban desarrollando un nuevo sistema de desplazarse para el ser humano, a través de un medio para el que éste no está ni acostumbrado ni adaptado a moverse en él. El cuerpo humano “está pensado” para desplazarse sobre la tierra. Ni el espacio superior a él aéreo, ni el espacio submarino, son compatible con la fisionomía humana. No obstante, la capacidad creativa del ser humano ha permitido que ambos medios sean afines y amigables para el hombre. Por lo tanto, los hermanos Wright, rompieron la barrera que permitía al hombre surcar los aires. Barrera que durante muchos años, numerosos estudiosos y experimentalistas trataron de romper. Posteriormente vendrían los avances para poder, volar a mayor velocidad, así como presurizar aeronaves y poder desplazarse a gran altura, haciendo más amigable el espacio superior aéreo al ser humano. Siendo capaces de llegar más lejos en su destino. Aumentando la potencia de los motores y por tanto la capacidad de carga. Reduciendo el consumo para aumentar la autonomía. Pero ese punto es ya otra historia a unir dentro de los grandes hitos de la aviación.

Pero lo que no eran conscientes los mencionados descubridores, es que hicieron un gran avance para la humanidad. Considero que de ellos es el mérito de conseguir volar finalmente, pero el mérito del descubrimiento se debe a ellos y a todos los que anteriormente contribuyeron con su esfuerzo e incluso con su vida. Es por ello que el concepto aeronave significa un elemento innovador y revolucionario. Pero aún más si profundizamos en el

calificativo del mismo: “no tripulado”. Si ya volar rompió moldes en los comienzos del siglo XX, el concepto de volar de forma no tripulada es el elemento rompedor del siglo XXI. No hay que olvidar el concepto de no tripulado del que estamos hablando. “*No tripulado*” significa, o debe entenderse, como aquella aeronave que no posee a bordo ningún ser humano que controle el vehículo. Pero ello no significa que la figura del piloto haya desaparecido. Significa que, permitan la expresión, “*lo hemos bajado a tierra*”. De ahí la expresión menos familiar: avión pilotado de forma remota, *RPAS*, por sus acrónimos en inglés del concepto: “*Remotely Piloted Aircraft System*”.

La aviación hoy nos permite desplazarnos a las antípodas en un avión sin ninguna parada técnica. Permite que por ejemplo nuestra isla de Lanzarote, reciba casi 7 millones de pasajeros al año en su Aeropuerto de Guacimeta. O que se lleven a cabo en él, casi 60.000 operaciones al año entre despegues y aterrizajes. Permitiendo que el gran motor económico de la isla, tenga su eje en la actividad aérea. Sirve para que en un día normal, una gran parte de la población europea se desplace por motivos profesionales dentro del continente Europeo, convirtiéndolo en uno de los espacios aéreos más congestionados del mundo, con un importante “*cuerno de botella*” difícil de gestionar. Pero que día a día, los responsables de gestión del tráfico aéreo consiguen llevar a cabo con éxito, con unos altos índices de seguridad. Apareciendo un nuevo actor en nuestra actividad aérea: “*La Seguridad*”.

Entramos por tanto en el campo del ser humano. Y debemos pararnos a reflexionar, cual es la mayor preocupación y anhelo del ser humano.

- Formar una familia.
- Tener un trabajo estable.
- Alcanzar la luna u otro planeta no explorado. ¿Ser capaces de explorar un planeta desconocido?
- Explorar lo desconocido.

- Adquisición de una vivienda.
- Un gran sueldo.
- Ser capaz de volar.
- La actividad subacuática. ¿Ser capaz de desplazarse por el agua como un pez: submarinismo?

Son desde luego objetivos. Pero en ningún caso son la mayor preocupación del ser humano. Ésta es la *Seguridad*. Si nos retraemos a la pirámide de jerarquía de necesidades de Maslow, año 1943 en su “*Teoría de la motivación humana*”, podemos comprobar que en la base de la pirámide, una vez conseguidas sus necesidades de supervivencia, la seguridad necesidad en prioridad es la Seguridad. Es decir, el ser humano, una vez que tiene constancia de que está vivo, su siguiente preocupación es tratar de tener la máxima Seguridad de que va a seguir estándolo. Incluso el aventurero más atrevido que nos podamos imaginar. Por ejemplo los “hombres-ala” que se lanzan desde un avión con un traje que posee cierta sustentación y un motor de propulsión a reacción de aerodelismo, desea llegar a tierra sano y salvo. Me viene a la memoria el recordman de saltos al vacío desde globos estratosféricos, Felix Baumgartner. Consiguió batir tres récords. Romper la velocidad del sonido para un hombre en caída libre, récord de altura de salto desde los 39.068 metros de altitud, y el ascenso en globo más alto que un ser humano ha realizado nunca. Puso su vida en manos de un globo que lo sustentaba de tan solo 0,002 centímetros de grosor y 80 metros de ancho, inflado con gas helio. Su mayor preocupación al aterrizar era pedir matrimonio a su novia. Me cuesta mucho creer, que por muy arriesgada que fuese su hazaña, no estaba pensando en su seguridad, cuando tenía en mente un futuro familiar. Y por supuesto se tomaron todas las medidas necesarias de acuerdo a un exhaustivo plan de seguridad.

Pero no debemos olvidar, por otro lado, que la aeronáutica es una actividad técnica, planificada y diseñada completamente por humanos. Dirigida para el uso, disfrute y desarrollo de las actividades del ser humano.

Por lo tanto, la actividad aeronáutica, no está ajena a esa necesidad que posee el hombre y que tiene como primer objetivo: la seguridad.

Es por ello, que la disciplina aeronáutica, como cualquier actividad del ser humano, está regida por el deseo de la seguridad en toda su actividad. Pero, ¿qué entendemos por ella?:

- Que no tengamos accidentes.
- Que estemos cubiertos ante ellos.
- Ausencia de riesgo.
- Confianza.
- Fiabilidad de los sistemas.

La seguridad absoluta no existe. Bueno, corrijo mi aseveración. La seguridad absoluta si existe, si no llevamos a cabo la actividad. Es decir, el vehículo más seguro es el que permanece en el garaje, el paseo más seguro es si permanecemos en casa y no salimos a pasear. Extrapolándolo a la aviación, el avión más seguro es el que no despega. Pero en ese caso, no existiría actividad, y por consiguiente los beneficios que ella nos proporciona. Se trata por tanto de conseguir, para el caso de la aviación y de cualquier actividad humana, un compromiso entre el riesgo que se desea correr y los beneficios que ésta conlleva. En definitiva, que la que la tasa de fallos tenga un nivel aceptable de compromiso para el desarrollo de la actividad y nivel de accidentes.

¿Pero que entendemos por Seguridad? Dicho concepto puede ir desde una valoración subjetiva del ser humano, a una valoración plenamente objetiva de un concepto matemático que la evalúa.

La seguridad se puede entender como una percepción del individuo. Percepción que posee de la seguridad, y que es fundamental para que una actividad, empresa o similar, sea exitosa. Dicha percepción es el estado de

bienestar que percibe y disfruta el ser humano. En el caso de que la aviación no fuese percibida por el ser humano como segura, les puedo asegurar que no tendrían éxito, por muchos avances técnicos que se consigan y se intenten vender.

La valoración plenamente objetiva de la seguridad nos lleva a una Definición matemática-tecnológica. Se define como una “*Ciencia interdisciplinaria*” que está encargada de evaluar, estudiar y gestionar los riesgos a que se encuentra sometido una persona, un bien o el ambiente.

Y para ello debe ser evaluada mediante el concepto de la probabilidad de fallos. Concepto que tiene en cuenta la probabilidad de que un determinado sistema, y todos sus componentes, poseen no solo una probabilidad aceptable de no fallos, sino la casuística de cómo éstos se producen. Es decir, la puertas lógicas que conducen al fallo y cómo podemos luchar contra él, mediante un “*árbol de fallos*”. Definición matemática-tecnológica de la seguridad: Ciencia interdisciplinaria que está encargada de evaluar, estudiar y gestionar los riesgos a que se encuentra sometido una persona, un bien o el ambiente. Asimismo contempla como luchar para que los fallos no se produzcan, valorando la probabilidad de que dichos eventos se produzcan, así como la severidad del daño que producen, en el indeseable caso de que se presentasen. Recurriendo a la mitigación de los efectos del fallo en el caso de que éste se produzca.

Un concepto con el que aeronáuticamente se lucha contra los fallos, es la redundancia. Que puede ser tanto en serie como en paralelo. La primera de ella como freno de un evento, en el caso de que un sistema falle, y la barrera que se ha interpuesto ante tal fallo también lo haga. La segunda trata precisamente de lo contrario. En el caso de que un sistema falle, se trata de tener uno alternativo en paralelo, no afectado por el fallo del primero, y que permita llevar a cabo la operación con seguridad.

Por lo tanto, el compromiso entre el riesgo asumible y el éxito de la

actividad, es lo que denominamos seguridad. La misma nos acompaña en el día a día de nuestras actividades. Nos intentamos cubrir ante los imprevistos mediante los correspondientes seguros para nuestros vehículos, nuestro hogar, ante enfermedades con seguros médicos, cuando nos desplazamos en un viaje de placer o de negocios, para la cobertura de nuestra familia. Incluso para el caso de defunción nos planteamos cubrirnos mediante nuestros seguros de vida para cubrir a nuestras familias de posibles necesidades económicas. Casos tan extraños, como las actividades de riesgos, nos planteamos que estén cubiertos por su correspondiente seguro.

Sin darnos cuenta la seguridad nos rodea en nuestro día a día y es nuestra principal meta de todas nuestras actividades.

Si lo particularizamos al caso de la aeronáutica, la seguridad cubre, las siguientes facetas:

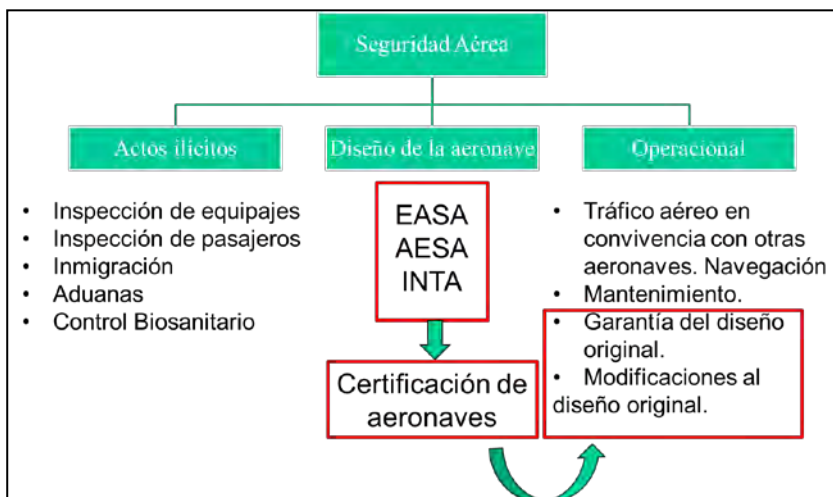


Figura 1. Campos que afectan a la Seguridad Aérea.

Pero la seguridad aeronáutica debemos plasmarla en algún concepto general que haga de envoltorio de la misma, y que incluya todas las facetas

que la comprometen. Para ello recurrimos al concepto de ***Aeronavegabilidad***. Nos dice la *Real Academia de la Lengua Española* que por Aeronavegabilidad se entiende:

RAE-1. f. Capacidad para la navegación aérea.

Definición ésta que acierta plenamente en su capacidad envolvente anteriormente descrita. Pero que no es capaz de cubrir todos los conceptos técnicos y administrativos que hacen que una aeronave sea segura. Debemos profundizar en dicha definición.

Para ello, definiremos la aeronavegabilidad como el conjunto de todas aquellas capacidades, procesos y medios que permiten demostrar que una aeronave opere de forma segura y pueda integrarse en la navegación aérea en convivencia con otras aeronaves. Certificación es el proceso de obtención de la aeronavegabilidad de una aeronave.

Nuestro objetivo final, es obtener el correspondiente certificado de aeronavegabilidad, que nos garantice la operación seguro de una aeronave, dentro de unos estándares determinados.

Tanto en el campo civil como en el militar, se nos hace obligatorio el cumplir con dicho mandato. Tal es así, que como fruto de “El Convenio de Chicago del 7 de diciembre del año 1944”, que sentó las bases de la aviación comercial que hoy conocemos y fundando la “Organización de Aviación Civil Internacional (OACI ó ICAO por sus siglas en inglés), se recoge la necesidad de “*una aeronavegabilidad*”. En dicho convenio se reconoce, en sus artículos, entre otros, los siguientes derechos y obligaciones:

- Artículo 29. Las aeronaves que pretendan realizar un vuelo internacional deberán llevar a bordo, de forma obligatoria, una serie de documentos; citando entre otros al ***Certificado de aeronavegabilidad***.

- Artículo 31. Citando la obligación de que todas las aeronaves que se utilicen para la navegación internacional, deberán tener un certificado de aeronavegabilidad. Éste deber ser expedido o convalidado por el estado de matrícula de la misma, teniendo que ser asimismo un estado contratante del Convenio de Chicago.
- Artículo 33: reconocimiento mutuo entre los estados firmantes del Convenio de Chicago de los Certificados de Aeronavegabilidad emitidos por los Estados contratantes del mismo. Para ello, se han de cumplir como mínimo, los requisitos del Anexo 8 del convenio.

Se reconoce en el propio convenio, mediante el Anexo 8, la importancia de la aeronavegabilidad. Vocablo que da nombre al mencionado anexo. En él se reconoce el concepto de *Certificado de tipo*. Se entiende por éste, como aquel documento expedido por un Estado contratante para definir el diseño de un tipo de aeronave. Y certificar además que dicho diseño satisface los requisitos pertinentes de aeronavegabilidad del Estado.

Es competencia de emisión del mismo, en función de la categorización de la aeronave, la European Aviation Safety Agency (EASA) o la Agencia Española de Seguridad Aérea (EASA).

En el campo militar, la legislación, si cabe, ha sido más exigente y precursora del amparo legal de muchos de los avances técnicos que posteriormente se han extendido al uso civil. Ley de Navegación Aérea 48/1960 de 21 de julio de 1960, de ámbito nacional, ya reconoce en su Artículo 36 la obligatoriedad de un certificado de aeronavegabilidad. Toda aeronave deberá llevar a bordo durante sus vuelos el Certificado de Aeronavegabilidad que le corresponda en vigor.

El Real decreto 2218/2004 de 26 de noviembre: *Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa (RAD)*. Viene a describir, con el objetivo detallado, para cumplir con el mandato de la Ley 48/1960. Es especialmente bajo el amparo de su Artículo 38. Éste reconoce los procedimientos para

obtener por vía reglamentaria los requisitos y pruebas necesarios para expedir certificados y su renovación relacionados con la aeronavegabilidad.

Se complementa con el Real Decreto 886/2015 de 2 de octubre. Éste está contemplado como una actualización del anterior, y ya reconoce explícitamente el ámbito de la aeronavegabilidad extendida a las aeronaves no tripuladas.

Recapitulando podemos concluir los siguientes conceptos. Las aeronaves deben operar de forma segura. Para ello, la Aeronavegabilidad es la garantía de que se opera en dicha línea, siendo la certificación el procedimiento que permite la obtención de la misma. Siendo necesario un certificado de aeronavegabilidad que avale la operación segura. Es de especial relevancia en la seguridad aérea, el concepto de resistencia al fallo simple. Es decir, ninguna aeronave puede tener consecuencias catastróficas (pérdida de la aeronave o víctimas mortales), ante un único fallo de la aeronave o cualquiera de sus sistemas. Debe estar protegida frente a ellos, entrando en la famosa frase de que los accidentes aéreos se producen por la concatenación de una serie de fallos en cadena.

III. Aeronaves no tripuladas y seguridad.

Volvamos por tanto al análisis del concepto aeronave, tripulada o no tripulada, para posteriormente centrarnos en estas últimas. Se trata de un vehículo que, desplazándose por el aire, permite transportar bienes o personas (no todavía en el caso de los no tripulados) de un lugar del planeta a otro. Asimismo permite llevar a cabo actividades que desde el aire suponen un valor añadido: vigilancia de fronteras, rescate de personas en el mar y en zonas de difícil acceso, detección en catástrofes naturales, multitud de trabajo aéreos: análisis de redes de alta tensión, inspección de buques, control de censo de cetáceos y un sin fin de posibles actividades. Las capacidades de los vehículos

no tripulados, y su límite, a día de hoy son desconocidas.

Como ejemplo, recapacitemos acerca de sus posibles aplicaciones en nuestro archipiélago. ¿Cuáles pueden ser sus aplicaciones en un terreno tan particular como es el archipiélago canario? Fragmentado en 8 islas habitadas en el centro del Océano Atlántico, lejos de cualquier base operativa continental. Con zonas de muy difícil acceso debido a su orografía, y que en el caso de posibles emergencias se convierten en verdaderos problemas para evacuaciones y lucha contra incendios. Asimismo Canarias se encuentra en el cruce de las líneas de navegación entre Europa y América, África o Asia para aquellos buques que traten de evitar el Canal de Suez. Con un alto valor ecológico por la flora y fauna, tanto terrestre como marítima, que las habitan. Amenazadas continuamente por desastres ecológicos como incendios, vertidos de buques, etc... Canarias supone un frente de entrada del movimiento migratorio que procede de África, con el consiguiente riesgo de las vidas de las personas que se embarcan en alcanzar el sueño europeo. Asimismo, corresponde a España la responsabilidad de Salvamento Marítimo de toda la zona que rodea al archipiélago canario. Siendo una vasta extensión que llega incluso al sur, hasta Mauritania.

Canarias supone también la frontera sur de Europa para mercancías y personas. Jugando un factor primordial en la vigilancia de aduanas y control inmigratorio.

Económicamente hablando, Canarias posee una situación estratégica en el transporte de mercancías, entre continentes, así como de interés pesquero.

Toda la casuística anteriormente presentada del caso de Canarias, abre la posibilidad de múltiples aplicaciones para el campo de los vehículos no tripulados. Siendo completamente extrapolable a cualquier lugar del planeta.

Por lo tanto, las aplicaciones que los vehículos aéreos no tripulados

poseen, creo que no están en duda. La cuestión y punto de evolución es cómo realizar sus operaciones de forma segura. En convivencia con otras aeronaves y usuarios del espacio aéreo que llevan implantados en el mismo durante una larga tradición de años. Así como garantizar la integridad de personas y edificaciones no involucradas en las operaciones.

Pero el verdadero punto de partida para considerar segura la operación de un vehículo aéreo no tripulado es el reconocimiento de que se tratan de aeronaves. No se trata de posibles sistemas que, podríamos pensar, que si son ligeros, no son peligrosos. Además, ¿qué se puede entender por ligero? Reflexionemos pues. Nos basta pensar como un pequeño dron de 2 escasos kilogramos de peso, puede desplazarse a 10 m/s y a una altura de 15 metros. Si calculamos la energía total que procede de la suma de ambas energías, cinética y potencial, nos encontramos ante una posible amenaza para una persona, en el caso de un hipotético impacto contra ésta por pérdida de control.

Por lo tanto, el axioma principal para poder operar con un vehículo no tripulado es que debe ser considerado una aeronave. Y por lo tanto ha de ser de aplicación, toda la normativa aplicable a éstas. Obviamente con sus correspondientes particularidades. La seguridad debe ser la máxima de sus operaciones, y como tal debe ser tenida en cuenta desde el comienzo de diseño de la aeronave. Desde la concepción de diseño de la misma.

Los RPAS´s han venido para quedarse en la sociedad y en el mundo aeronáutico. Por lo tanto, se debe de proceder con una adaptación de los mismos al transporte aéreo. Cumpliendo los estándares de seguridad y adecuándose a la convivencia con el resto de aeronaves existentes. Ha de ser una tarea en la que se requiera el esfuerzo de todos, pero el mayor peso de la adaptación ha de recaer en los nuevos actores. Estos han llegado a un escenario de operaciones al que se deben de adaptar. No es la gestión actual del tráfico aéreo la que se tiene que adaptar a ellos, para conseguir la plena integración y convivencia. Ha de ser al revés. La apuesta por la Comisión Europea, el gobierno de Estados Unidos y por el resto de países, es que ésta

se produzca en el menor plazo posible. Pero sin disminuir para ello los niveles de seguridad.

IV. Del Challenger a los RPAS's.

El 28 de enero de 1986, el transbordador espacial Challenger despegaba del Centro Espacial Kenedy, en Cabo Cañaveral. Recuerdo perfectamente el despertar de la mañana siguiente, debido al cambio horario, cuando mi madre me comentó la noticia. La recuerdo desayunando antes de asistir a Colegio Antonio Zerolo, aquí en Lanzarote. Mi madre me comentó: “*¡Qué pena por todos los tripulantes! Además iba una profesora a bordo que iba a impartir una clase a sus alumnos desde el espacio.*” Se trataba de la primera misión en la que un civil iba a bordo. Se trataba de la profesora. Y el lector se estará preguntándose, ¿qué tiene que ver un transbordador espacial con los *Remotely Piloted Aircraft Systems*, (RPAS), por sus siglas en inglés?

Pues en primer lugar ambos se tratan de aeronaves. El concepto: “más ligera que el aire, capaz de desplazarse de forma controlada por el aire es válido para ambos”. Aunque uno de ellos posteriormente abandone la atmósfera para posteriormente retornar a ella. En cualquier caso, mientras se desplace por la atmósfera, ambos pueden ser considerados como aeronaves. Especialmente en la fase de recuperación, en la que aunque no propulsado, el transbordador se recupera como una aeronave más en un aeródromo.

Pero en el parecido que hoy nos ocupa, viene a jugar un sistema crítico que ambos poseen en común. Los llamados sistemas de terminación de vuelo, FTS por su denominación de siglas en inglés (*Flight Termination Systems*).

Cuando observamos el vídeo del desastre del transbordador espacial, tras la explosión, se puede observar como sus dos cohetes propulsores laterales continúan una trayectoria errática. Cada uno por separado y de forma

independiente. Trayectoria ésta que supone un riesgo de seguridad para cualquier construcción, o área habitada dentro de la autonomía de su alcance de propulsión. Si observamos detenidamente las imágenes, se puede observar como ambos cohetes sufren una destrucción después del accidente. Puede parecer, para aquellos que no conozcan cómo funciona el sistema, que sea una explosión fruto de las condiciones del accidente. Más tratándose de un motor cohete con combustible. En ningún caso es así. Se trata de una explosión controlada, comandada desde tierra. Para ello se recurre a un sistema de alta fiabilidad, que permite en todo momento mantener una conexión radioeléctrica entre la estación de tierra y el vehículo aeroespacial. Su alta fiabilidad viene proporcionada por un concepto, ya comentado anteriormente, la redundancia en el diseño tanto del equipo de tierra como en vuelo. Dicho sistema es conocido como sistema de terminación de vuelo, FTS, por sus siglas en inglés de “*Flight Termination System*”. Actúa cuando ninguna otra posibilidad existe. Es el último recurso del que se dispone, en un caso de desastre como el que estamos hablando. Esta tecnología es fruto de la época de la carrera espacial, así como del desarrollo de misiles balísticos y de largo alcance. Cuyo objetivo era poder destruir dichos sistemas en caso de un desplazamiento no controlado y/o no nominal a través del aire, y fuera del área de seguridad establecida. Espacio éste denominado como el “famoso cono de seguridad” para el caso de los vehículos espaciales. Y ¿Cuál es la relación entre un cohete, un misil balístico o un misil de largo alcance con un RPAS? Todos ellos pueden encontrarse en una situación de emergencia, en la que se desplacen de forma incontrolada a lo largo del espacio y del tiempo. Pueden causar daños a terceros. Y más en el caso de un RPAS, habiendo muchos de ellos con gran autonomía y capacidad de llegar a larga distancia de forma incontrolada. Operando en entornos urbanos mucho más críticos que los polígonos de tiro de misiles y lanzamiento de cohetes, que son entornos aislados, muy controlados, y espacios aéreos segregados en los que no puede existir una actividad adicional a la del lanzamiento, en el momento que el mismo tendrá lugar.

Es por ello que los Sistemas de Terminación de Vuelo jugarán, en la plena integración de los RPAS en espacio aéreo no segregado, controlado o no controlado, un factor fundamental. En Estados Unidos su uso será obligatorio a partir del año 2020 para ellos. En Europa, todos los borradores de normativa existente, contemplan la instalación de un sistema crítico de emergencia para el caso de los RPAS's. Las líneas de trabajo de la Comisión Europea "Juncker", así lo han fijado. Tanto la Agencia Europea de Seguridad Aérea, como las diferentes agencias correspondientes nacionales, lo contemplan.

Los sistemas de terminación de vuelo (FTS) jugarán un papel fundamental en la futura integración de los RPAS's en espacio aéreo no segregado. En paralelo a sistemas como el "ver y evitar", tan en boca de todos actualmente. Sin olvidar que los FTS deberán ser un elemento para solventar conflictos de seguridad y apoyo a las tareas más críticas de los gestores del espacio aéreo. Como alternativa al procedimiento normal de operación, resolviendo conflictos en los que la seguridad operacional se ve comprometida. Pero nunca para llevar a cabo tareas rutinarias. No debemos olvidar nunca su principal principio de funcionamiento: operan cuando ya no hay otra posibilidad.

***Del Challenger a los RPAS's:** "No podía imaginar yo aquella mañana del 29 de enero de 1986, que 31 años después iba yo a estar trabajando en un sistema ya implementado y contrastado en los transbordadores de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)." Y menos aún, su aplicación a la navegación aérea no tripulada.*

V. Sistemas críticos en las aeronaves no tripuladas.

Como ya se ha comentado, los sistemas de terminación de vuelo tienen su origen en el lanzamiento de misiles y cohetes, y actúan en caso de extrema necesidad de seguridad de los mismos, y siempre como último recurso cuando no hay otras oportunidades. Permite que un aérea tan poblada como California, como se puede ver en la figura adjunta 2, conviva con ensayos críticos de los mencionados sistemas. Los Ángeles (California), un área con gran tradición aeronáutica, con más de 38,8 millones de habitantes en su entorno, está rodeada de un inmenso espacio aéreo segregado. Tan grande que permite que convivan todos ellos, con el lanzamiento de misiles (incluso balísticos), con el vuelo de aviones no tripulados que se utilizan como

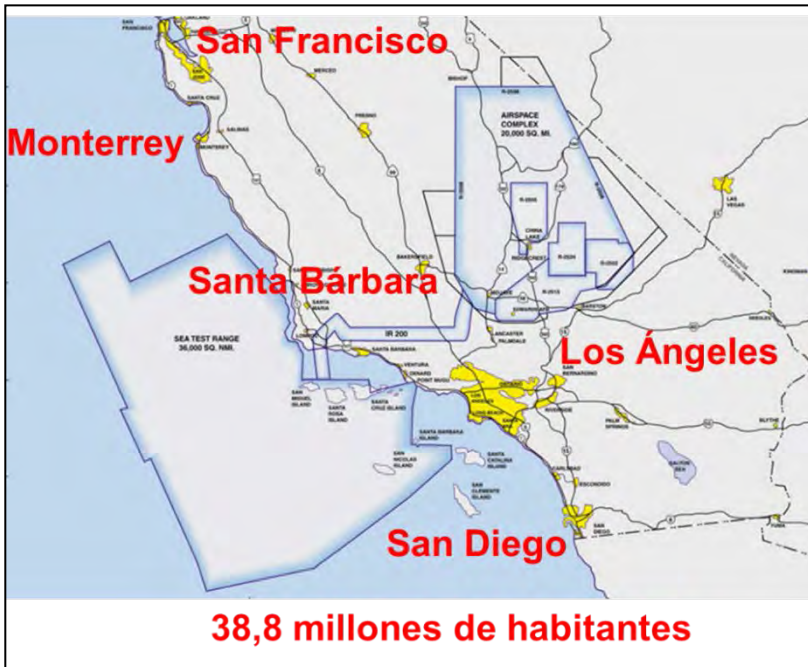


Figura 2. Entorno de ensayos del Área de California: Edwards & China Lake.

blancos. Dichos sistemas pueden llegar a volar a la misma velocidad de crucero que un avión comercial como en los que estamos acostumbrados a viajar. Su energía, en caso de un impacto puede llegar a ser tan alta como para causar pérdidas humanas y desastres materiales con un alto coste. En definitiva, se llevan a cabo actividades de riesgo que conviven perfectamente con la vida cotidiana de los ciudadanos. Ello es posible gracias a los sistemas de terminación de vuelo. Como muestra de su efectividad, nunca ha habido un accidente o incidente fuera de las áreas de seguridad definidas, por lo que nunca ha habido daños a terceros. A pesar de contar en dicho entorno con el mayor centro de ensayos en vuelo del mundo.

No obstante, la palabra riesgo hay que matizarla. En primer lugar por riesgo se entiende un evento que puede producirse causando daños, teniendo en cuenta la probabilidad de que se produzca, así como la severidad del daño que causa. Cuando se comenta que *“se llevan a cabo actividades de riesgo que conviven perfectamente con la vida cotidiana de los ciudadanos”*, se entiende que aunque la severidad del daño sea alta, la probabilidad de que el evento se produzca es extremadamente remota. La experiencia demuestra que es así, pues la mencionada convivencia en dicho espacio, así lo demuestra.

Dicho concepto debe ser extrapolado a los sistemas RPAS. Estos, desde el punto de vista de un posible fallo técnico y/o energía de impacto, no son menos peligrosos que misiles y cohetes. Me aventuraría a decir que, conforme a la mencionada definición de seguridad, son más peligrosos, teniendo en cuenta que los segundos operaran en espacios restringidos, mientras los RPAS's, su objetivo es que operen en cualquier entorno. No es gratuita por tanto, la prohibición existente de sobrevolar zonas urbanas y concentraciones de personas. Pero ello sin renunciar por tanto a la seguridad, si durante el procedimiento de diseño de la aeronave no tripulada y sus operaciones se siguen los estándares establecidos. En ese caso, los índices de seguridad son altamente elevados. Deben de ser del mismo orden, al menos, que los de la aviación tripulada.

En definitiva, la seguridad de las operaciones de sistemas no tripulados, se ve incrementada mediante el uso de sistemas de terminación de vuelo. Equipos considerados como críticos debido a ser considerados como el último recurso cuando la aeronave RPA, se encuentra en una situación de emergencia irreversible. Equipos que en el caso de que dicha emergencia se produzca, pueden proceder a la destrucción del equipo para que cause males mayores a la ya pérdida de la aeronave. Por destrucción puede entenderse, la destrucción propiamente dicha de la aeronave, así como el despliegue de un sistema de recuperación como puede ser un paracaídas.

VI. Tecnología de los sistemas de terminación de vuelo.

Un sistema de terminación de vuelo (FTS), permite enviar un comando desde una estación de control terreno para que se lleve a cabo una orden a bordo de la aeronave. Ésta, tradicionalmente, ha sido de destrucción del sistema una explosión. Puesto que su ámbito de aplicación eran cohetes espaciales y misiles. Mediante un cordón pirotécnico o sistema similar, se procedía a actuar de forma que se destruía la presión existente en la cámara de combustión, se cerraba la válvula de combustible, se destruía la integridad del propio sistema rompiendo la aerodinámica del mismo o activando un sistema de recuperación mediante paracaídas o sistema alternativo. De ahí el origen de la denominación. No obstante, la tecnología actual, puede permitir el manejo de la situación de emergencia mediante una recuperación de la aeronave en un punto convenido, regreso automático a un determinado aeródromo, o incluso manejar situaciones de colisión entre aeronaves indicándoles un comando que ordene una maniobra para evitar la colisión a las aeronaves. Algo similar a un sistema anticolidión a los instalados a bordo de aeronaves tripuladas en la actualidad.

Básicamente, los sistemas FTS constan de dos segmentos: uno terreno y otro embarcado.

VI.1. Segmento terreno de los sistemas de terminación de vuelo.

En lo que se refiere al sistema terreno, estación de control del FTS (GCFS, por sus siglas en inglés, “*Ground Control FTS Station*”), es el encargado de llevar a cabo **una transmisión con alta fiabilidad en Ultra High Frequency (UHF)**, con los correspondientes mensajes de terminación, cuando nos encontramos antes un vehículo aéreo que se encuentran con una trayectoria errática y/o con una actuación, aerodinámicamente hablando, inestable e incontrolable. Asimismo, el GCFS es el encargado de asegurar una transmisión con el suficiente nivel de señal, para que el receptor a bordo sea capaz de capturarla, de tal forma que éste sea capaz de discretizar entre cualquier ruido electromagnético o señales de radio frecuencia procedentes de otras fuentes no deseadas. Evitando así la posible activación de una orden de destrucción, que no ha sido ejecutada por el GCFS, y no es deseada.

Es decir, la misión principal del GCFS, es poder proporcionar la señal de comando de emergencia, con una altísima fiabilidad que permita garantizar que sea recibida a bordo, pero que así mismo, también se pueda garantizar que no se activará ante señales existentes en el espectro, y que son no deseadas. Las diferentes generaciones de sistemas FTS, como se verá a lo largo del presente discurso, han ido encaminadas, a la optimización de dichos objetivos.

El diseño del GFCS, puede ser particularizado para cada localización. Acomodándose a los requisitos particulares de alcance y cobertura, márgenes de la señal electromagnética a transmitir, así como al condicionamiento del terreno de la ubicación. No obstante, el diseño de los sistemas GFCS debe de contar con un mínimo de especificaciones de diseño, basadas en el standard Inter-Range Instrumentation Group (IRIG) y del Range Commander Council (RCC).

Como regla general, el GFCS debe ser un elemento tecnológicamente no complejo, para no limitar la innovación tecnológica. El equipo terreno ha de ser modular, permitiendo la sustitución de diferentes módulos, por

mantenimiento, pero especialmente tratando de conseguir un equipo que pueda ser compatible con la tecnología existente, pero que así mismo permita la mencionada innovación tecnológica. Bien completa o de alguno de sus módulos. Es decir, durante el diseño del mismo, debe primar el poder instalar equipos comercialmente existentes, que puedan evolucionar a partir del estado del arte existente. Estamos por tanto **ante el primer ejemplo de optimización de la tecnología para aviones no tripulados**. Un compromiso de los usuarios (fabricantes de RPAS y operadores) en el que, para un sistema claramente identificado como crítico, se tiende a un único standard, más allá de intereses comerciales y/o particulares. Ello permite que de forma estratégica, cuando en el futuro un RPA, se desplace a cualquier parte del mundo, su sistema crítico FTS, sea compatible y permita su utilización, reduciendo así costes y ampliando la optimización.

Estamos por tanto ante un standard de diseño que permite la flexibilidad de capacidad de diseño al fabricante del GFCS, pero que a su vez es lo suficientemente estricto como para que garantice la seguridad. En seguridad, las normas deben de ser lo suficientemente estrictas, como para que ésta no se vea comprometida. Pero a su vez, debe permitir la capacidad y desarrollo tecnológico. Dicho standard permite y obliga a la vez, la posible evolución tecnológica en aras de mejorar la seguridad, sin un gran coste, evitando tener que desarrollar en el futuro una nueva tecnología. Con el consiguiente considerable aumento de coste de una nueva tecnología, frente a una ya existente.

Los pilares básicos en los que se basa el standard de diseño, han de reducir la complejidad del sistema, tanto como la tecnología lo permita, para facilitar:

- Aumentar la fiabilidad del sistema.
- Disminuir el tiempo medio entre fallos y por tanto reducir las tareas de mantenimiento no programado.

- Aumentar la disponibilidad del tiempo operativo del sistema.
- Simplicidad en las operaciones. En operaciones críticas, cuanto más sencillo es un sistema, mayor es la capacidad de respuesta.
- Reducción de las tareas de mantenimiento programado y no programado.
- Disminución de las tareas de entrenamiento.
- Aumentar la capacidad de recuperación del sistema ante fallos. Disminución del tiempo de puesta en servicio del sistema una vez se ha producido un fallo en el mismo.

Como punto fundamental en el diseño aeronáutico, esta noche se ha comentado el concepto de la redundancia. Éste no puede faltar en el diseño del GFCS, y así se ha hecho extensivo a él, como no podía ser de otra manera, y más tratándose de un sistema crítico de emergencia. La redundancia a dicho equipo, GFCS, se convierte en la necesidad de dos transmisores independientes, como requisito mínimo de diseño. Cada uno de ellos debe contener al menos, los siguientes componentes, de forma independiente entre ellos:

- Amplificador de alta potencia.
- *Switch* de comunicaciones.
- Excitador de códigos del comando de destrucción.
- Codificador de la señal.
- Fuente de alimentación.
- Regulador de potencia de la señal.

Típica estructura del diagrama de bloques y flujos de señal, puede observarse en la figura 3, para una GFCS de acuerdo al standard de RCC. En ella, se puede observar la redundancia mencionada. Como se puede ver en el ejemplo, la redundancia está llevada más allá incluso de lo que el standard

propone como básico. El concepto de redundancia en el diseño, no afecta solamente a los componentes *hardware* de cada uno de los dos equipos transmisores. A nivel de *software*, existe un protocolo de actuación, en el que cada uno de los equipos puede combinarse durante la operación, independientemente en un equipo transmisor o en otro. Ya sea por protocolo de actuación ante un fallo del correspondiente elemento en la “columna de transmisión”, como por configuración de la operación. Por ejemplo, para este último caso, para no limitar la vida operativa de un componente frente a otro. Especialmente en los amplificadores de potencia cuya vida se consume más rápidamente que el resto de componentes.

El concepto de redundancia se lleva hasta tal punto, que el usuario puede configurar cada uno de los componentes, de tal forma que internamente, en *software* y en *hardware*, cada una de las unidades es redundante. Por ejemplo, el FTS Control Panel (FCP), internamente la orden de destrucción se comanda mediante un botón físico de destrucción. Físicamente, este botón, que es único en cada panel, pero está duplicado mediante la instalación de dos paneles, una vez pulsado, tanto la circuitería interna como el control mediante *software* es redundante.

Pero recapitemos acerca del concepto básico de diseño. Todos los elementos deben de ser lo suficiente sencillos, para aprovechar la tecnología existente, y asimismo favorecer la innovación tecnológica a partir de ella, en aras de conseguir en el futuro estándares de seguridad más altos si así son demandados por la comunidad aeronáutica. Parémonos a reflexionar sobre la figura 3. Todos los componentes descritos en ella son convencionales. Todos son elementos electrónicos fácilmente de encontrar en el mercado. Su valor añadido está en el diseño de su integración. Por el ejemplo, fijémonos en el High Power Amplifier (HPA). No deja de ser un conjunto de etapas amplificadoras de potencia, lo suficientemente ventiladas para poder disipar la energía consumida. No obstante, el “*secreto*” está en la búsqueda de la

integración para cumplir un estándar aeronáutico de seguridad. Este principio es extensivo a cualquier componente que observemos en la figura 3.

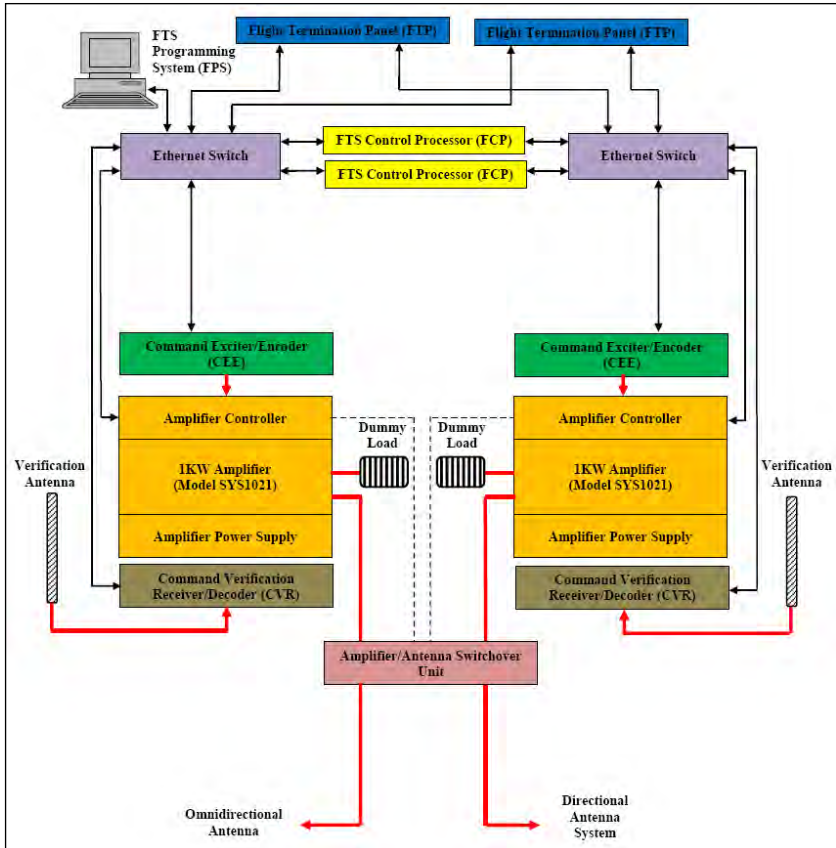


Figura 3. Diagrama de bloques típico de GFCS.

Fuente: WV Communications, CA-USA.

Si seguimos observando el diagrama de bloques del GFCS, podemos observar como, curiosamente, el ordenador de control del equipo no es redundante. Frente a lo que pudiese parecer, el FTS Programming System (FPS), no es indispensable para el desarrollo de la misión de enviar un

comando de destrucción a un RPAS. El FPS tiene como misión configurar y programar, tanto la misión como el equipo. Hacer de interfaz entre el hombre y la máquina, y efectivamente permite comandar, de forma amigable para el operador, la destrucción en el caso de que sea necesario por emergencia. Los comandos críticos también son ejecutados desde el FTS Termination Panel (FTP). Pero una vez iniciada ésta, es decir el despegue del RPA, en caso de fallo del FPS no existe ningún problema. Existen dos paneles de terminación de vuelo, independientes. Si se observa la figura 3, el FTP alimenta ambos sistemas transmisores de forma independiente.

El ordenador que hace de interfaz hombre-máquina (FPS), no es el cerebro del sistema. Este role está asignado al FTS Control Processor (FCP), el verdadero cerebro de control del equipo. Es necesaria la presencia de dos equipos, para asegurar una redundancia en caso de fallo de uno de ellos. Pero aún así, la unidad que no está controlando el sistema tiene doble misión. Supongamos que es el FCP1 el encargado de administrar el equipo. El rol del FCP2 durante la actuación del FCP1 es estar en posición de stand-by por si éste fallase. Pero además realiza una misión de supervisión de la otra unidad por si ésta estuviese fuera de parámetros nominales. En dicho caso, el FCP2 tomaría el control de la situación, desactivando asimismo el FCP1. Por lo tanto, las unidades FCP, realizan una tarea de gestión del equipo, pero a su vez, de control del mismo.

En lo que se refiere a fiabilidad y necesidades de mantenimiento, son dos parámetros fundamentales, tratándose de que los sistemas de terminación de vuelo son elementos críticos. Es fundamental que el equipo esté en condiciones operativas el mayor tiempo posible. En primer lugar por la criticidad, pero en segundo por un tema de reducción de costes de las operaciones. Cuanto más tiempo esté operativo el equipo, y la probabilidad de que así sea, los costes de mantenimiento programado y no programado se reducen, así como el de mano de obra asociada. Los criterios básicos de diseño para el GFCS se resumen en dos:

- Un punto único de fallo, no puede causar el envío de un comando de destrucción no intencionado al vehículo aéreo.
- Un punto único de fallo, no puede impedir que el operador de seguridad aérea envíe un comando de destrucción intencionado al vehículo aéreo.

Entramos pues en el concepto aeronáutico de seguridad, ya comentado, de que un fallo simple no puede convertirse en un fallo catastrófico, con pérdida de la aeronave y/o pérdidas de vidas humanas. Aplicándolo a los sistemas de terminación de vuelo, el fallo simple no puede convertirse en una inutilización del sistema, por lo que en caso de emergencia del RPA quede inutilizado, no pudiendo evitar la pérdida de vidas humanas, por ejemplo, por no haber podido activar el comando de destrucción. Así mismo, un posible fallo simple, no puede conducir a que se produzca un comando de destrucción indeseado, con la correspondiente pérdida de la aeronave.

En lo que en particular se refiera a la fiabilidad, se ha señalado en que es un parámetro fundamental, por lo que a la hora del diseño ha de ser tenido en cuenta. La exigencia del estándar nos muestra que el tiempo medio entre fallos (MTBF, *Mean Time Between failures*) debe ser al menos de 5.000 horas en lo que a *hardware* se refiere. Si nos referimos a software, el estándar nos refiere a los condicionantes de comportamiento frente al punto único de fallo descritos anteriormente. No obstante el software no actúa de forma independiente, sino combinado dentro de lo que es la arquitectura del sistema de computación (software, hardware y firmware). Es por ello que, “*un punto único de fallo de software (SSPOF)*”, además debe de cumplir los siguientes condicionantes *adicionales* que han de ser tenidos en cuenta.

- La combinación de dos fallos no críticos, no puede causar que un comando de destrucción no deseado sea enviado.
- La combinación de dos fallos no críticos, no puede evitar que un comando de destrucción deseado no sea enviado.

El comando de destrucción que se envía a la aeronave desde la GFCS, se llevará a cabo mediante una onda portadora, que se encuentra entre 370 y 400 MHz. El comando de destrucción consistirá en una combinación de tonos, de 20 posibles, que se pueden generar, hasta un máximo de 9 de ellos combinados. Asimismo, será posible el envío de un código digital codificado, según el estándar de destrucción utilizado. Los tonos de activación, serán activados desde el FTP, o bien de forma remota, tras previamente haber desactivado dicha unidad. Se consigue así poder instalar la unidad de transmisión donde geográficamente proporcione la mayor cobertura, pero sea controlada desde una posición remota, como podría ser una estación de control de tráfico aéreo. Es importante recalcar que en ese caso, es necesario desactivar el FTP. Ello debe de ser así, porque en los protocolos de activación de una destrucción, ha de ser necesario que no pueda haber más de un punto desde el cual se pueda comandar. Una única persona, por seguridad. Es la que debe tener la capacidad de activar el comando.

Los parámetros de diseño de la estación terrena del FTS, son muy exigentes. Deberán ser de acuerdo a los siguientes estándares:

- La fiabilidad de que el comando de destrucción salga al espectro radioeléctrico, deberá ser de 99,9%, para un intervalo de confianza del 95% en un periodo igual al vuelo del RPA más 4 horas.
- La probabilidad de que un comando enviado no sea el correcto, será inferior a 1×10^{-7} .
- En el caso de producirse una avería, ésta deberá ser posible que sea reparada en el transcurso de menos de una hora. El concepto de diseño modular, así como el de registros de los diferentes componentes, deberá estar adecuado para poder cumplir con dicho objetivo. Siendo preferible que el número de piezas con la que cuenta cada componente sea lo más bajo posible. Se reduce así la probabilidad de fallo y se aumenta la facilidad para poder cumplir el objetivo de reparación.

Estamos por tanto ante un equipo de tierra, optimizado, de tal forma que permite cumplir los estándares de seguridad aeronáutica particularizados para RPAS's, a partir de equipos electrónicos convencionales y de fácil diseño y construcción, existentes en el mercado. Su tecnología particular se encuentra en la integración de los mismos para poder cumplir con los objetivos de seguridad, siendo éste por tanto su valor añadido.

VI.2. Segmento aéreo. Verificación en la estación terrena. Recepción a bordo del RPAS.

Una vez la señal de comando, mediante su portadora y su correspondiente codificación es lanzada al espectro electromagnético, es necesario comprobar que la señal está siendo lanzada de forma correcta. Para ello se ha de verificar, y siempre de acuerdo al estándar, “que la señal se encuentra en el aire”. Mediante la antena de verificación, del equipo terrestre, y a través del correspondiente *Command Verification Receiver (CVR)*, se tiene la certeza de que la “*señal de destrucción*”, está siendo enviada, y además lo está siendo de forma apropiada. Para ello, no hay que olvidar el principio de redundancia. Teniendo en cuenta la presencia de 2 unidades CVR, con sus correspondientes antenas. Pudiendo combinarse entre ellas, de cualquier combinación posible, para garantizar la fiabilidad del sistema y su operatividad.

Estamos pues en condiciones de recibir a bordo del RPAS la señal de destrucción. Para ello debe imperar en todo momento el principio de redundancia. De acuerdo a la figura 4., se puede observar la estructura de bloques y flujo de la señal, de un sistema FTS embarcado en un RPAS. Su tamaño y pesos son muy pequeños, siendo su integración a bordo por tanto, muy fácil.

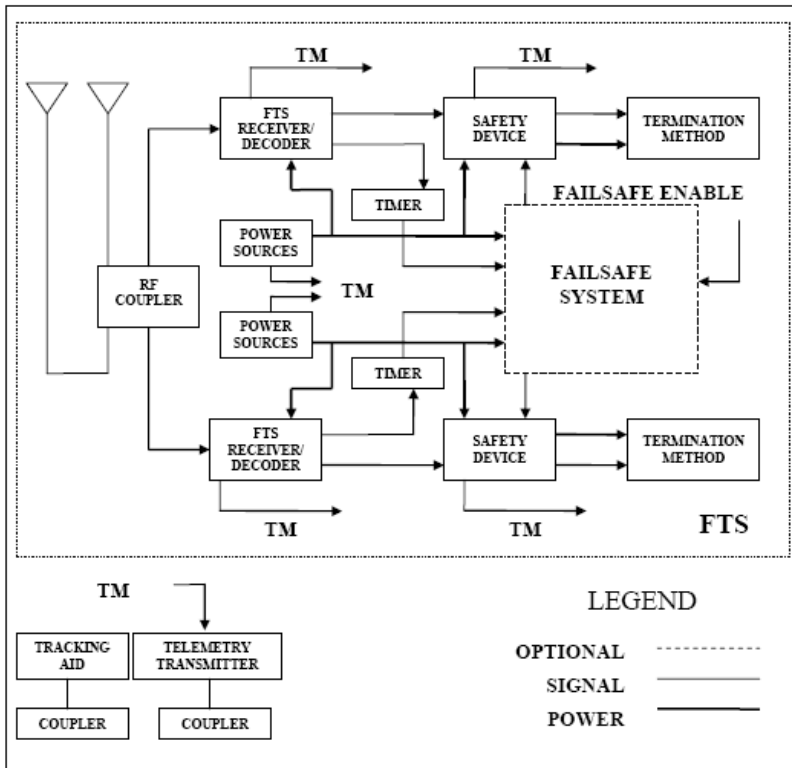


Figura 4. Estructura de bloques del sistema FTS embarcado.

Fuente: Range Commander Council.

Tres son los principios básicos que rigen el funcionamiento de un sistema embarcado en un RPAS:

- Fiabilidad.
- Redundancia.
- Análisis de seguridad y árbol de fallos.
- Reporte telemétrico a tierra.

Nos encontramos por tanto con los mismos principios que rigen los sistemas en tierra de FTS. Con el parámetro adicional de la telemetría. En el apartado anterior se ha visto cómo el segmento terreno está diseñado para poder proporcionar un comando de destrucción con una alta fiabilidad. Pudiéndose comprobar además, mediante los equipos de verificación, que la señal ha sido enviada al espectro radioeléctrico. Pero el hecho de garantizar que la señal ha sido enviada, no significa que ha sido recibida a bordo del RPAS. Es necesario tener constancia de que existe una unión radioeléctrica entre el sistema RPAS y el equipo terreno del sistema FTS de forma permanente. Se consigue mediante la señal portadora, cuya misión, además de “*acoger y transportar*” el comando de destrucción, consiste en poder hacer de “*cordón umbilical*” entre RPAS y GCFS. El sistema crítico a bordo de un RPAS para el FTS es el FTS receiver (FTR).

El primer paso para asegurar la llegada del comando de destrucción es una buena combinación de antenas a bordo, para garantizar cobertura de recepción de la señal portadora. Como puede observarse en la figura 4, la señal recibida es transmitida a un sistema dual de receptores, para garantizar la redundancia. Básicamente manejan cuatro parámetros básicos:

- Entrada de la señal transmitida desde tierra.
- Alimentación eléctrica mediante un sistema independiente del resto de sistemas que posee el RPAS. Garantizando así que en el caso de la caída de la fuente de suministro eléctrico en el RPAS, el sistema FTR se encuentra alimentado. Por tanto, ante una caída total de los sistemas embarcados, el RPAS sigue contando con la posibilidad de activar el comando de destrucción.

- Salida de telemetría, para comunicar al centro coordinador de los vuelos que la señal portadora se está recibiendo correctamente a bordo. Dicha señal informa a los controladores que sigue existiendo, de forma permanente, el “cordón umbilical” entre la estación terrestre y el avión no tripulado. Supervisando así que el link se mantiene y el RPA hasta a la “escucha” de un posible comando de destrucción. Observando la figura 4, se puede ver la importancia que cobra la telemetría en un sistema de terminación de vuelo, donde la monitorización del sistema es fundamental para garantizar que el sistema embarcado no deja de recibir la señal correctamente en todo momento.
- Finalmente la salida desde el FTR hacia el dispositivo de seguridad, que es quien finalmente activa el protocolo de activación de la terminación de vuelo, mediante un pirotécnico, un sistema de paracaídas, etc...

Nuevamente, al igual que para el equipo terreno, nos encontramos frente a un ejemplo de uso de tecnología existente. El componente que va a bordo, ha de ser capaz de poder resistir las características del vuelo: baja presión y temperatura, vibraciones, compatibilidad electromagnética, etc... Es por ello que se utiliza tecnología aeronáutica existente. Componente que debe ser por tanto calificado de acuerdo a los estándares aeronáuticos.

VII. El desastre del Global Hawk.

El 29 de marzo del año 1999, en el anterior mencionado espacio aéreo segregado que rodea Los Ángeles, en California, en particular en la base aérea de Edwards, se produjo una situación de emergencia que acabó en desastre y pérdida total de la aeronave.

En concreto, un RPA Global Hawk, operado desde la base aérea de Edwards. Aeronave valorada en 45 Millones de dólares. La aeronave se encontraba volando a 41.000ft de altura. Sobrevolando la zona del centro de ensayos en China Lake, California. De forma indeseada, el RPA recibe un comando de destrucción desde la base aérea de Nellis, en el estado de Nevada. Este Centro de Operaciones no se encontraba involucrado en la operación. Es más, la base aérea de Nellis, se encuentra fuera de la zona de coordinación de frecuencias radioeléctricas en la que se encontraba volando el RPA Global Hawk. No es necesaria la coordinación de frecuencias entre ambos centros, debido a la distancia. No obstante, una superposición de las mismas se produjo debido a la altura que estaba volando el RPA Global Hawk. La base aérea de Nellis se encontraba probando su equipo de terminación de vuelo precisamente, para preparar unos vuelos de Global Hawk, desde dicha base, para el mes siguiente al del accidente. La aeronave accidentada está pensada para operar a grandes alturas. Debido a ello, entró en la línea de visión de la señal por la gran altura a la que estaba volando, siendo recibida abordo y activándose el comando de destrucción.

Recibida la señal de destrucción a bordo del Global Hawk, debido a su altura y a su estado de carga de combustible, comienza la maniobra de terminación. Desprender carga en los depósitos de combustible y descender camino de su destrucción. El resultado final es la pérdida total de la aeronave. La primera impresión para los controladores del avión, desde la base aérea de Edwards, es que la aeronave se encontraba fuera de control. Comprobándose posteriormente, que fue activado su comando de destrucción.

¿Dónde está el error? ¿Cómo una aeronave de 45 millones de dólares puede perderse de una forma tan fortuita? Los procedimientos para La gestión de las frecuencias de la U.S. Air Force, no habían sido diseñados para vuelos de aviones no tripulados de alta cota. Estas condiciones de altura hacen que la distancia a la que hay línea de visión de vista sea mayor. Los sistemas de terminación de vuelos, como se ha comentado, actúan de forma autónoma. Recordemos que se utilizan en caso de extrema necesidad y emergencia. La ausencia del factor humano en el lazo de control de los sistemas FTS, no permitió que la activación del comando fuese desestimada. Como fruto de este accidente, los procedimientos fueron cambiados. Como primera medida urgente. Pero no era suficiente. Para un entorno como el Centro de Ensayos de Edwards sí lo era. Es un área restringida a la navegación aérea y muy controlada electrónicamente, así como que se encuentra en pleno desierto de Mojave. Pero no para un espacio más abierto, y más cercano a otras fuentes de radiación. No obstante, incluso para la base aérea de Edwards, los nuevos procedimientos garantizarán la seguridad operativa. Pero pueden suponer unas limitaciones para operaciones con más de un RPA Global Hawk a la vez o para otros equipos y/o aeronaves, limitando las operaciones del centro.

Es por ello, que se hace necesario plantear una solución alternativa al problema. Que permita proteger a las aeronaves frente a comandos de destrucción no deseados por un tercero no involucrado en la operación. Así como que el comando de destrucción que un centro de control, no afecte a terceras aeronaves. Es necesaria una revisión de los sistemas de terminación de vuelo y sus estándares.

VIII. El “cónclave tras el desastre”.

Tras el desastre de la pérdida del Global Hawk en 1999, se trató de buscar una solución más robusta para los comandos de terminación de vuelo.

Una opción que pudiese proteger a los vehículos aéreos frente a comandos indeseados. La iniciativa fue lanzada por:

- Range Commanders Council (RCC).
- Range Safety Group (RSG).
- Flight Termination Standing Committee (FTSC).

La iniciativa se lanzó en abril del año 2000, tras una carta del Inspector General de la NASA en la que valoraba la necesidad de llevar a cabo una revisión de la estandarización del sistema. Tras el lanzamiento fue seguida de un recomendación por parte del mismo, en agosto del año 2.000, sugiriendo que sería necesario explorar soluciones de bajo coste y muy ligeras en peso y volumen.

Mientras tanto, en Alaska, en noviembre del año 2001, se producía un nuevo evento de una activación no deseada de un sistema de terminación de vuelo.

En búsqueda del objetivo “*Enhanced Flight Termination System (EFTS)*”, se crea un equipo de trabajo formado por:

- NASA/Dryden Flight Research Center (DFRC).
- Air Force Flight Test Center (AFFTC).
- Flight Termination Standing Committee.
- Range Commanders Council.
- Range Safety Group.
- RCC Telemetry Group.
- Telecommunications & Timing Group.
- Frequency Management Group.
- National Security Agency.

- Brigham Young University.
- Industria con experiencia en los sistemas de terminación de vuelo.

En definitiva, se convocó y se fue capaz de reunir a todas las partes involucradas en los sistemas FTS, con el fin de encontrar una solución razonable a la vulnerabilidad de dichos sistemas. Estos cubrían a los organismos encargados de una estandarización, un centro de investigación universitario especializado en ingeniería digital, modelización y validación del nuevo sistema FTS. Asimismo incluía a todos los centros de ensayos del Departamento de Defensa de Estados Unidos: Army (6 centros), Navy (7 centros) U.S. Air Force (8 centros). Asimismo, el centro de Cabo Cañaveral, en Florida, perteneciente a la NASA y el Goddard Space Flight Center, contribuyendo pues la NASA con 2 centros. En lo que respecta a fabricantes, todas las empresas líderes del sector estaban incluidas en el grupo de trabajo. Por último, no se podía olvidar a los usuarios finales de los sistemas. Cuya retroalimentación era fundamental para poder aprender de los errores pasados.

Tecnológicamente hablando, el punto de partida son dos estándares analógicos utilizados anteriormente en FTS:

- Un sistema puramente analógico que consistía en la combinación de comandos de 3 tonos, que de acuerdo a una secuencia lógica, procedían a activar el comando de destrucción.
- Un sistema, “*High alphabet*”, que venía a ser una pequeña mejora frente al anterior. Consistiendo en una combinación de 11 caracteres. Siendo una mejora en seguridad.

Ambas opciones, usadas tradicionalmente, eran seguras, pero que no conseguía encriptar el comando de destrucción. Sin garantizar por tanto, la suficiente robustez, para que terceros actores, pudiesen afectar el comportamiento del sistema de terminación de vuelo de forma inadvertida.

El objetivo al que se enfrentaban consistía, como ya se ha comentado, en la búsqueda de un sistema FTS más robusto, pero asimismo que cubriese formatos del mensaje a transmitir y métodos de modulación.

Las fases que se definieron claramente, como un ejemplo de optimización y trabajo en equipo fueron:

1. Definición de requisitos y especificaciones.
2. Exploración de la tecnología existente.
3. Definición de la solución adoptada.
4. Recomendaciones para una estandarización del sistema FTS digital.

VIII.1. Definición de requisitos y especificaciones.

A partir de los centros de ensayos en vuelos ya existentes y su tecnología, se analizó ésta, así como el estado del arte de los sistemas de terminación de vuelo que estos utilizaban. Se partió, como base de su definición, de los ya existentes estándares de la *Range Commander Council*. Asimismo, se recopiló toda la información existente en los diferentes sectores de la tecnología FTS: centros de ensayos, fabricantes y usuarios finales de dichos sistemas. Es decir, se trató especialmente de ver que protocolos de operación se seguían cuando se operaba con los antiguos FTS. Qué problemas surgían en una tecnología ya existente. Se definieron así las necesidades en base a objetivos de operación y a solventar problemas de las lecciones aprendidas de los fallos anteriores. Dicha fase finalizó en septiembre del año 2000. Se identificó, que todos los sistemas poseían la misma tecnología, siendo común para todos ellos, pero en configuraciones diferentes.

VIII.2. Exploración de la tecnología existente.

Se analizaron, en los campos de las técnicas de modulación digitales existentes, tanto digitales como analógicas, las distintas posibilidades capaces

de ser aplicadas en los sistemas de terminación de vuelo. Obviamente, el objetivo era tratar de cubrir las especificaciones y requisitos de la fase anterior. Se identificaron diferentes soluciones posibles que podían cumplir con ellas. Finalizando un año después de haber definido las especificaciones, en Marzo del año 2001. Se propusieron diferentes alternativas valorando para cada una de ellas sus ventajas e inconvenientes desde el punto de vista de:

- Construcción del sistema.
- Compatibilidad electromagnética.
- Capacidades.
- Factores humanos. ***Fundamentales en RPAS's.***

La conclusión de todos ellos lleva asociada a que tras una valoración en batería donde se tienen en cuenta los diferentes factores se opta por:

“Un Sistema codificado digital, con la mejores prestaciones de confidencialidad, debido a sus prestaciones para encriptado”.

Se identifica un sistema digital codificado que permite la activación selectiva, manteniendo la misma filosofía de equipos terrestres, siendo compatibles con los antiguos. Éstos representan el coste más alto de la inversión, especialmente en términos de amplificación de señal. Se trata pues de un ejemplo de optimizar la tecnología existente, para conseguir nuevas prestaciones en términos de fiabilidad y robustez.

VIII.3. Definición de la solución adoptada.

Se buscó la solución óptima, encontrándose que ésta consistía en un mensaje digital que debía de tener al menos los siguientes contenidos:

- Sincronización.
- Comprobación de la integridad de la comunicación.

- Comprobación de la autenticación de la identidad.
- Encriptado.

Se propone un mensaje codificado de 64 bits. Que lleva encriptado su mensaje de identificación y actuación. Es decir, a quien va dirigido y a qué tiene que hacer, necesita de un descifrado. El impacto, tanto económico, como de optimización de los equipos ya existentes, es mínimo. Ello es así pues es válido el hardware preexistente para “*Sistemas Analógicos*”. No debemos olvidar, que la concepción de éstos ya llevaba implícita el uso de equipos electrónicos existentes en el mercado. Donde su valor añadido estaba en la integración de éstos.

Son completamente válidos los sistemas de transmisión, amplificadores de potencia y únicamente los generadores de tonos necesitan actualizaciones para ser modificados, desde el modo analógico al digital.

Finaliza esta etapa del desarrollo en enero de 2002.

VIII.4. Recomendaciones para una estandarización del sistema FTS digital.

El desarrollo de la nueva tecnología digital para los sistemas de terminación de vuelo, impacta totalmente en los estándares RCC existentes en aquella época. Obviamente, no todos ellos se ven alterados, más cuando se ha tratado de aprovechar al máximo la tecnología ya existente. Existen muchos componentes que no se ven alterados. Los nuevos estándares afectan sobre todo a los sistemas de transmisión de comandos UHF, encriptado de la señal y comando a transmitir, accionamiento inadvertido del comando de destrucción y finalmente a los receptores que van embarcados en los RPAS´s.

IX. Aplicaciones de los sistemas de terminación de vuelo a los RPAS's.

Los sistemas RPAS's, son una pieza clave en el futuro para la plena integración, en convivencia con otras aeronaves y zonas pobladas que sobrevuelan. EL objetivo es que al menos, los niveles de seguridad sean equivalentes a los existentes en la aviación tripulada.

Pero para conseguir la mencionada plena integración, se han de tener en cuenta los siguientes condicionantes, cuando se cuente con EFTS's:

- En ningún caso va a suponer la gestión del espacio aéreo mediante EFTS, pero si la gestión de conflictos.
- Permitirá la activación de un comando con una orden selectiva, o bien de emergencia, o bien de una maniobra específica ante determinados problemas. Sea por ejemplo un fallo de comunicaciones. Es por ello, que en ese caso se puede recurrir al estándar EFTS, para realizar la recuperación a un aeródromo, en modo autónomo.
- No será nunca un autopiloto, pero permitirá la realización de determinadas maniobras específicas y preprogramadas. Caso de la recuperación autónoma del caso mencionado en el párrafo anterior.
- Los sistemas EFTS, permitirán:
 1. Actuar sobre una aeronave y solo esa por seguridad operacional.
 2. Evitar que un comando inadvertido actúe sobre ella, nuestra aeronave en cuestión que estamos controlando.
 3. Evitar que nuestro comando actúe sobre terceras aeronaves.

Asimismo, los sistemas EFTS cumplen los estándares de certificación y calificación. Es por ello, que pueden ser utilizados tanto en las fases de ensayos de aeronaves como en su vida operativa normal.

Configuración segura de una aeronave RPAS, puede observarse en la figura 5. En ella se puede apreciar la conexión permanente por Radiofrecuencia, con los diferentes elementos de control de una aeronave. Contribuyendo los sistemas EFTS a la seguridad crítica de los RPAS's, en caso de extrema emergencia. Se puede observar como existe una doble conexión de telemetría, para “subida” y “bajada” de datos, entre la estación terrena y el RPAS. Por otro lado, se puede ver que, para el caso del EFTS, solo está el caso de “subida”, que se corresponde con el comando de destrucción.

Por último, los sistemas EFTS, suponen una herramienta de gran valor para los cuerpos y fuerzas de seguridad, con el fin de controlar actividades contra actos ilícitos. Permiten anular el vuelo de una aeronave RPAS que suponga una amenaza para la integridad de *¿falta algo?*

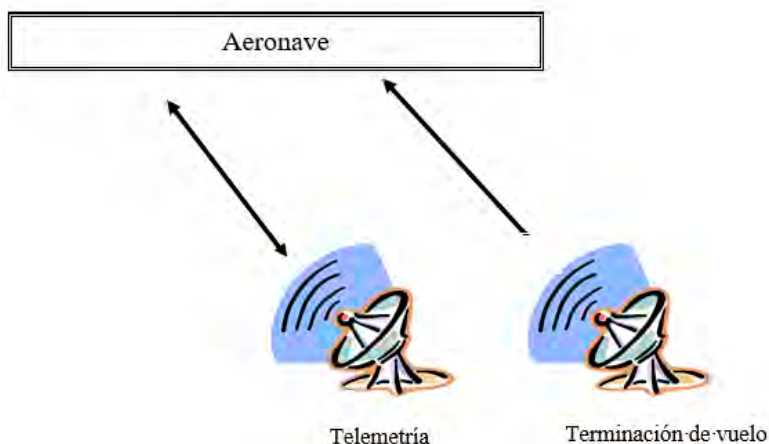


Figura 5. Típica estructura de intercambio de datos en un RPAS.

X. Conclusiones.

La actividad aeronáutica, como cualquier actividad humana, tiene como preocupación fundamental la búsqueda de la seguridad operativa. Los RPAS's se han instalado dentro de la sociedad. Han venido para definitivamente quedarse entre nosotros, siendo su principal valor añadido, las cargas de pago que pueden llevar a bordo. Es por ello, que han de operarse de forma segura y eficiente. Pero especialmente de forma segura. Se hace necesario, contar con elementos de seguridad que se permitan la plena integración de los sistemas RPAS's en convivencia con otras aeronaves. Pero además respetando a terceros y/o haciendo que los terceros también nos respeten a los operadores de RPAS's.

Con la filosofía anterior, nacen los sistemas de terminación de vuelo. Elementos que deben actuar cuando no queda otra posibilidad de actuación. Siendo el último recurso ante una emergencia.

Son fruto de:

- Utiliza tecnologías existentes, donde su valor añadido está en la integración de los mismos, proporcionando robustez y redundancia.
- Un trabajo de mejora en equipo de todos los involucrados: usuarios, fabricantes, operadores de RPAS's.
- Optimización de las nuevas necesidades de acuerdo a los principios de máxima eficiencia y fiabilidad. Tratando de aprovechar lo máximo posible, hasta dónde sea necesario, para aprovechar los equipos (antiguos) que otros usuarios ya poseen, desde hace un tiempo considerable.

En definitiva, los sistemas de terminación de vuelo, EFTS, son el resultado de un gran trabajo en equipo, aunando esfuerzos, respondiendo a las necesidades de la seguridad operativa. Así como ahorrando lo máximo posible, eligiendo una tecnología que garantiza los estándares de seguridad,

conviviendo con sistemas antiguos, y no siendo la solución más novedosa ni la que posee máximas prestaciones. *Pero siempre garantizando la seguridad aérea.*

Los sistemas EFTS suponen:

- Identificación de un sistema digital codificado que permite la activación selectiva, manteniendo los mismos equipos.
- La inclusión de un sistema digital encriptado y selectivo supone un coste mínimo para poder realizar actuaciones sobre aeronaves no tripuladas de forma selectiva.
- Suponen una herramienta útil para control del tráfico aéreo. No tiene por qué suponer la destrucción de la aeronave. Es posible un conjunto de órdenes concisas para las aeronaves, como puede ser la de vuelta a aeródromo de forma autónoma.

XI. Despedida.

Muchas gracias a todos por su atención prestada.

No me gustaría despedirme sin enviar un mensaje esperanzador para la plena integración de los RPAS's. Actualmente, el vuelo de estos, está considerado como una actividad aérea excepcional. Estando limitados a volar en espacio aéreo segregado, especialmente dedicado y autorizado para la actividad aeronáutica, mediante el correspondiente NOTAM, que deber ser obligatoriamente publicado.

Esperemos que todos, pronto, nos concienciemos, que la seguridad del espacio que tenemos inmediatamente sobre nuestras cabezas, es responsabilidad de todos. Siendo responsables de él mediante un uso correcto de las aeronaves, tripuladas y no tripuladas, conviviendo ambos tipos entre ellas.

La seguridad aérea es un concepto intrínseco a las operaciones aéreas y nace de un compromiso de todas las organizaciones involucradas en el sector, incluidos los usuarios: operadores, mantenedores, incluso los propios pasajeros.

“El dinero utilizado en seguridad aérea, no es un gasto, es una inversión a futuro.”

Nuevamente, muchas gracias.

Buenas noches.

XII. Acrónimos.

CVR	Command Verification Receiver.
FCP	FTS Control Processor.
FPS	FTS Programming System.
FTP	FTS Termination Panel.
FTS	Flight Termination System.
FTSC	Flight Termination Standing Committee.
GCFS	Ground Control FTS Station.
HPA	High Power Amplifier.
IRIG	Inter-Range Instrumentation Group.
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.
MTBF	Mean Time between failures.
NASA	National Aeronautics and Space Administration.
NOTAM	Notice to Air Men.
RCC	Range Commander Council.
RSG	Range Safety Group.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System.
SSPOF	Software Single Point of Failure. <i>Punto único de fallo de Software.</i>

COLECCIÓN: *DISCURSOS ACADÉMICOS*

Coordinación: **Dominga Trujillo Jacinto del Castillo**

1. *La Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote en el contexto histórico del movimiento académico.* (Académico de Número). **Francisco González de Posada**. 20 de mayo de 2003. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
2. *D. Blas Cabrera Topham y sus hijos.* (Académico de Número). **José E. Cabrera Ramírez**. 21 de mayo de 2003. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
3. *Buscando la materia oscura del Universo en forma de partículas elementales débiles.* (Académico de Honor). **Blas Cabrera Navarro**. 7 de julio de 2003. Amigos de la Cultura Científica.
4. *El sistema de posicionamiento global (GPS): en torno a la Navegación.* (Académico de Número). **Abelardo Bethencourt Fernández**. 16 de julio de 2003. Amigos de la Cultura Científica.
5. *Cálculos y conceptos en la historia del hormigón armado.* (Académico de Honor). **José Calavera Ruiz**. 18 de julio de 2003. INTEMAC.
6. *Un modelo para la delimitación teórica, estructuración histórica y organización docente de las disciplinas científicas: el caso de la matemática.* (Académico de Número). **Francisco A. González Redondo**. 23 de julio de 2003. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
7. *Sistemas de información centrados en red.* (Académico de Número). **Silvano Corujo Rodríguez**. 24 de julio de 2003. Ayuntamiento de San Bartolomé.
8. *El exilio de Blas Cabrera.* (Académica de Número). **Dominga Trujillo Jacinto del Castillo**. 18 de noviembre de 2003. Departamento de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas. Universidad de La Laguna.
9. *Tres productos históricos en la economía de Lanzarote: la orchilla, la barrilla y la cochínilla.* (Académico Correspondiente). **Agustín Pallarés Padilla**. 20 de mayo de 2004. Amigos de la Cultura Científica.
10. *En torno a la nutrición: gordos y flacos en la pintura.* (Académico de Honor). **Amador Schüller Pérez**. 5 de julio de 2004. Real Academia Nacional de Medicina.
11. *La etnografía de Lanzarote: "El Museo Tanit".* (Académico Correspondiente). **José Ferrer Perdomo**. 15 de julio de 2004. Museo Etnográfico Tanit.
12. *Mis pequeños dinosaurios. (Memorias de un joven naturalista).* (Académico Correspondiente). **Rafael Arozarena Doblado**. 17 diciembre 2004. Amigos de la Cultura Científica.
13. *Laudatio de D. Ramón Pérez Hernández y otros documentos relativos al Dr. José Molina Orosa.* (Académico de Honor a título póstumo). 7 de marzo de 2005. Amigos de la Cultura Científica.

14. *Blas Cabrera y Albert Einstein*. (Acto de Nombramiento como Académico de Honor a título póstumo del Excmo. Sr. D. **Blas Cabrera Felipe**). **Francisco González de Posada**. 20 de mayo de 2005. Amigos de la Cultura Científica.
15. *La flora vascular de la isla de Lanzarote. Algunos problemas por resolver*. (Académico Correspondiente). **Jorge Alfredo Reyes Betancort**. 5 de julio de 2005. Jardín de Aclimatación de La Orotava.
16. *El ecosistema agrario lanzaroteño*. (Académico Correspondiente). **Carlos Lahora Arán**. 7 de julio de 2005. Dirección Insular del Gobierno en Lanzarote.
17. *Lanzarote: características geoestratégicas*. (Académico Correspondiente). **Juan Antonio Carrasco Juan**. 11 de julio de 2005. Amigos de la Cultura Científica.
18. *En torno a lo fundamental: Naturaleza, Dios, Hombre*. (Académico Correspondiente). **Javier Cabrera Pinto**. 22 de marzo de 2006. Amigos de la Cultura Científica.
19. *Materiales, colores y elementos arquitectónicos de la obra de César Manrique*. (Acto de Nombramiento como Académico de Honor a título póstumo de **César Manrique**). **José Manuel Pérez Luzardo**. 24 de abril de 2006. Amigos de la Cultura Científica.
20. *La Medición del Tiempo y los Relojes de Sol*. (Académico Correspondiente). **Juan Vicente Pérez Ortiz**. 7 de julio de 2006. Caja de Ahorros del Mediterráneo.
21. *Las estructuras de hormigón. Debilidades y fortalezas*. (Académico Correspondiente). **Enrique González Valle**. 13 de julio de 2006. INTEMAC.
22. *Nuevas aportaciones al conocimiento de la erupción de Timanfaya (Lanzarote)*. (Académico de Número). **Agustín Pallarés Padilla**. 27 de junio de 2007. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
23. *El agua potable en Lanzarote*. (Académico Correspondiente). **Manuel Díaz Rijo**. 20 de julio de 2007. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
24. *Anestesiología: Una especialidad desconocida*. (Académico Correspondiente). **Carlos García Zerpa**. 14 de diciembre de 2007. Hospital General de Lanzarote.
25. *Semblanza de Juan Oliveros. Carpintero – imaginero*. (Académico de Número). **José Ferrer Perdomo**. 8 de julio de 2008. Museo Etnográfico Tanit.
26. *Estado actual de la Astronomía: Reflexiones de un aficionado*. (Académico Correspondiente). **César Piret Ceballos**. 11 de julio de 2008. Iltre. Ayuntamiento de Tías.
27. *Entre aulagas, matos y tabaibas*. (Académico de Número). **Jorge Alfredo Reyes Betancort**. 15 de julio de 2008. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
28. *Lanzarote y el vino*. (Académico de Número). **Manuel Díaz Rijo**. 24 de julio de 2008. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.

29. *Cronobiografía del Dr. D. José Molina Orosa y cronología de acontecimientos conmemorativos.* (Académico de Número). **Javier Cabrera Pinto**. 15 de diciembre de 2008. Gerencia de Servicios Sanitarios. Área de Salud de Lanzarote.
30. *Territorio Lanzarote 1402. Majos, sucesores y antecesores.* (Académico Correspondiente). **Luis Díaz Ferial**. 28 de abril de 2009. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
31. *Presente y futuro de la reutilización de aguas en Canarias.* (Académico Correspondiente). **Sebastián Delgado Díaz**. 6 de julio de 2009. Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información.
32. *El análisis del tráfico telefónico: una herramienta estratégica de la empresa.* (Académico Correspondiente). **Enrique de Ferra Fantín**. 9 de julio de 2009. Excmo. Cabildo de Fuerteventura.
33. *La investigación sobre el fondo cósmico de microondas en el Instituto de Astrofísica de Canarias.* (Académico Correspondiente). **Rafael Reboló López**. 11 de julio de 2009. Instituto de Astrofísica de Canarias.
34. *Centro de Proceso de Datos, el Cerebro de Nuestra Sociedad.* (Académico Correspondiente). **José Damián Ferrer Quintana**. 21 de septiembre de 2009. Museo Etnográfico Tanit.
35. Solemne Sesión Académica Necrológica de Homenaje al Excmo. Sr. D. Rafael Arozarena Doblado, Académico Correspondiente en Tenerife. *Laudatio Académica* por **Francisco González de Posada** y otras *Loas*. 24 de noviembre de 2009. Ilte. Ayuntamiento de Yaiza.
36. *La Cesárea. Una perspectiva bioética.* (Académico Correspondiente). **Fernando Conde Fernández**. 14 de diciembre de 2009. Gerencia de Servicios Sanitarios. Área de Salud de Lanzarote.
37. *La “Escuela Luján Pérez”: Integración del pasado en la modernidad cultural de Canarias.* (Académico Correspondiente). **Cristóbal García del Rosario**. 21 de enero de 2010. Fundación Canaria “Luján Pérez”.
38. *Luz en la Arquitectura de César Manrique.* (Académico Correspondiente). **José Manuel Pérez Luzardo**. 22 de abril de 2010. Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
39. *César Manrique y Alemania.* (Académico Correspondiente). **Bettina Bork**. 23 de abril de 2010. Ilte. Ayuntamiento de Haría.
40. *La Química Orgánica en Canarias: la herencia del profesor D. Antonio González.* (Académico Correspondiente). **Ángel Gutiérrez Ravelo**. 21 de mayo de 2010. Instituto Universitario de Bio-Organica “Antonio González”.
41. *Visión en torno al lenguaje popular canario.* (Académico Correspondiente). **Gregorio Barreto Viñoly**. 17 de junio de 2010. Ilte. Ayuntamiento de Haría.

42. La otra Arquitectura barroca: las *perspectivas falsas*. (Académico Correspondiente). **Fernando Vidal-Ostos**. 15 de julio de 2010. Amigos de Écija.
43. *Prado Rey, empresa emblemática. Memoria vitivinícola de un empresario ingeniero agrónomo*. (Académico Correspondiente). **Javier Cremades de Adaro**. 16 de julio de 2010. Real Sitio de Ventosilla, S. A.
44. *El empleo del Análisis Dimensional en el proyecto de sistemas pasivos de acondicionamiento térmico*. (Académico Correspondiente). **Miguel Ángel Gálvez Huerta**. 26 de julio de 2010. Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid.
45. *El anciano y sus necesidades sociales*. (Académico Correspondiente). **Aristides Hernández Morán**. 17 de diciembre de 2010. Excmo. Cabildo de Fuerteventura.
46. *La sociedad como factor impulsor de los trasplantes de órganos abdominales*. (Académico de Honor). **Enrique Moreno González**. 12 de julio de 2011. Amigos de la Cultura Científica.
47. *El Tabaco: de producto deseado a producto maldito*. (Académico Correspondiente). **José Ramón Calvo Fernández**. 27 de julio de 2011. Dpto. Didácticas Espaciales. ULPGC.
48. *La influencia de la ciencia en el pensamiento político y social*. (Académico Correspondiente). **Manuel Medina Ortega**. 28 de julio de 2011. Grupo Municipal PSOE. Ayuntamiento de Arrecife.
49. *Parteras, comadres, matronas. Evolución de la profesión desde el saber popular al conocimiento científico*. (Académico Numerario). **Fernando Conde Fernández**. 13 de diciembre de 2011. Italfármaco y Pfizer.
50. *En torno al problema del movimiento perpetuo. Una visión histórica*. (Académico Correspondiente). **Domingo Díaz Tejera**. 31 de enero de 2012. Ayuntamiento de San Bartolomé
51. *Don José Ramírez Cerdá, político ejemplar: sanidad, educación, arquitectura, desarrollo sostenible, ingeniería de obras públicas viarias y de captación y distribución de agua*. (Académico Correspondiente). **Álvaro García González**. 23 de abril de 2012. Excmo. Cabildo de Fuerteventura.
52. *Perfil biográfico de César Manrique Cabrera, con especial referencia al Municipio de Haría*. (Académico Numerario). **Gregorio Barreto Viñoly**. 25 de abril de 2013. Ilte. Ayuntamiento de Haría.
53. *Tecnología e impacto social. Una mirada desde el pasado hacia el futuro*. (Académico Correspondiente). **Roque Calero Pérez**. 26 de abril de 2013. Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria.
54. *Historia del Rotary Club Internacional: Implantación y desarrollo en Canarias*. (Académico Correspondiente). **Pedro Gopar González**. 19 de julio de 2013. Construcciones Lava Volcánica, S.L.

55. *Ensayos en vuelo: Fundamento de la historia, desarrollo, investigación, certificación y calificación aeronáuticas*. (Académico Correspondiente). **Antonio Javier Mesa Fortún**. 31 de enero de 2014. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.
56. *El cielo nocturno de Fuerteventura: Recurso para la Ciencia y oportunidad para el Turismo*. (Académico Numerario). **Enrique de Ferra Fantín**. 20 de mayo de 2015.
57. *La Unión Europea ante las crisis internacionales*. (Académico Numerario). **Manuel Medina Ortega**. 24 de julio de 2015.
58. *Seguridad alimentaria y disruptores endocrinos hoy*. (Académico Correspondiente). **Antonio Burgos Ojeda**. 14 de diciembre de 2015.
59. *El Dr. Tomás Mena y Mesa: Médico filántropo majorero*. (Académico Numerario). **Arístides Hernández Morán**. 15 de diciembre de 2015.
60. *Callejero histórico de Puerto de Cabras - Puerto del Rosario*. (Académico Numerario). **Álvaro García González**. 20 de abril de 2016.
61. *El moderno concepto de Probabilidad y su aplicación al caso de los Seguros/Il moderno concetto di Probabilità e il suo rapporto con l'Assicurazione*. (Académico Correspondiente en Italia). **Claudio de Ferra**. 25 de julio de 2016.
62. *Comentarios históricos sobre la obra de Boccaccio. "De Canaria y de las otras islas nuevamente halladas en el océano allende España"*. (Académico Numerario). **Cristóbal García del Rosario**. 25 de julio de 2016.
63. «*"Literatura Viva"*, Una iniciativa en Lanzarote para fomentar la práctica de la *Lectura en Voz Alta*». (Académico Correspondiente). **Manuel Martín-Arroyo Flores**. 26 de julio de 2016.
64. *La herencia centenaria de un soñador. Huella y legado de Manuel Velázquez Cabrera (1863-1916)*. (Académico Correspondiente). **Felipe Bermúdez Suárez**. 17 de octubre de 2016.
65. *Propuesta para la provincialización de las islas menores del archipiélago canario*. (Académico Correspondiente). **Fernando Rodríguez López-Lannes**. 18 de octubre de 2016.
66. *Cambio Climático y Tabaco: El negocio está en la duda*. (Académico Numerario). **José Ramón Calvo Fernández**. 12 de diciembre de 2016.
67. *Los RPAS, un eslabón más en la evolución tecnológica*. (Académico Numerario). **Juan Antonio Carrasco Juan**. 30 de enero de 2017.
68. *La Seguridad de los Medicamentos*. (Académico Numerario). **José Nicolás Boada Juárez**. 31 de enero de 2017.
69. *Teoría de Arrecife*. (Académico Numerario). **Luis Díaz Feria**. 26 de abril de 2017.
70. *Sistemas críticos en aeronaves no tripuladas: Un ejemplo de optimización y trabajo en equipo*. (Académico Numerario). **Antonio Javier Mesa Fortún**. 28 de abril de 2017.

