

ARTE, INGENIO, CIENCIA Y TÉCNICA  
EN LOS PROYECTOS AEROESPACIALES



REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

ARTE, INGENIO, CIENCIA Y TÉCNICA  
EN LOS PROYECTOS AEROESPACIALES

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. JOSÉ LUIS LÓPEZ RUIZ

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA

EL DÍA 23 DE MARZO DE 2004

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. AMABLE LIÑÁN MARTÍNEZ



MADRID MMIV

Editado por la Real Academia de Ingeniería

© 2004, Real Academia de Ingeniería

© 2004 del texto, José Luis López Ruiz

ISBN: 84-95662-22-1

Depósito legal: M-14.216-2004

Impreso en España

ARTE, INGENIO, CIENCIA Y TÉCNICA  
EN LOS PROYECTOS AEROESPACIALES

# INTRODUCCIÓN



Wright Flyer



SR-71



Los portadores  
de la antorcha



Virgen del  
helicóptero



Lanzamiento  
del Discovery

Excmo. Sr. Presidente  
Excmos. Sres. Académicos  
Excmos. e Ilmos. Señoras. y Señores.  
Señoras, señores.  
Queridos amigos:

Al encontrarme hoy aquí, ante tan selecto y entrañable auditorio, vienen a mi recuerdo aquellos días de 1980, cuando yo formaba parte de la Junta Directora del Instituto de la Ingeniería de España como Presidente de la Asociación de Ingenieros Aeronáuticos, y empezamos a pensar en la creación de una Academia de Ingeniería.

Era un momento en el que se estaban produciendo importantes contactos entre Academias Nacionales de Ingeniería de distintos países del mundo que desembocarían en la constitución del denominado "Connotación of Engineering Academies and Technological Sciences" (CAETS) en la cuarta reunión celebrada en Estocolmo entre el 29 de mayo y 1 de junio de 1983.

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que tradicionalmente, con una amplia interpretación de sus fines y funciones, había acogido en su seno a ilustres ingenieros, no era la adecuada para representar a España en este tipo de foros y la Academia de Ingeniería Española era una necesidad.

Se constituyó una comisión para que estudiara el problema y preparara un proyecto de estatutos siguiendo el modelo de las Reales Academias españolas y analizando las instituciones extranjeras análogas. De ella formaban parte los ingenieros aeronáuticos Gregorio Millán, académico de número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y Ricardo Valle, que fue durante muchos años mi jefe y maestro en el arte de proyectar aeronaves,

Pero habían de pasar casi 15 años hasta que en 1994 se crea nuestra Academia por Real Decreto de 29 de abril. Tuve el honor de figurar en la lista de los 54 candidatos a Académico Constituyente que propuso el Instituto de la Ingeniería de España para que se seleccionaran entre ellos los 18 que se integrarían en el grupo inicial de 36 académicos. La oposición era muy difícil y no la aprobé, pero siempre he sentido el or-

gullo de saber el aprecio y consideración de mis compañeros de profesión.

Lo importante, en cualquier caso, es constatar que la primera selección fue buena y adecuada, como lo testifica la labor realizada por nuestra Academia en los pasados años, con la elección de nuevos académicos, sus constantes aportaciones a la difusión y el desarrollo de la Ingeniería, su incorporación a CAETS en 1999 y, finalmente, su reconocimiento como Real Academia el pasado 14 de julio de 2003.

Y, hoy me encuentro yo aquí, sin duda más por vuestra benevolencia que por mis méritos, completamente azorado por la magnitud de mi responsabilidad de hacerme digno de la distinción que me otorgáis y obligado a leer un discurso de aceptación que no desmerezca demasiado de las intervenciones análogas de los Académicos Electos que me han precedido.

He leído con atención algunos de ellos, especialmente los de mis compañeros de profesión Juan Ramón Sanmartín y Juan José Martínez García, y, más que ayudarme, me han acomplejado aún más. Creo que me encuentro en una situación similar a la de Gonzalo de Berceo cuando produjo el primer poema del castellano por no ser capaz de hacer una buena rima en correcto latín, según su propia confesión:

Quiero fer una prosa  
 en román paladino  
 en qual suele el pueblo  
 fablar a su vecino  
 ça non so tan letrado  
 por fer otro latino  
 bien valdrá, como creo  
 un vaso de bon vino.

A pesar de la calidad del buen vino de La Rioja, el premio, en este caso, es mucho mayor.

Al buscar un tema que no os aburra demasiado, pensé que debía centrarlo en los proyectos aeroespaciales, muchos y de naturaleza diversa, a los que he dedicado toda mi actividad profesional y en los que se ha



centrado una parte importante de mi actividad docente durante más de 50 años. Cuando vuelvo mi mirada hacia atrás y contemplo los muchos proyectos en los que he intervenido, con distinta intensidad y grado de responsabilidad, observo que hay cuatro facetas que aparecen en casi todos ellos: el Arte, el Ingenio, la Ciencia y la Técnica. Son cuatro pilares sobre los que se asienta toda obra de ingeniería y a cuya consideración me vais a permitir que consagre este discurso, con algunos ejemplos que he vivido personalmente durante mi actividad. La Ciencia y el Ingenio figuran explícitamente en el lema del escudo de nuestra Academia; yo me he permitido añadir el Arte y la Técnica como complementos.

Me aceptaréis también que dedique un breve comentario a la enseñanza de la Ingeniería en España. Han sido más de 50 años dedicados a la docencia de la Ingeniería Aeronáutica, más de 25 como profesor colaborador en la Escuela Superior del Aire y 5 años presidiendo el Comité de Enseñanza del Instituto de la Ingeniería de España que no puedo omitir en una ocasión como la presente.

Arte, Ingenio, Ciencia y Técnica en los Proyectos Aeroespaciales es, por tanto, el tema de este discurso que, como decía antes, espero soportéis con benevolente comprensión.

## ARTE



**El rey insensato Kay Kay Kavus  
(1500 a.c. ) (Grabado siglo XIII)**



**La Virgen del helicóptero  
Museo Tessé en Le Mans  
Maestro Vivoin (siglo XIV)**



**Aeropuerto de Dubai**

## ARTE: Predecesor y compañero

Cuando ellos volaban, él tanto se erguía;  
el rey Alejandro cada vez más subía;  
a veces se alzaba, a veces descendía,  
allá iban los grifos por donde el rey quería

### Libro de Alexandre (siglo XIII)

La Real Academia Española define el *Arte* como "Acto o facultad mediante las cuales, valiéndose de la materia, la imagen o el sonido, imita o expresa el hombre lo material o lo inmaterial y crea copiando o fantaseando".

En este sentido, el arte ha sido, como para la mayoría de las técnicas, un predecesor del conocimiento aeroespacial y un compañero constante en su evolución. Figuras mitológicas aladas en las culturas asiria, egipcia y griega; grabados de la Edad Media, como los del *Libro de Alexandre* o la mal llamada *Virgen del Helicóptero*, del Museo de Tessé en Le Mans, en la que el Niño Jesús tiene en sus manos un juguete que es, en realidad, un autogiro el cual, al ser lanzado verticalmente, se pone en rotación y desciende suavemente a tierra autorrotando; cuadros más modernos que reproducen el vuelo de los hermanos Wright o los combates aéreos de la Primera Guerra Mundial; vuelo de aviones de transporte, como el Ford Trimotor de los años veinte; pinturas modernas como *El impacto de las águilas* en una simbólica combinación de un avión F-15 "Eagle" con un águila defendiendo los cielos de los Estados Unidos y las Torres Gemelas de Nueva York al fondo, objeto del atentado terrorista del 11 de septiembre de 2001.

Multitud de grabados, publicados en prensa e ilustraciones de libros en el siglo XIX, anticipan con más o menos fantasía la gesta de los hermanos Wright que marcó el inicio de la Aeronáutica. Carteles anunciadores de acontecimientos y exposiciones aeronáuticas son exponentes de un arte plástico que evoluciona con el tiempo entre el realismo y el impresionismo. A ello se añade la filatelia, especialmente con el correo aéreo, y la fotografía artística que refleja la belleza de exhibiciones aéreas o la calidad artística de ciertos fenómenos naturales como es la mezcla del chorro propulsante de un turboreactor con la atmósfera

exterior en su ordenada formación de ondas de choque y de expansión que interaccionan entre ellas.

Cuando el hombre logra poner un vehículo en el espacio exterior en 1957, y pisa la Luna diez años después, el arte toma una nueva dimensión al reproducir, por ejemplo, el lanzamiento de vehículos espaciales, o hacer posible la hermosa vista de la Tierra desde nuestro satélite.

También se producen esculturas de símbolos o realidades aeronáuticas para recuerdo de la historia en aeropuertos o bases aéreas.

Incluso la música crea himnos y canciones que hacen referencia a gestas de nuestros aviadores. Yo conservo un viejo disco de vinilo, que editó la compañía Panavia, en el cual el ruido de un avión Tornado se mezcla con composiciones de Richard Wagner en una combinación que resulta muy agradable, aunque parezca increíble.

La literatura tampoco escapa al influjo aeroespacial, empezando por los relatos fantásticos de Julio Verne y siguiendo con Antoine de Saint-Exupéry o los más recientes libros de Richard Bach y de Carl Sagan, entre muchas otras manifestaciones literarias.

Pero donde aparece el Arte con mayor intensidad, concretado en realizaciones utilitarias, es en la Arquitectura aeroportuaria de edificios terminales, torres de control y entornos. Se trata de un arte modulado por restricciones que obligan a limitar las alturas, coordinar y equilibrar los recorridos en tierra de pasajeros y mercancías, facilitar el intercambio entre el modo de transporte aéreo y los modos de transporte en tierra, atender al impacto ambiental, aprovechar la luz natural y proporcionar un sentido de comodidad a los usuarios. Y todo ello mirando al futuro de la evolución aeronáutica para tener en cuenta la morfología y capacidad de maniobra en el suelo de las aeronaves actuales y futuras. Son obras maravillosas en las que se combinan utilidad y belleza en un alarde de creatividad.

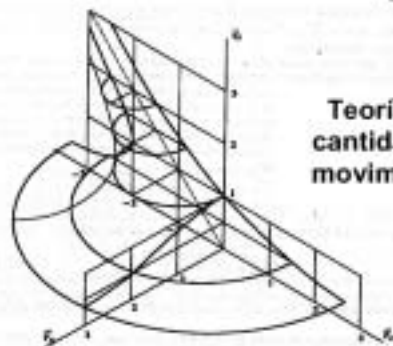
Cuando uno se sienta por primera vez ante un papel en blanco para iniciar un nuevo proyecto aeroespacial, la primera acción es siempre artística, aunque esté condicionada por un conocimiento previo de otras

obras semejantes y ayudada por un sustrato de ciencia y técnica, junto al ingenio que siempre es necesario para innovar.

Es un aforismo en la aeronáutica que todo avión para ser bueno debe ser bonito. Pero el concepto de la belleza es muy subjetivo y, al final, lo que algunos reputan como feo otros lo consideran hermoso. Por eso no pueden establecerse reglas rígidas que limiten la creatividad.

El Arte en la presentación inicial de un nuevo producto resulta esencial, ya que la primera impresión tiene una fuerte influencia en las decisiones posteriores. En el alma de todo proyectista hay una componente artística que se transfunde a sus realizaciones.

# INGENIO

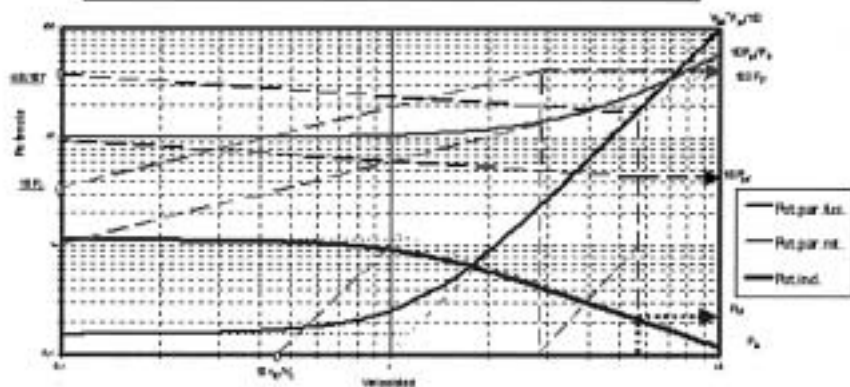


Teoría de  
cantidad de  
movimiento



Teoría de  
cantidad de  
movimiento  
modificada

Superficies de velocidades inducidas



Curvas universales de potencia

Autogiro C.30 MZA



## INGENIO: Fuente de ideas

### Las verdaderas soluciones son siempre sencillas

Juan de la Cierva

La Real Academia Española define el *Ingenio* como: "Facultad en el hombre para discurrir o inventar con prontitud y facilidad".

Con esta definición, es fácil aceptar que el desarrollo de toda la tecnología aeroespacial ha estado salpicado de actos de ingenio que han posibilitado la creación de modelos matemáticos capaces de representar realidades físicas y hacerlas asequibles a un tratamiento que conduce a resultados para justificar su comportamiento, así como para la realización de sistemas aeroespaciales que cumplan las expectativas demandadas.

Ingenio en los hombres que, desde la simple observación del vuelo de las aves, van deduciendo leyes y creando ingenios voladores con capacidad de imitarlas. Leonardo da Vinci, Diego Marín de Aguilera, Sir George Cayley, Alphonse Pénaud, Clement Ader, Otto Lilienthal, Octave Chanute o Samuel Langley son ingeniosos precursores que aportan sus ideas para conseguir el vuelo de un aparato más pesado que el aire.

Físicos y matemáticos notables estudian también el vuelo y se afanan en explicar el origen de las fuerzas de interacción del aire con un cuerpo que se desplaza en su seno.

Genial, por ejemplo, el sistema de control del Flyer de los hermanos Wright deformando el cajón constituido por las dos alas y sus elementos de interconexión.

Genial la introducción de las estructuras monocasco con revestimiento trabajante.

Genial la invención del autogiro por Juan de la Cierva como un nuevo aparato de aviación libre del peligro de entrada en pérdida.

Genial la propulsión por turborreactor de Sir Frank J. Whittle o la propulsión por cohete de vehículos transatmosféricos o espaciales de Tsiolkousky, Goddard y Von Obert.

Geniales las ideas de Kutta y Joukousky para calcular las presiones en un perfil de ala, las de Prandtl para el ala de envergadura finita, las de Von Karman para el análisis del régimen turbulento y del régimen transónico, las de Jones para alas de pequeño alargamiento o las de Whitcomb para leyes de área transversal de los aviones que reducen el salto transónico de resistencia.

Cuando estaba yo preparando la oposición a la cátedra de Helicópteros y Aeronaves Diversas en el año 1969, me encontré ante un problema para el cual las soluciones existentes no acababan de satisfacerme. Se trataba de determinar la velocidad inducida en el plano de un rotor en descenso vertical o con un ángulo de planeo próximo a  $90^\circ$  utilizando la teoría de cantidad de movimiento clásica de Froude o Glauert para elementos giratorios. Esta teoría, que da resultados muy coherentes con la realidad física en régimen de subida o en régimen de descenso a muy alta velocidad, extrayendo potencia de la corriente de aire que atraviesa el rotor, falla para potencias aplicadas positivas o negativas próximas a cero, ya que se desarrollan regímenes de anillos turbillonarios o estela turbulenta que preconizan una realidad física muy diferente de la que permitiría aplicar el concepto de cantidad de movimiento. Glauert resolvió el problema al observar que en una representación del cuadrado de la velocidad de vuelo axial en función del cuadrado de la velocidad en el plano del disco las curvas de teoría de cantidad de movimiento para vuelo en subida vertical y descenso a gran velocidad eran la misma desplazada en ordenadas. Entonces unió ambas con una parábola y aprovechó para corregir un efecto que se notaba en la realidad física, ya que la velocidad inducida en vuelo a punto fijo era algo mayor que la anticipada por la teoría, introduciendo el factor  $2/\sqrt{3}$ . Pero la parábola tenía su vértice para el caso de autorrotación en el punto (0,2) bastante distinto del (0,3) más próximo a los valores experimentales disponibles y, además, la curva completa presentaba discontinuidades. Yo cambié la parábola de Glauert por dos parábolas con vértice en (0,3) evitando, adicionalmente, las discontinuidades pero la solución continuaba sin satisfacerme.

Entrando en la matemática pura, el problema se origina porque la ecuación algebraica de 4º orden, que determina la velocidad inducida



en función de la velocidad de vuelo y del ángulo de ataque del rotor, tiene tres raíces reales positivas en un cierto dominio de ángulos de ataque superiores a  $70,5^\circ$  y hay que elegir la de menor valor de acuerdo con el principio de mínima energía frecuente en la naturaleza. Entonces se me ocurrió la idea de modificar el campo de velocidades, antes de aplicar la teoría de cantidad de movimiento, dividiendo los módulos de la velocidad y de su componente paralela a la tracción en el infinito aguas arriba por unos factores  $k_v$  y  $k_i$ , con lo cual la ecuación que relaciona la velocidad inducida en el plano del rotor  $v_i$  con las componentes de la velocidad perpendicular a la tracción  $V_z$  y paralela a ella  $V_x$ :

$$\bar{v}_i [\bar{V}_x^2 + (V_z + \bar{v}_i)^2]^{1/2} = 1$$

queda sustituida por:

$$\bar{v}_i \left[ \frac{k_i^2}{k_v^2} \bar{V}_x^2 + \left( \frac{k_i^2}{k_v^2} - 1 \right) \bar{V}_z^2 + (\bar{V}_z + \bar{v}_i)^2 \right]^{1/2} = k_i^2$$

Pueden elegirse los valores de  $k_i$  y  $k_v$  para ajustar dos puntos correspondientes al descenso vertical en autorrotación ( $\bar{V}_x = 0$ ) ( $\bar{v}_i = \sqrt{3}$ ,  $\bar{V}_z = -\sqrt{3}$ ) y al molinete frenante ( $\bar{V}_x = 0$ ) ( $\bar{v}_i = 1$ ,  $\bar{V}_z = -2$ ) bastante confirmados por la experiencia, resultando:  $k_i = (9/5)^{1/4}$  y  $k_v = (5/4)^{1/4}$ , con lo que la ecuación para la teoría de cantidad de movimiento modificada queda:

$$\bar{v}_i [6\bar{V}_x^2 + \bar{V}_z^2 + 5(\bar{V}_z + \bar{v}_i)^2]^{1/2} = 3$$

La simplicidad de esta ecuación es un presagio de buena predicción de la realidad física.

La nueva ecuación de cuarto orden, que nos da el valor de la velocidad inducida, tiene una única raíz real positiva en todo el campo de existencia eliminando la necesidad de selección. Además, en vuelo a punto fijo, el valor adimensional de la velocidad inducida es  $(9/5)^{1/4}$  que difiere del valor anticipado por Glauert  $(2/3)^{1/2}$  en menos de un 4 por mil, imposible de detectar en ensayos contaminados por la resistencia parásita. De hecho, la superficie en forma de trompeta que representa la velocidad inducida en función de las componentes de la velocidad de vuelo que-

da sustituida por una superficie con forma de colina y evita la singularidad de la autorrotación y la multiplicidad de soluciones.

La ecuación de la teoría de cantidad de movimiento modificada es tan sencilla como la original desde el punto de vista matemático pero, de hecho, el máximo ángulo de ataque del rotor al que se aplica la teoría de cantidad de movimiento en el campo de corriente modificada es  $65,9^\circ$ , fuera de la zona de multiplicidad de raíces reales positivas.

La comprobación experimental de esta teoría es complicada, puesto que corresponde a potencias aplicadas a un rotor ideal y, en el rotor real, aparece siempre una potencia parásita difícil de separar de la total. Sin embargo los resultados se ajustan bien a los dados por Gessow y Meyers en su libro *Aerodynamics of the Helicopter* y a valores de las actuaciones de helicópteros con datos realistas para las potencias parásitas del rotor y del fuselaje.

La teoría tiene su aplicación también al rotor del autogiro, siempre en autorrotación, a las hélices propulsoras, a los aerogeneradores, y al ala de envergadura finita cuya resistencia inducida resulta multiplicada por un factor  $(3/2)^{1/2}$  respecto al valor de la teoría de cantidad de movimiento clásica.

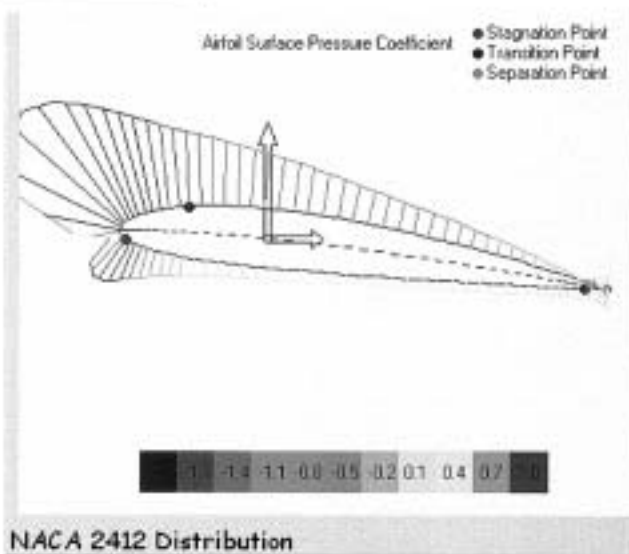
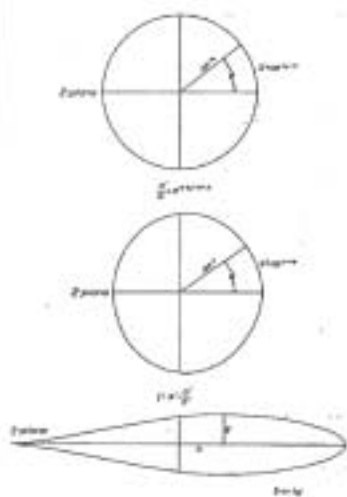
Cuando se aplica la teoría de cantidad de movimiento modificada al rotor sustentador de un helicóptero y se combinan con una estimación de la potencia parásita del mismo, basada en un valor medio del coeficiente de resistencia de los perfiles de las palas, y con la correspondiente a un área de placa plana del fuselaje, afectado por la estela del rotor, pueden construirse tres curvas universales que permiten estimar la potencia necesaria para vuelo horizontal de cualquier helicóptero en función de su velocidad de vuelo. Para ello es necesario elegir unas unidades de referencia adecuadas, basadas en las magnitudes correspondientes al rotor ideal en vuelo a punto fijo, y hacer una representación en escala doblemente logarítmica, que permite sustituir los productos por adiciones. Es el diagrama universal de potencia necesaria para vuelo horizontal que posibilita estimaciones rápidas de potencia, comparación entre helicópteros distintos, valorar el efecto de modificaciones e, incluso, llegar a conclusiones tales como que dos helicópteros, diferentes resultan ser adimensionalmente el mismo. Estos ábacos eran

de enorme utilidad, casi imprescindibles, cuando no disponíamos de los sistemas electrónicos de cálculo actuales y era necesario aguzar el ingenio para poder conseguir resultados con un trabajo razonable. Sin embargo, siguen siendo útiles en su concepción, ya que, si se programa el proceso de cálculo siguiendo las directrices de uso del ábaco correspondiente, se ahorra un tiempo importante en ejecuciones repetitivas.

¿Cuál es el valor de una teoría como la de cantidad de movimiento modificada? Como en todos los demás casos su valor está en el ajuste de los resultados que se obtienen con ella de la realidad física que trata de representar. En este sentido, puedo afirmar que las muchas comprobaciones que he realizado, aplicándola a diversos tipos de helicópteros y autogiros, han sido francamente satisfactorias y por ello he recomendado su aplicación como alternativa a la teoría de cantidad de movimiento clásica, que también hace la hipótesis arbitraria de una limitación de la masa de aire afectada por el elemento sustentador o propulsor.

El ingeniero analiza fenómenos reales o ideales que se desarrollan en la naturaleza y trata de deducir consecuencias o predecir comportamientos. Para ello debe construir modelos asequibles a un tratamiento científico y, en este proceso, el ingenio es imprescindible. En los proyectos aeroespaciales su presencia ha sido constante en este siglo de historia y, con toda seguridad, lo seguirá siendo en el futuro.

# CIENCIA



Transformación conforme

Singularidades



C.212

## CIENCIA: Garantía de progreso

Dios hizo los números naturales. El resto es obra de los hombres

Dedekind

La Real Academia Española define *Ciencia* como: "El conocimiento cierto de las cosas por sus principios y causas". Desde esta óptica la Aeronáutica no empieza a ser Ciencia hasta que, en los siglos XVIII y XIX, se inicia la formulación de leyes que rigen el comportamiento de cuerpos sólidos inmersos en el aire.

La interacción entre las ciencias y el desarrollo aeroespacial ha sido bien patente desde que Newton aplicara los principios de su mecánica al cálculo de las fuerzas que se desarrollan por el contacto del aire en movimiento relativo respecto a un cuerpo sumergido en él. Físicos y matemáticos llevan su curiosidad al análisis del comportamiento de los sistemas materiales que se mueven con relación al aire de la atmósfera terrestre así como a los sistemas energéticos que aportan su contribución al vuelo.

Notables matemáticos y físicos de los siglos XVIII y XIX se ocuparon con frecuencia de formular leyes y crear modelos matemáticos que trataban de justificar el comportamiento de fluidos en movimiento respecto a sólidos y su mutua interacción llegando a veces a paradojas como la de Jean Le Rond D'Alembert que predecía resistencia nula para el avance de un cuerpo en el seno de un fluido. Otros, como Ernst Mach o Bernhard Riemann, anticipan la aparición de discontinuidades en las propiedades del fluido cuando un cuerpo se mueve en su seno a velocidad superior a la de propagación de las ondas sonoras en el mismo. No faltan los termodinámicos que analizan el comportamiento de los motores que van a transformar la energía química en propulsora para satisfacer las necesidades de los primeros vehículos terrestres y aéreos.

En el siglo XX, cuando ya la Aeronáutica es una realidad, junto a los proyectistas de aeronaves y motores, están también físicos y matemáticos que, unas veces, dan justificación científica a hechos ya constatados y, otras, adelantan teorías que permiten conseguir importantes avances en las características de las aeronaves y vehículos espaciales. La clásica

Mecánica de Fluidos se concreta en la Aerodinámica para la aplicación directa al vuelo de aeronaves y nombres como los de Kutta, Juokovski, Prandtl, Von Karman, Munk, Glauert, Ackeret, Busemann, Multhop, Robert Jones, Wiessinger, Lighthill y muchos otros, se unen al desarrollo de esta ciencia que es básica para la comprensión del vuelo de las aeronaves y su buen diseño.

Cuando la velocidad aumenta y las estructuras se hacen más ligeras y menos rígidas aparece una nueva ciencia: la Aeroelasticidad, que analiza la posibilidad de que, en ciertas condiciones, se produzcan fenómenos de deformación estructural divergente o vibración no amortiguada.

En condiciones de temperatura muy alta los gases que componen el aire de nuestra atmósfera se ionizan y su comportamiento cambia; otra nueva ciencia, la Aero termoquímica, a la que han contribuido varios ingenieros españoles, entre ellos Gregorio Millán, Carlos Sánchez Tarifa y Amable Liñán, ofrece explicación a la fenomenología asociada a estas circunstancias y profundiza también en el desarrollo de la combustión para mejora del rendimiento termodinámico de los procesos de transformación de energía.

Por centrarme en un caso de desarrollo científico aplicado a la Aeronáutica que tuve ocasión de vivir personalmente a principio de la década de los sesenta, me referiré a la aplicación de la transformación de Hilbert para la resolución del problema de la determinación de velocidades y presiones en la superficie de un perfil delgado de ala, y su correspondiente problema inverso de determinar la forma de un perfil que, en ciertas condiciones, produce una distribución de presiones prefijada. El problema estaba ya resuelto por dos caminos diferentes: La transformación conforme aplicada en el campo de los números complejos permite convertir el contorno de un perfil en una circunferencia. En el plano transformado es fácil determinar la función de variable compleja cuyas partes real e imaginaria son las funciones potencial de velocidades y de líneas de corriente. La transformación inversa posibilita conocer estas funciones en el campo original y resuelve el problema de determinar las velocidades, y, por tanto, las presiones sobre el contorno del perfil.

Otro procedimiento para los perfiles delgados consiste en distribuir una serie de singularidades, torbellinos, fuentes y sumideros, sobre la

cuerda del perfil, calcular las velocidades que estas singularidades producen en el contorno del perfil e imponer la condición de tangencia. Como todas estas singularidades crean campos de velocidades cuya función potencial satisface la ecuación diferencial lineal de Laplace, también lo hace su superposición y, al satisfacer la condición de tangencia en el contorno, se obtiene la solución deseada.

Las componentes  $u(x,y)$  y  $v(x,y)$  de la velocidad inducida por un conjunto de torbellinos  $\gamma(\xi)$  distribuidos en el intervalo  $[0,c]$  en el punto  $(x,y)$  vienen dadas por:

$$u(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^c \frac{\gamma(\xi)y}{(\xi - x)^2 + y^2} d\xi$$

$$v(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^c \frac{\gamma(\xi)(\xi - x)}{(\xi - x)^2 + y^2} d\xi$$

Al pasar al límite para  $y \rightarrow 0$

$$u(x) = \pm \frac{1}{2} \gamma(x)$$

$$v(x) = \frac{1}{2\pi} P \int_0^c \frac{\gamma(\xi)}{\xi - x} d\xi$$

El cálculo matemático supone la evaluación de integrales del tipo:

$$g(x) = \frac{1}{2\pi} P \int_0^c \frac{f(\xi)}{\xi - x} d\xi$$

que, en realidad, es una transformación integral de la función  $f(x)$  de torbellinos, fuentes o sumideros definida en el intervalo  $[0,c]$  en la función  $g(x)$  de componentes normales o tangenciales de la velocidad, utilizando el núcleo  $1/(\xi-x)$ .

He de reconocer mi afición por las transformaciones integrales desde que en 1952, cuando estudiaba el primer curso de mi carrera, asistí a

un curso impartido por el profesor Gustav Doetsch sobre la transformación de Laplace organizado por el catedrático de matemáticas de la Escuela Especial de Ingenieros Aeronáuticos y Secretario General del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica) D. Antonio Pérez Marín. El hecho de que los problemas diferenciales se transformaran en problemas algebraicos era algo que me resultaba particularmente atractivo. Por ello, al considerar el problema de determinación de velocidades en el contorno de un perfil de ala, o el problema inverso de determinar la forma del perfil que produce una distribución de velocidades predeterminada, intenté buscar las soluciones utilizando esta nueva transformación.

Actualmente la transformación de Hilbert es muy conocida y se emplea ampliamente en el procesamiento de señales y en el análisis de vibraciones no lineales, pero, en 1962, apenas pude encontrar referencias salvo tres páginas en el libro de A. Papoulis *The Fourier Integral and its Applications* publicado por McGraw-Hill ese mismo año. Por ello tuve que resolver la indeterminación que se presenta al calcular las transformadas inversas imponiendo para los perfiles la condición de "salida suave", adelantada por Joukowski para el perfil delgado y la de "entrada suave" de Theodorsen para el perfil grueso, además de calcular las transformadas de algunas funciones simples que nos permitieran hacer aplicación práctica a ciertos perfiles conocidos. Además nos las ingeniamos para poder realizar la evaluación numérica de las integrales en un ordenador IBM 1401, que Construcciones Aeronáuticas S.A. acababa de adquirir para trabajos de control de producción del avión F-5, cuya capacidad de memoria era 4 kbytes y que había que programar en código de máquina.

La primera aplicación la hicimos para generar el perfil del ala del avión C.212, para el que deseábamos utilizar un perfil del 18% de espesor relativo, para poder tener un ala en voladizo sin montantes, pero con una distribución de velocidades sobre el perfil, en vuelo de crucero, que no diera una gran resistencia al avance. El resultado fue un perfil muy parecido al NACA65-218 que fue el adoptado finalmente. El trabajo sirvió para demostrar que el procedimiento seguido era correcto, ya que al imponer condiciones muy similares a las del NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) para la generación de perfiles laminares se obtenían también perfiles muy parecidos. La elección de este perfil laminar en el proyecto del C.212 ha sido uno de los factores que ha



marcado diferencias con otros aviones competidores, como el Short Skyvan o el IAI Arava, a los que desplazó del mercado.

Posteriormente, en el proyecto del avión C.401 en 1972, volvimos a utilizarlo para modificar el perfil básico en la zona de su borde de ataque para mejorar sus características en un ala soplada por las hélices, y en el estudio del perfil NorCASA-15, utilizado en el ala del C.101, resultado de un empalme de un perfil de la familia NACA de cinco cifras con un perfil laminar. Entonces disponíamos ya de un ordenador IBM 1130 con una capacidad de memoria de 16 kbytes y posibilidad de programación en FORTRAN con lo cual pudimos perfeccionar notablemente el cálculo numérico de las integrales.

Hoy día la capacidad de cálculo ha mejorado tanto que resulta casi anacrónico recordar aquellas épocas en las que el ala se consideraba compuesta de perfiles en los que, a su vez, era necesario separar curvatura y espesor, limitando el cálculo de velocidades y presiones en su superficie a un fluido perfecto sin viscosidad que podía deslizarse sobre la superficie del ala sin más condición que la de tangencia.

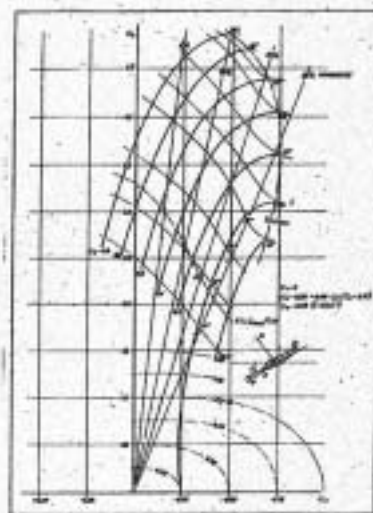
El ingeniero siempre acaba trabajando con valores numéricos de tal forma que, actualmente, tendemos a obviar el paso intermedio de cálculo de las funciones matemáticas que representan el comportamiento físico de los sistemas. Sin embargo, el conocimiento de la función es mucho más profundo que el de las tablas de valores, a los que pueden adaptarse funciones muy diversas. Sólo con este conocimiento más profundo podemos anticipar el comportamiento en ciertas condiciones especiales y establecer límites para no alcanzar situaciones indeseadas. Para el ingeniero el cálculo numérico es una herramienta de trabajo imprescindible pero no es en sí mismo un fin sino solamente un medio. El abuso del ordenador puede ser un problema cuando se olvidan las bases científicas del modelo matemático tratado y se pierde el sentido físico de los resultados obtenidos.

La primera aplicación de un ordenador, el ENIAC, se hizo para el cálculo de trayectorias de misiles balísticos durante la Segunda Guerra Mundial. Desde entonces su aplicación en problemas relacionados con la técnica aeroespacial ha ido multiplicándose y diversificándose pero, por sí mismo, es incapaz de sustituir al conocimiento científico siempre necesario.

# TÉCNICA



C.401



Avión C.401  
Polaras con ala suplada  
(Configuración de aerofinaje)

CN.235



## TÉCNICA: Impulsora de realidades

El trabajo del individuo es aun la chispa que produce el progreso de la humanidad.

Igor Sikorsky

La Real Academia Española define *Técnica* como: "Conjunto de conocimientos y recursos de los que se sirve una ciencia o un arte." Yo prefiero la definición de José Ortega y Gasset en *Meditación de la Técnica* que la conceptúa como: "El arte de crear lo que no hay en la naturaleza del hombre". En cualquier caso, supone un uso de conocimientos para crear algo concreto, ya sea material o inmaterial.

La Técnica Aeroespacial ha sido la responsable final de la creación de los diversos ingenios aeroespaciales que han visto la luz durante todo el pasado siglo, de sus elementos de propulsión y de control, de la integración en ellos de sistemas específicos para la transformación y distribución de energía a bordo de vehículos, de los sistemas de navegación y comunicaciones, de los de captación y envío de información, del armamento en vehículos de aplicación militar, en un mundo en el que, cada vez más, las ingenierías especializadas combinan sus esfuerzos creativos en aras de una mayor eficacia.

La evolución de la Técnica Aeroespacial en el siglo pasado ha sido verdaderamente vertiginosa: En los primeros aviones se atendía principalmente a la calidad sustentadora de sus alas, a su capacidad de control y a la eficacia de su propulsión. En la actualidad sustentación, control y propulsión se integran de tal forma que, en muchos casos es difícil separarlas. En los vehículos espaciales, cuya operación se realiza fuera de la atmósfera terrestre, la sustentación aerodinámica carece de sentido, para el control no puede contarse con acciones de contacto con el aire y en la propulsión no se dispone del oxígeno atmosférico como comburente.

El peso del vehículo aeroespacial ha sido siempre una preocupación para la ingeniería aeronáutica, ya que es la fuerza a vencer para mantener la aeronave separada de la Tierra. Ahorrar peso significa mejorar la eficacia del vehículo. Por ello las primitivas estructuras de madera forra-

das de tela se fueron sustituyendo por otras de aleaciones ligeras con revestimiento también metálico y trabajante. Para casos en los que se alcanzaban temperaturas altas se utilizaron aceros especiales y aleaciones de titanio. Finalmente hicieron su aparición los materiales compuestos, con fibras trabajantes y matriz estabilizadora, tratando siempre de optimizar la operación del vehículo.

Los sistemas propulsores evolucionaron desde la hélice accionada por motor de explosión hacia el turborreactor, los motores turbohélice y los motores cohete de propulsante sólido o líquido.

Todos los sistemas de a bordo y los de apoyo en tierra han ido incorporando los avances de otras técnicas relacionadas con la comunicación inalámbrica, la captación, tratamiento y transmisión de información, el telecontrol y el uso de otras fuentes de energía distintas de la química almacenada en combustibles fósiles.

No hay más que echar la vista atrás y comparar los aviones de los hermanos Wright con un avión moderno militar o civil, o con una sonda espacial para apreciar el salto cuántico de la Técnica Aeroespacial en un siglo.

Siguiendo con el guión que me he marcado de mencionar algún desarrollo técnico en el que he tenido la fortuna de participar personalmente, quiero hacer mención a un proyecto de avión que no llegó a volar pero que, sin duda, representó un avance de la capacidad técnica española en el campo de los aviones de despegue y aterrizaje corto que nos preparó para poder ser maestros en proyectos posteriores como el CN.235: se trata del avión C.401.

En el año 1971 el C.212 estaba iniciando sus ensayos en vuelo y demostrando su capacidad para operar en campos de muy corta longitud gracias a las buenas características sustentadoras de su ala y al sistema de control de sus motores que permitía un mando directo del paso de las hélices por el piloto cuando estaba en régimen de aproximación al campo de aterrizaje. Esta necesidad de operación en campos cortos, con obstáculos en su entorno, se estaba sintiendo en todo el mundo no sólo en aplicaciones militares, sino también civiles para dar servicio de transporte aéreo a comunidades ubicadas en zonas donde no se

disponía de grandes extensiones de terreno llano y despejado. El avión adecuado para este tipo de operaciones debía tener una gran capacidad de aceleración en el despegue y de frenado en el aterrizaje, además de poder permanecer en el aire a velocidades muy bajas. Esta última condición implicaba tener un ala con coeficientes de sustentación muy altos y la solución que se adoptó en la Oficina de Proyectos de CASA fue modificar el perfil del ala del C.212 para darle mayor curvatura en el 20% anterior e incrementar la zona del ala soplada por las hélices pasando a la fórmula cuatrimotor. Así nació el C.401 en un proyecto patrocinado por el Ministerio del Aire, como una extensión de las aplicaciones del C.212, que fue incluido posteriormente como uno de los cinco grandes proyectos del III Plan de Desarrollo considerando sus posibles aplicaciones civiles.

Contamos con la colaboración de AMD-BA (Avions Marcel Dassault-Breguet Aviation) que ya había desarrollado un avión de este tipo, el Breguet 941, y en una oficina conjunta situada en Burdeos iniciamos el desarrollo del proyecto general del avión, incluidos ensayos en el túnel aerodinámico del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). En este estudio general se utilizaron procedimientos muy interesantes para la época como fue la generación de un nuevo perfil de ala, basado en el del C.212, o una forma externa de fuselaje para la proa y la cola cuyas secciones transversales respondían a una fórmula:

$$\left[ \frac{y}{b(x)} \right]^{n(x)} + \left[ \frac{z - z_0(x)}{h(x)} \right]^{n(x)} = 1$$

que para  $n(x) = 2$  son elipses, pero pueden evolucionar hacia una forma rectangular al crecer  $n(x)$  permitiendo cumplir las condiciones geométricas impuestas por una rampa de carga posterior y situar un parabrisas de superficies planas en la proa.

Para mantener la máxima simetría de sustentación en el ala soplada las hélices de cada semiala giraban en sentido opuesto a las de la otra, anulando el par giroscópico originado en la curvatura de la trayectoria de vuelo y tenían el doble modo de control directo de régimen y de paso como en el C.212.

Pero lo más interesante fue el estudio de la Mecánica del Vuelo asociada al despegue y al aterrizaje. En ambos casos había que operar con la polar del avión teniendo en cuenta el efecto del soplo de las hélices en el ala, lo cual conducía a altos coeficientes de sustentación que reducían la velocidad de entrada en pérdida y permitían disminuir las velocidades de despegue y aterrizaje acortando sustancialmente los recorridos en tierra.

Pero en la técnica todo tiene su precio y al considerar las condiciones de fallo de un motor en el despegue o en una maniobra de aterrizaje frustrado el avión se hacía incontrolable lateral y direccionalmente, si la velocidad de vuelo era pequeña, con lo cual se anulaba la ventaja de reducción de la velocidad de pérdida. Breguet había resuelto el problema en el B.941 interconectando mecánicamente los motores con un árbol que recibía la potencia de los motores activos y accionaba las cuatro hélices en una solución similar a la que se utiliza actualmente en el convertible V-22. Pero esta solución es complicada y conlleva un aumento de peso y coste de mantenimiento. Entonces nosotros pensamos en una conexión eléctrica entre motores simétricos que, actuada por el piloto cuando iba a realizar una maniobra de despegue o aterrizaje corto, garantizara la igualdad de par entre ellos y cortara la potencia de un motor llevando la hélice a paso de transparencia en caso de fallo del motor simétrico. En realidad estábamos convirtiendo el avión cuatrimotor en un bimotor simétrico para operaciones en campos cortos.

Una dificultad añadida era que no había normas específicas para aviones de este tipo y que, por tanto, era necesaria una amplia experimentación, fundamentalmente en el campo de aplicaciones militares, antes de que se produjera una normativa civil para avalar la utilización rutinaria de aviones en unos campos con condiciones que tampoco estaban bien definidas.

Por otra parte, el Ejército del Aire tenía una cierta urgencia en resolver su problema de contar con un avión de transporte de tamaño incluso mayor que el previsto para el C.401 y a ello se unió un cambio en la alta dirección de CASA que prefería desarrollar un avión de escuela avanzada antes que continuar con la línea de aviones de transporte. Por ello se canceló este proyecto y el C.401 nunca llegó a volar pero dejó en las personas que tuvimos la suerte de participar en él un caudal de

técnica que nos sirvió posteriormente para ser los maestros en el desarrollo del CN.235, cuando se volvió a retomar la línea original de proyectos, y seguir acreditando a CASA como líder en el campo de los aviones de transporte ligero y medio con características STOL (*Short Take-off and Landing*).

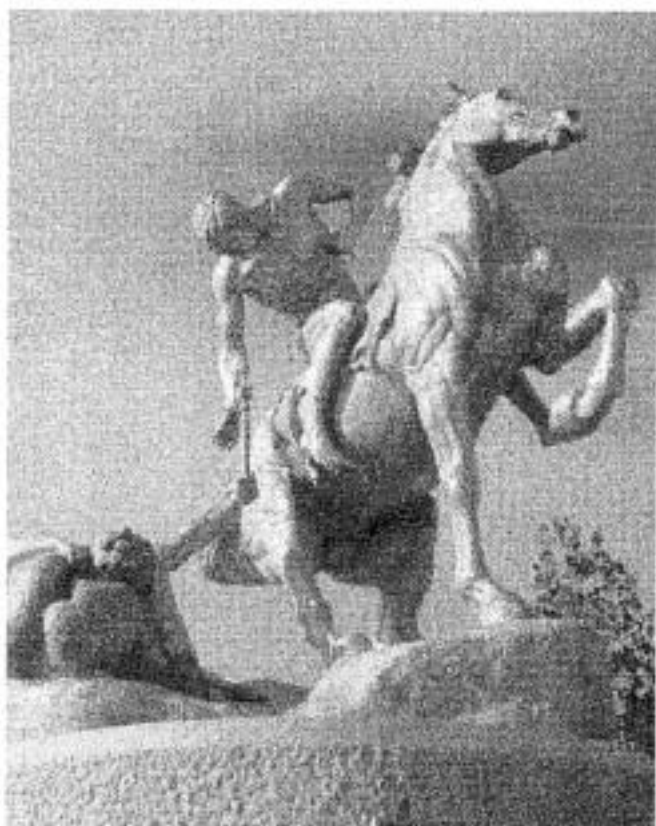
En el proyecto del C.401 se empezó a emplear de una forma más general el ordenador IBM 1130 de 16 kbytes del que disponía la Dirección de Proyectos de CASA, cedido por el Ministerio del Aire. En él se realizaron trabajos de definición geométrica del ala, del fuselaje y superficies de cola. También se utilizó para el cálculo teórico de las polares del avión con ala soplada y para la determinación de las actuaciones más importantes.

Algunos de los ingenieros de Dassault, que colaboraron en el proyecto general del C.401, estuvieron implicados posteriormente en el desarrollo del CATIA que, actualmente es uno de los sistemas de diseño asistido por ordenador más aceptados en Aeronáutica.

En esta misma época, también en un ordenador IBM 1130, SENER estaba desarrollando su sistema FORAN (Fórmulas Analíticas) para la representación geométrica del casco de buques que, con el paso del tiempo y las mejoras de los equipos informáticos, ha llegado a ser uno de los mejores sistemas para diseño y fabricación de barcos.

*"Technica impendi nationi"* es el lema del escudo de la Universidad Politécnica de Madrid y es bien patente su verdad porque, en el mundo actual, es la Técnica uno de los elementos esenciales para el progreso de los pueblos.

# LA FORMACIÓN DE INGENIEROS



**Los portadores de la antorcha  
(Anna Huntington)**



## LA FORMACIÓN DE INGENIEROS: Nuestro futuro

¿No hay límites, Juan? ¡Bueno, llegará entonces el día en que me apareceré en tu playa, y te enseñaré un par de cosas acerca del vuelo!

Richard Bach (*Juan Salvador Gaviota*)

Acudiendo de nuevo al diccionario de la Real Academia Española, nos encontramos que *formación* es "la acción o efecto de formar", lo cual es, a su vez, "adquirir una persona más o menos desarrollo, aptitud o habilidad en lo físico o en lo moral".

La formación de los futuros ingenieros es una de las tareas esenciales de toda sociedad que quiera continuar su progreso y es función primordial de todos los ingenieros que ejercen su profesión transmitir sus conocimientos y experiencias a los que están destinados a sucederles para que éstos puedan incrementarlos y realizar su propia tarea de transmisión ininterrumpida.

En el proceso formativo intervienen tres componentes fundamentales que cierran un triángulo, la figura plana más simple capaz de encerrar un área en el espacio bidimensional: profesores, alumnos y planes de estudio. En semejanza con un proceso de producción, serían los operarios, la materia prima y los métodos de tratamiento. Los tres son imprescindibles para poder alcanzar el objetivo propuesto, pero todo triángulo tiene una base y en el de la formación creo que la base es el profesorado. Los buenos profesores son capaces de seleccionar adecuadamente los alumnos más idóneos para convertirse en buenos ingenieros, y elaborarán unos buenos planes de estudio que harán posible una buena formación dentro de los límites racionales exigibles y posibles en cada momento. Pienso, por tanto, que una buena selección del profesorado, a todos los niveles, es lo fundamental para poder lograr una buena formación de los futuros ingenieros.

En un profesor es básico su caudal de conocimientos, especialmente relacionados con lo que se pretende enseñar, y su capacidad de seguir aprendiendo, ya que no se puede enseñar lo que no se conoce o, lo que es peor, pretender enseñar lo que se conoce defectuosamente. Pero también es imprescindible su vocación docente, acompañada de la

habilidad para transmitir conocimientos. Antiguamente las Escuelas Especiales de Ingenieros dependían de los Ministerios a cuyo servicio estaban destinados los profesionales que se formaban en ellas. Los profesores se seleccionaban entre personas que ejercían su actividad profesional con brillantez y pasaban a tener un destino docente más o menos intenso y permanente. El claustro se completaba con otros profesores universitarios de prestigio, que aportaban ideas y conocimientos en la periferia de la propia profesión. El tiempo cambia y con él las necesidades de actividad profesional de los ingenieros y, por tanto, su formación. Las escuelas de ingenieros se integraron en el sistema general universitario español y, la casi explosiva expansión de este último ha producido un cambio importante en los docentes convertidos en funcionarios de carrera con una trayectoria que, en determinados casos, llega a apartarles del ejercicio profesional real. Por otro lado, no se favorece la participación en la docencia de personas brillantes en el ejercicio profesional que, además, tengan una cierta vocación por la enseñanza, ni por parte de la Universidad ni por parte de las organizaciones en las que trabajan. Aunque en teoría existe la figura de profesor asociado, como persona de reconocido saber y experiencia en el campo profesional, en muchos casos se aprovecha este profesorado para encomendarle las tareas que los profesores de plantilla no quieren desarrollar y está sometido a unas condiciones de juicio para su anual renovación difíciles de aceptar con un mínimo de dignidad. Las organizaciones que emplean ingenieros son también reacias a ceder parte del valioso tiempo de sus mejores profesionales para que lo dediquen a otras actividades que no tienen un reflejo inmediato en sus índices de eficacia y no piensan que el tiempo que pueden dedicar al estudio y preparación de la enseñanza crea una sinergia que redundaría en un alto beneficio para todo el sector y, en definitiva, para todos los que participan en él. No voy a decantarme por uno u otro sistema de selección del profesorado para la ingeniería que, en todo caso, tiene sus peculiaridades respecto a otras enseñanzas universitarias, pero sí quiero llamar la atención sobre el peligro de una funcionarización excesiva del mismo que crea una endogamia que es fuente de degeneración.

La selección de alumnos es otro de los puntos básicos para un buen sistema formativo. Antaño la selección era previa a la formación específica, siguiendo el modelo de oposición a los cuerpos del Estado. La base de esta selección se cifraba en el dominio de una serie de capacidades

en un limitado campo de conocimientos físico-matemáticos. Con ello se desperdiciaban muchas vocaciones y se generaban odios fruto de una prematura frustración. Hoy día la selección inicial es la común a todo el sistema universitario español sobre la base de unas calificaciones, alcanzadas en estudios previos, de difícil homogeneidad y en una vocación manifestada cuya intensidad no se evalúa. Después se continúa la selección por la propia capacidad del alumno para seguir el proceso de aprendizaje previsto en un sistema que hace difícil el seguimiento personalizado a causa del número excesivo de alumnos, lo cual puede conducir nuevamente a injusticias en la concesión final de titulaciones que habilitan para un ejercicio profesional.

Cuando se detecta un funcionamiento defectuoso de la enseñanza en algún nivel es habitual y fácil culpar del fracaso al mal rendimiento del nivel anterior. Puede que haya algo de razón en ello pero nunca puede servir de excusa. La función de todo profesor es recibir un grupo de alumnos con un cierto nivel medio de formación y, con un determinado esfuerzo personal de cada uno de ellos, pero centrado en un valor medio, llevarlos hasta un nuevo nivel racionalmente prefijado que, en el caso de los ingenieros, es la preparación para un digno ejercicio profesional en el presente, pero sobre todo para que sean capaces de seguir aprendiendo e innovando, ya que la misión última del ingeniero es la de crear para mejorar todo aquello en lo que interviene cualquiera que sea su naturaleza. Yo soy partidario de favorecer y estimular la participación de los ingenieros en los niveles formativos anteriores al universitario para mejorar la preparación previa y acrecentar las vocaciones de los mejores hacia la ingeniería. En este sentido es oportuno hacer una llamada a las organizaciones en las que prestan sus servicios los ingenieros para que sean generosas en su aportación a estas tareas docentes que pueden ser tan importantes en su esencia como las de los niveles superiores.

Y me quedan por comentar los planes de estudio, también esenciales para el buen cumplimiento del objetivo de formación dentro de plazos razonables. Yo veo la formación con la que sale un ingeniero al acabar su fase de estudios reglada como un vector en el espacio de cuatro dimensiones que forman el arte, en el más amplio sentido cultural del término, el ingenio, la ciencia y la técnica. Ninguno de estos cuatro componentes debe faltar en un buen plan de estudios, puesto que ellos

son el universo donde se desarrollará en el futuro su actividad profesional e incluso humana. Pero a su vez cada una de las bases de este espacio tetradimensional pertenece a otros espacios multidimensionales, no disjuntos, cuyas bases están formadas por conocimientos específicos que algunas veces se entremezclan. En este complejo sistema es necesario seleccionar un vector final como meta de formación de cada ingeniero respetando una serie de restricciones relativas a la duración y esfuerzo exigible, a la coordinación con otros estudios similares nacionales y extranjeros, la evolución lógica de la actividad que se espera desarrollen los titulados y su capacidad para formar a los ingenieros que en su día les sustituirán.

La selección de materias a impartir es siempre difícil, ya que existe una tendencia natural a comunicar lo más posible de un saber que hemos ido adquiriendo con el paso del tiempo y el ejercicio de la profesión. Arte e ingenio precisan de un sustrato personal variable, pero hay métodos para estimularlos planteando problemas cuya solución aún no es bien conocida. Recuerdo los problemas de "idea feliz" que nos planteaban en la preparación del antiguo ingreso en las Escuelas Especiales como estimulantes del ingenio. La Técnica es deseable para que el ingeniero pueda integrarse en el trabajo profesional con un sentimiento de utilidad inmediata. Pero, en mi opinión, es la Ciencia el componente más importante de la formación académica, no sólo por la necesidad de conseguir un nivel universitario, sino también porque el aprendizaje de estas materias es más sencillo en la edad en la que, normalmente, se desarrollan estos estudios.

De todas formas, lo importante es preparar a los alumnos para que adquieran la capacidad de aprender y, que en cualquier trabajo que desarrollen en el futuro lo hagan siempre con un sentido de análisis crítico convencidos de que todo puede mejorarse.

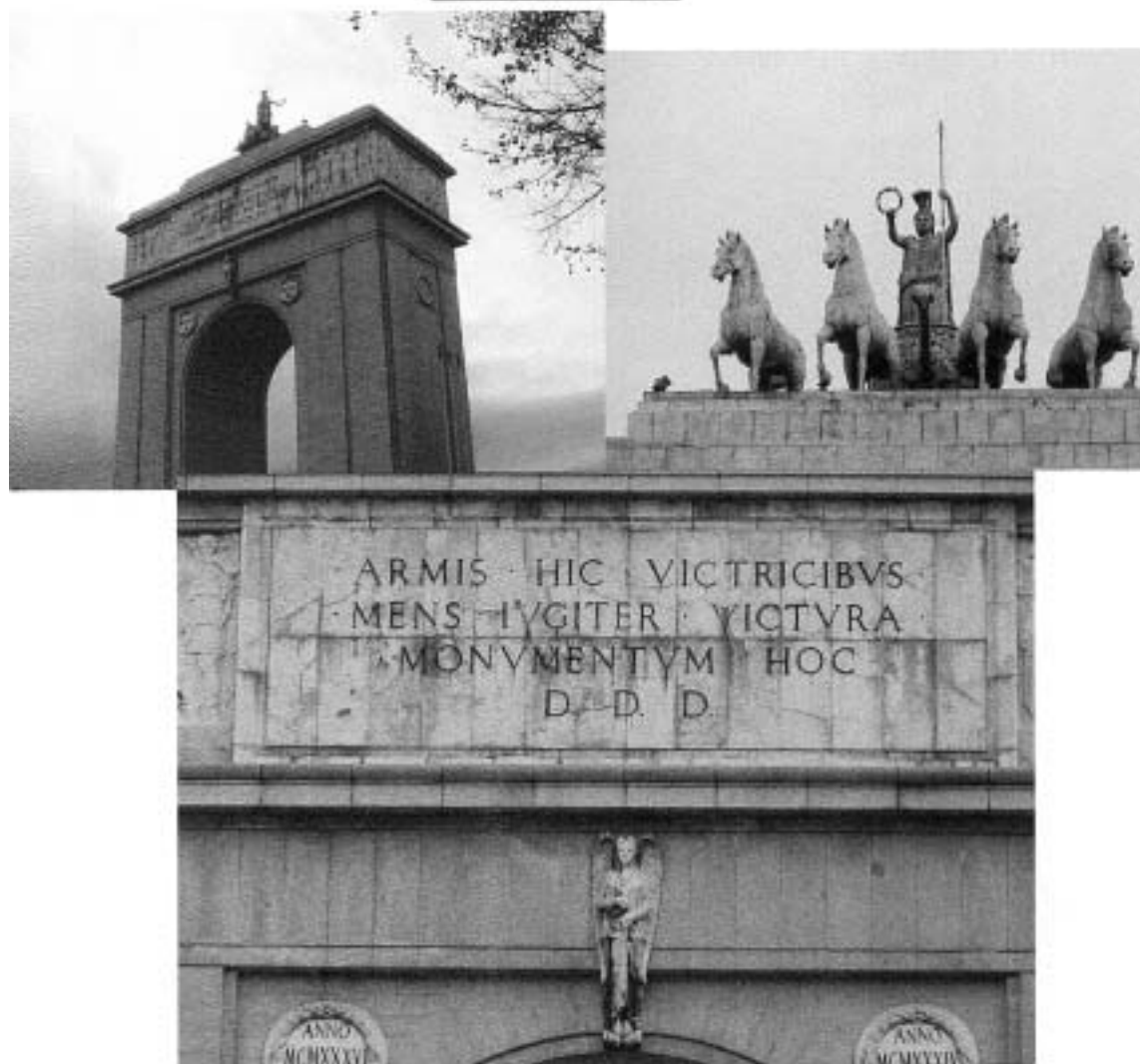
En una cierta etapa de mi vida el médico me recomendó paseos por un lugar plano y arbolado. Elegí por proximidad a mi actividad docente la avenida Séneca en la Ciudad Universitaria de Madrid y, con frecuencia, pasaba junto a la maravillosa escultura de Anna Huntington *Los portadores de la antorcha* y meditaba sobre la función docente dedicada a perpetuar el fuego, como símbolo de vida, más allá de la existencia limitada del ser humano. El trabajo puede ser difícil pero siempre es po-

sible, como lo viene demostrando la historia. En este momento nos encontramos nuevamente ante la encrucijada de adaptar nuestros actuales planes de estudios, que apenas acaban de implantarse, al espacio de una educación superior común europea. Creo que seremos capaces de hacerlo y evitar un peligro que siempre nos acecha: la tendencia demagógica a igualar por lo bajo que puede ser fatal para la ingeniería española. Entre nosotros hay personas suficientemente preparadas para impartir una formación en ingeniería comparable a la de las mejores escuelas europeas y es cuestión de aprovecharlas en la labor más importante para nuestro futuro.

Me gusta dejar volar mi imaginación y pensar que la labor de preparar ingenieros es similar a la del artificiero que organiza una sesión de fuegos artificiales que, al ser lanzados, iluminan la noche festiva llenándola de belleza. De cada una de las maravillosas palmeras surgen, a su vez, nuevos puntos de luz que se expansionan en otras y así sucesivamente. Pero hay una diferencia importante: Los fuegos artificiales, al ser disparados, queman su existencia sin posibilidad alguna de volver a reproducirse. La virtud de la ingeniería está en que, además de mostrar su luz, es capaz de volver a generar nuevos y más perfectos ingenieros que garanticen la continuidad de la tarea encomendada.

*Perfundet omnia luce* es el lema de la medalla que nos entregaban a los catedráticos de la Universidad Politécnica de Madrid al tomar posesión de la plaza que obteníamos en una oposición en la que se pretendía evaluar nuestra capacidad docente y nuestra dote de conocimientos. Al aceptarla todos los docentes adquirimos un compromiso de llenar de luz a todos nuestros discípulos y a cuantos nos rodean.

## EPÍLOGO



Puerta de Moncloa

## EPÍLOGO

Han pasado cien años desde que los hermanos Orville y Wilbur Wright consiguieron poner en vuelo un aparato más pesado que el aire con unos pequeños saltos de muy pocos metros sobre la tierra mantenidos durante menos de un minuto. Hoy el hombre ha sido capaz de salir de la atmósfera terrestre, pisar la Luna y enviar sondas no tripuladas fuera del sistema solar.

La Aeronáutica y su natural prolongación, la Astronáutica, han hecho progresar la Ciencia y la Técnica y se han aprovechado de sus progresos para impulsar el desarrollo de la humanidad basado en un mejor conocimiento de nosotros mismos y de nuestro entorno.

Probablemente los hermanos Wright nunca pensaron que su invento iba a llevarnos a las cotas que hoy hemos alcanzado. ¿Cómo será el mundo aeroespacial dentro de cien años? Yo me siento incapaz de predecirlo por mucha imaginación que quiera poner en ello.

Hay algunas cosas que se vislumbran ya como altamente posibles: el empleo de técnicas de teleinformación y telecontrol en vehículos sin tripulación humana a bordo, el establecimiento de bases para el trabajo científico en la Luna y en Marte, las aeronaves transatmosféricas para viajes repetitivos a estaciones satélites de la Tierra, los aviones de transporte supersónicos para viajes transoceánicos y transcontinentales que complementen e incluso compitan en eficiencia con los subsónicos más convencionales aunque perfeccionados, las aeronaves convertibles que eviten la necesidad de costosas infraestructuras terrestres. Todo ello formará un mundo aeroespacial nuevo surgido de una evolución natural pero no hay que descartar la presencia de ideas geniales capaces de revolucionar este desarrollo.

Hace poco más de un siglo el átomo era el elemento menor e indivisible del que estaba formado todo el Universo. Hoy el átomo es todo un mundo de materia y energía indiscernibles que nos ofrece nuevas fuentes de energía utilizable. La Aeronáutica ha sacado buen partido en el

desarrollo de nuevos materiales ligeros y resistentes al esfuerzo al que están sometidos profundizando en la constitución íntima de la materia. Es muy posible que pronto las estructuras aeroespaciales sean inteligentes y sepan adaptarse a las condiciones de trabajo a las que están sometidas en cada momento.

Las estaciones espaciales nos permiten ver la Tierra desde una nueva perspectiva y observar el Universo sin el filtro de nuestra atmósfera terrestre. Con ello podremos conseguir un mejor conocimiento de nuestro origen y nuestro destino, así como mejorar nuestra capacidad para intervenir en él.

Hoy sabemos ya que espacio y tiempo tienen una misma naturaleza común, al igual que sucede con la materia y la energía. Posiblemente las teorías de unificación avancen para enseñarnos que todo procede de un principio único.

Estoy seguro de que, al igual que en el pasado, la Aeronáutica y la Astronáutica van a aprovecharse de los avances científicos y van a contribuir a su impulso siguiendo la pauta que han marcado en este siglo de su existencia.

Permitidme ahora volver a dejar volar mi imaginación. En la entrada desde Madrid a la Ciudad Universitaria se alza un esbelto arco conocido hoy como Puerta de Moncloa. Se levantó allí entre los años 1953 y 1956 cuando yo estudiaba mi carrera de ingeniero aeronáutico en el edificio de la Escuela Especial de Ingenieros Navales. Desde allí lo vi crecer hasta su conclusión en mayo de 1956, cuando yo estaba a punto de acabar mi carrera. Después he pasado junto a él muchas veces cuando acudía a desarrollar mis actividades docentes y siempre me ha invitado a elevar mi vista hacia el cielo. Coronando el arco hay una cuádriga símbolo de competición y de victoria en el Imperio romano. Yo veo en esa cuádriga a la ingeniería competidora y triunfante, arrastrada por y dominando a los cuatro corceles del arte, el ingenio, la ciencia y la técnica, entrando en la sede floreciente de los estudiantes de Madrid, capital y símbolo de toda España, para integrarse con ellos en una tarea de progreso. En el frontis del arco una leyenda, redactada en un latín virgiliano con tres verbos encriptados en las últimas letras:



Armis hic victricibus  
Mens jugiter victura  
Monumentum hoc  
D.D.D.

A las armas que aquí lucharon  
La mente juiciosa victoriosa  
Este monumento  
Debía, da y dedica

La historia nos muestra que la ingeniería ha colaborado frecuentemente en el desarrollo de armas que los hombres han empleado en sus disputas. Pero el mal no está en las armas sino en la mente que las usa para imponerse a los oponentes. De las armas se han derivado muchas veces grandes beneficios para la humanidad. Es el caso del transporte aéreo, que ha favorecido el mutuo conocimiento y fomentado la unión de los pueblos, que surgió a partir de los aviones de bombardeo de la Primera Gran Guerra y de su perfeccionamiento, con la aplicación del turboreactor como elemento propulsivo empleado inicialmente en los aviones de combate. La salida del hombre al espacio exterior tiene su antecedente inmediato en las armas de represalia desarrolladas por los alemanes durante la Segunda Guerra Mundial. Por otra parte, los inventos más útiles para el bienestar humano pueden convertirse en armas terribles en manos de una mente desquiciada, como ha sido el caso del atentado contra las Torres Gemelas de Nueva York apenas iniciado el segundo milenio. Las armas tienen su función para evitar el caos y restablecer el orden cuando la mente pierde el juicio y se instaura el dominio de la sinrazón. La principal función de la ingeniería es tratar de resultar vencedora frente a esa otra cuádriga arrastrada por los caballos del Apocalipsis: el Hambre, la Peste, la Guerra y la Muerte que causan la desdicha de la Humanidad. Es un compromiso ineludible que nos alcanza a todos, y muy especialmente a los que hemos sido distinguidos con el honor de ser designados Académicos, escuela suprema de la Ingeniería, para conseguir el progreso y la felicidad de los hombres en hermandad, justicia y paz.

He dicho.



CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. AMABLE LIÑÁN MARTÍNEZ



Excelentísimo Sr. Presidente,  
Compañeros de la Academia  
Señoras y Señores,

Es para mi un privilegio haber sido encargado por la Academia con la tarea de dar la bienvenida a la misma a José Luis López Ruiz, que fue elegido por las tan sobresalientes aportaciones que ha hecho a la Ingeniería Aero-náutica Española.

Es particularmente grato para los Ingenieros Aeronáuticos el que haya sido elegido precisamente cuando estamos conmemorando el centenario del primer vuelo horizontal propulsado en una aeronave (el avión) más pesada que el aire y el 75 aniversario de la creación de la Escuela Superior Aerotécnica. José Luis López Ruiz nació en Burgos en 1932. Fue un estudiante excepcional. Ingresó en la Escuela Especial de Ingenieros Aeronáuticos, en 1951, con el número uno de su promoción y terminó, en 1956, también con el número uno de la promoción. Inició su servicio militar en el Servicio de Vuelo de la Milicia Aérea Universitaria, donde obtuvo el título de piloto también con el número uno de su promoción.

Fue desde 1954 becario en la Sección de Experimentación en Vuelo del INTA y desde 1955 en la Dirección de Proyectos de CASA, a donde se incorporó al terminar sus estudios en 1956, como Jefe de la Sección de Ensayos en Vuelo. Ya en 1957 se inicia su actividad docente en nuestra Escuela de Ingenieros Aeronáuticos. Con sus contribuciones al proyecto de aviones y a la docencia de la Ingeniería Aeronáutica ha mantenido viva y alta la antorcha que antes portaron otros Ingenieros Aeronáuticos excepcionales.

Permítanme que empiece dedicando algunas palabras de homenaje a la hazaña de los hermanos Wright, y a las contribuciones de algunos gigantes de las ciencias aeronáuticas, junto con algunas aportaciones sobresalientes españolas a la Ingeniería Aeronáutica. Así podemos establecer mejor el marco en que pudo desarrollarse la actividad ejemplar de José Luis López Ruiz.

Los cuatro vuelos que hicieron Wilbur y Orville Wright el 17 de diciembre de 1903 en Kitty Hawk , North Carolina, señalan para nosotros el nacimiento de la Ingeniería Aeronáutica; porque sólo fue posible como re-

sultado de sus observaciones, estudios, ensayos y trabajo intenso y meditado durante los cuatro años anteriores. (En realidad en el poco tiempo libre que, en el otoño, les permitía su trabajo en el taller de alquiler, venta, reparación y fabricación de bicicletas de su propio diseño, que, en 1893, habían montado en Dayton, Ohio).

Consideramos a los hermanos Wright los primeros Ingenieros Aeronáuticos porque nos enseñaron cómo había que proceder para dotar al avión de una configuración y una estructura bien integrada con los sistemas de sustentación, propulsión y control y guiado.

Los hermanos Wright estaban dotados de una curiosidad intelectual excepcional. Aunque su educación formal terminó con la enseñanza secundaria eran lectores asiduos de la Enciclopedia Británica, que tenían en su casa. El menor tenía un gran ingenio y habilidad mecánica; había trabajado dos años, durante las vacaciones veraniegas de la enseñanza secundaria, en una imprenta. Entonces concibió un nuevo tipo de prensa, muy novedoso, que construyeron los hermanos como base para una imprenta que montaron y fue su fuente principal de ingresos en el período 1890-1896.

Fue durante ese período cuando se sumaron, quizás los primeros en Dayton, a la fiebre deportiva que había llegado con la bicicleta. Por la habilidad mecánica de ambos, pronto se encontraron reparando las bicicletas de muchos de sus amigos; ésto les animó a abrir un taller de bicicletas en 1893. Para disponer de la potencia necesaria para mover el torno y otras herramientas, Orville diseñó y construyó un motor de gas de 2 CV, que posteriormente utilizaría para mover el ventilador de su túnel aerodinámico.

Los hermanos Wright estaban muy impresionados por los vuelos planeados del Ingeniero Mecánico alemán Otto Lilienthal. Su muerte en 1896, por entrada en pérdidas, les motivó a participar en el empeño de vuelo con planeadores. Su experiencia con la bicicleta, que es un vehículo inestable, les llevó a poner su atención en el control y el guiado. Pensaron que podían hacer una contribución esencial al vuelo dotando al planeador de superficies móviles para conseguir el control basándose en las fuerzas aerodinámicas; abandonando los empeños anteriores de buscar el control con el desplazamiento del cuerpo del piloto, como en la cuerda floja.

Eligieron una configuración estructural del avión en la que dos planos sustentadores estaban limitados por dos largueros en los bordes de ataque y de salida, unidos por costillas y forrados de tela. Los largueros estaban unidos por unos montantes verticales para formar una estructura robusta, tipo Pratt.

Para facilitar el aterrizaje, el plano inferior se apoyaba en un patín, formado por dos barras metálicas que se prolongaban curvándose hacia arriba delante del avión. En la parte delantera de este patín se adosaba un estabilizador móvil, que actuaba de timón de profundidad para el control de cabeceo; este timón cuando está delante del avión se dice de tipo canard. El control de balanceo, necesario para inclinar el avión, como la bicicleta, cuando éste debe cambiar de dirección, se conseguía torsionando ó alabeando los extremos de las alas en sentidos opuestos, para aumentar el ángulo de ataque, y con ello la sustentación, de un extremo y disminuir la del otro, tal como se hace hoy con los alerones. El primer modelo y los dos primeros planeadores no disponían todavía de timón de dirección, pensando que los cambios en la dirección (guiñada) los conseguirían con el alabeo. En resumen, buscaron una solución estructural bien integrada con el control. Al igual que ocurre con algunos aviones de caza actuales, la aeronave de los hermanos Wright era inherentemente inestable, pero su estabilidad en vuelo se aseguraba mediante el control del piloto.

Para asegurar la consistencia estructural hacían ensayos colgando el avión de las puntas del ala y cargándolo con pesos hasta cinco veces superiores al del piloto.

Reconocieron la necesidad de ensayos en vuelo que les proporcionarían los conocimientos necesarios de las actuaciones y les sugirieron las modificaciones necesarias. Wilbur afirmaba que la experiencia directa del vuelo era imprescindible y ponía por ejemplo que la única manera de domar un potro era lanzándose al empuje y no esperando sentado a observar las cabriolas que hacía.

Fueron a Kitty Hawk buscando vientos fuertes y grandes dunas que le facilitasen el vuelo con el planeador. Empezaron volándolo como cometa con distintas cargas, midiendo en vuelo la sustentación y resistencia y la respuesta al sistema de control. También hicieron los primeros vuelos, to-

davía como cometa, con Wilbur montado y actuando sobre los mandos. Después pasaron al vuelo como planeador.

Descubrieron que las actuaciones no eran las que se deducían de los datos existentes en la literatura sobre el tema, que ellos conocían bien. En particular encontraron que el ángulo de planeo, que en radianes corresponde a la relación resistencia/sustentación, era bastante más grande que el previsto. Por ello, en el otoño de 1901 decidieron generar sus propios datos montando el segundo túnel aerodinámico americano, al que dotaron de un sistema de balanzas para medir la resistencia y sustentación. Probaron más de doscientas maquetas de alas y planeadores recogiendo una información valiosísima y fiable para sus diseños posteriores. Descubrieron, por ejemplo, que la resistencia se reducía considerablemente al aumentar el alargamiento.

Cuando en Septiembre de 1902 iniciaron en Kitty Hawk los ensayos con un nuevo planeador, diseñado con la información proporcionada por los ensayos en túnel, encontraron actuaciones que concordaban bien con sus predicciones. El ángulo de planeo se redujo a 5 grados, que corresponde a una relación L/D entre la resistencia y la sustentación próxima a 10. En los aviones comerciales actuales esta relación no sobrepasa fácilmente el valor 20.

Los resultados fueron tan satisfactorios, con un valor tan bajo de la tracción necesaria para compensar la resistencia, que a su vuelta decidieron dedicarse plenamente al empeño del vuelo propulsado. De manera que contrataron a Charles Taylor, un mecánico excepcional asentado en Dayton, que previamente había hecho trabajos para ellos, para que se encargase del funcionamiento del taller de bicicletas.

Se ocuparon entonces del problema de la propulsión, para lo que necesitaban diseñar una hélice que les proporcionase el empuje necesario para vencer la resistencia que sabían predecir. Se encontraron con que no existía un método predictivo para su diseño; pero pronto comprendieron que podían suponer que la hélice se comportaría como un ala que sigue una trayectoria espiral. La tracción resulta de la sustentación de cada elemento de pala, y el par a vencer con el motor corresponde a la resistencia. Se decidieron por una configuración con dos hélices bipalas, en movimiento



contrarrotatorio transmitido desde el eje del cigüeñal del motor por dos cadenas de transmisión de bicicletas.

En cuanto al motor, descubrieron que no existían fabricantes dispuestos a construirles un motor con la pequeña relación, peso/potencia, que ellos necesitaban. Por ello se decidieron, con la ayuda inestimable de Charles Taylor, a diseñarlo y construirlo ellos mismos; lo que hicieron en seis meses. El motor, de 80 Kg. de peso, empezó proporcionando, a 1000 rpm, 12 CV de potencia, que aumentó posteriormente hasta 16 CV. Cuando finalmente probaron el motor con las hélices, encontraron que éstas, girando a 300 rpm, tenían un rendimiento del 60%, superior al que ellos habían previsto.

Cuando, a finales de Septiembre de 1903, llegaron a Kitty Hawk se encontraron con un período de mal tiempo y vientos muy fuertes con ráfagas. Aprovecharon para hacer ensayos con el planeador de 1902, medir la eficiencia de la transmisión con las cadenas de bicicleta, que, después de algunos refinamientos, resultó ser excelente. También montaron los primeros instrumentos de navegación, entre ellos un tacómetro, un anemómetro y una cuerda que pendía del timón de profundidad, con el objeto de detectar la deriva, ya que ésta podía conducir a la barrera espiral si no se controlaba a tiempo.

El 13 de Diciembre, a las 10:35, el Flyer I, después de arrancar el motor, avanzó por el carril metálico que facilitaba el despegue, lo que hizo con Orville a los mandos (porque le había correspondido la suerte) y Wilbur corriendo al lado. Tenía un viento de frente de 33 Km/h. Voló horizontalmente durante 12 segundos, unos 60 metros, y aterrizó.

Después volaron alternativamente los dos hermanos otras tres veces. El último vuelo, con Wilbur de piloto, duró cincuenta y nueve segundos y recorrió una distancia de algo más de 250 metros, con un viento opuesto de 32 Km/h, a una velocidad de unos 50 Km/h respecto al aire. Cuando estaban comentando las incidencias del vuelo, una fuerte ráfaga sacudió al Flyer, produciendo destrozos que no intentaron reparar por falta de tiempo disponible antes de la Navidad.

Orville escribió el siguiente telegrama a su padre *“Éxito en la mañana del jueves, con cuatro vuelos contra un viento de treinta y tres kilómetros por hora,*

*volando en horizontal con una velocidad respecto al viento de cincuenta kilómetros por hora, el más largo de 59 segundos; informa a la prensa. En Navidades en casa”.*

Sólo cinco periódicos dieron la noticia, relegada a páginas interiores y deformada por la imaginación de los periodistas; lo que no preocupó a los hermanos Wright. No habían invertido más de 2000 dólares, incluyendo los costes de su trabajo y los de material y gastos de viaje, en la hazaña; cuyos resultados a ojos del vulgo podían parecer modestísimos. Ellos sabían, como nosotros hoy, que ya habían dado los pasos esenciales para el vuelo humano. Ahora quedaba desarrollar el avión para convertirlo en un vehículo práctico.

Los hermanos Wright no pudieron beneficiarse de los análisis teóricos pero tampoco pudieron usar con fiabilidad los resultados de las medidas experimentales existentes. La causa de este vacío experimental se debe en buena medida a la falta de una descripción teórica de los flujos de interés aeronáutico, imprescindible para iluminar y guiar los métodos experimentales.

La situación cambió radicalmente cuando en 1904, hace ahora cien años, Ludwig Prandtl, que tenía 29 años cuando acababa de ser nombrado Director del Instituto de Mecánica Aplicada de la Universidad de Göttingen, presentó, en el Tercer Congreso Internacional de Matemáticas en Heidelberg, uno de los trabajos más trascendentes de la literatura científica. Está recogido en las Actas del Congreso, donde de modo muy claro, aunque sucinto porque solo tuvo 12 minutos para su exposición, se sientan las bases de la Mecánica de Fluidos moderna y se explican muchos de los fenómenos que antes parecían misteriosos.

En muchos flujos en torno a cuerpos las fuerzas viscosas pueden despreciarse en la mayor parte del dominio fluido; pero, como observó Prandtl, no cerca de la pared ni en una estela aguas abajo. Fuera de estas regiones el fluido responde como no viscoso, ó como nosotros decimos como ideal; el movimiento puede describirse mediante las Ecuaciones de Euler. Al movimiento de un fluido ideal no se le puede imponer la condición de no deslizamiento en la pared, por lo que el fluido de la corriente exterior desliza respecto a la pared con una velocidad no nula. Ésta cae rápidamente a cero a través de la delgada capa límite, donde entran en juego los

efectos de la viscosidad. La capa límite puede desprenderse ante gradientes de presión adversos, prolongándose en las capas de torbellinos de Helmholtz, que cambian radicalmente la estructura del flujo.

El desprendimiento de la capa límite sólo puede evitarse, o más bien retrasarse, utilizando cuerpos fuselados esbeltos y alas delgadas, y operando a ángulos de ataque pequeños. Para asegurar que el punto de desprendimiento esté cerca del borde de salida los bordes de salida deben ser afilados, como son los de los aviones, como supongo que habrán observado ustedes.

La resistencia que en esas condiciones tienen los perfiles, o las alas de envergadura infinita, es muy pequeña. Sólo se debe a las fuerzas viscosas que actúan en la capa límite, como nos enseñó a calcular Prandtl. La sustentación es proporcional al ángulo de ataque hasta que, a veces bruscamente, el punto de desprendimiento se desplaza a las proximidades del borde de ataque y el ala entra en pérdida, dejando entonces de producir sustentación.

En las alas de envergadura finita, cuando la capa límite se desprende cerca del borde de salida, se genera en cada ala una capa de torbellinos, según descubrió el inglés Lanchester y calculó Prandtl, que conduce a un valor ya no nulo de la resistencia, que llamamos inducida. Las capas de torbellinos se enrollan aguas abajo para formar la pareja de torbellinos contrarotatorios que sirven de estelas de condensación, y señalan el paso de los aviones si las condiciones de la atmósfera son apropiadas.

Prandtl, con la colaboración de Teodoro von Kármán y de una Asociación para el Progreso del Vuelo, montó en Göttingen un túnel aerodinámico de circuito cerrado que sirvió de guía para la construcción de muchos otros túneles aerodinámicos.

También Teodoro von Kármán hizo contribuciones muy importantes, tanto a la aerodinámica como a los aspectos estructurales de los aviones. Cuando fue nombrado, después de su creación en 1928, director de los Laboratorios Aeronáuticos Guggenheim del Instituto Tecnológico de California convirtió este centro de investigación y enseñanza en otro centro de excelencia como el de Göttingen.

En España las aportaciones a la Aeronáutica nacen con la contribución de Leonardo Torres Quevedo al desarrollo del dirigible de estructura semi-rígida ASTRA-Torres Quevedo. Los dos primeros títulos de pilotos de avión fueron obtenidos por Benito Loygorri y el Infante Alfonso de Orleans, en Francia, en 1910. En 1911 se concedieron los primeros títulos a cinco pilotos procedentes del cuerpo de Ingenieros Militares. Tres de ellos jugaron un papel importante en la Aeronáutica española: Alfredo Kindelán dirigió la Aviación Militar en el lado nacional y Emilio Herrera, que en 1921 construyó el Túnel Aerodinámico de Cuatro Vientos y fue el creador y primer Director de la Escuela Superior Aerotécnica, dirigió la Aviación Militar en el lado republicano. Ortiz Echagüe fue Presidente de Construcciones Aeronáuticas (CASA).

Sin duda la aportación más singular española es la del Autogiro de Juan de la Cierva. Introdujo la articulación de batimiento de las alas giratorias y otros avances que fueron incorporados finalmente a los helicópteros, eliminando las inestabilidades que habían plagado su desarrollo anterior. El primer vuelo tuvo lugar en 1923, después de haber llevado a cabo ensayos en el túnel de Cuatro Vientos.

Después de la Guerra se creó el Ministerio del Aire y éste inició un política de desarrollo de prototipos. AISA se encargó del desarrollo y fabricación de aviones de escuela y de turismo. Con Juan del Campo como Director de Proyectos construyó las I-II y la I-115. Los aviones de entrenamiento y tácticos se encargaron a la Hispano Aviación, que provenía de la Hispano-Suiza. Los aviones de transporte correspondieron a Construcciones Aeronáuticas (CASA), que en 1946 estableció la Oficina de Proyectos bajo la dirección de Pedro Huarte-Mendicoa, con Ricardo Valle como subdirector. En CASA iniciaron el desarrollo de una serie de aviones de transporte militar y civil, el Alcotán (C-201), el Alcón (C-202) y el Azor (C-207), que hicieron sus primeros vuelos en 1949, 1952 y 1955, respectivamente.

Cuando yo llegué a la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos teníamos entre los profesores a Ricardo Valle y Juan del Campo, quienes por su papel en la dirección de importantes proyectos de avión tenían entre los alumnos un prestigio excepcional.

Pero volvamos ahora a la trayectoria profesional del nuevo académico. José Luis López Ruiz está dotado de una enorme curiosidad y una gran ca-

pacidad intelectual lo que justifica el éxito excepcional que tuvo en sus estudios. Pero además, para admiración de muchos de nosotros, más dados al análisis y estudios contemplativos, ha sido y sigue siendo hombre de acción inclinado a la creación. Por la amplitud de sus conocimientos y por su vocación por los aspectos más creativos de la profesión es natural que Ricardo Valle le llamase a Construcciones Aeronáuticas para trabajar en la Dirección de Proyectos, donde empezó encargándose de los ensayos en vuelo del CASA-207 (Azor).

La actividad de José Luis se diversificó pronto cuando cambió la política de adquisiciones del Ministerio del Aire después de los Acuerdos de Cooperación Hispano-Americanos de 1953. Para dar una muestra de estos cambios basta decir que desde 1956, cuando llegó López Ruiz, hasta 1963, cuando se incorporó Carlos Martínez Arnaiz, no entró nadie a la Oficina de Proyectos. La Oficina dedicó su actividad a introducir modificaciones en el AZOR para instalar turbohélices y presurizarlo. En 1962, cuando Huarte cedió la dirección de la Oficina de Proyectos a Ricardo Valle, se inició la internacionalización de la actividad de CASA con un acuerdo para colaborar, con la Hamburger Flugzeugbau HFB en el proyecto de un avión ejecutivo el HFB 320, Hansa Jet, del que nos ha hablado en su discurso y en el que tuvo una participación esencial. A partir de 1964 CASA se embarcó en estudios de factibilidad de un avión de transporte, para carga y paracaidistas, que propone al Ejército del Aire para la substitución de los JU-52 y del DC-3. Tras cuatro años de estudios, sin apoyo económico gubernamental, por fin, en 1968, el Ejército del Aire ofreció a CASA un Contrato para el desarrollo del que sería finalmente el CASA-212, Aviocar, que realizó el primer vuelo en 1971. La contribución de López Ruiz al desarrollo de este avión y a las sucesivas modificaciones, fue trascendental.

El éxito del Aviocar, que se convirtió en el buque insignia de CASA y del que se han vendido muchos aviones, está ligado al nicho comercial que cubre: Una avión que puede despegar de pistas muy cortas está especialmente destinado a atender la demanda de países donde la infraestructura del transporte ferroviario o por carretera es deficiente.

A la vista del éxito del Aviocar, el Ejército del Aire contrató a Construcciones Aeronáuticas el desarrollo de un avión de transporte de mayor capacidad, el CASA-401, bajo la dirección de José Luis López Ruiz, con la cola-

boración de HFB de Hamburgo y AMD (Marcel Dassault). Desgraciadamente el proyecto fue cancelado cuando se habían finalizado todos los diseños y análisis y se estaba a punto de comenzar la fabricación.

Cuando en 1979 Ricardo Valle deja la Dirección de Proyectos ésta pasa a José Luis López Ruiz, donde, además del desarrollo de las modificaciones del Aviocar y de su certificación para el vuelo en muchos países, se ocuparon del diseño de componentes de varios modelos de AIRBUS en especial del estabilizador horizontal. También se inició la colaboración, con la empresa NURTANIO, para el desarrollo y fabricación del CN-235; encargándose López Ruiz de la dirección general del proyecto.

Cuando en 1984 dejó CASA para incorporarse a SENER, pasó a dedicar sus esfuerzos a estudios de definición y diseño del motor del Eurofighter, que se desarrolló en colaboración con Rolls Royce, MTU y Fiat.

Su labor docente en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos estuvo dedicada a una gran variedad de disciplinas. Sin embargo, desde 1968 se ha estado ocupando de las asignaturas más emblemáticas de nuestra Escuela y más ligadas al proyecto de aviones. Primero hasta 1972, como Profesor Adjunto de Mecánica de Vuelo y después como Catedrático de Helicópteros y Aeronaves Diversas. En esta Cátedra representa muy dignamente la herencia que nos dejó Juan de la Cierva. Una muestra de la preocupación de López Ruiz para honrar la memoria de Juan de la Cierva está en el proyecto, que él dirigió con éxito, de conseguir replicar un autogiro C30 y ponerlo en vuelo en Albacete, en febrero de 1999.

José Luis López Ruiz, por la amplitud y profundidad de sus conocimientos, está excepcionalmente dotado para la docencia, sabiendo muy bien transmitir su entusiasmo por la Ingeniería Aeronáutica, y enseñar con su ejemplo, que nos recuerda a los hermanos Wright, el papel que en la Ingeniería tienen el Arte, la Ciencia, el Ingenio y la Técnica.

Por sus contribuciones excepcionales fue invitado por la Royal Society de Londres a dar en 2001, la Cierva's Memorial Lecture y hoy le invitamos a honrarnos con su pertenencia a nuestra Academia.

Muchas Gracias



