

**ENSAYOS EN VUELO:
FUNDAMENTO DE LA HISTORIA,
DESARROLLO, INVESTIGACIÓN,
CERTIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN
AERONÁUTICAS**

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Correspondiente en Lanzarote por

D. Antonio Javier Mesa Fortún

el día 31 de enero de 2014

**ENSAYOS EN VUELO:
FUNDAMENTO DE LA HISTORIA,
DESARROLLO, INVESTIGACIÓN,
CERTIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN
AERONÁUTICAS**

Depósito Legal: G. C. 1.663-2013

Imprime: Realigraf, S. A.

Pedro Tezano, 26 - 28039 Madrid

**ENSAYOS EN VUELO:
FUNDAMENTO DE LA HISTORIA,
DESARROLLO, INVESTIGACIÓN,
CERTIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN
AERONÁUTICAS**

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Correspondiente en Lanzarote por

D. Antonio Javier Mesa Fortún

el día 31 de enero de 2014

Arrecife (Lanzarote), Hotel Lancelot

Índice

| | |
|--|-----------|
| I. Presentación. | 7 |
| II. Introducción. | 10 |
| II.1. Descripción de las actividades de ensayos en vuelo. | 10 |
| II.2. Certificación versus calificación. | 13 |
| II.3. Ensayos en vuelo: ¿Lujo o necesidad? | 14 |
| II.4. Ingeniero de ensayos en vuelo y su interacción con el resto de personal. | 15 |
| III. Historia. | 16 |
| III.1. Introducción. | 16 |
| III.2. Historia del vuelo. | 17 |
| III.3. Evolución de la aviónica y el software. | 22 |
| III.4. Evolución de los ensayos en vuelo a través del desarrollo aeronáutico. | 22 |
| III.5. Evolución de la documentación sobre ensayos en vuelo. | 25 |
| III.6. Organizaciones y centro de ensayos en vuelo. | 26 |
| III.7. Métodos de adquisición de datos. | 28 |
| III.8. Métodos de procesado y análisis de datos. | 30 |
| III.9. Simulaciones y simuladores. | 31 |
| III.10. Últimos logros en los ensayos en vuelo. | 32 |

I. Presentación

Excmo. Sr. Presidente.
Señoras y Señores Académicos.
Señoras y señores.
Queridos amigos hoy presentes.

Buenas noches.

Nos encontramos hoy aquí reunidos, ante tan entrañable auditorio, y al escribir mi discurso de ingreso en la Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote y dirigirme a ustedes, me vienen a mis recuerdos dos momentos gratos: mi estancia en Madrid y mi infancia en la Isla de Lanzarote.

De la primera resaltar que estuvo compuesta por mi etapa universitaria y posteriormente mi primera etapa profesional. En mis recuerdos se presentan mis asistencias a los discursos y actos que seguía en Madrid. Entre ellos, resaltar aquellos que estaban organizados por dos instituciones a las que solía acudir con frecuencia: la *“Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales”* y la *“Real Academia de Ingeniería de España”*.

De mi infancia en Lanzarote, remarcaré dos períodos. Mis estudios de E.G.B en el *“Colegio Público Antonio Zerolo”*, apenas a 500 metros de donde está noche nos encontramos, y los correspondientes a B.U.P en el *“Instituto Blas Cabrera Felipe”*.

Por último, mis recuerdos se van a los “Cursos de Verano de la Escuela de Pesca” organizados por el Centro Científico-Cultural Blas Cabrera Felipe, entidad precursora de la institución ante la que nos encontramos hoy.

Es por ello, que todos los mencionados recuerdos, me llevan a reflexionar sobre:

- La calidad de las exposiciones a las que he acudido en anteriores ocasiones, tanto en Madrid como en nuestra querida isla de Lanzarote.
- El entorno académico en el que desde mi infancia, se nos inculcaba a los estudiantes de los mencionados centros, la trayectoria de las figuras científico-culturales que Lanzarote había dado a la comunidad, con dos figuras del alcance de Blas Cabrera Felipe y Antonio Zerolo.

Y hoy me encuentro ante la Academia y ante ustedes, bajo el amparo de la figura de los hombres ilustres que Lanzarote ha dado y en especial bajo la figura de Blas Cabrera Felipe. Más por el aprecio y cariño que ustedes me han proporcionado, que por los méritos que yo pueda presentar, en comparación con la calidad de los recuerdos que les he mencionado. Completamente consciente de la responsabilidad que me habéis otorgado, por hacerme digno de la distinción que esta noche me otorgáis. Obligado con todos ustedes a presentar mi discurso de ingreso y consciente de la calidad que este tipo de actos llevan implícitos. Trataré de no desmerecer demasiado ninguna de las actuaciones análogas de mis compañeros Académicos que me han precedido.

Por todo ello, gracias a todos.

A la Academia por su generosidad. Gracias Francisco, Dominga y Domingo.

Al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial por hacer posible el patrocinio de este acto, haberme enseñado lo que profesionalmente soy y hacer que mi trabajo sea apasionante cada día.

A la Isla de Lanzarote por simplemente, estar ahí y ser como es.

A mis padres, por estar siempre apoyándome, pero especialmente por la educación que me han proporcionado.

Y a todos mis amigos presentes por estar aquí esta noche.

A la hora de seleccionar el título y contenido de mi discurso, se me presentaron y analicé variedad de opciones. Pero especialmente hay dos que se me vinieron a mis pensamientos: “*La Estación de Seguimiento de Maspalomas*” por su especial contribución a la ciencia aeroespacial y “*El Centro de Experimentación de El Arenosillo*” donde desarrollé mi labor profesional y actualmente envuelto en un ambicioso proyecto de expansión para la experimentación de sistemas aéreos no tripulados (UAV’s). El primero de ellos lo seleccioné por su cercanía “canaria”, mientras que el segundo por mi cercanía personal. No obstante, y tras reflexionarlo, consideré más apropiado que como mi primer acto en la Academia, debía de apostar por la tarea que he estado realizando profesionalmente: “Los ensayos en vuelo como base para una aviación cada día más segura y competitiva”. Dejo para posteriores ocasiones los dos temas mencionados para que entre mis compañeros y yo podamos ser capaces de mostrarles las capacidades amplias de ambos centros.

En el presente discurso se tratará simplemente de responder a una pregunta:

¿Por qué ensayamos en vuelo?

Estamos ante una tarea costosa en medios y en riesgos. Es por ello que la pregunta nos es gratuita ni superflua. Se tratará de exponer cómo el correr con estos riesgos está fundamentado a lo largo de toda la historia de la aviación. Inclusive, cuando la aeronáutica no era una realidad todavía, sino un deseo del hombre en igualar las capacidades de vuelo con las aves. Los ensayos en vuelo ya existían cuando el hombre anhelaba tal sueño.

Los ensayos en vuelo se justifican como una necesidad, tanto desde el punto de vista del cliente que adquiere la aeronave como de la agencia certificadora y calificadora de los programas aeronáuticos. Con ello se pasará a describir cómo han ido evolucionando a lo largo del poco más de un siglo de aviación que lleva discurriendo la ciencia aeronáutica, y como ha sido imprescindible su contribución al desarrollo de la aeronáutica.

Ensayar en vuelo lleva a cabo la puesta en marcha de un proceso que necesita una serie de requerimientos previos a la puesta en el aire de la aeronave en cuestión. Las metas son: cumplir los estándares de seguridad, cubrir los objetivos propuestos y la eficiencia de medios utilizados, personal y económica, durante el desarrollo de los mismos. Fruto de esta exigencia, se ha

desarrollado una metodología de ensayos, para que nada quede al azar y principalmente, la seguridad esté garantizada durante las pruebas. La experiencia en la materia a lo largo de los años ha consolidado una metodología que se ha ido afianzando, y que ha conducido a todos los estándares que actualmente se encuentran definidos. Al autor del presente escrito, le gusta remarcar siempre que la metodología de los ensayos es una secuencia rigurosa que, consolidada con el paso de los años y la experiencia, es un magnífico ejemplo para aplicar a cualquier disciplina tecnológica, científica o de producción. No hay que olvidar que las pruebas en vuelo, son tareas multidisciplinares que cubren todos los aspectos en que una aeronave deber ser segura y capaz de cumplir el cometido para el que ha sido diseñada: evaluaciones en vuelo, actuaciones, estabilidad y control, pérdidas, ensayos en tierra y cualidades de vuelo. Para este último caso remarcar la figura del piloto en el bucle de control de la aeronave, conduciendo así a la evaluación de las *“Handling Qualities”*. Además, por último, no hay que olvidar la integración de sistemas. Cada día con un peso más relevante en el desarrollo, certificación y calificación de aeronaves.

II. Introducción

II.1. Descripción de las actividades de ensayos en vuelo

Para comenzar a plantear el tema sobre Ensayos en Vuelo, el primer paso sería definir con claridad, qué se entiende por ellos. La misma palabra, Ensayos en Vuelo, parece dar una idea de su significado. Intuitivamente, puede entenderse como aquellas pruebas que son realizadas en vuelo a una aeronave. No obstante, quedarse en esta simple explicación, significa perderse la gran trascendencia que tienen para la industria, experimentación y desarrollo aeronáutico. Por ensayo en vuelo, se entiende cualquier prueba experimental a que se someta la aeronave, tanto en tierra como en el aire. Incluye todas aquellas valoraciones desde el momento de suelta de calzos hasta que son colocados de nuevo. Abarca experimentaciones en tierra: rodajes (*“taxis”*) y *pruebas estáticas en tierra (“ground tests”)* y pruebas en vuelo: *actuaciones, cualidades de vuelo, introducción del piloto en el control de la aeronave (“handling qualities”), evaluaciones de sistemas, evaluaciones en cabina y factores humanos*. Aún con esta definición, su relevancia sigue quedándose corta, si no son incluidos en ella los ensayos de todos los

sistemas, subsistemas y equipos que van embarcados en la aeronave para comprobar su integración correcta y segura. Comprenden tanto valoraciones objetivas y subjetivas.

La disciplina de ensayos en vuelo, tiene su origen en los primeros intentos del hombre por volar y se ha consolidado como consecuencia del desarrollo de la aviación.

La razón última de la necesidad de realizar ensayos en vuelo, se basa en:

- Imposibilidad de reproducir en tierra condiciones de vuelo, que aunque conocidas, no se puede evaluar más que en vuelo. Es el caso de las actuaciones, cualidades de vuelo de la aeronave en estudio, así como determinados ensayos de comportamiento ambiental.
- Incapacidad de obtener datos que permitan reproducir la condición de vuelo, mediante simuladores de vuelo. Como por ejemplo el comportamiento real ante ráfagas, condiciones de hielo, etc...
- Imposibilidad de simular el comportamiento de los sistemas, subsistemas y equipos a las distintas actitudes y condiciones de vuelo.
- La necesidad de valorar las interacciones entre los equipos en las condiciones de vuelo.
- El deseo de ampliar conocimientos en el campo aeronáutico. *“Para demostrar que algo vuela es necesario hacerlo volar”*. El ejemplo más relevante podemos encontrarlo en el nacimiento de la aviación. Los hermanos Wright consiguieron volar en 1903, tras repetidos intentos de “ensayos en vuelo” en Kitty Hawk. Obviamente tenían una amplia base de estudios realizados previamente, pero hasta que no pudieron comprobarlo experimentalmente no nació la aviación. No hubiesen servido de nada las evoluciones sobre papel si no se hubiese conseguido ponerlas en práctica. Por lo tanto, los ensayos en vuelo son una fuente enriquecedora de conocimientos para la ingeniería

aeronáutica y aeroespacial. Otro ejemplo bastante enriquecedor son los ensayos realizados con los aviones serie-X durante largos años.

- Avanzar, dentro de la industria, en el desarrollo de diseños. Encontrar sus fallos y mejorarlos.
- Comprobar, mediante vuelos de entrega, que los requisitos impuestos por el cliente, son satisfechos en cada uno de los aviones entregados. Son vuelos que se han de realizar, independientemente de los propios de los prototipos durante el proceso de desarrollo.
- Por último, la existencia de discrepancias entre los estudios teóricos y simulaciones con el comportamiento real de la aeronave.

Pero la cuestión más relevante de esta rama de la ingeniería aeronáutica, reside en que es fundamental para el desarrollo de cualquier proyecto aeronáutico. Cualquier diseño de este tipo, modificaciones futuras que se realicen en el mismo e investigaciones aeronáuticas, han de ser sometidos a dichos ensayos. Es el último y definitivo paso, para confirmar el éxito de un proyecto. Además, es un escalón de obligado cumplimiento en el desarrollo del proceso de certificación y calificación de una aeronave. Cualquiera que sea ésta, ha de verse sometida a un estricto plan de ensayos. Con ellos se garantizará la seguridad de la aeronave y que los requisitos exigidos por el cliente son satisfechos.

Los ensayos en vuelo son por lo tanto: una necesidad impuesta por la autoridad competente certificadora en materia aeronáutica, y un requisito por parte del cliente que adquiere la aeronave, tanto para el caso militar como civil. Si se trata de un proyecto de investigación, sin fines comerciales inmediatos, son la comprobación de los estudios realizados. Entramos así en las fases de I+D de un proyecto aeronáutico.

En cualquier caso, resaltar una máxima siempre vigente en la disciplina en estudio:

“Realizar siempre los ensayos en vuelo de manera eficiente, segura y económica”.

Antes de continuar, se considera de relevancia, realizar una aclaración relativa a los procesos de certificación y calificación de una aeronave. Con

frecuencia ambos procesos se confunden, y los ensayos en vuelo son parte importante de ambos. Es primordial tener claro su desarrollo y campo de aplicación.

II.2. Certificación versus calificación

Certificar una aeronave consiste en garantizar que las operaciones de la misma se realizan de forma segura. Para ello ha sido necesario establecer un organismo que se encargue de velar por ella. Es la denominada *autoridad certificadora*. Ésta tiene como finalidad garantizar, de forma responsable, la seguridad de las operaciones en tierra y en vuelo (dentro de la envolvente establecida) de la aeronave. La redacción de la normativa de seguridad y hacerla cumplir es su misión. Durante todo el proceso de diseño de aeronaves, en actualizaciones de las mismas o en proyectos de investigación aeronáutico, está velando por su cumplimiento. Finalizado éste, emite el correspondiente certificado de aeronavegabilidad, que garantiza las operaciones seguras de la aeronave. A su vez, a lo largo de su desarrollo se encarga de emitir los certificados provisionales y de experimentación.

En el otro lado, se encuentra el proceso de calificación. Éste es resultado de una relación entre cliente e industria, que no compete a la autoridad, a no ser que sea requerida por encargo del primero. Son ambas partes, las que decidirán entre ellas, cómo se satisfarán las necesidades y requisitos impuestos por el cliente. La autoridad certificadora, metida en su único papel de certificador, no ha de tomar parte ni postura en el proceso calificador.

Como ejemplo clarificador se va a presentar el siguiente caso: un ensayo de reabastecimiento en vuelo. A la autoridad certificadora, le compete comprobar que la operación se realiza con los parámetros de seguridad establecidos por su norma. Por ello, en la realización del ensayo, estará pendiente de que en todo momento la maniobra sea segura. Supongamos ahora, que la maniobra se ha realizado, con numerosos intentos para “engancharse con el avión cisterna” y con muchísima dificultad por parte del piloto, pero en ningún momento se han transcendido los límites de seguridad. En este caso, desde el punto de vista de certificación, se puede emitir una sanción positiva. Desde la posición del calificador (o del cliente), se considera que no es apta, puesto que la probabilidad de obtener éxito en la maniobra es muy baja.

Puede llevar a confusión que en muchas ocasiones, sobre todo en el caso militar, la autoridad de aeronavegabilidad realiza por encargo del cliente, las funciones de calificación. Por lo tanto, hay que tener presente en todo momento qué papel está jugando ésta. En el caso civil no suele producirse esta situación. La autoridad certificadora es la de aviación civil de cada país, mientras que la calificación corre a cargo de las aerolíneas. El papel de certificación, única y exclusivamente, se orienta hacia la seguridad de las operaciones.

II.3. Ensayos en vuelo: ¿Lujo o necesidad?

Realizadas todas las presentaciones previas, se considera la siguiente cuestión: *¿Los ensayos en vuelo: una necesidad o un lujo en la ingeniería aeronáutica?* El motivo de este planteamiento reside en que a menudo, la industria aeronáutica trata de reducir los ensayos en vuelo y la formación de su personal, debido a su lógico alto coste.

Parece obvio que con los datos presentados, es una necesidad dentro de la industria aeronáutica. Pero, ¿hasta dónde, los recursos invertidos cruzan la frontera del lujo? En cuanto a la realización de las pruebas necesarias, se deben orientar hacia minimizar su coste. Para ello se tratarán de agrupar en lo posible los ensayos a realizar, en el mínimo número de vuelos y test posibles. Sobre toda esta teoría, la postura que siempre ha de imperar es que, hasta que no son satisfechos todos los requisitos, no se han de dar por finalizados los ensayos en vuelo.

El otro punto que desata siempre la polémica, reside en la formación de los ingenieros y pilotos de ensayos en vuelo. Tradicionalmente, ha sido la industria militar, la que ha destinado grandes fondos a la realización de costosos cursos de formación. El campo civil se ha “alimentado” de personal formado a costa de su hermano militar. Actualmente, la única administración que reconoce la oficialidad de formación para realizar ensayos en vuelo, es la francesa. En función de la titulación obtenida en la prestigiosa EPNER (*Ecole du Personnel Navigant d'Essais et de Réception* en Istres), los ingenieros y pilotos graduados en ella, pueden realizar ensayos amparados por una normativa. De entrega y de expansión de envolvente en uno de las titulaciones posibles, y solo de entrega para la otra. El resto de países no poseen una legislación sobre el tema. Ante esta falta de imperativo legal, es por ello que las industrias miran con recelo invertir en costosos cursos. Para salvar sus

necesidades, se nutren de los profesionales con formación militar y/o cuentan con personal que se ha formado a base de la propia experiencia profesional.

Cabe destacar que Reino Unido y Estados Unidos, no poseen una normativa en la misma línea que la regulación francesa. No obstante, los tres centros de formación que entre ambos países poseen, se encuentran reconocidos por la legislación francesa, y sus titulaciones son válidas, para llevar a cabo ensayos en territorio francés, por personal formado en ellas.

La Agencia Europea de Seguridad Aérea, se encuentra actualmente en proceso de elaboración de una normativa que recoja la formación y reglamentación para el desarrollo de los ensayos en vuelo.

II.4. Ingeniero de ensayos en vuelo y su interacción con el resto de personal

La figura del ingeniero de ensayos en vuelo es a menudo usada en un amplio abanico dentro de la literatura. Pero dentro de las personas que trabajan en la materia, se le considera como la persona responsable de coordinar y gestionar todas las actividades que son necesarias para llevar a cabo un determinado ensayo en vuelo. Entre sus atribuciones destaca la de realizar el plan de ensayos que se llevará a cabo, coordinando la opinión de los pilotos de ensayo, especialistas de cada sistema involucrado, responsables de instrumentación, adquisición y tratamiento de datos, así como del personal de mantenimiento de la aeronave. Velará en cada momento por la correcta realización del ensayo durante su ejecución. Finalmente, deberá analizar los resultados obtenidos y sacar las conclusiones pertinentes para transmitirlos a los especialistas involucrados.

Cabe resaltar, que el punto más importante a la hora de valorar la figura del personal involucrado en unos ensayos en vuelo, es el trabajo en equipo. Puede parecer un tópico, pero en este caso no lo es. El motivo es que detrás de todo el trabajo está siempre presente la seguridad del vuelo. Es el factor prioritario, a la hora de tomar las decisiones a lo largo del mismo. Cualquiera de los miembros responsables que van embarcados en la aeronave, poseen la autoridad, si lo considera oportuno, para cancelar la maniobra y transmitírselo así al Conductor de Ensayos. Posteriormente serán evaluadas las causas, pero en ningún momento se pondrá en duda la decisión tomada por dicho miembro del equipo. La tripulación de ensayo, estará formada por los distintos especialistas del vuelo: piloto, ingeniero, mecánico y experimentador. Cada uno de ellos posee su propia responsabilidad.

III. Historia

III.1. Introducción

La historia de los ensayos en vuelo, se ha venido desarrollando a la par que la historia de la aviación. Los grandes hitos de ésta, han estado en conexión con esta disciplina empírica. En un siglo de historia aeronáutica, el hombre ha tratado de mejorar los diseños de aeronaves, tratando de aumentar su capacidad de carga, su alcance y autonomía, su rentabilidad y sobretodo a partir de la crisis del petróleo del año 1974, tratando de buscar un consumo de combustible menor.

En las primeras épocas, los pioneros de la aviación eran capaces de combinar en sus “competencias” varias disciplinas: estudios aerodinámicos, materiales, constructores de la estructura y algunas veces hasta constructores de motores, como fue el caso de los hermanos Wright. Por supuesto eran pilotos de ensayos, que debían testar sus propios logros. Además, debían adoptar la figura del ingeniero de ensayos organizando éstos, y analizando los datos obtenidos en el desarrollo de la prueba. La disciplina de ensayos en vuelo no era por tanto una excepción, y se encontraba asignada a las mismas personas que desarrollaban el resto del proyecto.

Con el pasar de los años, la tecnología aeronáutica ganó en complejidad. No era posible que un pequeño equipo fuese responsable de todos los avances que se producían. Aparecieron así las especialidades dentro de la industria y el desarrollo aeronáutico. Como una de ellas, surgió el especialista de ensayos en vuelo, definiendo la figura del piloto especialista en ensayos en vuelo y el ingeniero del mismo nombre. A lo largo de los años, la figura de este último ha ido cambiando de forma considerable, mientras que la del piloto ha sido más tradicional y se ha mantenido.

Ante esta situación, se puede plantear la cuestión: ¿Quién fue el primer ingeniero de ensayos en vuelo? Con la información histórica de que se dispone, podría contestarse que los hermanos Wright, debido a que fueron los artífices del primer vuelo de la historia, que además puede ser considerado como uno de ensayo. Por otro lado, se podría pensar en Otto Lilienthal, debido a ser prácticamente el primero en realizar trabajos empíricos, a pesar de no conseguir volar tal y como se entiende hoy. No obstante, tal y como entendemos actualmente la figura del especialista de ensayos en vuelo, se

deberían considerar a ingenieros del final de los años 20, acordes con la mentalidad de la época, con la “*Belle Époque*”.

A continuación, y antes de entrar en temas puramente técnicos se realizará un análisis histórico previo. Se considera interesante, para entender la evolución de la disciplina de ensayos en vuelo. En él se tratarán levemente la historia del vuelo, la evolución de las aeronaves y sus sistemas. Además se presentará la progresión de la profesión del ingeniero aeronáutico, acorde con los hitos aeronáuticos que se hayan ido logrando desde el primer vuelo en 1903, resaltando los medios con los que ha contado en cada momento.

Como colofón habría que resaltar la gran evolución que ha sufrido la aviación desde el importante hito de 1903. A la par ha ido la profesión del ingeniero aeronáutico de ensayos en vuelo (FTE). No obstante, destacar que por mucho que hayan evolucionado los sistemas de adquisición y tratamiento de datos, la figura del FTE no debe caer olvidada en un simple observador y procesador de estos datos. Sus conocimientos ha de ponerlos en práctica analizando y razonando los resultados obtenidos. Los adelantos con los que cuenta son una herramienta de indudable valor, pero solo un medio para valorar.

III.2. Historia del vuelo

Existen numerosas referencias históricas sobre los hechos en los que el hombre ha intentado el vuelo. Algunas de ellas mitológicas, como es el caso de Ícaro. Pero parece no haber acuerdo sobre cuándo se produjo el primer vuelo. Algunos historiadores consideran el “vuelo planeado” de un monje de la abadía de Malmesbury, en Reino Unido en torno al año 1000. Otros recurren a la figura de Leonardo da Vinci, en torno al año 1500. Sus trabajos sobre la teoría del vuelo le condujeron a realizar diseños de máquinas voladoras y rotores similares a los del helicóptero. En el otro lado de la historia, se encuentran los hermanos Montgolfier, artífices de la primera ascensión en globo mediante aire caliente. En Reino Unido, a comienzos del siglo XIX, se consiguió realizar un vuelo en planeador diseñado por Sir George Cayley. Su diseño contribuyó de forma decisiva, pues fue el primero que planteó la configuración de un fuselaje al cual se arriestraba un ala y una cola estabilizadora, tal y como actualmente llevan instaladas las aeronaves convencionales. Además consiguió grandes avances como el uso de perfiles con curvatura para conseguir mayor sustentación, o el ángulo de diedro para producir una mayor estabilidad lateral.

El conocido ingeniero alemán Otto Lilienthal, consiguió grandes avances que posteriormente han alimentado el desarrollo de la aeronáutica a lo largo de sus más de 100 años de historia. Sus progresos se produjeron en conceptos tales como: la sustentación, resistencia y estabilidad de los flujos de aire. Sus resultados fueron recopilados en la obra *“El vuelo de las aves como la base para el arte de volar”*, publicado en 1889. Entre los años 1891 y 1896, con el apoyo de su hermano realizó en torno a 2000 vuelos con modelos de planeadores. Llegaron a conseguir “vencer” una distancia de 350 metros. Contemporáneos a Lilienthal, fueron los trabajos del alemán Daimler y del francés Levasseur. Sus trabajos condujeron al desarrollo de motores de combustión interna forzada, que Otto instaló en sus planeadores. Los ensayos llevados a cabo tuvieron fatales consecuencia. En 1896 sufrió un accidente que le causó la muerte. Su trabajo no fue en vano, pues sirvió de base para que los hermanos Wright, Orville y Wilbur, logran la consecución del primer vuelo propulsado y controlado de la historia. Éste tuvo lugar el 17 de diciembre de 1903. Por lo que hace unos días celebramos el CX Aniversario del nacimiento de la aviación. Tras él realizaron un segundo desplazamiento en el cual el *“Flyer”*, así se llamaba la aeronave, quedó seriamente dañado.

Los hermanos Wright lograron solucionar los problemas en aerodinámica, estructura, materiales, propulsión, estabilidad y control, que hasta ese momento se habían presentado. De especial relevancia fue el logro de reducir el peso del motor, trascendental para conseguir la relación potencia-peso necesaria. Tras el primer vuelo, continuaron durante varios años desarrollando la investigación aeronáutica, acompañada siempre de sus correspondientes ensayos. Consiguieron así perfeccionar el diseño inicial y obtuvieron los permisos correspondientes en USA y Europa para mostrar el *“Flyer”* en público. En una de ellas, en Alemania, Wilbur consiguió permanecer en el aire durante 2 horas y 20 minutos, alcanzando una altura de 400 ft. Ocurrió en 1908.

El honor de volar por primera vez en Francia le correspondió al brasileño Santos-Dumont, en 1906 en las cercanías de París. El francés Louis Blériot fue el primer aviador en cruzar el Canal de la Mancha. La primera operación desde la cubierta de una embarcación, data de 1910 en USA.

Entre toda esta consecución de hitos, empezaron a surgir aviadores y empresas aeronáuticas en Europa. Muchos de estos pioneros de la aviación, desarrollaban y construían sus propias aeronaves. Las industrias comenzaron a

proliferar rápidamente desarrollando aeronaves construidas a partir de madera, cables e incluso tubos metálicos. El primer encargo relevante se correspondió con los aviones de reconocimiento encargados por el ejército francés, data de 1910. Un año más tarde, el holandés Anthony Fokker puso en vuelo su primera aeronave. Significó la semilla de una de las importantes industrias aeronáuticas de la historia.

Con el pasar de los años, la aeronáutica era ya una realidad. Las naciones tuvieron que comenzar a posicionarse de forma oficial respecto a ella. Surgen así las primeras organizaciones y autoridades aeronáuticas. En 1909 se formó en el Reino Unido la “*Advisory Committee for Aeronautics*”. En USA se fundó en el año 1915 la *Advisory Committee for Aeronautics* (NACA).

Durante el desarrollo de la primera guerra mundial, el uso de aeronaves en combate propició un desarrollo importante de las tecnologías aeronáuticas. Su uso no fue trascendente para la consecución de grandes logros militares, aunque sí contribuyó de forma importante a las tareas de reconocimiento. Se construyeron 200.000 aviones, de los cuales sólo 48.000 en Alemania. Cuando finalizó el enfrentamiento bélico, existían una gran cantidad de aeronaves remanentes. Es por ello que no es casualidad que las grandes aerolíneas que ahora mismo existen, fuesen fundadas en la posguerra. Además de otras grandes que han desaparecido con los años.

El papel de Anthony Fokker, fue fundamental en el desarrollo de la aeronáutica europea. Su cooperación con los alemanes durante el conflicto bélico, condujo a que tuviese que trasladarse a Holanda. Logró evadirse con material aeronáutico. Con él y sus conocimientos, fundó la conocida empresa holandesa en 1919.

De la misma fecha data el primer vuelo a través del Océano Atlántico, a bordo de un bombardero Vickers Vimy modificado.

A lo largo de la “*Belle Époque*”, el desarrollo de la industria aeronáutica fue importante. Al comienzo de la década las cabinas de mando poseían sólo tres instrumentos: tacómetro, indicador de velocidad respecto al aire y altímetro. Al finalizar poseían más de diez. Se introdujeron las comunicaciones y la variación de incidencia de las hélices. Para el desarrollo de los vuelos de ensayo, se añadieron indicadores de temperatura y barométricos. Se realizó el primer vuelo “instrumentado”, en condiciones de

baja visibilidad. Para ello se recurrió a un horizonte artificial estabilizado por giróscopo, a giróscopos y un altímetro barométrico.

En el año 1927, se realizó el primer vuelo sin paradas a través del océano Atlántico. El autor del logro fue Charles Lindbergh.

Durante la década de los treinta los hitos más destacados fueron:

- Se construyó la primera aeronave completamente de metal.
- Se instalaron los primeros sistemas antihielo y para deshelar.
- Aparecieron los trenes de aterrizaje retráctiles y los flaps. Ambos operados por sistemas de actuación hidráulicos.
- Comenzaron a aparecer los pilotos automáticos operados por sistemas neumáticos o hidráulicos.
- Aparecieron las antenas fijas para comunicaciones.
- Entraron en funcionamiento los motores radiales refrigerados por aire y con menos resistencia aerodinámica.
- Comienza el uso de los generadores eléctricos arrastrados por el propio motor.
- Las superficies de control comienzan a ser actuadas por mecanismos hidráulicos mediante servos.

Uno de los grandes logros de la década se consiguió en el campo de la propulsión. En 1939 se produjo el primer vuelo a reacción. Tuvo lugar en Alemania, a bordo de un demostrador Heinkel HE 178. El logro se debe a Von Ohain. No obstante, no hay que olvidar los trabajos contemporáneos en el mismo campo del británico Frank Whittle. Éste fue considerado uno de los padres de la propulsión a reacción. Su primer diseño fue puesto en vuelo en 1941, a bordo de un Gloster E28/39. Durante la década de los cuarenta, con la Segunda Guerra Mundial como escenario, Alemania consiguió desarrollar trece tipos de aviones a reacción, aunque solamente como desarrollo tecnológico, pues el número de unidades era escaso. Lideró así el comienzo de la era a reacción.

El desarrollo del campo propulsivo, durante la Segunda Guerra Mundial, vino acompañado por el que experimentó el de la aviónica. Varios sistemas fueron desarrollados. Cabe destacar por su trascendencia el RADAR (Radio Detection and Ranking). Todos esos sistemas sirvieron además como predecesores de muchos actuales utilizados tanto en aviación civil como militar. Nuevamente una guerra aceleró el proceso de desarrollo de la aviación, como había ocurrido en el primer gran conflicto bélico.

Dos años después de la finalización de la confrontación, se produjo otro hecho relevante. La barrera del sonido fue rota, consiguiéndose el primer vuelo supersónico de la historia. Se produjo el 14 de Octubre de 1947, a bordo de un Bell X-1. Estaba tripulado por Check Teager y despegó de la base aérea de Edwards (USA), escenario éste de grandes desarrollos aeronáuticos.

La experiencia en las operaciones de los bombarderos de largo alcance, permitió desarrollar aviones de pasajeros que inicialmente iban propulsados por motores alternativos. En el campo civil, el primer avión propulsado por un aeroreactor, data del 27 de julio de 1949. Se trataba del modelo británico De Havilland D.H.106 Comet. Hasta el año 1952, no tuvo lugar el primer vuelo con pasajeros comerciales a bordo. Este avión, marcaría un hito relevante en la historia de la aeronáutica. La pérdida de varias unidades de forma catastrófica, permitió el descubrimiento de un concepto estructural hasta ese momento desconocido, la fatiga. Los posteriores estudios sobre el tema, han conseguido que este sea un fenómeno completamente controlable.

Los problemas con el Comet, condujeron a que Europa perdiera la carrera en la supremacía hacia el transporte de pasajeros mediante aviones a reacción, a favor de USA. No obstante, en enero del año 1969 se produjo un evento destacado en la carrera aeronáutica. El primer avión supersónico, Tupolev Tu-144 para uso civil realizó su primer vuelo. Dos meses más tarde lo hacía el prototipo anglo francés Concorde, fruto del acuerdo de cooperación entre British Aerospace y French Aérospatiale. El modelo ruso sufrió un accidente con trágicas consecuencias, lo que condujo a la suspensión del programa. Además, los desarrollos americanos en el campo civil supersónico debieron claudicar ante la supremacía del Concorde. La Europa occidental ganaba así la carrera para el transporte supersónico de pasajeros. No obstante, diversos motivos de tipo económico y técnico, condujeron a que fracasara tres décadas después.

En todo este contexto histórico, las industrias aeronáuticas que dominaron el mercado civil fueron las americanas Boeing, McDonnell Douglas and Lockheed. A comienzo de los setenta, se les unió el consorcio europeo Airbus formado por las industrias aeronáuticas francesa, alemana, británica y española.

III.3. Evolución de la aviónica y el software

El desarrollo de los avances “tradicionales” en materia aeronáutica: aerodinámica, estructuras y propulsión, se ha visto complementado en los últimos veinticinco años por el desarrollo de la electrónica embarcada (aviónica) y del software con el mismo calificativo. Se considera a éstos un subsistema dentro de la aeronáutica.

De forma gradual desde la década de los setenta, se han ido implementando sistemas electrónicos que han ido, primero apoyando y después reemplazando, diversos sistemas del avión. Estos pasaron a estar actuados por dispositivos electromecánicos.

III.4. Evolución de los ensayos en vuelo a través del desarrollo aeronáutico

En el comienzo de la aeronáutica, los ensayos en vuelo trataban siempre de responder a las preguntas:

- ¿Qué distancia he logrado recorrer en el aire?
- ¿Qué velocidad he logrado alcanzar?
- ¿Qué altura he conseguido alcanzar?
- ¿Cuánto tiempo he logrado permanecer en el aire, en vuelo controlado?

Como ya ha sido comentado a lo largo de este documento, los experimentadores de los primeros años no se les puede considerar como ingenieros de ensayos en vuelo, tal y como los conocemos hoy en día. Una sola persona realizaba al mismo tiempo el papel de diseñador, constructor, mecánico de mantenimiento, piloto, ingeniero de ensayos, etc... Durante la primera treintena del siglo XX, los ensayos en vuelo estuvieron dedicados exclusivamente a comprobar actuaciones, estabilidad y control de la aeronave.

En lo relativo a sistemas, sólo se realizaban comprobaciones relativas a la propulsión y al control, pero que no dejaban de estar intrínsecamente relacionadas con las tres disciplinas anteriores. Como caso excepcional a ellas, cabría citar el estudio y ensayo de armamento embarcado, que permitía realizar disparos a través de la hélice. Para ello era necesario sincronizar los disparos con el sistema propulsor. Además se probó la instalación de cámaras que permitían el reconocimiento aéreo.

Hasta el comienzo de la primera guerra mundial, los hitos aeronáuticos vinieron marcados como el empeño personal de unos pocos entusiastas. Ellos mismos corregían los cuantiosos problemas técnicos que se les presentaban. En pleno desarrollo del conflicto bélico, numerosas aeronaves fueron puestas en servicio. Éstas fueron operadas por pilotos, sin formación técnica en aeronáutica. Se enfrentaron a numerosas deficiencias técnicas con los consiguientes problemas que llevaban consigo. Dado el contexto internacional en el que se estaban moviendo, las presiones para solucionarlos eran altas. Ello condujo a que durante las décadas de los 20 y los 30 se despertase un especial interés por las cuestiones aeronáuticas. Se produjo un gran avance en el desarrollo de aplicaciones matemáticas para describir los fenómenos aerodinámicos (campos fluidos, sustentación, resistencia, capa límite, etc...). En concreto hubo grandes contribuciones al campo de la estabilidad del avión, especialmente de Gates & Lyon en Reino Unido.

Como ya se ha comentado, la actual figura del ingeniero de ensayos en vuelo surgió en torno a esa época, en torno al final de los años 20. El origen de la ingeniería de ensayos como disciplina, se debió al desarrollo de la teoría del vuelo en general. En particular por los importantes avances que se produjeron en la estabilidad y el control, y en los desarrollos científico-matemáticos. Estos últimos serían una gran base para predecir el comportamiento de un determinado diseño de aeronave. Posteriormente a su evaluación, debían ser testeados en vuelo.

Los avances en la teoría de la aerodinámica, podían ser comprobados mediante ensayos a escala en túneles de viento. No obstante, la validación de aeronaves en su conjunto, requería ensayos a escala real en vuelo. En los primeros hitos, la aportación del piloto bastaba para proceder a su comprobación. La complejidad que fueron ganando los requisitos impuestos, y el avance de la tecnología, precisó la presencia del ingeniero de ensayos en vuelo, para complementar la figura del piloto. Básicamente su papel consistía

en la recolección de datos de medición, con una más que básica instrumentación de ensayos. Su papel se encontraba entre la teoría y la práctica. Por un lado suministrando en todo momento aportaciones al diseñador, y por el otro tomando las decisiones técnicas que concurrían en el ensayo. Sus conclusiones, eran de tipo empírico, mientras que las valoraciones del piloto, eran la aportación subjetiva de las cualidades de vuelo de la aeronave. Además este último tenía la responsabilidad del desarrollo del vuelo y su seguridad.

Con el tiempo, el papel del ingeniero de ensayos en vuelo, se vio reforzado con la introducción de las normativas referentes a las cualidades de vuelo. MIL-SPECs y Federal Aviation Regulations (FAR) en Estados Unidos, AvP 970 en el Reino Unido y las Joint Airworthiness Regulations (JAR) en Europa. La aportación de estos reglamentos influyó decisivamente en los que por aquel entonces eran los futuros programas de ensayos en vuelo.

Además, se produjeron grandes desarrollos en los diseños de las aeronaves y en los equipos que se fueron añadiendo a éstas. Esta circunstancia condujo al despegue definitivo de la figura del ingeniero de ensayos así como de su disciplina. La razón está en que todas estas nuevas tecnologías había que ir comprobándolas de forma empírica, en distintas condiciones de vuelo reales.

Los ensayos relativos a sistemas, empezaron a ir ganando un porcentaje importante en el cómputo global de los ensayos en vuelo. Este punto de inflexión fue más acentuado cuando los sistemas electrónicos hicieron su aparición, debido a su naturaleza.

Fue necesario desarrollar nuevas técnicas de ensayo, en colaboración con los especialistas de cada uno de los sistemas. Se produjo así el gran despegue de la disciplina. Las nuevas exigencias de tipo estructural, de los equipos electrónicos embarcados, y de la estabilidad y control de la aeronave, propiciaron que la figura del FTE no bastase para llevar a cabo los ensayos. Comenzó su dependencia en los especialistas.

Llegados a este punto, con el desarrollo de las tecnologías involucradas en la aeronáutica, y la complejidad en los procesos de diseño, el FTE se transforma en la persona encargada de coordinar las actividades que se ven involucradas en el desarrollo de ensayos. El FTE se comenzó así a convertir en un gestor técnico de los programas de ensayos en vuelo, con la

responsabilidad de determinar los puntos de ensayo y sus especificaciones técnicas, basadas en los requisitos de los especialistas. Asimismo, recaían sobre él realizar el análisis de datos y su interpretación de los resultados, que son reportados a cada uno de los especialistas que se ven afectados por el ensayo.

El desarrollo de las técnicas de ensayos en vuelo, recibió su mayor empuje durante la segunda guerra mundial. Además, al finalizar ésta los trabajos continuaron, como consecuencia de la situación mundial que se produjo y mantuvo durante largos años.

III.5. Evolución de la documentación sobre ensayos en vuelo

Tempranamente con el nacimiento de la aviación, comienza la aparición de las primeras publicaciones en las que se recogen la teoría y la práctica de la aeronáutica. Es en torno a 1909 cuando comienzan a publicarse. El *Advisory Committee for Aeronautics* (U.K.) editó los *Reports & Memoranda* (R&M) los cuales recogían todas las disciplinas que estaban afectadas por la incipiente ciencia aeronáutica. Sus autores eran tanto teóricos como personas que ensayaban sus diseños. Casi todos ellos provenían de la *National Physical Laboratory* y de la *Royal Aircraft Factory*. Los primeros R&M versaban sobre temas de estabilidad de aeronaves. Trabajos éstos debidos a Bryan, Feber, Lanchester, Soureau, Bairstow y Nayler. Durante las décadas de los 20 a los 40 el estudio de la estabilidad fue muy relevante. Las técnicas de ensayos en vuelo, son recogidas en algunos de ellos, tratando desde la teoría general de ensayos hasta la interpretación de resultados de ensayos acerca de la estabilidad de la aeronave. Su relevancia queda manifiesta en que por ejemplo uno de ellos sentó las bases para la técnica de ascenso en aeronaves de combate de altas prestaciones, propulsadas por aerorreactores. Los R&M fueron usados por numerosos autores como material bibliográfico para la edición de numerosos estudios en aeronáutica.

Por el otro lado, en USA también se fueron editando publicaciones. Uno de los primeros libros acerca de los ensayos en vuelo fue "*Notes on practical Airplane Performance Testing*" de G.B. Patterson en 1919. Fue orientado como una descripción de los procesos para llevar a cabo ensayos en vuelo. Conseguía así una estandarización de los procedimientos. Contemporáneo a esta documentación, es la publicación NACA Report N. 70, titulado "*Preliminary Report on Free Flight Tests*". Sus autores son E.P. Warner y F.H. Norton. Otras publicaciones de interés de aportación

americana, que contribuyeron a la estandarización de los procedimientos de ensayos en vuelo son:

- ✓ *Flight Testing of Aircraft*. E.H. Barksdale. Air Service Engineering School. Ohio, 1926.
- ✓ *"A manual of Flight Test Procedure"*. W.F. Gerhardt & L.V. Kerber. University of Michigan, 1927.
- ✓ *"Flight Test Manual"*. E.L. Pratt. Air Corps Material Division. Ohio 1928.

Al amparo de estas primeras publicaciones, fueron bastantes las generaciones de ingenieros aeronáuticos que se formaron en las universidades. Muchos de ellos desarrollaron su labor en tareas de ensayos, contribuyendo al establecimiento de esta disciplina en los modos en que ya han sido comentados.

Un punto de inflexión fue la publicación al final de los años cuarenta del título *"Application and Prediction of Flying Qualities"*, de William Philips. La importancia de este texto radica en la descripción que realiza, acerca de la valoración de las cualidades de vuelo en términos cuantitativos. Hasta ese momento, los diseñadores de aviones sólo contaban con la opinión subjetiva del piloto, en términos cualitativos, para contrastar con los análisis de diseño y experimentales en túnel de viento. A raíz de este texto, aparecieron varias publicaciones acerca de cuestiones aerodinámicas, que realizaron una gran aportación a los FTE's. Algunos de ellos son "Airplane Performance Stability and Control" de Perkins & Hage, y "Aerodynamics of the Helicopter" de Gessow & Myers.

El primer texto que como tal puede ser considerado estrictamente como un documento de ensayos en vuelo, data de 1946. Su título, simplemente la propia disciplina, "Flight Testing", de Benson Hamlin.

III.6. Organizaciones y centro de ensayos en vuelo

Nuevamente los británicos fueron los primeros en fundar un centro de ensayos en vuelo. Fue en Farnborough, por la *Royal Aircraft Factory*, en 1911. Asimismo el primer centro de instrucción se fundó en Upavon, en 1914, el Central Flying School. Ambos centros posteriormente se integraron en la

Aeroplane and Armament Experimental Establishment con sede en Martlesham Heath en 1917. Finalmente fue trasladado a sus instalaciones actuales en Boscombe Down al finalizar la segunda guerra mundial.

En el lado germano, instalaciones similares se fundaron en Göttingen de forma contemporánea.

En lo que respecta al caso de USA, su primer centro de ensayos se estableció en 1917 en McCook Field, Ohio. Fue propiciado por la “*US Army Airplane Engineering Department*”. Al finalizar la primera guerra mundial, sus instalaciones contaban con una plantilla total de 23000 empleados. A éste se le unió el Wright Field, también en Ohio. Ambos centros estuvieron en activo hasta el final de la segunda guerra mundial. En lo que se refiere a la Navy, fundó su primer centro de ensayos en vuelo en 1918, en Anacostia Naval Air Station. Por otro lado, la US NACA fundó sus instalaciones de ensayos en 1927, en Langley. Posteriormente se fundó el centro de la USAF en Edwards, California.

Hay que resaltar que estas instituciones eran todas de carácter militar. Además hay que considerar que todas las industrias aeronáuticas contaban con su propio departamento de ensayos en vuelo.

En lo que se refiere a las escuelas de ensayos en vuelo propiamente dichas, con una enseñanza reglada, su origen se debe a la alta demanda de pilotos e ingenieros que se produjo durante la segunda guerra mundial. Todas ellas de origen militar. Se fundó en U.K. la “*Test Pilot School*”, en Boscombe Down en 1943. Actualmente se encuentra en activo bajo la denominación Empire Test Pilot School (ETPS), bajo una gestión mixta de capital público del ministerio de defensa y de la empresa privada QinetiQ. El caso americano posee dos escuelas. Por un lado la US Army Air Force’s Flight Test Training Unit fue fundada en 1944 en Ohio. Posteriormente fue trasladada a la Edwards Air Force Base (AFB) en 1951. La Navy fundó su propio centro de Instrucción en Patuxen River, en Maryland.

La última escuela de carácter militar fue fundada en Francia, la “*Ecole du Personnel Navigant d’Essais et de Réception (EPNER)*”, en Istres.

Todas estas escuelas reciben la denominación de: *Escuela de pilotos de ensayos en vuelo*. No obstante, la formación es conjunta para pilotos e ingenieros, y está orientada a incentivar el trabajo en equipo piloto-ingenero.

Así cada uno de ellos debe conocer el role que desempeña el otro miembro del equipo y sus procedimientos de trabajo. En cualquier caso el trabajo en equipo está siempre como fondo de la formación. No en vano, los ensayos en vuelo tienen una alta componente de colaboración e integración del personal en el ensayo. No hay que olvidar que la seguridad del vuelo es el factor que domina ante cualquier decisión a tomar, premeditada o imprevista.

El primer curso de graduados para ala fija, fue impartido en las instalaciones de la USAF de Edwards en 1973, seguido por el de la ETPS en 1974. El caso de aeronaves de alas rotatorias comenzó en 1975, en las mismas instalaciones. Con ello, la formación en ensayos en vuelo, comenzó a ser considerada como una disciplina. Algunas universidades británicas y americanas las incluyeron en sus centros de ingeniería aeronáutica.

En cuanto al tema de la formación, cabe resaltar los siguientes datos. Actualmente, los programas de ensayos en vuelo dedican un 70% del tiempo al ensayo de sistemas embarcados en aeronaves. El porcentaje restante se dedica a comprobar actuaciones, estabilidad y control. No obstante, al considerar la dedicación de los centros de formación, estos números se invierten. Dedicamos actualmente el 70% de su tiempo a estas últimas materias.

En cualquier caso no hay que olvidar que la figura del FTE, es tomar la responsabilidad de organizar, preparar, coordinar, llevar a cabo la realización del programa de ensayos y por último el informar de lo resultados.

III.7. Métodos de adquisición de datos

La forma de obtención de los datos obtenidos durante un ensayo en vuelo ha ido variando con el paso del tiempo. En los comienzos de la aviación, la principal fuente de información de los ensayos era la interpretación subjetiva del piloto, apoyado por algunos instrumentos muy básicos. Sólo cuando las exigencias de la maniobra lo permitían, estos podían ser consultados y anotados en su libreta de datos, que estaba situada sobre su pierna.

La NACA fue la primera organización que utilizó instrumentos específicos, para obtener datos durante los ensayos en vuelo. Fue en 1930 y su finalidad era la determinación de las "*handling qualities*" de la aeronave. Posteriormente utilizó cámaras para bien fotografiar o filmar, los paneles de instrumentos, a modo de los primeros grabadores. Además de los paneles

usuales, se instalaron otros más específicos, no usados normalmente durante la operación usual de la aeronave, pero sí para los ensayos. Es el caso de instrumentos especiales e indicadores de “*warnings*” no convencionales.

Al finalizar la segunda guerra mundial se comenzaron a grabar los datos en papel. Para ello se recurría a impactar un rayo de luz, que provenía de un espejo, sobre un papel fotosensible, en el mismo sentido que se imprimen las tradicionales fotografías. Nacían así los primeros grabadores de datos.

Posteriormente comenzaron a proliferar los transductores y sensores, los cuales convertían un fenómeno físico en una corriente eléctrica. Estas señales se trataban con galvanómetros y/o grabadores magnéticos, que empezaban a hacer su aparición en los años 50. De la misma época son las técnicas de Frecuencia Modulada (FM), utilizadas para enviar estas señales generadas y poder ser grabadas de forma magnética.

En los años sesenta hicieron su aparición la modulación por código de pulsos (PCM), dando así paso a la técnica digital en la adquisición de datos. Sus ventajas frente al caso analógico eran: una mayor precisión, mayor alcance y más capacidad de almacenamiento de datos en el mismo espacio físico que ocupaba la cinta magnética tradicional. Además se facilitaba el tratamiento mediante computadoras, pues ya estaban traducidas a su “lenguaje” de trabajo. Contemporáneo a esta década es la aparición de la telemetría. Su gran ventaja es que proporciona en tiempo real los datos que se están adquiriendo durante el ensayo en vuelo. Permite así tomar decisiones sobre la marcha desde tierra, ante situaciones que comprometan la seguridad del vuelo, además de ir comprobando si los objetivos se están cumpliendo. En caso negativo, se podrán repetir puntos de ensayo si las condiciones del vuelo lo permiten. Se consigue así un gran ahorro de costes en el programa y optimización del mismo.

En la misma década se produce la combinación de las técnicas digitales y el uso de componentes electrónicos de tamaño reducido lo que supuso una gran revolución en el desarrollo de los sistemas de telemetría, adquisición y procesado de datos. Los avances en la tecnología electrónica han supuesto un gran aporte para la disciplina de los ensayos en vuelo. De esta forma, el número de parámetros que podían ser tratados aumentó de forma considerable. Actualmente los sistemas de tratamiento de datos, pueden procesar del orden de los 10.000 parámetros. Pero no sólo el número de éstos es relevante, sino la frecuencia con la que pueden ser tratados. Varios millones

de valores pueden ser obtenidos por segundo y tratados por complejos sistemas informáticos, con presentación instantánea, que permiten la toma de decisiones durante el ensayo.

Las técnicas de RADAR y video también han supuesto un importante aporte, sobretodo en ensayos que requieren labores de vigilancia y control remoto. Como ejemplo está el caso de los ensayos de reabastecimiento en vuelo. Éstas técnicas suponen un gran aporte.

Para el futuro, se espera que las técnicas ópticas comiencen a ser un revulsivo en la obtención y tratamiento de datos.

III.8. Métodos de procesado y análisis de datos

Los primeros medios con los que se contó para la reducción de datos a condiciones estándar y demás cálculos fueron las reglas de cálculo y calculadoras de tipo mecánico. Con estos medios, la reducción de datos se convertía en un proceso muy largo y laborioso, con un alto coste. El error que se cometía era alto. Era necesario recurrir a grandes simplificaciones en los procesos de cálculo, para conseguir grandes ahorros de tiempo y costes. Es por ello que la aparición de la era digital, al final de la década de los cincuenta, supuso un acusado punto de inflexión en el tratamiento de la información. Las capacidades de cálculo de las computadoras aumentaron rápidamente. Es por ello que los datos adquiridos por los métodos de adquisición PCM, trasladados a dichos medios supusieron un gran avance.

Las computadoras se instalaron definitivamente en la disciplina, suponiendo una herramienta de gran valor. Se utilizaron para almacenar todos los datos adquiridos durante los ensayos y los cálculos realizados con ellos. Se convirtieron en el verdadero gestor de ellos pues no sólo pasaron a evaluar los resultados sino a procesar los datos necesarios para la configuración de sistemas y aeronaves, y para la calibración. Facilitaron además que los datos estuvieran almacenados de forma ordenada y en una organización conocida por todos. De esta forma el acceso para los distintos especialistas era más asequible, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero. La instalación de redes que posibilitaban la transmisión de los datos de ensayos, permitió y permite actualmente, que las bases de datos sean compartidas por los usuarios. Se facilitan así los proyectos de cooperación internacional.

III.9. Simulaciones y simuladores

Durante prácticamente toda la historia de la aeronáutica, las simulaciones han sido indispensables en su desarrollo. El FTE no se queda atrás en esta necesidad. Proporcionan seguridad y una optimización del ensayo. La utilización de simulaciones es muy importante, para predecir envueltas de vuelo seguras durante los programas de ensayos en vuelo. Es el paso de partida para preparar el ensayo, entrenar a la tripulación, elaborar métodos seguros y eficientes en los puntos de ensayo, y para procesar los datos obtenidos. Permite además predecir la interacción hombre-aeronave, tan importante en los ensayos en vuelo.

No obstante, el FTE debe tener presente en todo momento que las simulaciones son previsiones del comportamiento y respuesta de la aeronave. Proviene de mediciones realizadas en túneles de viento, tratamiento analítico-computacional de mecánica de fluidos (CFD). No son resultados contrastados en vuelo real, dan una previsión de los resultados. Es por ello que será necesario por un lado realizar el ensayo y valorar si los resultados son aceptables para el programa. En caso afirmativo, el simulador deberá ser corregido y actualizado en función de los resultados obtenidos. La consecución de un objetivo, y la decisión de progresar al siguiente, deberán estar basadas siempre en resultados obtenidos de forma empírica, nunca en resultados de un simulador.

Para el caso de los túneles de viento, hay que tener en cuenta las fuentes de errores que se producen por la propia definición del método. Estas son:

- ✓ El efecto del número de Reynolds.
- ✓ Las hipótesis tomadas.
- ✓ Errores en la instrumentación de medida.
- ✓ La propia eficiencia del túnel aerodinámico.
- ✓ Los efectos de interacción de los dispositivos sobre los que va instalado el aeromodelo.

Los estudios analíticos de simulación, como es el caso de los CFD's son actualmente una fuente importante para el FTE. Su uso le permite predecir

el comportamiento de la aeronave en la envolvente de vuelo. Así puede estudiar cómo será su respuesta en las zonas más peligrosas e identificarlas como tales. No obstante, la fidelidad de las simulaciones analíticas y su precisión, hace que los resultados obtenidos han de ser tomados con la mayor de las cautelas.

En lo que se refiere a los simuladores, estos son actualmente básicos en el desarrollo de un programa de ensayos en vuelo. En los primeros años, no se contaba con ellos. En la actualidad, a la hora de llevar a cabo un primer vuelo, o alguno cuyas condiciones de vuelo no se hayan testado antes, será necesario recurrir a ellos. Este último es el caso de los ensayos de expansión de envolvente, de puntos con alguna condición extrema, cambios el software de las leyes de control como el FCS, la inclusión de nuevos sistemas electrónicos y de cualquier nuevo componente de aviónica, etc... El uso de los simuladores ha de ser un proceso paralelo a los ensayos en vuelo. Han de ser realimentados con la información que se va obteniendo de éstos, con el fin de mejorar su imitación del comportamiento real de la aeronave.

En resumen, se podría decir que las simulaciones y los simuladores son una gran aportación para la seguridad y eficiencia de los ensayos en vuelo, además de un gran ahorro de tiempo y dinero en el programa de desarrollo.

Posteriormente, finalizada la fase de ensayos, los resultados provenientes de los mismos servirán para validar las simulaciones en sí mismas. Una vez validadas, estas herramientas servirán como evidencias de certificación, calificación y contribuyen al desarrollo aeronáutico además. Asimismo, una vez validadas, permitirán reducir el número de puntos de ensayos a realizar tanto para certificar, calificar como para el desarrollo. Suponen así un ahorro importante en el coste de ensayos en vuelo.

III.10. Últimos logros en los ensayos en vuelo

La disciplina de ensayos en vuelo, como última parte del desarrollo de una aeronave, va a estar siempre afectada por las nuevas tendencias y avances que se produzcan en los diseños. No hay que olvidar que es el último paso del proceso. Asimismo se verá afectada por las nuevas exigencias que manifiesten los clientes y las autoridades gubernamentales responsables de la aeronáutica.

Recientemente, están cobrando importancia las regulaciones medioambientales. Es de destacar aquellas relativas a la emisión de

contaminantes mediante los gases de escape y cuestiones de contaminación acústica. Los nuevos diseños se han de adaptar a estas exigencias, con nuevos desarrollos en motores y vibro acústica. Por lo tanto han de ser comprobadas mediante ensayos en vuelo.

Otras especialidades que van a repercutir en el proceder de la disciplina en estudio, serán el nuevo desarrollo de las ayudas a la navegación aérea. Tanto en ayudas al aterrizaje como en la selección de rutas, mediante tecnología satélite u otras ayudas.

Los avances significativos en las técnicas de flujos laminares, sistemas propulsivos basados en hélices de alta velocidad y “*fanes*” de nuevo diseño, y las nuevas leyes de control para FCS’s que facilitarán avances importantes en la maniobrabilidad y estabilidad de la aeronave. Todos ellos han influido en desarrollar nuevas técnicas de ensayos en vuelo.

Todas estas innovaciones son las últimas contribuciones a las técnicas de ensayos en vuelo. En cualquier caso, lo que si es seguro es que el FTE deberá contar en su gestión de los proyectos, con nuevas especialidades.

Los últimos hitos que han marcado avances importantes en los ensayos en vuelo son:

- ✓ La consolidación del sistema GPS, ha cambiado drásticamente la manera de obtener la posición de la aeronave y en qué instante, de tal forma que se puede determinar la posición de la aeronave y su trayectoria con una precisión muy exigente.
- ✓ Las simulaciones y simuladores juegan un papel más importante al actual, debido a su perfeccionamiento. Un uso mayor de éstos reducirá significativamente el número de horas de ensayos, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

En lo que se refiere a los medios de obtención de datos y tratamiento de los mismos, habría que resaltar que los cambios que se esperan no van a ser tan significativos. El motivo es que la gran mayoría de estos sistemas cubren las necesidades de los programas actuales y futuros que se prevén. No obstante se está en desarrollos para poder tratar un mayor número de medidas. Actualmente la US Navy es la organización que más está invirtiendo en el desarrollo de estos sistemas, con la finalidad de introducir ordenadores de

mayor capacidad y potencia en los ensayos. No obstante, en la actualidad las capacidades de los computadores instalados a bordo, permiten tratar la información demandada en tiempo real, de tal forma que el piloto y toda la tripulación de ensayos pueden disponer de toda la información necesaria.

La tendencia del estado del arte, nos lleva a remarcar que tanto la telemetría como los sistemas de grabación a bordo, seguirán jugando un papel importante y fundamental en los ensayos en vuelo.

Muchas gracias.

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 cochinilla.* (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 Feria**. 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*. (Académica 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-Orgánica “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.

HOTEL LANCELOT ARRECIFE (LANZAROTE)



Centro Tecnológico de Torrejón de Ardoz

Estaciones de Seguimiento: Maspalomas, Cebreros,
Robledo de Chavela y Villafranca del Castillo.

Centros especializados: El Arenosillo, Rozas, Granada,
Sevilla y Cuadros

Patrocina:
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial