

ZWEEF

Revista de Estudiantes de Ingeniería Aeronáutica

PVP 250 ptas.

Número 4, Mayo 1997



Copyright © 1995, Microsoft Corporation y sus propietarios. Todos los derechos reservados.



Copyright © 1995, Microsoft Corporation y sus propietarios. Todos los derechos reservados.



Copyright © 1995, Microsoft Corporation y sus propietarios. Todos los derechos reservados.



Copyright © 1995, Microsoft Corporation y sus propietarios. Todos los derechos reservados.



Copyright © 1995, Microsoft Corporation y sus propietarios. Todos los derechos reservados.

MÁXIMO PRESTIGIO EN AERONÁUTICOS



ACADEMIA FLAP

C/ Gaztambide, 61 -1°

(Metro Moncloa)

Telefono 543 53 41

37 AÑOS DE EXPERIENCIA NOS AVALAN

SUMARIO

Editorial	3
Sueños de vapor. El biplano Maxim	4
La Ingeniería Aeronáutica en España	6
Los cinco elementos. Tratado de Relatividad y Mecánica Cuántica	10
26 años de Aviocar	23

**** SUPLEMENTO ESPECIAL PLAN BARAJAS ****

Cómo funcionan una hélice y un aerorreactor	33
Proyecto ROTOR	36
La «i» mágica. Sistemas de inyección en automóviles	38
Corrosión de armaduras. Un caso frecuente de Patología de Hormigón	44
Guerra nocturna	47
«Accidentes» científicos	49

ASOCIACIÓN ECLIPSE

E.T.S.I. Aeronáuticos
Ciudad Universitaria
Plaza Cardenal Cisneros, 3
28040 MADRID

ZWEEF_armstrong.aero.upm.es

Redacción de ZWEEF

Dirección, Gestión, Relaciones Exteriores y Publicidad
Subdirección, Contabilidad, Publicidad e Imprentas
Redacción, Tareas Administrativas y Publicidad

Mario Vicente Camacho Rivas
Francisco Javier Pérez Martínez
Eduardo Sanguino SanRomán

Maquetación:



Pico de los Artilleros, 42
Tel. y FAX: 371 20 61
28030 MADRID

Impresión: PREYCOM. S.L. Monteros, 15 - 28034 Madrid
Telf. 735 14 51 Fax. 735 13 97
Depósito Legal: M-2865-1997



Entidades Patrocinadoras

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos
Colegio Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España



ACADEMIA CASTIÑEIRA

Santiago Rusiñol, 4 (junto Rectorado de la Politécnica)
Teléfs. 534 16 64 -533 82 01
28040 MADRID

PREPARACION DE INGENIEROS AERONAUTICOS

VERANO-97

COMIENZO: 28 DE JULIO, LUNES.

ASIGNATURAS:

1^{er} Curso.-

Álgebra: Ricardo Bas.

Matemáticas Grales y Cálculo: Guillermo Hernández.

Física: Antonio Prieto.

Química: Yolanda Parra.

Dibujo: Ricardo Bas.

2^o Curso.-

Mecánica: Antonio Prieto.

Elasticidad y Resistencia: Luis Benito.

G^a Diferencial: Angel Marcos.

Termodinámica 1: Pablo Fernández de la Torre.

Termodinámica 2: Oscar Sanz.

3^o Curso.-

Fluidos: Raúl Vázquez.

Resistencia: Luis Benito.

- **INFORMACION Y MATRICULA**: Todos los días en la Academia de 7,30 a 22,30 h. ininterrumpidamente. Sábados de 9 a 14 h. Teléfonos: 534 16 64 y 533 82 01.

EDITORIAL



Si no lo veo no lo creo. Quienes me conocen saben que, sin llegar a los extremismos, esta es una de mis frases favoritas. Y yo, en el caso del lector, diría precisamente esto. ¿Tres meses para hacer una revista? Pues sí, aunque resulte increíble. Las cosas pueden torcerse por algún sitio, por casi todos a la vez, e incluso pueden surgir nuevos recovecos desconocidos que también causen problemas. Si se resume todo en una sola frase, esta claro que con dinero las penas son menos, y la mitad de las complicaciones hubieran podido solventarse rápidamente.

Pero por fin ve la luz. Esperamos que os parezca al menos tan buena como las anteriores. Tal vez el mayor mérito sea que con cada ejemplar no sólo no perdemos empuje, sino que las ideas se nos amontonan y sólo nuestros limitados medios y la escasez de tiempo nos impiden llevarlas a cabo. Así, día a día, renovamos energías para emprender nuevos proyectos. Gracias sobre todo a vuestras colaboraciones, que con su calidad elevan el listón de nuestra publicación, hasta hacerla destacar por encima de todas las que en condiciones similares visitan la imprenta.

Como siempre, fieles a nuestros principios, con contenidos interesantes y variados, de indudable interés. Una publicación íntegramente realizada por y para estudiantes, que ponemos en vuestras manos con la ilusión de las muchas horas de trabajo que hemos invertido en ella. Una vez mas en imprenta, con mas calidad que nunca, con mas contenidos que nunca.

Esperamos que, ya al final de curso, los problemas y decepciones que muchas veces acompañan a tantas y tantas horas de estudio y dedicación en nuestra carrera no os roben la ilusión por llegar, el día de mañana, a hacer posibles todos vuestros sueños. Y que con la lectura de estas páginas redescubráis los motivos que os llevaron a escoger la Ingeniería Aeronáutica, y descubráis gente con intereses afines y gustos semejantes, para entre todos sacar los problemas adelante.

Un saludo, y suerte para todos.

MARIO CAMACHO RIVAS
Director

AGRADECIMIENTOS

Porque es de bien nacidos ser agradecidos...

Rosa, Rosae, Rosa. No, no estamos recordando nuestras clases de latín en el instituto. Es sólo que queríamos darte las gracias de forma diferente. Va por ti, Rosa, y enhorabuena por conseguir que nuestra E.T.S.I.A. sea la Facultad que más titulares acapara en todos los medios.

Nuevamente tuvimos que pedir socorro a las Secretarías de Gestión Departamental, y nuevamente vinieron en nuestra ayuda. Gracias.

Y qué decir de Pilar. Desde la Subdirección de Extensión Universitaria se ha convertido por derecho propio en miembro honorario de la Asociación Eclipse. Muchas gracias.

(Personal. A D. Iván Tejada. Por un favor especial que le agradezco muy especialmente. M.C.)

A D. Alfredo A. A. Porque no todos saben estar disponibles cuando se les necesita. Gracias por tus consejos.

Y por fin a todos aquellos que han aguantado estos últimos meses nuestras carreras y sofocos, los buenos y los malos humores, demostrando no sólo su gran paciencia, sino su buen talante y humor, sinceramente, gracias.

SUEÑOS DE VAPOR



El Biplano Maxim

Alfonso Díez Mentzel
Ingeniero Aeronáutico

Se cumplen por estos días 100 años de la construcción y pruebas de un curioso biplano que, a pesar de que no llegó exactamente a volar, por sus características y tamaño bien merece un lugar en la Historia de la Aviación.

Se trata del **Biplano Maxim**. Su constructor, Hiram S. Maxim, nació en los EE.UU. en 1840. Prototipo del *self-made man* norteamericano, llegó a ser un ingeniero e inventor de reconocida habilidad, con bastante talento, además, para los negocios.

eminentemente práctico del protagonista de esta historia, que además del placer de volar pensaría en la posibilidad de armar su máquina con su otro gran invento.

Dispuso de todo el dinero necesario para llevar a cabo sus propósitos



Por ejemplo, durante una visita a Europa en 1881, se dio cuenta del afán con que todo el mundo buscaba nuevos medios para lograr mayor efectividad en uno de los pasatiempos favoritos de la humanidad desde sus orígenes: matar. Así pues, puso manos a la obra, y en un pequeño taller londinense diseñó y puso a punto la primera ametralladora efectiva de la historia: la famosa Maxim. Tal fue el éxito de crítica y público que tuvo el invento, que en 1884 se asoció con el industrial Vickers (fabricante de aviones algunos años después), y aún así a penas podía producir las ametralladoras de tan rápido como se vendían.

Como resultado de ello, Maxim se hizo inmensamente rico, adoptó la nacionalidad británica y fue nombrado *Sir* en 1901.

Así pues, con los bolsillos llenos de dinero y una gran curiosidad por la ciencia y la técnica, Maxim se puso a trabajar en algo tan peregrino como una máquina capaz de llevar al hombre por los aires (peregrino porque todo el mundo *sabía* que era imposible algo así). Me imagino, dado el carácter

Vemos pues que, al contrario que la mayoría de los aviadores en ciernes del siglo pasado, dispuso de todo el dinero necesario para llevar a cabo sus propósitos, razón por la que muchos criticaron su trabajo, considerándolo como el pasatiempo de un nuevo rico. Sin embargo, si tenemos en cuenta el terreno desconocido en el que se desenvolvió, no encontramos mucho que criticar. Como los hermanos Wright una década más tarde, fue metódico y meticuloso en su trabajo, teniendo en cuenta cada detalle antes de empezar siquiera a dibujar, construyendo además un túnel aerodinámico con balanza incluida en el cual probar sus modelos a escala de perfiles alares.

Aún así, se dijo que realmente no tenía intención de hacerlo volar, sino que su intención era, meramente, conseguir que se levantase del suelo de alguna forma, sin pretender un vuelo controlado. Esta opinión se contradice con los años de investigación que dedicó al tema y las notas recogidas en sus cuadernos, que muestran en todo momento como trató de conseguir una máquina capaz de volar en el más amplio sentido de la palabra.

En 1889 comenzó los ensayos de modelos a escala de alas y hélices, primero en un mástil giratorio y después en el túnel de viento. El cálculo de esfuerzos le llevó a elegir una estructura de tubos de acero, mientras que para la propulsión hizo la sorprendente elección de... una pareja de máquinas de vapor. Esto puede sonar ridículo (ya nos estamos imaginando a dos hombres sudando y echando paletadas de carbón mientras la máquina surca los aires), pero la elección no fue hecha al azar: Maxim diseñó y construyó dos extraordinaria-

mente avanzadas máquinas compuestas que con una presión de 23 kg/cm² proporcionaban a cada una de las dos hélices la nada despreciable cifra de 180 CV. Además, y para ahorrar peso y aumentar la autonomía, dispuso un condensador de vapor sobre el ala, de manera que las máquinas trabajaban en ciclo cerrado. Aún así, lo más impresionante es que las máquinas funcionaban y que nunca salieron por los aires sin avión.

Se trataba de un sesquiplano —un biplano en el que el plano superior era mucho más grande que el inferior— con las alas de gran cuerda en la raíz, que iba disminuyendo rápidamente hacia las puntas, donde existía una sección exterior con pronunciado diedro, para dar estabilidad. El ala inferior se componía de dos semiplanos rectangulares unidos directamente al carricoche de cuatro ruedas que formaba el fuselaje central, que albergaba la caldera, los dos motores y los cuatro tripulantes. Las enormes hélices de 5,7 m de diámetro y de tipo «pusher» iban montadas entre las dos alas, en el borde de salida. La envergadura era de 35 m (mayor que la de un MD-80), con una longitud de unos 32 m (la de un DC-9-10), una superficie alar

de unos 436 m², y un peso al despegue de unos 3.600 kg, en los que se incluían el tanque de combustible (nafta líquida: no había necesidad de echar paletadas de carbón) y unos 280 l de agua. Como vemos, nada comparable a la diminuta —pero exitosa— máquina de los hermanos Wright.

Maxim procedió con mucho cuidado, razonando cuidadosamente sus acciones, y siendo, probablemente, el primero en establecer un programa de pruebas de vuelo, especificando además el «chequeo pre-vuelo» necesario para todo el avión. Igualmente, midió el deslizamiento de la hélice y la variación de su empuje con las revoluciones, así como la rapidez con que se podían variar éstas, puesto que tenía intención de controlar el avión en guiñada por empuje diferencial, dejando el control de cabeceo a los estabilizadores (a proa y a popa). Del acoplamiento lateral-direccional no había oído hablar.

Hacia 1894 estaba listo para probar su enorme máquina sobre los raíles de acero de un circuito cerrado consistente en dos semicírculos unidos por sendos tramos rectos. Por si acaso, la máquina no podía elevarse más de 40 cm del suelo por la presencia de unos topes en los raíles...

«Teniendo todo listo, deberemos movernos primero lentamente por el tramo circular de la pista, incrementando la velocidad poco a poco hasta tener encarado el viento en el tramo recto, alcanzando una velocidad de 65 km/h. Esto deberá ser suficiente para hacer despegar el avión, con lo que variará sin duda el centro de esfuerzos aerodinámicos, hecho que será tenido en cuenta por el piloto para efectuar las maniobras correctoras que sea pertinentes. Mientras la máquina esté en el aire, deberá ser probado cuidadosamente el accionamiento de los mandos necesario para obtener el efecto de control deseado. La máquina deberá ser luego volada a una velocidad inferior a 60 km/h para realizar una aproximación gradual a tierra; entonces, deberá aumentarse otra vez la velocidad, para constatar el efecto de hacer girar más deprisa una hélice que la otra, observando su efecto sobre el giro a izquierdas o a derechas del avión.»

Aunque para muchos solo probó una vez su máquina, está claro que lo hizo numerosas veces, pues guiado de su instinto comercial, fue mucha la gente que tuvo la oportunidad de dar una vuelta en su cacharro, al precio de 5 chelines la vuelta (una pequeña fortuna para la época). La visión del enorme monstruo de acero y tela corriendo a todo vapor por sus raíles y tratando de escapar de los topes que impedían una altitud de crucero de más de 40 cm debía ser impresionante. Desgraciadamente, en uno de estos vuelos rasantes los topes cedieron ante tanto empuje (Maxim calculó que la sustentación había llegado a ser de unos 4.500 kg, unos

900 kg más que el peso del aparato, lo cual fue suficiente para arrancar la máquina del suelo). El intrépido constructor y piloto de repente no se sintió con la suficiente presencia de ánimo como para continuar el vuelo, por lo que optó por cortar gases (o vapores), induciendo el capotaje del aparato, que resultó bastante dañado. Maxim podría haber reparado fácilmente estos daños, pero

decidió pensárselo un poquito más antes de decidirse a surcar los aires con su invento, y tener un incidente más grave con él, lo cual supuso el fin de sus experimentos y, quien sabe, si de una prometedora carrera aeronáutica.

La visión del enorme monstruo de acero y tela corriendo a todo vapor por sus raíles y tratando de escapar de los topes que impedían una altitud de crucero de más de 40 cm debía ser impresionante



LA INGENIERÍA AERONÁUTICA EN ESPAÑA

Ignacio Ferrero Corral
*Secretario del Colegio de Ingenieros
Aeronáuticos de España*

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Aeronáutica en España, organizada como tal, data de 1928 ya que el 19 de Septiembre de ese año el Rey D. Alfonso XIII firmaba el Decreto mediante el que se creaba la Escuela Superior Aerotécnica para formar Ingenieros Aeronáuticos y Navegantes Aéreos. No obstante, la actividad Aeronáutica en España tiene referencias muy anteriores, pudiendo citar en relación directa con la Ingeniería el hecho de que en 1912 se construyó el primer avión con motor, avión que fue el primer aeroplano proyectado y construido en España, por españoles, que voló durante cierto tiempo. Por otra parte, es de todos conocido cómo al principio del año 1920 La Cierva llegó al concepto original del Autogiro basándose en su gran descubrimiento: la autorrotación de un rotor de paso positivo. En enero de 1923 la primera aeronave de ala giratoria, con rotor de palas articuladas, se elevaba sobre el suelo abriendo una nueva dimensión al acontecer de la Aeronáutica mundial. Desde entonces hasta ahora la Ingeniería Aeronáutica en España ha ido evolucionando al compás de los tiempos y a la velocidad que marcan los rápidos cambios tecnológicos que acompañan a este modo de transporte.

FORMACIÓN

El Decreto de fundación de la Escuela Superior Aerotécnica preveía la revalidación de títulos extranjeros de Ingeniero Aeronáutico, razón por la cual los primeros títulos expedidos corresponden a ingenieros que habían realizado estudios de Ingeniería Aeronáutica con anterioridad y fuera de España, empezando la Escuela a funcionar impartiendo títulos en base a dos años de formación y con alumnos procedentes de Ingenieros Militares, Inge-

nieros de la Armada, Ingenieros Industriales, Ingenieros de Minas, Artilleros, etc., situación en la que se prepararon tres promociones. La cuarta promoción ya se inició con alumnos que, previo examen de ingreso, realizaron la carrera en cuatro años.

La llegada de la Guerra Civil paralizó todas las actividades de la Escuela, que no se reanudaron hasta el año 1939 en que se crea la Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos a la que se encomienda en el futuro la emisión del título facultativo de Ingeniero Aeronáutico. La Escuela Superior Aerotécnica quedaba para conceder el título de Doctor.

La situación de realización de la carrera en la Academia Militar cesa en 1948, ingresando los alumnos, ya en 1949, en la Escuela Especial de Ingenieros Aeronáuticos, dependiendo como el resto de las Escuelas de Ingeniería del Ministerio de Educación nacional, con lo que la

En 1912 se construyó el primer avión con motor, avión que fue el primer aeroplano proyectado y construido en España

carrera recupera, así, su carácter civil. A partir de este momento, el Ejército del Aire, nutre sus escalas del Cuerpo Militar de Ingenieros Aeronáuticos mediante concurso oposición al que pueden presentarse los Ingenieros Aeronáuticos titulados en la Escuela Especial.

En 1954 se asigna a la Escuela su actual ubicación en la Ciudad Universitaria de Madrid y recibe su denominación definitiva de Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos en 1957. En la actualidad está encuadrada en la Universidad Politécnica de Madrid, no existiendo ningún otro centro que expida el título de Ingeniero Aeronáutico.

Paralelamente, la carrera de Ayudante de Ingeniero Aeronáutico, creada como carrera militar, deja también de serlo para convertirse en la de Ingeniero Técnico Aeronáutico, impartándose las enseñanzas correspondientes en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica, también encuadrada en la Universidad Politécnica de Madrid.

Tras este resumen histórico es importante hacer una exposición más detallada del contenido de las

dos carreras: la de Ingeniero Aeronáutico y la de Ingeniero Técnico Aeronáutico.

La carrera de Ingeniero Aeronáutico está planteada en la actualidad como una carrera de cinco cursos, a los que se accede desde el Bachillerato Unificado Polivalente, tras realizar un Curso de Orientación Universitaria y superar los exámenes de Selectividad para ingreso en la Universidad.

Para la obtención del título se requiere la realización de un Proyecto Fin de Carrera que es dirigido por un profesor de la Escuela, debiendo aclarar que el título obtenido es el de Ingeniero Aeronáutico, con independencia de la especialidad cursada.

El título de Doctor se obtiene realizando estudios de Doctorado con una duración mínima de dos cursos académicos, previa adscripción a un Departamento, y realizar una tesis bajo la dirección de un Doctor Ingeniero Aeronáutico.

Mediante estos estudios, recientemente actualizados, el Ingeniero Aeronáutico español, adquiere una amplia y profunda formación que le define dentro de la rama aeronáutica como un ingeniero generalista y sistémico muy apreciado en el ámbito aeronáutico y en cualquier actividad relacionada con la Ingeniería en general.

La carrera de Ingeniero Técnico Aeronáutico consta de tres cursos a los que se accede directamente desde el Bachillerato Unificado Polivalente, obteniéndose tras la realización del oportuno proyecto, el título de Ingeniero Técnico Aeronáutico en la especialidad cursada.

Obtenido el título se puede acceder a la carrera de Ingeniero Aeronáutico mediante la realización de un Curso de Acceso que, una vez superado, sitúa al Ingeniero Técnico en disposición de iniciar el cuarto curso de la otra carrera en las mismas condiciones que cualquiera de los alumnos que han llegado hasta allí desde el primer curso de su carrera originaria.

La enseñanza de la Ingeniería Aeronáutica en España forma a dos tipos de Ingenieros teóricamente complementarios, siendo esta situación común al resto de las Ingenierías. La carrera de cinco cursos prepara ingenieros generalistas y la de tres cursos, en principio, ingenieros eminentemente prácticos, aunque la realidad es que los Ingenieros Técnicos no realizan su carrera con una orientación realmente dirigida hacia la práctica, sino más bien como una ingeniería de tres cursos en lugar de cinco, con todo lo que ello conlleva.

El Ingeniero Aeronáutico español, adquiere una amplia y profunda formación que le define dentro de la rama aeronáutica como un ingeniero generalista

brero de 1946, por el que se regulan las funciones inherentes al Título de Ingeniero Aeronáutico.

El contenido del mencionado Decreto de 1946 determina que:

— El Título de Ingeniero Aeronáutico es la garantía oficial de conocimiento y competencias respecto a la Ciencia Aeronáutica y estudios relacionados con la Navegación Aérea, y el único que faculta a sus poseedores para el ejercicio de las funciones genuinas de la Técnica Aeronáutica.

— Al Título de Ingeniero Aeronáutico se le reconoce capacidad legal, en los términos que disfrutaban otras especialidades de Ingenieros para ejecutar todo tipo de funciones de la Ingeniería que no tengan carácter de exclusividad para ninguna de las otras ramas de la Ingeniería.

ASOCIACIONISMO PROFESIONAL

Al Ingeniero Aeronáutico que ejerce su profesión en España, al igual que cualquier otro titulado universitario, se le presentan tres vías posibles para la defensa y representación de sus intereses: el Colegio Profesional, la Asociación Profesional y el Sindicato.

Las dos primeras, orientadas a la defensa de sus intereses profesionales, tienen como objetivo agrupar a toda la profesión y se basan en profesionales que tienen habilitada su actividad mediante un mismo título académico. La tercera aglutina, junto a otras personas, profesionales de muy diversa cualificación y procedencia académica para la defensa de intereses ligados a la actividad ocupacional y al entorno socio-técnico en el que desarrollan su trabajo.

Refiriéndonos solamente a las organizaciones profesionales, diremos que los Ingenieros Aeronáuticos tienen dos:

- Colegio Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España.
- Asociación de Ingenieros Aeronáuticos de España.

Ambas entidades ofrecen dos tipos de asociacionismo claramente diferenciado desde el punto de vista jurídico, ya que el Colegio es una Corporación de Derecho Público de Ámbito Nacional creado en cumplimiento del Decreto de 8 de abril de 1965, relacionándose con la Administración General del Estado a través del Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. La Asociación, por su parte, es una entidad de Derecho Privado sujeta en su

El Colegio es una Corporación de Derecho Público de Ámbito Nacional creado en cumplimiento del Decreto de 8 de abril de 1965

PROFESIÓN

El ordenamiento legal que ampara el desarrollo profesional se encuentra en el Decreto del 1 de Fe-

creación a los preceptos de la Ley de Asociaciones. La colegiación es obligatoria para el ejercicio libre

de la profesión y para el visado de Proyectos, mientras que la asociación es voluntaria.

Esta distinción tan clara, desde el punto de vista jurídico, no lo es tanto desde una perspectiva de vivencias diarias, pudiendo decirse en términos muy generales, que los Ingenieros Aeronáuticos viven el Colegio como la organización que se ocupa de la defensa de la profesión y de ellos como profesionales, mientras que la Asociación se ocupa de ellos como personas cuyo denominador común es su amor por la Aeronáutica en sí misma.

Al Colegio, igual que a la Asociación, pueden pertenecer como miembros de número quienes estén en posesión del título de Ingeniero Aeronáutico español o título extranjero equivalente debidamente convalidado conforme a la legislación española.

Estas dos Corporaciones, a las que pertenecen el 85 % de los Ingenieros Aeronáuticos españoles, tienen unos fines bien diferenciados.

Los fines de la Asociación son:

- Fomentar los lazos de unión y compañerismo entre los Ingenieros Aeronáuticos.
- Contribuir al desarrollo y progreso de la Aeronáutica sirviendo como centro de consulta y ayuda, procurando evitar cuantos obstáculos puedan presentarse para el desenvolvimiento de aquella.
- Servir como centro de consulta para el Estado, Ingenieros Aeronáuticos y Corporaciones que cultiven los estudios relacionados con la Aeronáutica.
- Defender los derechos profesionales de sus miembros por

los medios legales a su alcance y gestionar cuantas disposiciones legales convengan para el desarrollo y eficacia de la profesión de Ingeniero Aeronáutico, velando por el cumplimiento de las que se dicten.

- Establecer la más estrecha y cordial relación con las Asociaciones y Corporaciones de Ingenieros que puedan existir, tanto en España como en el extranjero, pudiendo adherirse a las organizaciones de coalición que comprendan éstas.
- Facilitar a los asociados cuanto sea factible, dentro de las posibilidades de la Entidad, tanto en el aspecto de organización de previsión y mutualidad, como en aquellas de carácter académico que permitan cumplir plenamente las múltiples acepciones de los apartados anteriores.
- Organizar y concurrir a Congresos nacionales e internacionales.

Los fines del Colegio son los siguientes:

- Ostentar la representación y la defensa de la profesión ante la Administración, Instituciones, Tribunales, Entidades y particulares, con legitimación para ser parte de cuantos litigios afecten a los intereses profesionales y ejercitar cuantos derechos le sean reconocidos por la legislación vigente en cada momento.
- Llevar a cabo cuantas actuaciones sean necesarias o convenientes al efecto de contribuir al fomento y desarrollo de la profesión de Ingeniero Aeronáutico en sus aspectos profesionales, económicos, sociales y cualesquiera otros.
- Ejercer cuantas funciones le sean encomendadas por la Administración y colaborar con ésta mediante la realización de estudios, emisión de informes, elaboración de estadísticas y otras actividades relacionadas con sus fines que puedan serle solicitadas o acuerde formular por propia iniciativa.



Mach Centro de Estudios Aeronáuticos

C/ Fomento 32 2º I (Junto a Plza. España)

Tlf: 547.15.30

INGENIEROS TECNICOS AERONAUTICOS

PRIMERO

- ☐ Dibujo
- ☐ Física
- ☐ Matemáticas
- ☐ Química
- ☐ Tec. Aeroespacial

SEGUNDO

- ☐ Mecánica
- ☐ Resistencia
- ☐ Tec. Mecánica
- ☐ Ampl. Matemáticas
- ☐ Inglés

TERCERO

- ☐ Fabricación
- ☐ Organización

- Visar los trabajos profesionales de los colegiados, regular los honorarios mínimos de la profesión y encargarse del cobro de las percepciones, remuneraciones y honorarios profesionales, con carácter general o a petición de los interesados.
- Ordenar la actividad profesional de los colegiados, velando por la ética y dignidad profesionales y por el respeto debido a los derechos de los particulares, y ejercer la facultad disciplinaria en el orden profesional y colegial.
- Crear servicios y adoptar medidas conducentes a facilitar a los colegiados el ejercicio de la profesión, así como los medios de defensa que puedan requerir con ocasión o motivo del recto ejercicio de la misma.
- Determinar las incompatibilidades que, en el ámbito de la ética y dignidad profesionales, pudieran presentarse a los colegiados en el ejercicio de la profesión.
- Facilitar a los Tribunales, conforme a las leyes, la relación de los colegiados que pudieran ser requeridos para intervenir como peritos en los asuntos colegiales o designarlos por sí mismo, según proceda, y llevar a cabo la misma actuación respecto de la Administración o los particulares, en la forma que en cada caso se requiera o sea procedente.
- Promover la creación de Entidades de cualquier género o ámbito que tiendan directamente al fomento, desarrollo o defensa de los derechos o intereses de la profesión de Ingeniero Aeronáutico o participar en las mismas.
- Todas aquellas otras que redunden directa o indirectamente en beneficio de los intereses profesionales de los colegiados.

La Asociación, por su parte, es miembro fundador del Instituto de la Ingeniería de España, organización que goza de un enorme prestigio dentro y fuera de nuestras fronteras y que se creó como Federación de Asociaciones de Ingenieros correspondiente a las nueve ramas de la ingeniería existentes en España hasta este momento.

La actividad de ambas corporaciones es vigorosa y pujante en la actualidad, pudiendo destacar la cesión de protagonismo de la Asociación en favor del Colegio desde el año 1975, como consecuencia de la llegada de la Democracia a nuestro país. Hasta entonces la Asociación era el cauce adecuado, y único, para la manifestación de vivencias no profesionales y políticas, razón por la cual en la primera mitad de la década de los 70 su actividad,

Hoy en día, el Colegio sigue los destinos de la profesión, si bien la Asociación camina hacia adelante, estando presente en la Sociedad española junto al Colegio

realmente como la del resto de las Asociaciones, fue enorme.

Hoy en día, el Colegio sigue los destinos de la profesión, si bien la Asociación camina hacia adelante, estando presente en la Sociedad española junto al Colegio.

CALCULADORAS CIENTÍFICAS



**HEWLETT
PACKARD**



HP 40 GX 35.250
HP 40 G 18.879

REGALO CABLE PC + APLICACIONES
EMULADORES PARA PC EDITORES DE TEXTO
-ELECTROTECNIA -ESTRUCTURAS
-JUEGOS...



KIT MULTIMEDIA DISCOVERY
12X INFRA 1800
- CD ROM X12 + Mando Distancia
- SOUND BLASTER 32 PnP
- ENCARTA 97, Altavoces...
27.900



ZIP IOMEGA IDE
INTERNO 16.900
ZIP IOMEGA PARALELO
EXTERNO 33.900
DISCO ZIP 1.800

IVA NO INCLUIDO



MODEM 33.600
SUPERADSL EXPRESS
16.900

CONFIGURA TU EQUIPO !!

Seagate

CREATIVE

**SOUND
BLASTER**

HP

**HEWLETT
PACKARD**

SONY

pentium
166 MMX
- HDD 2 GB IDE
- T. VIDEO S3 30VIRGE 2Mb
- DISK 3.5"
- MONITOR SONY TRINITRON 15" 0.25

KIT DISCOVERY 12x INFRA1800
CD-ROM x12 + Mando a distancia
SOUND BLASTER 32 PnP
ENCARTA 97, Altavoces...

CAD STATION 32 Mb EDO

BASIC LINE 16 Mb EDO

pentium
133 Mhz
- HDD 1.2 GB IDE
- T. VIDEO S3 94 V+
- DISK 3.5"
- MONITOR PROVIEW 14" 0.28

199.900

99.900

ZWEEF

LOS CINCUO ELEMENTOS

Tratado de Relatividad y Mecánica Cuántica

Demetrio Zorita Gómez-Escolar
Alumno E.T.S.I. Aeronáuticos

(PROLOGO. Aquí en los Puketoi, NZ.

quedan para irse de casas aquella mañana. Era un día despejado pero frío. Entraron en el primer bar que vieron, un bar fascinante, con grandes cristalerías, mucha luz y buenos precios, pero poca gente. Pidieron tres cañas, y se las sirvieron con tapita de bravas. Empezaron a charlar y a reír, no recuerdan ya de qué, aunque quizás sí lo sepa un hombre al que llamaban HH, propietario del bar, que estaba sentado al lado de ellos. No recordará ya tampoco el aspecto de HH, ni su cara, acaso solo una leve idea de sus ojos; y sus palabras. De eso sí que se acuerdan.

HH no parecía un hombre corriente, desde luego, pero no sabrían decir por qué. A lo mejor algo sabio, a lo peor algo infeliz. Puede ser que HH viera en sus caras una expresión distinta, puede que hablase a todo el mundo, pero tras observarles un buen rato se dirigió a ellos: «Dejad que os avise, vosotros que tenéis tanto afán por saber acerca de la dificultad de los criterios y la desavenencia de las palabras. No importan las opiniones, sean buenas o malas, inteligentes o insensatas; cualquiera puede defenderlas o rechazarlas». Eso dijo HH. Intud, Dego y Ciudad miraron a HH y después se miraron entre ellos.

A la hora de pagar descubrieron que estaban invitados por la casa, dieron las gracias y se fueron. Mientras se marchaban HH les habló de nuevo: «(No para cualquiera)». Ese fue el segundo aviso de HH.

Antes de despedirse los tres quedaron para salir por la noche.)

INTRODUCCIÓN: MEMORIAS DE PATTY DIPHUSA

La idea del mundo que tiene la humanidad surgió en los primeros decenios de este siglo la revolución más brillante y radical que ha conocido la física, dando lugar a una nueva concepción de cómo son las cosas en todos los campos.

Los grandes trabajos del inglés Newton a finales del siglo XVII habían culminado la transición de la

física medieval a la clásica, dejando en herencia una visión clara y concreta del universo que se mantendría incontestable durante dos siglos. Un mundo en el que el tiempo y el espacio eran absolutos, homogéneos e infinitos, independientes del observador. Todas las cosas actuaban obedeciendo unas leyes universales e inmutables como si de un gran mecanismo se tratase. Quizá nunca consiguiésemos tener en cuenta todos los parámetros que entraban en juego en estas ecuaciones, pero no cabía duda de que de lograrlo todo era predecible, con un futuro no sólo dependiente sino determinado por el pasado.

Einstein aparece en escena a principios del siglo XX para derribar la primera parte de estas creencias. Mediante un salto intuitivo que representa un logro intelectual prodigioso consiguió subjetivizar el tiempo y el espacio hasta hacerlos relativos al observador. Fusiónó geometría y gravedad, demostró la existencia de los átomos y cuantificó la luz recibiendo el Nobel por esto último, el estudio del efecto fotoeléctrico.

Estas ideas mostraron el camino a la mecánica cuántica, que destruyó definitivamente el determinismo de la física clásica, inaugurando un nuevo mundo en el que el azar jugaba el papel principal. Un mundo mutable, condicionado al observador e indeterminado.

Aunque Einstein fue el que hizo posible esta nueva mecánica, no solo jamás comulgó con ella, sino que la atacó duramente. Su postulado de la relatividad no tenía nada contra el determinismo, en el que creía con firmeza. Nunca pudo concebir un universo que no fuese independiente de como lo cuestionase el hombre, del azar, con unas reglas fijas, omnipresente, omnipotente y aislado de lo que pasa en él. De aquí su famosa frase «Dios no juega a los dados». Pese a la oposición del físico alemán las teorías cuánticas están demostradas y son plenamente aceptadas hoy en día, y nadie cree probable ya volver a ver las cosas de una forma distinta.

Estas nuevas leyes tienen implicaciones que van más allá de nuestro quehacer ordinario y son imprescindibles para comprender el mundo, con fun-

damentales aplicaciones y consecuencias tanto para la ciencia como para el pensamiento.

(ACTO I: EL TIEMPO. EL SUEÑO DE BRAHMA

Intud bajó esa tarde al «Todo a 100» que hay debajo de su casa. Cogió una maceta que necesitaba, una cubitera de hielos que le hizo gracia y una rara caja de madera con una especie de botón de rosca de la que sólo quedaba un ejemplar. Al ir a pagar, el chino que atendía la miró extrañado, como si fuese la primera vez que veía aquel objeto, pero lo cobró igualmente.

Ya en su casa Intud observó la caja detenidamente. En la madera había una inscripción que pudo descifrar con trabajo: «Regulador desechable del transcurrir del tiempo. Un solo uso». Curioso aparato. No pretendía ser una máquina del tiempo, sino un regulador de su velocidad.

Por supuesto a Intud le pareció una estupidez, pero la caja imponía. No tenía ninguna marca ni indicio que revelase su antigüedad o modernidad, pero irradiaba una especie de halo de misterio que le hacía parecer distinta, inmutable, atemporal, eterna. La rosca estaba fija en la cifra 1, pero la corona de números que la rodeaba variaba desde menos infinito a infinito, pasando por los negativos, el 0 y varios positivos menores y mayores que 1. Parecía poderse mover haciendo algo de fuerza.

Intud decidió probar. Agarró la caja con la mano izquierda y la rosca con la derecha, y se dispuso a ponerla en el 0. Al fin y al cabo ¿quién no ha pensado en parar el tiempo? El siempre había querido colarse en las duchas de las chicas y meterles mano, y tirarle de los mofletes al Rey. Sin duda era un buen único uso para la máquina. Pero dudó un instante. Al parar el tiempo para todo lo que no fuese él, ¿serían rígidas como una piedra las mejillas del Rey? Era probable, pues no tendrían tiempo para poder cambiar ni un milímetro su posición. Y qué decir de los pechos de las chicas. Probablemente el aire sería incapaz de fluir y él mismo se quedaría bloqueado en la posición que ocupaba en el momento de la operación. Por probar no pasaba nada; o sí. A lo peor no podía luego volver a moverse para devolver la rosca al 1 y se quedaba pasmado toda la eternidad. Demasiado riesgo para tan pobre recompensa.

¿Y simplemente ralentizarlo? Entonces sí podría moverse. Ganaría todas las carreras y combates de boxeo en que participase. Sería una gran estrella y cobraría una cifra gansa. Aunque podía ser que la máquina limitase todo el movimiento material, también el de su propio cuerpo, y solo le dejase a tiempo real el pensamiento. Entonces lo que conseguiría serían grandes reflejos, como los de las moscas; ellas parecían vivir más deprisa. Le agradó esta idea.

También significaba para él la afirmación de la existencia de un alma no material. A lo mejor lo que hacía la caja era simplemente modificar la velocidad del pensamiento del que la maneja. Al fin y al cabo entre las dos cosas no había diferencia, salvo en los puntos singulares. Se preguntó a qué velocidad viajaría la luz en esa posición de la rosca.

Poner un número mayor que 1 no parecía muy buena idea. Podía ser que viviese más tiempo por vivir más lento, pero no le interesaba hacerlo en un cuerpo viejo. Seguramente lo que pasaría sería que moriría más joven, pues son las enfermedades del cuerpo las que nos matan.

¿Y tiempo negativo? No consiguió imaginar qué ocurriría entonces.

Claramente la única opción cuerda era la de ralentizarlo, pero de repente Intud pensó que a él no le interesaba cambiar, le tuvo miedo a hacerlo. Sin pensárselo dos veces cogió un martillo y destruyó el aparato. Y respiró. Había sentido un momento de agobio insoportable.

Se sentó en el sofá como si una gran duda hubiese estado a punto de cambiar su vida por completo. ¡Qué tontería! Esas máquinas no existen. El tiempo es el mismo para todas las personas. ¿O cada una tenía el suyo propio? ¿Acaso no vivíamos unos más rápido que otros, como las moscas? Intud se arrepintió un poquito.

Recordó unos versos que leyó hace tiempo en un viejo libro: Y pues vemos lo presente / cómo en un punto es ido / y acabado, / si juzgamos sabiamente / daremos lo no venido / por pasado. / No se engañe nadie, no / pensando que ha de durar / lo que espera / más que duró lo que vio, / porque todo ha de pasar / por tal manera.

Intud pensó que al fin y al cabo no estaba tan mal así, incluso quizás amaba a Cudad; era tan guapa.)

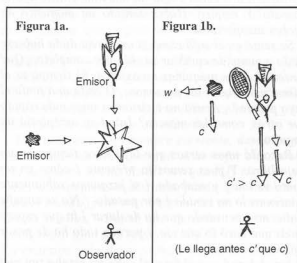
CAPÍTULO 1: RELATIVIDAD. LA SIN PAR DULCINEA

Desde el más sabio al más profano de los hombres respeta y admira la genialidad de Einstein. Su figura es el más importante mito de toda la historia de la física, a lo que contribuyeron notablemente varios factores. Su particular personalidad, una infancia llena de curiosidad (pese a un irregular expediente académico) y una rebeldía e inconformismo, innatos o asimilados, le llevaron a ser capaz de cuestionarse los principios más sagrados de la mecánica clásica, la objetividad del espacio y del tiempo.

Mediante el planteamiento de una serie de paradojas acerca de la velocidad de la luz y la simultaneidad de los sucesos, Einstein alcanzó una idea asombrosa, la relatividad restringida (1905).

Primero observó la independencia de la velocidad de la luz (c) de la del emisor. Supón una nave

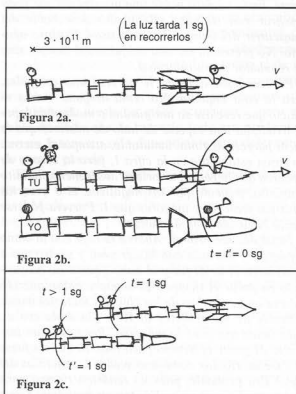
espacial que avanza en el vacío a gran velocidad hacia nosotros y un asteroide que viaja perpendicularmente a ésta en trayectoria de choque (Fig. 1a). En el momento del choque de la nave sale una gran raqueta que rechaza la roca (Fig. 1b). Si la luz reflejada por la nave sumase su velocidad con la de la propia nave nos llegaría antes que la de la roca, con lo que veríamos cómo un aparato que se acerca saca una raqueta de repente que golpea la nada. Después aparecería un asteroide que saldría rebotado sin motivo aparente. Pero esto no es lo que vemos, de lo que se deduce que c es independiente de quién la emita, y delata para la luz una naturaleza distinta de la de cualquier otra cosa, como una piedra, cuya velocidad absoluta es suma de la que le imprimimos en el lanzamiento y la del vehículo en el que viajamos.



(Si bien c no depende del emisor sí que lo hace su frecuencia; si no nos hubiésemos dado cuenta de esto no habríamos visto el alejamiento de las galaxias y seguiríamos pensando en un universo estático, sin Big-Bang.)

La velocidad de la luz también es independiente de la del receptor. Supón que vas en la cola de una enorme nave espacial A de 300 mil km de largo que viaja a gran velocidad en el vacío (Fig. 2a). Parada delante hay otra nave idéntica B a la que adelantáis. Al ver pasar junto a ti el último pasajero de la nave B , que soy yo, y conocer la costumbre de los conductores de saludarse al cruzarse, deduces que en ese mismo momento se están saludando (Fig. 2b). Entonces pones en marcha tu cronómetro y al cabo de un segundo les ves hacerlo, pues la imagen, que va a c , tarda un segundo en recorrer los 300 mil km que te separan de los conductores, independientemente de la velocidad de éstos, así que al verlos saludarse paras el tiempo. Yo he vivido la escena de una forma algo distinta, pues por la falta de un sistema de referencia abso-

luto pensé que era mi nave la que iba marcha atrás a gran velocidad y la tuya la que estaba quieta. En cuanto te vi a mi lado tomé tiempos y tardé un segundo en ver que los conductores se saludaban. Si nos llamamos y comentamos los resultados vemos que aunque tú te acercabas al lugar de la escena y yo me alejaba de él, los dos medimos el mismo tiempo al ver llegar la imagen. Con esto resulta que c ha valido lo mismo en nuestras distintas referencias, y deducimos que la velocidad de la luz es independiente del observador que la mida. Este resultado nos inquieta. Aunque vaya alguien el doble de rápido que otro a la luz ¡la ve cada uno adelantándose a 300 mil km/s respecto de su movimiento!



Al seguir indagando descubriremos la esencia de la relatividad. En el momento en que paraste tu cronómetro mi nave se había alejado del lugar de la escena el espacio que le dio tiempo a recorrer en ese segundo (Fig. 2c). Así pensaste que la imagen tardaría algo más de un segundo en llegarme, y sin embargo yo medí solamente uno con mi reloj. ¿Qué pasa? La explicación es fascinante. El espacio y el tiempo de un medidor con respecto de los de otro dependen de sus estados cinemáticos.

Lo que ocurre es que para ti mi reloj atrasa respecto al tuyo, pues va en movimiento, mientras que para mí el que te mueves eres tú y veo que es tu reloj el que atrasa. Entonces ¿qué reloj atrasa verdaderamente? Esto no tiene una respuesta absoluta y depende del observador.

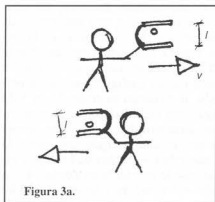


Figura 3a.

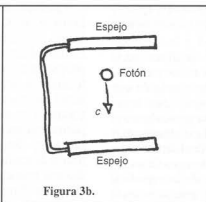


Figura 3b.

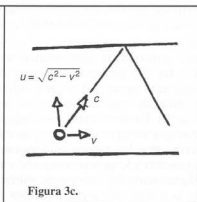


Figura 3c.

El caso de las naves ha dado la clave, pero ya no nos sirve para investigar, pues el concepto de simultaneidad se ha perdido y también el de espacio absoluto, y lleva a una curiosa asimetría en la reciprocidad.

Podemos explicarnos mejor la relatividad del tiempo de forma muy sencilla. Seamos solo nosotros dos en movimiento relativo (Fig. 3a) llevando sendos relojes de luz en los que un fotón sube y baja rebotando entre las placas, midiendo el tiempo en ciclos (Fig. 3b). En mi reloj tú no verás que el fotón se desplace según la vertical, sino con una pequeña componente horizontal v debido a mi movimiento (Fig. 3c). Por la invariancia del módulo de c , tú y yo vemos mi fotón con velocidad c , pero para mi solo va en la vertical, mientras que para ti es suma de dos contribuciones, v en la vertical y u en la horizontal (Fig. 3c). La u que tú ves es $u = \sqrt{c^2 - v^2}$ y por lo tanto tarda más que el tuyo en completar un ciclo y atrasa. Para v cercanas a la de la luz la componente vertical la verías cada vez más pequeña hasta que a c desapareciese y el tiempo en que me ves vivir ¡dejaría de transcurrir! Lo gracioso es que desde mi punto de vista todo ocurre al revés, yo estoy tan pancho mientras tu tiempo se ralentiza.

Si ambos comprásemos en reposo dos reglas exactas, al comenzar a movernos como antes tú verías como la mía se acortaba fantásticamente. Mientras yo creería que era la mía la que seguía midiendo bien y la tuya la que se contraía, y un kilómetro mío sería algo más para ti pues te caben más reglas.

Estos postulados ya los habían intuido Fitzgerald y Lorentz, pero fue Einstein el que les dio su auténtico significado. Las relaciones vienen dadas por unas fórmulas muy sencillas que están completamente demostradas y comprobadas, pero a bajas velocidades comparadas con c la contribución de los efectos relativistas es ínfima y valen las ecuaciones de la mecánica clásica con errores insignificantes.

También la masa con que un observador ve una partícula depende de su estado de movimiento res-

pecto a ella, e igual la energía que lleva. De hecho ambas son lo mismo, relacionadas por la famosa $E = mc^2$, donde m es la masa relativa. E y m se presentan como distintas manifestaciones de lo mismo y su conservación por separado no tiene sentido. La masa que nos rodea es una forma de energía concentradísima.

Hay un problema que nos surge todavía, la paradoja del envejecimiento. En nuestro caso yo te veo crecer más lento que a mi mismo, pero tú te ves envejecer antes. ¿Quién sobrevivirá a quién? La solución es que hasta ahora solo hemos comparado movimientos con velocidad constante no acelerados. Esta es la gran diferencia. Para llegar a esos estados uno de los dos ha tenido que acelerarse, el viajero experimenta una aceleración y deceleración que no sufre el observador en reposo. Esto es debido a la teoría general de la relatividad (1915), el trabajo más importante de Einstein.

La idea principal de la relatividad general es que son indistinguibles los movimientos acelerados de los reposos en campos gravitatorios. Consideraciones como ésta llevaron a Einstein a trabajar matemáticamente con ellas usando la geometría del espacio curvo de Riemann, pues el espacio tridimensional que nos rodea Einstein lo concibió ¡como curvo!

No es fácil pensar en un mundo 3D curvo, por eso lo que se hace siempre es extrapolarlo del mundo 2D, mucho más asequible para nuestras mentes

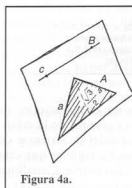


Figura 4a.

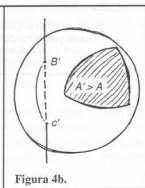
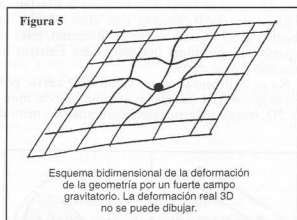


Figura 4b.

tridimensionales. En un plano la geometría euclidiana funciona perfectamente. El área encerrada en un triángulo equilátero es $a^2 \sqrt{3}/8$ y la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta (Fig.4a). Sin embargo si ponemos a los seres 2D sobre una esfera acabarán dándose cuenta de que el área de sus triángulos es mayor que antes (Fig.4b). Desde nuestra privilegiada posición veremos que aunque ellos crean que la distancia más corta entre dos puntos es el tramo de diámetro que los separa y lo prueben enviando un rayo de su luz (lógicamente ésta no puede salirse de la superficie de la esfera), nosotros podemos trazar una recta que la ensartase y conectase los puntos. Para ellos no es accesible ya que supera sus limitaciones 2D.

El caso es totalmente análogo al que se cree que vivimos. De hecho si se enviasen dos rayos de luz paralelos a gran distancia se separarían o juntarían inevitablemente como sucede con dos cuadrados de nuestros seres 2D.

Einstein lo vio del siguiente modo. Como la luz lleva energía, la equivalencia de ésta con la masa la hace curvarse por el efecto de la gravedad de un gran planeta cercano. Se podría decir que la luz ha dejado de ir en línea recta, pero él postuló que es el espacio el que se curva debido a la gravedad. Eliminó el concepto de fuerza gravitacional newtoniano y dijo que las masas alteran la geometría del espacio en que se encuentran, de hecho gravedad y geometría son equivalentes. La luz siempre se mueve en línea recta, pero una línea recta perteneciente al nuevo espacio. La gravedad se manifiesta modificando la estructura del espacio y la distancia más corta entre dos puntos puede no ser la seguida por el haz, es decir, la recta (Fig. 5).



Muchos experimentos, como observaciones de los astros, confirman la teoría general de la relatividad. La restringida solo hablaba de sistemas de referencia no acelerados y dejaba lagunas que ésta corrige. Es tan ambiciosa como compleja, analítica y conceptualmente.

También es el último gran hallazgo del gran hombre. Su talento dio paso a una generación de físicos que culminaron el descubrimiento de la mecánica cuántica, tanto o más sobrecogedora que la propia relatividad. Pero Einstein no acabó ahí. Su formación científica, ética y religiosa, su visión personal del mundo, le tuvieron el resto de su vida tratando de negar una cuántica que ya estaba experimentalmente demostrada. Buscó una nueva mecánica determinista que la englobase, como la teoría de unificación de los campos de fuerzas. Perdió esa intuición que le mantenía en contacto con lo que él llamaba «el creador» e incluso recientemente se han descubierto aspectos tan oscuros de su personalidad como el deplorable trato que le daba a su esposa.

Las circunstancias le dejaron de ser favorables, pero, sin duda, fue el más brillante.

(ACTO II : LA REALIDAD. MAS SABE EL DIABLO POR DIABLO

Dego invocó a las musas esa tarde y trató de ponerse a escribir. Se sentó en una silla de su terraza, orientada al oeste, con la pluma, el cuaderno de hojas, la papelería y las musas, y buscó en su cabeza.

Estaba algo seco de ideas, todo lo contrario que antaño. Siempre había oído que la experiencia es un grado, la madre de la ciencia. Sin embargo él observaba como ésta cada vez con más fuerza le iba bloqueando las vías de pensamiento, como iba restringiendo su capacidad de imaginación, como iba llevándose su frescura y robándole la inocencia con la que tantos mundos había visitado y tantas opciones había elegido. La experiencia que iba adquiriendo era para él el debacle de la utopía que una vez le acompañó y un grave riesgo para su capacidad de abstracción y análisis, y lo que él más temía, para su creatividad, su aportación personal y su inconformismo. ¡Si tan solo hubiese podido encontrar un educador capaz de respetar y potenciar su curiosidad innata! Vio además que no había marcha atrás en ese camino y comprendió que tendría que luchar siempre para conseguir un inestable equilibrio entre ser y estar.

Y se alegró. Se alegró de entender su objetivo y de que éste fuese tan difícil, se alegró de pensar, tras haber pensado que ya no pensaba, se alegró de haber sopesado al fin el daño de la canalización mental y las consecuencias de la negación indiscriminada.

Y se enristeció también, pues si no su alegría no tendría sentido. Se enristeció de lo difícil que le resultaba organizar sus ideas, exprimir las y estructurarlas, se enristeció de esa sensación de pérdida de información que le asolaba cada vez que las tocaba o transcribía, de modificar el sentido secreto, se enristeció.

teció de la fragilidad de su razonamiento, de su poca convicción en él y de todos los parámetros que jamás podría tener en cuenta, y se entristeció de la inevitabilidad, del fin y del vacío.

Tomó la pluma y comenzó a escribir. Escribió sobre un niño llorando por no haber podido ir a ver un importante partido de fútbol. Un adulto se acercaba para consolarle: «¿Y como quedaron?». «Perdieron por goleada». «Pues menos mal que no fuiste entonces». Pero el niño le dijo que de haber ido, todo hubiera resultado distinto. El adulto se quedó intrigado, ¿es qué pensaba pegarle una pedrada a algún jugador o algo parecido?

Menuda mierda de historia. Dego arrancó la hoja y la tiró a la papelera.

En el nuevo blanco comenzó otra vez. Ahora escribió sobre una fiesta después de una boda. Todos los invitados se divertían y parecían ignorar a un niño que correteaba a la altura de sus piernas. Sin embargo cada vez que quedaban fuera del campo de visión de éste, desaparecían, apareciendo instantáneamente cuando el crío se daba la vuelta. El niño siempre veía la escena completa, pero lo que quedaba en su espalda dejaba de tener presencia, y aunque él intuía que algo estaba pasando era incapaz de comprobarlo.

Dego tampoco se sintió satisfecho con ésta y la arrancó igualmente.

Había otra cosa en la experiencia que le incordiaba, algo que se le clavaba y le pellizcaba molestando: el engaño de los sentidos. Las limitaciones de la percepción y del raciocinio le hacían dudar de nuevo. La duda era una constante en su vida. Desde hacía ya mucho tiempo creía en la relatividad de la realidad, una realidad condicionada al observador e inseparable de éste, subjetiva a su propia existencia y presencia. Zaratustra le había contado lo que él ya sabía, que tras su muerte nada sobrevivía, que su mundo, el gran holograma personal e intransferible, acababa con él, y que no había nada más. El era lo único que era, y sólo era en ese momento, pues antes había sido otro. Su conexión con el mundo era tan frágil que no podía menos que dudar de los sentidos.

¿Habría ruido aquel árbol que se caía en el bosque? Recordó unos versos. Los había recitado tantas veces que llegó a pensar que los había compuesto él: ¿Qué es la vida?, un frenesí. / ¿Qué es la vida?, una ilusión, / una sombra, una ficción, / y el mayor bien es pequeño: / que toda la vida es sueño, / y los sueños, sueños son.

Inventó una nueva historia de alguien que cogía un «rasque y gane» y se iba a por su moneda de la suerte para rascarlo, pero no le gustó ésta tampoco.

Tapó la pluma sin tener nada escrito y pensó nuevamente en el árbol. Le pareció un buen momento y se metió otro pico.

Pensó que quizá amaba a Cudad; era tan encantadora.)

CAPÍTULO 2: MECÁNICA CUÁNTICA. LOS GOLFOS APANDADORES

Los orígenes de la química se remontan a la alquimia medieval, pero los primeros intentos de descubrir la composición de la materia vienen de mucho más lejos, de la Grecia clásica. Allí, en las colonias del mar Egeo, surgieron teorías como que todo estaba constituido por distintas proporciones de los cuatro elementos básicos, aire, agua, tierra y fuego, o que las cosas no eran infinitamente divisibles, sino formadas por muchísimas unidades fundamentales llamadas átomos.

Hoy en día los gigantescos aceleradores de partículas nos han llevado a una comprensión bastante aceptable de la materia. Primero están las moléculas, partes más pequeñas con las propiedades del compuesto, formadas por átomos. Hay muchos billones de moléculas distintas, mientras que los átomos son sólo 96; esto supone una importante simplificación. Los átomos son electrones, protones y neutrones, y asombrosamente cada una de estas partículas es indistinguible de todas sus iguales en el universo. Hemos reducido infinitad de materias sin ningún parecido en sus propiedades físicas a distintas asociaciones de 3 sencillas partículas igual que los jonios los redujeron a mezclas de los 4 elementos. Tampoco los alquimistas iban mal encaminados, se puede transmutar el cobre en oro sin más que alterar sus proporciones, aunque no de tierra y fuego como ellos pensaban.

Todos estos descubrimientos de la primera mitad del siglo XX eran esperanzadores. Había además otras partículas, como los fotones de luz o los neutrinos, pero todo estaba más o menos claro.

Allá por los 60 empezaron a surgir en los modernos aceleradores de altísima energía nuevos elementos. Tenían estructura parecida a protones y neutrones, y se les juntó con estos en la familia de los hadrones (que significa «fuerte» en griego, pues tienen interacciones nucleares). Sin embargo los electrones era distintos, no parecían tener estructura interna, eran adimensionales. Aparecieron muchísimos hadrones; la mayoría de ellos, muy inestables, se desintegraban en billonésimas de segundo. Esto fue un duro golpe para los científicos; cuando parecía que habían conseguido reducir las cosas a la mínima expresión surgía una nueva multitud de partículas elementales.

Tenía que haber algo más básico y se postularon los quarks (que es una palabra alemana para nombrar un cacho de queso). Hoy se conocen 6 tipos de quarks, con curiosos nombres. Cada uno tiene su antiquark asociado, y los 12 se asocian entre sí de 2 en 2 ó de 3 en 3 en distintas configuraciones de rotación para componer los infinito hadrones que existen.

Hemos introducido los antiquarks, y con ellos la

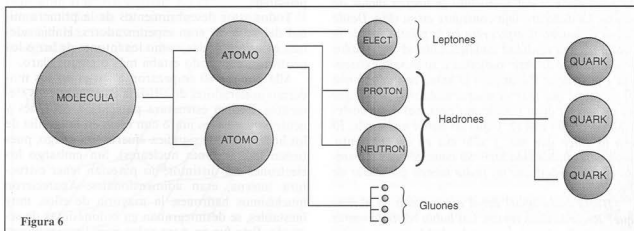
antimateria. Esto de la antimateria es extraño, «como un mundo detrás del espejo». Cada partícula elemental tiene asociada una antipartícula, como el electrón con el positrón, que tiene la misma masa (nunca negativa), pero carga eléctrica opuesta. Si ambas se encuentran se aniquilarán mutuamente liberando energía, de igual forma que aportando energía podríamos crearlas de la nada. De hecho hoy se ve el vacío como un continuo fluctuar de partículas y antipartículas virtuales, en potencia, que pueden llegar a convertirse en reales. Podrían existir galaxias enteras de antimateria, pero el descubrimiento de la inestabilidad del protón quiere decir que también puede ser construido, y que por este procedimiento aparecieron en tiempos del Big-Bang muchos más protones que antiprotones.

Volviendo al mapa de la materia, han quedado por un lado los quarks y por otro los de la familia del electrón, llamados leptones, y que incluyen a este, al muón, al leptón tau y a un neutrino asociado a cada uno de estos. Todos los leptones provienen de radiaciones cósmicas e intervienen en las reacciones últimas de la materia. A pesar de considerar a las partículas elementales puntuales los físicos se empeñan en asociarles un spin de rotación. Yo no consigo comprender como pueden rotar si no tienen dimensiones sobre las que hacerlo; el spin debe ser otra cosa que forme parte del misterio cuántico del que pronto hablaremos.

Hay un tercer grupo de partículas elementales, los gluones. Desde pequeños nos han fascinado las fuerzas. La gravedad no era mucho problema, solo una cuestión de posición, las cosas caían hacia abajo (fue un gran choque saber que vivía gente al otro lado del planeta). Pero, ¿qué hacía a los imanes atraerse así por las buenas?, ¿dónde estaban los enanitos que tiraban de ellos? Hoy se asocia a cada uno de los campos de fuerzas una partícula llamada gluón (de la palabra griega para decir «pegamento»), y esas atracciones y repulsiones consisten en intercambios de gluones por los quarks y los leptones como se intercambia una pelota en un partido de tenis. Esos son los enanos. La gravedad tiene asociado el gravitón y la fuerza electromagnética el fotón, y hay otros para la interacción fuerte, que mantiene unidos los quarks, y la débil, causante de las desintegraciones atómicas.

Todos estos descubrimientos no son postulados gratuitos, surgen como soluciones de teorías y ecuaciones matemáticas increíblemente complejas, antes incluso de haber sido hallados experimentalmente con avanzadísimos métodos.

Este es el grado de conocimiento que hemos alcanzado (Fig. 6). No parece ya que vaya a haber una regresión infinita en la materia, pero tampoco pareció antaño que el átomo fuese divisible. Nadie está dispuesto a apostar mucho por esto, y menos viendo la enorme progresión de la física de partículas elementales en tan pocos años.



Hasta ahora hemos hablado de partículas y no de cuantos como debíamos haber hecho. Esto es porque no las hemos distinguido de unas canicas en pequeño, regidas por la mecánica newtoniana; lo cierto es que no tienen nada que ver. Con las ideas de Einstein de la cuantización de la luz y la equivalencia masa-energía aparecieron unas generaciones de físicos que empezaron a descubrir e interpretar el misterio cuántico, llegando a conclusiones estremecedoras y fabulosas que negarán nuestra intuición y sentidos. Sin duda la mecánica

cuántica supone el mayor logro intelectual del hombre.

En los últimos años del siglo XIX fueron descubiertas nuevas propiedades de la materia, los rayos X (1895), la radiactividad (1896), el electrón (1897) y las líneas espectrales. Plank postuló la cuantización de la energía que pueden llevar los átomos (1900), idea crucial, ya que hasta entonces se pensaba que podía ser cualquier cantidad, y Einstein la de la luz misma (1905), que inició la dualidad onda-córpúsculo. Rutherford y Bohr lanzaron sus

modelos atómicos (1911 y 1913), en los que surgían una serie de dudas acerca de la validez de las ecuaciones clásicas. Heisenberg describió las transiciones de energía de los átomos como formaciones de números (1925) demostrando su notable ingenio matemático y Max Born reorientó estos números creando la mecánica matricial (1925), primer gran paso hacia la cuántica. El contestatario Pauli asimiló estas teorías y con ellas consiguió explicar perfectamente el espectro de radiación del hidrógeno (1925). La nueva herramienta tenía un poder extraordinario.

Matemáticamente todo iba viento en popa, pero los problemas aparecían a la hora de interpretar los resultados y preguntarse como funcionaban realmente esas pequeñas partículas.

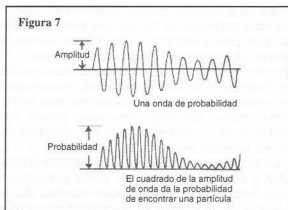
En primer lugar había surgido una componente nueva en cosas como la desintegración atómica o los saltos de niveles energéticos de los cuantos en los átomos. Era una componente que la mecánica clásica jamás pensó tener en cuenta, la aleatoriedad. Estas cosas no respondían a ninguna regla, sucedían simplemente al azar. No significa que aún no supiésemos predecirlas, sino que eran impredecibles, era un problema de probabilidades.

Además resultó que las variables que describían los cuantos, como la posición q o el momento p , no eran números simples sino matrices, justificado por la no conmutatividad de su producto en el mundo microscópico. Esto no parece tener ni pies ni cabeza. Si analíticamente todo era un éxito, conceptualmente resultaba muy raro.

Al mismo tiempo se desarrollaba una teoría atómica alternativa que dio como resultado la mecánica ondulatoria. De Broglie fue el primero en mostrar que así como los fenómenos ondulatorios como la luz podían mostrarse como partículas, también todas las partículas llevaban su onda asociada (1923). Schrödinger diseñó una ecuación que daba la configuración del átomo de hidrógeno (1926) (en la que todos vimos por primera vez el tridente ese que ahora nos es tan familiar). Así se creó la teoría ondulatoria, completa e independiente de la matricial. Con ella se explicaron perfectamente los espectros, y tras la comprobación de la difracción de los electrones se dio por válida.

El problema de la interpretación salió otra vez, ¿ondas de qué? Para mí es difícil poder explicarlo pues nunca he sido muy amigo de ellas y hay muchos aspectos de las electromagnéticas que se me escapan, pero el caso es que Max Born las interpretó como ondas de probabilidad (1926). Lo demostró con un cuidadoso estudio de los experimentos de colisión atómica y dedujo que el cuadrado de la amplitud daba la probabilidad de encontrar el electrón en ese punto del espacio (Fig. 7).

Ya tenemos otra vez el azar. No se puede saber dónde está el electrón, sino sólo dónde es más probable que esté, no existe certeza. Esto dio lugar a



la estadística cuántica y a la ciencia del caos, y se cargó el determinismo. Si en el comportamiento de las cosas intervienen procesos aleatorios no podríamos conocer su futuro desarrollo sabiendo su situación actual, principio básico del gran mecanicismo cósmico que proclamaba la física newtoniana.

Para ilustrar todo esto veamos el efecto túnel cuántico. Consiste en el paso de partículas cuánticas a través de una barrera que la mecánica clásica les impediría atravesar. Resolviendo la ecuación de Schrödinger para un electrón en una barrera aparece una pequeña posibilidad de encontrarlo fuera, como si hubiese un pasadizo por donde poder escapar. No sabemos lo que pasa, pero es posible encontrar una partícula donde no podría estar. Hay muchos componentes electrónicos que usan el efecto túnel cuántico, y la radiactividad (emisión espontánea de partículas por los núcleos atómicos) se basa en esto.

Einstein y otros físicos, entre ellos los mismos Plank y Schrödinger (que llegó a arrepentirse de su descubrimiento al ver las consecuencias), desconfiaron firmemente de las nuevas ideas. Se habían educado en un estricto determinismo. A pesar de su enervada oposición todo siguió avanzando a pasos agigantados. Lo más asombroso estaba por llegar.

Dirac demostró que las mecánicas matricial y ondulatoria eran totalmente equivalentes mediante su transformación y reemplazó la mecánica existente por la mecánica cuántica. Aún reconociendo su verdad matemática todos se sentían en ella terriblemente incómodos. Heisenberg y Bohr pensaron en el eslabón que faltaba y crearon los principios de incertidumbre y complementariedad respectivamente (1927 ambos).

La incertidumbre dice que no es posible calcular con exactitud la posición y el momento (velocidad) de una partícula. Los procesos experimentales para ambas medidas son incompatibles. Nada dice que no se puedan medir cada una por separado, pero es imposible hacerlo simultáneamente. Cuando más preciso nos salga un dato más absurdo saldrá el otro, de tal forma que el producto de los errores sea superior a una constante (de cualquier

forma estas medidas no son individuales, pues la mecánica cuántica no les da significado a hechos aislados, sino a promedios estadísticos). Como no podemos conocerlos no podremos calcular su comportamiento futuro; otra vez indeterminación. La incertidumbre es desalentadora, pues impide que sepamos posición y velocidad por muy sofisticados medios que tengamos, pero, ¿tienen una existencia simultánea objetiva independientemente de que nosotros podamos dar con ella?

La complementariedad trata de explicar la dualidad y considera los cuantos como partículas u ondas según cómo las queramos estudiar. Así, si tratamos de determinar su posición se nos revelarán como partículas, y si buscamos su longitud de onda aparecerán como tales. El mero hecho de la observación modifica sus estados. Partícula y onda son conceptos complementarios, dos visiones de la misma cosa, y los procedimientos para comprobarlos se excluyen mutuamente.

Incertidumbre y complementariedad forman la llamada interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica. Ya hemos visto el fin del determinismo como una consecuencia, pero tiene otra enorme, el fin de la objetividad del mundo. El mundo atómico no existe fijo por sí mismo, lo hace dependiendo del método que el observador use para verlo. No está en un estado definido hasta que decidimos contemplarlo, depende en parte de nosotros (Fig. 8).

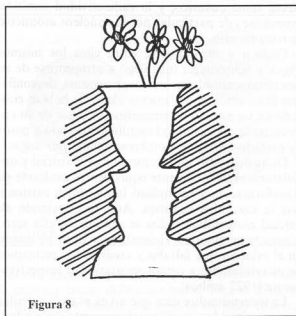


Figura 8

«Mi ilustración favorita de la complementariedad es el dibujo de un jarrón formado por 2 perfiles. Puedes verlo de ambas maneras, dependiendo de cómo lo mires, pero no puedes ver las dos simultáneamente. Es la realidad creada por el observado, donde tú decides lo que vas a ver. Sin embargo, las definiciones de cuál es el perfil y cuál el jarrón dependen una de la otra. Son representaciones diferentes de la misma realidad subyacente; aquí sólo hay un trozo de papel blanco y negro.»

Un ejemplo que puede aclarar un poco conceptos es el de las dos rendijas. Supongamos una ametralladora que dispara al azar en todas direcciones y dos rendijas abiertas en una pared con un detector de balas detrás de ellas (Fig. 9a). Si cerramos la rendija 2 vemos la distribución de impactos en el detector de la 2, y la reflejamos en una gráfica P_1 . Si la que cerramos es la otra se obtenemos P_2 . Al abrir las dos a la vez resulta una distribución P que lógicamente es suma de P_1 y P_2 , pues que pase por una es independiente de la otra. Si ahora bombardeamos con electrones (Fig. 9c) tenemos los mismos resultados con una y otra rendija, pero al abrir las dos a la vez la distribución de impactos no es la suma de E_1 y E_2 , sino ¡una igual a la que se obtendría con olas! (Fig. 9b) (sólo que en este caso serían ondas de probabilidad).

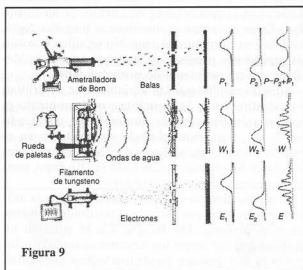


Figura 9

¿Qué es lo que está pasando? Parece que los electrones se están comportando como ondas, pero sin embargo en el detector se reciben electrones individuales como verdaderas partículas, aunque si fuesen partículas veríamos la misma distribución de impactos que con las balas. El problema es que en el mundo cuántico no tiene sentido hacerse preguntas como, ¿por cuál rendija pasará el e^- ? Lo que realmente le sucede no se puede prever, pues no sirve pensar con la objetividad con que vemos el mundo macroscópico. No se puede pensar si pasa por una o pasa por la otra, pues ambos sucesos no son independientes. Es un problema de la lógica con la que vivimos, llamada booleana. Funciona en nuestro cerebro como «sentido común», pero no resulta nada útil con los cuantos.

Con un último intento Einstein trató de reñir la nueva mecánica con la causalidad (1935). La causalidad sí que era un principio físico inviolable que

dice que algo que sucede lejos no puede influir instantáneamente aquí. La información no puede viajar a velocidad infinita. Fracasó, y su planteamiento llevó a Bell a proponer la «desigualdad de Bell» (1965). Con ella demostró que o bien se desechaba la objetividad del mundo cuántico y se mantenía la causalidad, o bien se rechazaba la causalidad para conseguir un mundo objetivo. Las dos no se podían mantener simultáneamente como quiso Einstein, quien no hubiese sacrificado la causalidad de ninguna de las maneras.

Científicos y parapsicólogos nunca han estado de acuerdo en la causalidad. Los primeros siempre se han mofado de los segundos por sus ideas del universo interconectado y la telepatía, que implican transmisión instantánea.

Bohm tenía conocimientos en los dos campos, pero creía en la causalidad. Redefinió el último experimento de Einstein con dos fotones de luz separándose uno de otro en sentidos opuestos (provenientes de la descarga de energía en la aniquilación de un electrón y un positrón). La información de uno nunca podría llegarle al otro, pues la velocidad máxima de la comunicación es la que los está separando, la de la luz. Observó que el comportamiento de uno depende del del otro, pero no se asustó. Explicó esta conexión sin necesidad de violar la causalidad, postulando que vivimos en un espacio tetradimensional donde ambos fotones viajan superpuestos, son el mismo. Aunque nuestras vidas se desarrollen en 3D, nos pasa igual que a nuestros antiguos amigos 2D, que vivían en una esfera aunque sus mentes siquiera pudiesen concebir esa tercera dimensión. Este espacio ya lo conocieron Einstein y Mikowsky, aunque solo a efectos relativistas.

Nunca he vuelto a oír nada de ese tal Bohm. En caso de ser correcto su razonamiento podría devolver la objetividad al mundo cuántico por la desigualdad de Bell. Quizá por ser las partículas elementales adimensionales podrían moverse libremente a través de esa cuarta dimensión. ¿Estaría ahí la clave del atentado contra el sentido común del mundo cuántico?

Leí una cosa exquisita. Para conseguir comprender la realidad se nos ofrecían una serie de posibilidades de las que sólo podíamos elegir una. La opción de la Lógica Cuántica proponía cambiar nuestra forma de pensar booleana por la lógica cuántica. La gente que la había aceptado no entendía que nos extrañase el experimento de las rendijas, pero eran incapaces de mantener una sencilla charla sobre chicas. Otra opción era la Realidad Objetiva, que creía firmemente en la objetividad del mundo a costa de la causalidad. Muchos parapsicólogos se quedaban con ella. Junto a esta se encontraba la Realidad Causal, que aceptaba el mundo subjetivo al observador sin violar la causalidad. La mayoría de los físicos del siglo XX escogía ésta. Además había otras menos importantes, co-

mo el Determinismo Clásico o Los Infinitos Universos. Se podría añadir la Cuarta Dimensión, con la que eliminaríamos las limitaciones tridimensionales de nuestros cerebros. Parece interesante. Al final el autor encontraba todas las opciones complementarias, como la partícula y la onda, y decidía no tomar ninguna y seguir explorando la realidad.

(ACTO III: LA LIBERTAD. MONOLOGO A CIEN VOCES

Cudad había sido invitada a pasar la tarde en la mansión de Epicuro.

Nadie salió a recibirla y nadie parecía habitar en la casa. Cudad se acercó a una gran puerta de cristales de colores. Al abrirla se encontró en una enorme habitación amarilla con gente en actitud de meditación. La recorrió y al llegar bajo la bella cúpula tuvo una tremenda sensación, desconocida para ella, indescriptible pero sobrecogedora. Se sintió interrogada por el destino, o por algo parecido, pero realmente no oía ninguna voz, era más bien algo interior. Creyó entender que se le decía que pese a tener un futuro determinado conocido plenamente por Dios omnipotente, se le dejaba libertad para elegir su propio camino. Hizo un amago de disconformidad. Pensó que si tenía un destino escrito acabaría irremediablemente en él, con lo que los demás fines le estaban vetados. Rápidamente fue replicada que El ya sabía lo que libremente iba a elegir, pero las elecciones las tomaba uno con plena independencia. De pronto tuvo un deseo de pegar un saltito, sin motivo, como acto de rebeldía, pero se dio cuenta que el motivo era lo de menos y que ya podía estar previsto. Recordó haber leído que en el Islam más extremista está prohibido tener un dado, es peligroso para la fe. No le dio muy buen rollo esa habitación y decidió seguir andando. Mientras salía vio a un jansenista llamándola con el dedo, pero no quiso hacer caso y cerró la puerta tras de sí.

Se encontró en un pequeño cuarto de pared cilíndrica. Había un ladrillo en el centro y un hombre sentado en el suelo descansando que se incorporó al verla llegar. Tras saludarse el hombre le contó que estaba muy contento porque había descubierto en el indeterminismo cuántico una afirmación de su libertad. Cudad dudó. Aunque nosotros no pudiésemos predecir los sucesos aleatorios, ¿por qué no iba Dios a poder hacerlo? Librarse un poco del materialismo determinista no implicaba librarse del conocimiento infinito del Hacedor. Se despidió educadamente y siguió su camino. Al cerrar la puerta vio como el hombre se subía encima del ladrillo, se agachaba hasta agarrarlo y comenzaba a tirar de él hacia arriba.

La habitación en la que entró estaba llena de polvo y desorden. Sobre un escritorio lleno de papeles descansaba un satisfeco científico. Al interrogarle

Cudad el científico le confesó que se había librado del determinismo al renegar de Dios. Su Dios ahora era la naturaleza, el orden cósmico. A Cudad no le pareció un gran consuelo. ¿Había diferencia entre tener un camino ya decidido o dejarle hacer al más caótico azar? Como tenía ganas de ver a Epicuro se fue, quizá envidiando un poco la expresión de aquel hombre.

En el siguiente cuarto había libros por todas partes. Era muy parecido al anterior, y también lo era su ocupante. Este estaba trabajando y la presencia de Cudad no le despidió lo más mínimo. Al acercarse a él vio que trataba de calcular comportamientos sociales mediante ecuaciones a partir de una ciencia llamada psico-historia. No pudo evitar preguntarle por ecuaciones para el individuo en particular, pero la respuesta fue negativa, entrarían factores complejísimo como los genes o las circunstancias. A Cudad le intrigaban los genes. Comentó que podía comprender a los que no creían en la evolución de las especies como una teoría completa para explicar al hombre, y el científico le dijo que a él también le ocurría a veces, que la clave estaba en que no podíamos asimilar la enorme cantidad de tiempo transcurrido desde la aparición de la vida. De todas formas confesó que era raro, quizás tanto como la mecánica cuántica. Cudad le deseó suerte y se marchó.

En el siguiente cuarto no había nadie ni nada, tan solo un gran espejo sobre una pared roja. Cudad se acercó y se vio reflejada. No parecía tener nada de especial, pero al ir a explotarse un grano comprobó que su reflejo no le obedecía. Dio unas palmadas, pero por segunda vez no obtuvo respuesta, así que se fue corriendo. Pensó que nunca se debe jugar con espejos mágicos o se corre el riesgo de quedar encerrado en ellos.

La habitación en la que entró después debía ser la biblioteca de la mansión. Era enorme y poseía toda la literatura escrita hasta el momento sobre el determinismo y la libertad, pero estaba desierta. Cudad pasó del tema y siguió andando.

Enseguida vio a un mayordomo al que pidió que le llevase frente a su anfitrión. No fue posible, Epicuro había muerto hacía ya 2.500 años. Cudad abandonó la mansión. Había pasado mucho tiempo dentro de ella y se iba de vacío.

Mientras se alejaba compuso unos versos: Caminante, son tus huellas / el camino, y nada más; / caminante, no hay camino. / se hace camino al andar.

Pensó que quizá faltaba algo de amor en su vida.)

CAPÍTULO 3: CONSECUENCIAS. EL ARROZ DE LA ZORRA DEL ABAD.

Los padres de la relatividad y la mecánica cuántica nos descubrieron la fabulosa noción de tiempo y espacio y la extraña naturaleza de las particu-

las elementales. Sabían que aceptando el nuevo mundo nos íbamos a sentir inmediata e irremediablemente tentados a buscar sus consecuencias tecnológicas y filosóficas. Dieron la salida a una evolución científica sin precedentes.

Einstein encontró en la luz la velocidad límite del universo. Nada podrá jamás ir más rápido que los 300 mil km/s que ésta lleva. Pero, ¿300 mil respecto de qué?, ¿y por qué no ponerse a 200 mil, cruzarse con otra nave que también fuese a 200 mil y llevar entonces 400 mil respecto de ella? En realidad las dos preguntas son la misma.

El límite es respecto de todos los sistemas de referencia; los planetas de los que partamos, las galaxias a las que vayamos, las naves con que nos crucemos. Iremos a distintas velocidades respecto de los distintos observadores, pero ninguno nos verá a más de 300 mil km/s. No es ningún código de circulación espacial que debamos respetar, es la naturaleza misma la que nos lo impide. Un observador en la Tierra puede ver acercarse una nave por la derecha a gran velocidad (mayor que $c/2$) y otra por la izquierda a la misma. Pensará que la velocidad relativa de una respecto de otra es mayor que la de la luz. Pero si estamos viajando en una de las dos veremos que los 200 mil que lleva la otra respecto de tierra están medidos con las reglas y los relojes de ahí abajo, no con los nuestros. Por la contracción del espacio y el tiempo nuestros instrumentos miden distinta esa velocidad, de tal forma que la total queda por debajo de c .

Sin embargo no hay ninguna ley física que nos impida acercarnos a c tanto como queramos. Viajando a velocidades próximas a la de la luz pasan cosas muy divertidas. Nuestra masa relativa aumenta brutalmente, nuestros relojes corren muy lentos y nuestros cuerpos se aplastan en la dirección del movimiento como las figuras del Greco. No creamos por eso que vamos a vivir más o a sentir dolores por todos lados. Nuestras vidas se ralentizan, pensamos más despacio, y nuestros metros se acortan, nos vemos igual que siempre. Ni nos enteramos. Hay otra consecuencia del viaje a altas velocidades, veríamos frente a nosotros la parte de atrás de objetos que ya habíamos adelantado. Esto es porque vamos cogiendo sus emisiones de luz (Fig. 10). En el caso límite en que fuésemos a c nuestra masa, y por tanto nuestra energía, sería infinita, el tiempo no transcurriría para nosotros con respecto a los demás, seríamos tan chatos como un sello y todo lo que nos rodea aparecería en un círculo delante de nosotros.

La luz va demasiado rápido para que nos preocupe hoy en día no poder alcanzarla (da siete vueltas y media a la Tierra en un segundo), pero a primera vista esta nueva limitación da rabia. Sin embargo, aunque la relatividad nos está restringiendo la velocidad también nos abre dos fantásticas posibilidades de ventajoso viaje espacial.

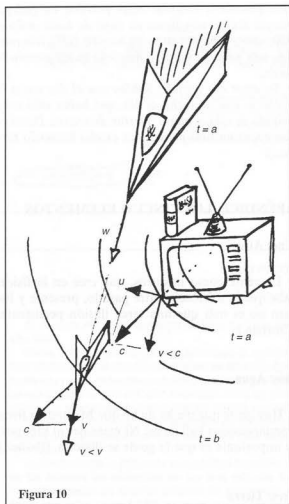


Figura 10

La primera es una versión de la hibernación que hacen en las películas, pero sin necesidad de hibernarnos. La propia ralentización del tiempo a grandes velocidades nos impide envejecer. Podríamos recorrer el universo conocido en tan solo medio siglo nuestro a una velocidad muy próxima a la de la luz, pero al volver no encontraríamos a nuestros hijos ni nietos. No encontraríamos siquiera a la querida Tierra ni al Sol, habrían terminado sus días mucho tiempo atrás.

La segunda la sugiere la relatividad general y los agujeros negros. Consiste en que estos son tan espesulentamente densos que no solo deforman el espacio-tiempo, como vimos, sino que lo rompen. Si sobreviviésemos a la caída en un agujero negro podríamos emerger en alguna otra parte del espacio-tiempo, o incluso en otro universo. Esto, que puede parecer una fantasía, es discutido por físicos de relevancia mundial, por lo que se merece todo el respeto.

Para terminar con la relatividad veamos un pequeño problema. Hay un coche y un garaje, de 3 metros de ancho cada uno. El coche sale a dar una vuelta y regresa a toda velocidad. El mecánico le

ve acercarse y por su velocidad cree que se ha contraído, con lo que pasará holgado por la puerta. El piloto ve que es el garaje el que ha menguado y se asusta pues irremediablemente chocará. ¿Qué pasará entonces a la hora de entrar en el garaje? En este caso no pasa nada, hay trampa y no una contradicción. Los dos han razonado mal, la contracción sólo se produce en la dirección del movimiento, no a lo ancho.

Sin embargo hay muchos casos en los que la paradoja parece triunfar, y al ponerse uno a pensar en la ciencia moderna le surgen por todos los lados. Las paradojas contribuyen notablemente al desarrollo de la física, hacen debatir y revisar resultados y dan nuevas visiones del conocimiento.

A Bohr le gustaba mucho interpretar las teorías cuánticas y quiso extrapolar el indeterminismo y la subjetividad del mundo atómico al macroscópico.

Lo cierto es que hasta el mundo visible llega la indeterminación de los cuantos, sólo que para una pelota de tenis, por ejemplo, la incertidumbre es insignificante ($1:10^{34}$), mientras que en una partícula elemental domina completamente (1:1). Si conocemos todas las características de un dado y la mesa sobre la que lo tiramos, así como del espacio que circunda la acción, y las condiciones iniciales, podríamos hallar el número que va a salir en la tirada (aunque el principio de incertidumbre nos impida calcular todo esto con exactitud, el error que introduce en un cuerpo tan grande es ínfimo). Esto no es un proceso aleatorio macroscópico (aunque todos los procesos realmente lo son). Pero sí lo es una mutación genética. Los sucesos casuales en el micromundo pueden tener una influencia brutal en el nuestro. El indeterminismo atómico sí puede afectar a nuestras vidas, sobre todo ahora con la continua aplicación de la electrónica y los ordenadores.

En la más radical versión de la interpretación de Copenhague, Bohr también intentó darle a la escala humana la falta de objetividad que tenían los cuantos. Para él todos los hechos eran una superposición de estados posibles hasta que los observábamos. Aunque un suceso hubiese ocurrido hace mucho tiempo, realmente no existía un resultado independiente y anterior a nuestra observación, sino varios que coexistían. Al mirar uno se hace real y los otros desaparecen.

Al fin y al cabo ¿no es el mundo microscópico igual pero en pequeño? Pues no, hay una vital diferencia, la irreversibilidad. En la escala cuántica no hay una dirección del tiempo, no se producen envejecimientos, las partículas no tienen memoria, pero a una escala mayor aparece una variable importantísima, la entropía. Las cosas

macroscópicas tienden al desorden, que impide la vuelta atrás. Esta define una flecha del tiempo que nos obliga a recorrerlo hacia delante. La ley de la entropía no puede ser deducida directamente aplicando las leyes de Newton a las partículas individuales, hace falta una hipótesis más, un estudio estadístico.

Esto es el fin del materialismo determinista, los cuantos no gobiernan nuestro comportamiento, deja una puerta abierta a la existencia de la consciencia y el libre albedrío. Pero también apoya la objetividad a nuestra escala al establecer la línea divisoria entre los dos mundos. En el macroscópico las cosas ocurren en un determinado tiempo, y una vez que lo han hecho no hay vuelta de hoja.

Es notorio ver como en todas las culturas la complementariedad juega un papel decisivo. Todas las cosmogonías, extintas o boyantes, dan a la creación un carácter fundamental de contraposición, ya sea entre bien y mal, hombre y mujer, noche y día o cielo y tierra. Los opuestos que se complementan, como nuestra onda-partícula, parecen ser una idea innata en el hombre de una enorme importancia.

Además las nociones de determinismo y relatividad del mundo son también antiquísimas. En la Grecia clásica el libre albedrío era un tema en continua discusión. Algunos griegos incluso lo buscaron en el indeterminismo atómico. La idea de destino ha influido en todas las culturas hasta llevar a algunas a una especie de sumisión por las cosas insultante.

Principalmente las filosofías orientales ven el mundo altamente subjetivo, sujeto al engaño de Maja. También Descartes y Nietzsche concibieron un mundo relativo a nuestra propia existencia.

Es increíble que la física avanzada nos de tantas pistas sobre temas filosóficos que han preocupado a los hombres desde siempre.

En todas estas teorías hay algo especial que tiene un papel importantísimo, las simetrías matemáticas. Los físicos las encuentran elegantes y preciosas y se sorprenden de que el mundo responda a ellas. Las simetrías y sus roturas espontáneas son la base y el origen del universo que concebimos. Incluso alguien sugirió que en vez de «hágase la luz», Dios pudo haber dicho «hágase la simetría».

(EPÍLOGO. MIENTRAS, SIEMPRE MIENTO)

Intud, Dego y Ciudad dejaron sus demonios en la mesilla de noche, que era donde siempre habían vivido, y se reunieron por la noche como habían di-

cho. Fueron a comprar unas botellas de güisqui porque tenían una fiesta en casa de unos amigos. Ninguno propuso volver al bar de HH. Ninguno dijo una palabra siquiera de cómo había pasado la tarde.

Su amor era posible. Sabían que el día era a la noche lo que la noche al día, que había sido todo una ida de olla, y ahora querían divertirse. Decidieron coger un taxi pues se les estaba haciendo tarde...)

APÉNDICE. LOS CINCUO ELEMENTOS

Uno: Aire

La gente como nosotros, que cree en la física, sabe que la diferencia entre pasado, presente y futuro no es más que una terca ilusión persistente. (Einstein.)

Dos: Agua

Hay gente que me ha dicho que Mortadelo tiene reminiscencias kálfianas! Ni mensajes ni rábanos, lo importante es que la gente se divierta. (Ibáñez.)

Tres: Tierra

El mundo es un grano de polvo, la ciencia de los hombres palabras. (Camarón.)

Cuatro: Fuego.

Me dijo una tarde / de la primavera: / si buscas caminos / en flor en la tierra / mata tus palabras / y oye tu alma vieja. / Que el mismo albo lino / que te vista, sea / tu traje de duelo, / tu traje de fiesta. / Ama tu alegría / y ama tu tristeza, / si buscas caminos / en flor en la tierra. / Respondí a la tarde / de la primavera: / Tú has dicho el secreto / que en mi alma reza, / yo odio la alegría / por odio a la pena. / Mas antes que pise / tu florida senda, / quisiera traerte / muerta mi alma vieja. (Machado.)

Cinco: Vida.

Mi buen amigo, toda teoría es tan árida como verde y lozano es el árbol de la vida. (Goethe.)

26 AÑOS DE AVIOCAR

El C-212 es seguramente el avión más famoso de cuantos se han diseñado en España. En este artículo se repasan los hitos históricos más destacables de su proyecto. Además se hará una descripción técnica breve del avión. Como colofón al final publicamos cuatro entrevistas de algunas de las personas que estuvieron involucradas en el proyecto C-212



Eduardo Sanguino SanRomán
Alumno ETSI Aeronáuticos

UN POCO DE HISTORIA

CON UNAS CIRCUNSTANCIAS DIFÍCILES

El Aviocar nació en la mente de Ricardo Valle Benítez, director de la Oficina de Proyectos de CASA, en el año 1964.

Hacia aproximadamente diez años que el gobierno había abandonado la política de prototipos. Consistía ésta en fomentar el diseño de aviones de diversos tipos para atender nuestras necesidades. Esta política estaba motivada por el aislamiento político y económico que sufrió España entre los años 1945 y 1953. Algunos frutos de esa política fueron el C-201 «Alcotán» (voló en 1949), el C-202 «Halcón» (1953) y el C-207 «Azor» (1955); todos ellos eran bimotores de transporte de diseño «en línea» con la técnica aeronáutica de la época.

Como consecuencia de los acuerdos de cooperación firmados en 1953 con los norteamericanos llegaron a España una cantidad de aviones suficiente para satisfacer las necesidades de aviones que tenía el Ejército del Aire (EA).

Indirectamente la industria aeronáutica española dejó de ser absolutamente indispensable; por este motivo de las oficinas de proyectos de los tres grandes fabricantes españoles, CASA, AISA, y HASA (encargadas respectivamente de diseñar aviones de transporte, de escuela y cazas) las de AISA y HASA prácticamente desaparecieron. La de CASA mantuvo su capacidad de diseño durante la década de los 50 gracias al proyecto del «Azor».

Sin embargo en el comienzo de los 60 el poco trabajo en la Oficina de Proyectos se cifraba en: preparación de la documentación para la fabricación en serie del Azor, el diseño de una nueva versión del Azor en la que se modificaba el entrada de la carga y una colaboración con HFB (actualmente parte de MBB) en el proyecto de un birreactor de negocios, el HFB-320 Hansa, que en 1964 estaba prácticamente terminada. La Oficina de Proyectos necesitaba urgentemente un nuevo proyecto que asegurara su continuidad.

SE APUESTA POR EL FUTURO

Aprovechando tanto la carencia de aviones del transporte modernos que tenía el EA como la experiencia de CASA en este clase de aviones, se decidió que el nuevo proyecto sería de este tipo. El EA usaba todavía el CASA-352 como transporte. Este avión era un Junkers-52 (que voló en 1931) fabricado bajo licencia.

En otoño de 1964 se empezó a trabajar en un avión que al igual que el viejo Junkers-52 pudiera operar en campos cortos y poco preparados y que además fuera sencillo de manejar y mantener. Otras especificaciones eran:

- Capacidad de transportar 1.000 kg a 1.000 km de distancia o 2.000 kg en vuelos cortos.
- Cubrir la distancia Madrid Canarias en vuelo directo.

- Gran facilidad de carga y descarga, incluso de grandes volúmenes o vehículos ligeros.
- Utilizable para el lanzamiento paracaidistas.
- Capaz de transportar 19 pasajeros en una cabina en la que se pudieran mover erguidos.

Desde finales de 1964 se trabajó intensamente como si fuera un contrato en firme.

Los estudios preliminares mostraron que las especificaciones se podrían cumplir con dos motores de unos 700 CV. Se decidió usar turbohélices por la ventaja en peso y resistencia aerodinámica respecto de los alternativos. Éstos se montarían en góndolas situadas en el plano medio a una distancia al fuselaje mayor que la mínima exigida usando las hélices inicialmente previstas; así se reducía el ruido y se podrían utilizar hélices de mayor diámetro en versiones futuras más potentes.

Para el fuselaje se eligió una sección rectangular e dimensiones tales que pudieran acomodar a tres pasajeros por fila o incluso cuatro en versiones de alta densidad. La popa del fuselaje con una abertura rectangular permitía bajando la hoja inferior, que también servía de rampa de acceso, y subiendo la superior una carga rápida y sencilla del avión.

Hasta llegar al trazado definitivo se probaron muchas modificaciones persiguiendo «líneas de agua» con una variación de curvatura lo más regular posible para evitar desprendimientos de corriente y minimizar la resistencia de base.

Las instalaciones eléctrica e hidráulica se simplificaron al máximo; se agruparon todos sus elementos en tres zonas: en un armario de equipos que frente al aseo separa la cabina de pilotos y la principal (por tanto accesible en vuelo), en la proa y el resto en las protuberancias laterales del fuselaje.

Se adoptó una estructura metálica, abandonándose el uso de superficies móviles enteladas de su antecesor, el Azor.

Los mandos eran directos, sin realimentación hidráulica, por cables que atravesaban el fuselaje por la parte superior.

Para el fuselaje se eligió una sección rectangular e dimensiones tales que pudieran acomodar a tres pasajeros por fila o incluso cuatro en versiones de alta densidad

Aprovechando la falta de presurización, la estructura se diseñó de forma que se usaran mayoritariamente elementos de chapa y un mínimo de piezas mecanizadas

primer vuelo se fijó en 30 meses.

Mientras se negociaba el contrato una comisión constituida por jefes y oficiales del EA más algunos ingenieros de CASA se encargó del traba-

jo de selección del motor de entre tres candidatos posibles. Salió elegido el motor norteamericano Garret Airesearch TPE-331-2 de 715 SHP frente al canadiense Pratt & Whitney PT6A-27 de 680 SHP, de mayor consumo y peso, y el francés Turbomeca Astazou 10, que requería revisiones periódicas mucho más frecuentes. Dos hechos fueron decisivos: el Garret ofrecía una mayor facilidad de arranque en vuelo y que además existía una versión con las mismas dimensiones de 840 SHP.

Las excelentes relaciones con HFB más la falta de tiempo motivaron la subcontratación a ésta del plano medio del ala, incluyendo bancadas y góndolas del motor.

Aprovechando la falta de presurización, la estructura se diseñó de forma que se usaran mayoritariamente elementos de chapa y un mínimo de piezas mecanizadas; así se mantuvieron bajos los costos de producción.

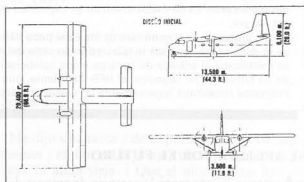
AÚN ESTANDO EL EA INDECISO

Se resuelve descubrir el proyecto en el salón de París, Junio de 1965.

Allí aprovechando la presencia del General Martínez Merino, Jefe del Estado Mayor del Aire, se le presenta el proyecto. A pesar del entusiasmo que mostró, el Ministerio del Aire estaba muy ocupado en otras tareas más urgentes que la sustitución de los C-352. Este suceso no desanimó a los proyectistas que continuaron trabajando.

LLEGA POR FIN EL CONTRATO

Transcurridos dos años y medio, a principios de 1968, el General Lacalle, a la sazón Ministro del Aire y antiguo vicepresidente del Consejo de Administración de CASA, ordena la redacción de un contrato que cubriera las fases del proyecto hasta la fabricación de dos prototipos. El contrato se firmó el 27 de agosto de 1968 y cubría lo susodicho más la atención y las posibles modificaciones en 250 horas de ensayos de vuelo. El plazo hasta el



Debido a la excelencia del trabajo previo al contrato fueron necesarias pocas modificaciones; por ejemplo detectados durante los ensayos en túnel desprendimientos de corriente perjudiciales para el estabilizador horizontal en los laterales del fuselaje, se cambió el trazado de la parte posterior. También tras los ensayos de rigidez se reforzó el ala.

El Misterio del Aire colaboró de forma muy importante. En todas las fases del proyecto el INTA observó todo lo que se hacía. Además una comisión de personal de la escuela de vuelos de Salamanca estudió la cabina de pilotaje proponiendo una excelente disposición de sus elementos que sin

duda contribuye a la favorable evaluación del avión.

Tras la preceptiva autorización del INTA el primer prototipo voló por primera vez el 25 de marzo de 1971. Fue pilotado por Ernesto Nienhuisen y Bob Baker (segundo piloto) siendo José Flors mecánico de vuelo.

UN PEQUEÑO INCIDENTE

En pleno programa de evaluación del avión con apenas 35 horas de vuelo se presentó el Aviocar en Salón Aeronáutico de París. En un vuelo de demostración se intentó un aterrizaje muy corto sin tener estabilizada la senda de planeo debido a un control de torre muy estricto. El piloto aplicó inadvertidamente la reversa cuando todavía estaba a pocos metros de altura. El avión aterrizó en unos 45 m pero tocó la pista con una velocidad vertical excesiva. Los amortiguadores llegaron a tope y las semialas, que contenían los depósitos de combustible casi llenos, provocaron una deformación dinámica excesiva que rompió uno de los largueros del plano medio. A pesar de este incidente el avión llegó por sus propios medios al aparcamiento con toda normalidad. El avión se trasladó por tierra a Getafe. El programa se retrasó tres meses. Se introdujeron dos reformas: reforzamiento del plano medio y aumento del recorrido de los amortiguadores.

Y POR FIN EL ÉXITO: PRIMERAS VENTAS

A principios de 1972 se produjo la primera orden de compra por parte del Ministerio del Aire que solicitó para el EA 6 ejemplares para fotografía y dos como entrenadores de navegantes. Estos 8 forman lo que se ha denominado la preserie y cuentan con el motor TPE-331-2-201C y hélice tripala pues los 6.000 kg de MTOW (Max take off weight) de estas versiones no requerían más potencia. La firma del certificado de esta versión tiene fecha de diciembre de 1973.

Durante los ensayos en vuelo para la puesta a punto del segundo prototipo (voló el 23 octubre de 1971) se cambiaron los motores por TPE-331-5-251C de la misma potencia máxima de despegue y máxima continua pero mayor potencia en altitud-temperatura. También se instaló una hélice cuatripala de mayor tamaño. Todo esto permitía la operación del avión con 6.300 de MTOW en la versión de transporte militar. De esta versión (certificada en mayo de 1974) se recibió un pedido de 32 aviones para el EA.

**Tras la preceptiva autorización del INTA
el primer prototipo voló por primera vez
el 25 de marzo de 1971**

¿Y POR QUÉ NO VENDER EN EL EXTRANJERO?

La intención de la compañía American-Casa de comprar aviones provocó que de inme-

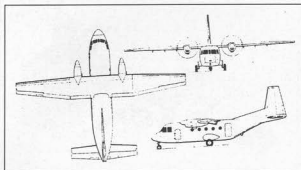
diato comenzaran los trabajos para la certificación civil por la FAA según las normas FAR-25. Las FAA que certifica todos los aviones que van a volar en EE.UU. exigió la obtención previa de un certificado español equivalente el cual se obtuvo el 30 de junio de 1975. La certificación FAA se prolongó un año y medio más pues exigió cambios como el aumento de la superficie del estabilizador horizontal, adición de un LEX (borde de ataque extendido en la zona del encastre) más otros relativos a la seguridad.

Entre 1974 y 1974 se mantuvieron contactos con la Fuerza Aérea Portuguesa (FAP) para la venta del C-212 en su versión militar. La FAP formó una comisión de evaluación presidida por el capitán general Ruy Tavares Monteiro que viajó a Madrid y Sevilla. Tras un exitoso vuelo de presentación en Lisboa llegó, a principios de 1974 un pedido de 28 aviones más repuestos. La firma del contrato estaba prevista para marzo, sin embargo el primero de marzo se produce la destitución del general Spínola y el 25 de abril la revolución de los claveles y todo parecía perdido. Como último intento el 6 de mayo se presentó el director de Postventa de CASA en Portugal siendo recibido como si no hubiera pasado nada, aunque se redujo el pedido a 24 aviones quedando la diferencia compensada con más repuestos.

**En 1973 se inició la fabricación en serie
de la serie 100 a un ritmo de cuatro aviones
por mes**

En 1973 se inició la fabricación en serie de la serie 100 a un ritmo de cuatro aviones por mes, cadencia superior a la necesaria para cumplir con los contratos; esta decisión aunque arriesgada fue correcta.

Los contactos con Jordania fructificaron con un nuevo contrato para 4 aviones.

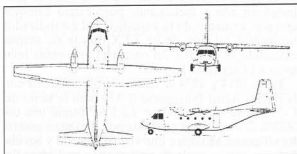


*Serie 100 Militar.

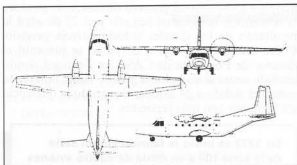
En septiembre de 1974 Indonesia compró 3 aviones, este sería el prolegómeno de la fabricación del Aviocar por Nurtanio (empresa Aeronáutica Indonesia).

En marzo de 1978 voló el prototipo de la serie 200, logrando su certificación en marzo de 1979 (INTAET) y mayo de 1980 (FAA). Esta ha sido la serie con más éxito de ventas.

La evolución lógica del Aviocar continuó con la serie 300 cuya certificación española, civil y militar, se firmó durante 1988 (1989 para la FAA). Las mejoras más evidentes son los «winglets» en los extremos del ala, un morro más afilado y nuevos motores.

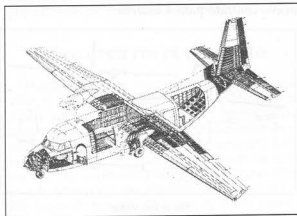


"Serie 200".

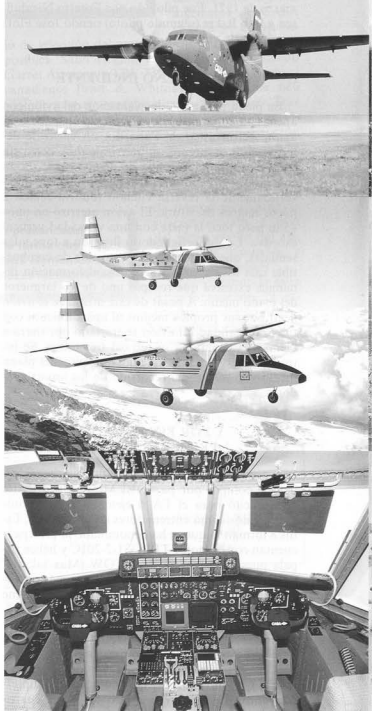


"Serie 300".

En total se han vendido 456 aviones repartidos casi al 50 % entre versiones militares o civiles. Los 86 operadores, civiles y militares, llevan acumulados más de 2 millones de horas de vuelo, siendo el ejemplar número de serie 174, perteneciente a Murra Aviation, el líder de flota (19.500 h).



AVIOCAR: Los ut



El Aviocar es un avión de transporte ligero, diseñado para operar en pistas de tierra o agua. Su capacidad de carga es de hasta 1.000 kg. El avión es muy versátil y puede ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones, desde el transporte de pasajeros hasta el transporte de carga.

ilitarios del cielo.



Para todos los que queráis saber más sobre la historia del Aviocar os remito al artículo escrito por el propio don José Luis López Ruiz para la revista *Aeroplano* (vol. 8-1990)

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

El Aviocar es turbohélice bimotor de transporte de carga y pasajeros en general. También existen otras versiones (¡hasta 102!) para cometidos especiales, por ejemplo, la versión para tareas de vigilancia, búsqueda y rescate (SAR), patrulla marítima y lucha antisubmarina (ASW), guerra electrónica (ESM/ECM, ELINT/ECM), V.I.P., alerta temprana (AEW), fotogrametría aérea, lanzamiento de cargas en vuelo, paracaidista, mixta para el transporte carga y pasajeros, prospección de recursos naturales, evacuación sanitaria, creación de lluvia artificial, etc..

El portalón da paso a la cabina de carga, capaz de recibir mercancías en contenedores LD-3, LD-1 o LD-727/DC-8 o plataformas de 88 x 54 inch (podrás imaginarte sus dimensiones si acudes a la clase de 4º C/D donde hay un cartel con los contenedores que usa Iberia).

Tiene ala alta recta en voladizo sin diedro.

Otras características son:

	Serie 100	Serie 200	Serie 300	Serie 400
Longitud (m).....	15,154	15,20	16,20	16,20
Altura (m).....	6,3	6,60	6,60	6,60
Envergadura (m).....	19,00	19,00	20,30	20,30
Superficie alar (m²).....	40,0	40,0	41,0	41,0
Envergadura timones (m).....	7,40	8,40	8,40	8,40
Superficie timones (m²).....	—	12,57	12,57	12,57
Longitud cabina (m).....	5,80	6,50	7,22	7,22
Ancho cabina (m).....	2,10	2,10	2,10	2,10
Alto cabina (m).....	1,80	1,80	1,80	1,80
Volumen (m³).....	19,1	22,0	24,00	24,00
Ancho de rampa (m).....	1,70	1,70	1,70	1,70
Alto rampa trasera (m).....	1,80	1,80	1,80	1,80
Motord.....	TP6-D11-22HC	—	—	—
Potencia (CV).....	715	900	900	925
Hélice.....	Hartzell	Hartzell	Dowty	Aerospace
Peso máx. despegue (kg)...	6.300	7.450	7.700	7.700
Peso máx. aterrizaje (kg)...	6.100	7.360	7.450	7.450
Peso en vacío (kg).....	3.700	3.760	4.300	4.700
Capacidad de carga (kg)...	2.000	2.770	2.800	2.400
Capacidad de pasaje.....	19	28	28	28
Capacidad máx. combustible (l).....	—	1.600	2.040	2.040
Depósitos subalares.....	No	No	2 x 500	2 x 500
Velocidad máx. (km/h).....	360	374	370	363
Velocidad de crucero (km/h).....	335	347	347	347
Velocidad de pérdida (km/h).....	133	144	145	145
Distancia de despegue (m).....	300	610	895	887
Distancia de aterrizaje.....	155	595	865	865
Alcance máx. combustible (km).....	1.760	1.760	2.680	2.620
Alcance con carga máx. (km).....	480	408	835	815
Techo de servicio (m).....	8.140	8.535	7.925	7.620

CURSO DE PILOTO PRIVADO

AEROWAY ES UNA ESCUELA DE PILOTOS
UBICADA EN EL AEROPUERTO DE
CUATRO VIENTOS, EN LA QUE PUEDES
REALIZAR EL CURSO DE PILOTO
PRIVADO EN MENOS DE CUATRO
MESES POR 389.000 PTS.
(Facilidades de pago)

TAMBIÉN IMPARTIMOS CURSILLOS DE FIN
DE SEMANA PARA LOS ALUMNOS DE
AERONÁUTICOS, EN LOS QUE INCLUIMOS:

AERODINÁMICA
ACTUACIONES DEL AVIÓN
40 MINUTOS DE VUELO (3 PERSONAS)
Precio del cursillo: 6500 pts.

OPERACIONES

MADRID

AEROPUERTO DE CUATRO VIENTOS
(Final Aeropuerto)
28044 MADRID
Tlf.-Fax 508 99 07

ALICANTE

Tlf. -Fax 96- 691 93 39



ZWEEF:
HITA:

¿Cuál es el sistema de numeración que sigue CASA?
Cuando se diseñó el C-212 se tomaba la primera cifra según fuera el número de motores; la segunda correspondía al número de orden que le correspondía cronológicamente al diseño. Así el C-212 sería en realidad el C-211 ya que fue el undécimo bimotor de CASA. El cambio se debe a que se le confundiría con el C-2111 (que es una versión del He-111 construida bajo licencia por CASA).

¿Cómo se decidió diseñar el C-212?

El que fuera consejero delegado de CASA, don José Ortiz Echagüe, tenía una gran confianza en la Oficina de Proyectos y aunque no teníamos ningún contrato con el EA le dijo a Ricardo Valle que pensara en un avión con el objetivo de fabricarlo para el EA. Se trabajó en el proyecto entre el año 1964 y 1967 sin tener por entonces ningún contrato e incluso cuando éste se firmó la cantidad a desembolsar por el EA era inferior al costo del proyecto; el objetivo era recuperar el dinero invertido en la serie.

¿Cuántos ingenieros se emplearon para diseñar el Aviocar?

Éramos entre doce o trece.

Osea, erais como una pequeña familia.

Sí. Conocíamos el trabajo de los demás, colaborábamos unidos y hacíamos mucho trabajo en casa¹.

¿Disponiais de muchos medios?

Teníamos muchísimos menos medios que ahora. Por ejemplo el aviocar fue el primer avión en el que se usó un ordenador, un IBM-1401 que era totalmente inadecuado, pues estaba diseñado para hacer cálculos de contabilidad. En el año 1968 empezamos a trabajar con un IBM-1130 que sí que estaba diseñado para el cálculo científico y que además fue el primero con el que se empezó a hacer cálculo matricial de estructuras en España.

¿Fue dificultosa la venta de aviones a Portugal?

Los portugueses querían un avión de las características del 212; ya habían probado el Short Skyvan en una serie de demostraciones en Inglaterra. Poco después vinieron a España donde probaron nuestro avión y quedaron satisfechos; tan solo dudaban que pudiera igualar las características de despegue y aterrizaje en terrenos no preparados y en condiciones de altas temperaturas. Se decidió realizar una demostración en el aeródromo de Tablada (Sevilla) que esos días estaba a 42°C. Había allí, al lado de la zona del aeroclub, un sembrado ondulado, recién segado y con unas piedras.... Cuando lo vio uno de los tenientes coroneles de la FAP dijo: «yo quiero despegar allí». Bueno, sin más preparación del «campo de vuelo» que el que supuso retirar las gavillas nos pusimos a despegar; el avión vibraba de una forma espantosa pero al final despegó y aterrizó sin problemas. Visto aquello no dudaron en reconocer que el C-212 era mejor que el Skyvan.

¿Cómo surgió la colaboración con Nurtanio para la fabricación de Aviocar en Indonesia?

Con la venta de algunas unidades. Dado que el Aviocar es muy fácil de fabricar nos propusieron un contrato para fabricarlo bajo licencia.

¿Qué «peso» de trabajo tuvo y tiene el Aviocar dentro de la oficina de proyectos?

Cuando se diseñó casi el 100%; después se ha mantenido un 20% más o menos constante que es el que se necesitó para desarrollar la infinidad de versiones del C-212 y las series 200 y 300. El otro 80% se han ido llevando los proyectos de los nuevos aviones que en cada momento ha habido: C-401, C-101, Airbus, CN-235, etc..

¿Se va a lanzar una nueva serie?

Sí. Ya está previsto todo para lanzar la nueva serie 400 que posiblemente estará certificada a finales de verano.

¿Qué competidores tiene el Aviocar?

Afortunadamente ninguno, el Skyvan y el Arava se ha dejado de fabricar y otros aviones turbohélice, como el Do-228, tienen menos capacidad y volumen de carga. Realmente con características similares no existe ninguno.

¿Cómo creéis que hubiera sido CASA si el Aviocar no hubiera existido?

Radicalmente diferente ya que todos los proyectos y desarrollos en que está involucrada una empresa definen su futuro. Por ejemplo, si no hubiéramos fabricado el F-5 no tendríamos la CASA que tenemos hoy en día por que ese trabajo supuso un salto tecnológico muy grande. Lo mismo se puede decir que pasó con el C-212; este avión fue el que «nos lanzó» en el mercado mundial, nos obligó a pensar en otros mercados, gracias a él se creó la dirección comercial..., en fin el C-212 ha sido uno de los proyectos más importantes de CASA y que más han influido en su proyección internacional.

Para terminar, ¿de dónde le viene el nombre de «Aviocar»?

Se le ocurrió a Ricardo Valle por que tiene el aspecto de un autobús.



José Luis Tejo

Dr. Ingeniero Aeronáutico
Director de ingeniería
y desarrollo de la
División de proyectos
y sistemas de CASA

Manuel Hita Romero

Dr. Ingeniero Aeronáutico
Ex-director adjunto de ingeniería
y desarrollo de la
División de proyectos
y sistemas de CASA

¹ N. del A.: en todas las fases del proyecto se trabajó muchísimo; baste como ejemplo de que si el contrato preveía 188.500 horas de actividad en la Oficina de proyectos se emplearon en realidad 310.373 horas hasta la certificación civil por el INTA (30 junio de 1975).

ZWEEF: ¿En qué parte del diseño trabajó?

LÓPEZ RUIZ: Cuando el C-212 se hizo llevaba dentro de la Oficina de Proyectos: aerodinámica, mecánica de vuelo y ensayos en vuelo. Dos años antes del primer vuelo me hicieron subdirector de proyectos, encargándome entonces de la coordinación del proyecto y la certificación del avión.

¿Cuáles eran los antecedentes del C-212?

la Oficina de Proyectos de CASA empezó a trabajar en 1946 en el proyecto del C-201 «Alcotán». Poco después se hizo un segundo proyecto de un avión, también de pasajeros, un poco mayor el «Halcón» que voló en 1953. Después viene el proyecto del «Azor», que voló en 1955, cuyo desarrollo duró hasta el año 1962, año en que se inició la segunda serie. En el intervalo se trabajó en el C-208, avión con doble fuselaje, en el C-209, derivado del Azor pero con un fuselaje circular (para permitir la presurización) y motores turbobhélices; también se trabajó en el anteproyecto del C-210 que era un reactor de negocios y que sería el que nos daría pie a trabajar con HFB en su reactor de negocios HFB-320. Todo este intervalo coincide con el de ayuda americana por lo que no hubo demasiado apoyo a los proyectos españoles; así desde el C-20 los proyectos quedaron más o menos en dibujos y maquetas para ensayos en túnel. Verdaderamente hasta el año 1960 o 1961, que es cuando se nombra a Ricardo Valle director de la Oficina de Proyectos, no empezamos a pensar en un sustituto del Junker-52 (en España, construido bajo licencia, CASA-352) que sería el C-212.

¿Se aprovechó algo de todos estos aviones anteriores?

No por que eran aviones totalmente distintos. En el C-212 se pensó primero en tener capacidad de usar pistas no preparadas y muy cortas (avión STOL) y segundo tener gran facilidad de carga, requisito que nos llevó al portalón posterior y al ala alta, para tener poca distancia entre el piso del fuselaje y el suelo.

¿Qué aviones sirvieron de guía?

En aquellos momentos había dos aviones de concepción parecida: el Short Skyvan y el IAI Arava pero pronto dejaron de servirnos de referencia por varias razones; primera, el diseño del C-212 lo enfocamos hacia un avión militar pero que pudiera certificarse para uso civil (al contrario que los otros dos). Segunda, el tamaño sería mayor que éstos, tanto como para pasar de los 5.750 kg de peso máximo al despegue permitido por las normas FAR-23 y tener adaptarse a las FAR-25. Esto nos ofrecía gran potencial de crecimiento del avión en nuevas versiones. Tercera, usamos un ala no arriostrada y planta no rectangular para obtener una distribución de sustentación casi elíptica, lo cual hacía el avión aerodinámicamente mucho más limpio. Además, respecto del Arava, no contemplamos la cola en doble viga por que realidad el plano de cola horizontal acaba estorbando al introducir o descargar la carga.

¿No supuso un mayor riesgo el que no hubiera un avión parecido?

Sin duda, pero el ser innovador hace que tenga un mercado.

¿Por qué se puso tren fijo?

Por que la pequeña ganancia en velocidad y consumo proporcionada por un tren retráctil no compensaba en peso y facilidad de mantenimiento. Además, la instalación hidráulica dejaba de ser una instalación esencial por que sólo se usa para accionar frenos, el portalón, la dirección y los flaps, con lo que en vuelo puede ir desconectada.

¿Por que no se pensó en un avión presurizado?

Se sacrificó la mayor comodidad y economía en vuelo que supone un avión presurizado, que obliga a usar una sección circular o casicircular en el fuselaje, por la sección casi cuadrada del C-212. Además ésta permite transportar cargas relativamente voluminosas.

Respecto del perfil laminar, ¿es de una serie conocida o lo desarrollaron ustedes mismos?

Se utilizó un Naca 65-218 por que aunque sabíamos como diseñar un perfil, éste nos servía perfectamente. Este perfil tiene un espesor relativo alto (18 %) que conlleva un radio de borde de ataque relativamente grande (se evita así la entrada en pérdida de borde de ataque) y que además hace innecesario el reforzamiento del ala con riostras. Por otra parte hay que tener en cuenta que en un avión de este tipo el perfil tiene que ser también bueno en subida y aterrizaje; para eso no sólo hay que juzgar el perfil sino el perfil con sus hipersustentadores. Un flap sencillo como dispositivo hipersustentador se mostró como insuficiente para obtener el coeficiente de sustentación máxima de diseño, que fijamos en 2.2. La solución fue tomar un flap de doble ranura pero con gota intermedia fija de algún modo a la parte principal del flap.

Respecto de la cola, ¿no hubiera sido más eficaz una cola en T?

Si, para un diseño STOL como el C-212 así es. Sin embargo la solución estructural es más pesada y se complican los mandos por que precisan de un reenvío en la base del estabilizador vertical para mandar el horizontal.



José Luis López Ruiz

Dr. Ingeniero Aeronáutico
Catedrático de Helicópteros de la E.T.S.I.A.
Consultor de SENER

ZWEEF: ¿Cuándo empezaste a trabajar en CASA?

M. ARNAIZ: Entré en CASA en el año 1963. En ese momento colaborábamos con HFB en un proyecto de un birreactor ejecutivo, el HFB-320 (Hansa Jet). De este avión diseñamos, fabricamos y ensayamos entre otros componentes la cola en T a propuesta de HFB. Por entonces en la Oficina de Proyectos trabajaban unos pocos ingenieros superiores y otras 30 personas entre ingenieros técnicos, proyectistas y delineantes.

¿Participaste en el Azor?

Cuando entré ya estaban volando los Azores de la primera serie. En la segunda serie, año 1964, se aumentaron los pesos al despegue y se diseñó una puerta más amplia para manejo de cargas; en esta serie sí que participé.

¿Cómo nace el Aviocar?

Creo que es preciso destacar la gran visión de Don José Ortíz de Echagüe, Presidente y Consejero Delegado de CASA, de mantener la Proyectos de Proyectos aún teniendo muy poco trabajo entre los años 1958 y 1963. El éxito del C-212 demuestra que la decisión fue acertada. A principios de los sesenta se ve que la Oficina de Proyectos tiene capacidad para diseñar un avión de transporte capaz de sustituir a los ya anticuados Ju-52 y al DC-3 del Ejército del Aire en condiciones muy ventajosas. Así, a partir de 1964 se presentan al Ministerio del Aire diversas soluciones, demostrando las muchísimas ventajas que tiene el uso de un avión turbohélice, dotado de portalón, etc.; una labor de convencimiento que dura 4 años. Finalmente en 1968 se firma un contrato en el que CASA se compromete a diseñar, fabricar y ensayar dos prototipos por un importe que no debía ser mayor de 100 millones de pesetas. Esta cifra es ridícula incluso si la pasamos a su valor actual.

Dentro del diseño, ¿de qué se encargó?

Al comienzo fui responsable del fuselaje y de los ensayos estructurales y terminé siendo responsable de la integridad estructural.

¿Coincide la forma de diseñar las estructuras de entonces con lo que se hace hoy?

Evidentemente todo ha cambiado muchísimo. Entonces se empleaba profusamente el ingenio para seleccionar los estados de carga críticos y reducir así los cálculos a realizar. Además los elementos que no eran críticos no se diseñaban al detalle, reduciendo de forma importante el tiempo consumido; básicamente se calculaban con hipótesis simplificadoras y eran los ensayos los que validaban esos elementos. De esta forma el diseño resulta un poco más pesado pero era totalmente adecuado.

¿Incluso han cambiado los modelos teóricos para el cálculo de estructuras?

La verdad es que no. Se usaron y se siguen usando las teorías clásicas de flexión, torsión y cortadura, al menos en el análisis preliminar. Esas teorías había que modificarlas en casos concretos: retardo en cortadura, alabeamiento de secciones abiertas sometidas a torsión,... Por ejemplo, la zona del portalón que era muy compleja de calcular (por ser una zona donde se transmiten cortadura y torsión en una sección abierta) se prestó a muchos intentos de sustituir un cálculo muy preciso pero también muy sofisticado, y para el que no había medios, por modificaciones de la teoría clásica.

de diaran soluciones racionales que además se vieran confirmadas con los ensayos estáticos y de rigidez. La principal diferencia es debida a la enorme potencia de cálculo que se dispone ahora y que, en gran medida, ha provocado que hoy se hagan muchísimos más cálculos.

¿Y respecto a la metodología han cambiado tanto las cosas?

La aparición del ordenador ha permitido la simulación de cualquier estado de carga. Por eso se han sustituido muchos de los ensayos que entonces se hacían para comprobar la resistencia de muchos elementos por la simulación. Esto es un avance, siempre que la simulación sustituya a ensayos caros de realizar.

¿Cuál es la concepción estructural del C-212?

El ala está constituida por un plano medio rectangular triángulo; mientras que el ala exterior que, es bilarguera, contiene los depósitos de combustible y está unida al plano medio mediante bridas atornilladas. El fuselaje es convencional con larguerillos y cuadernas. En la zona de paso del ala y en la zona posterior, donde se sitúa la rampa y el portalón, el fuselaje se convierte en una sección abierta. En estas zonas la torsión se transmite mediante flexión diferencial debido a que el alabeamiento de sus secciones transversales está impedido por las zonas adyacentes que se configuran como secciones cuadradas. Por su parte los estabilizadores son asimismo estructuras convencionales bilargueras con costillas y larguerillos.

¿Cómo trabajaba Ricardo Valle?

Él fue uno de los padres de la criatura. Procedía de diseño estructural pero era capaz de concebir ideas en todos los campos, que superaban a las de los correspondientes especialistas. Entre otras virtudes tenía una especial intuición para predecir por donde se «canalizaban» los esfuerzos en las estructuras. Por ejemplo, en el estudio de las cuadernas 8 y 9 que son a las que se ancla el tren de aterrizaje, llegué a la conclusión tras numerosos análisis, de que no serían capaces de soportar las cargas últimas. Después de analizar conjuntamente las hipótesis y resultados, y viendo que eran correctos, me dijo que no me preocupara ya que posiblemente el transvase de esfuerzos de una a otra aliviaría la situación y no habría mayor problema y así fue, en los ensayos no tuvimos ningún problema.



Carlos Martínez Arnaiz

Dr. Ingeniero Aeronáutico
Catedrático de Helicópteros de la E.T.S.I.A.
Consultor Técnico de ITP

ZWEEF:
M. CABEZAS:

¿Quiénes fueron los primeros en operar con el avión?

Curiosamente fueron los portugueses, la historia es la siguiente. El EA había contratado dos prototipos y una estructura para ensayos. Posteriormente encargaron ocho aviones más; todos éstos son los que formaron lo que se llamó la preserie. Además CASA con su dinero construyó otros cuatro que en principio se pensaban usar como demostradores. Aunque el EA había sido el primero en realizar un pedido la FAP necesitaba el avión inmediatamente. Por esa razón el EA permitió que sus cuatro primeros aparatos se los entregásemos a la FAP. CASA para no demorar las entregas al EA entregó al EA dos de los cuatro demostradores, y nos quedamos con los otros dos.

¿Qué precio tiene el avión?

El precio de los aviones es algo que se mantiene bastante confidencial. Por otra parte hay que tener en cuenta que de una versión a otra puede haber mucha diferencia. Incluso entre las mismas versiones puede cambiar por ejemplo, por la aviónica que nos pida el cliente. El precio de lista es del orden de 5 millones de dólares. En cualquier caso, el Aviocar es un avión barato; ten en cuenta que ya desde el diseño original se proyectó para que lo fuera. Esta forma de pensar se remonta al año de fundación de la Oficina de Proyectos, año 1946, y estaba motivada por la penuria de medios que atravesaba España.

¿Ha cambiado esa forma de pensar?

Desde el C-401, que era un proyecto que exigía soluciones técnicas más complejas, se ha ido cambiando el diseño de acuerdo con las nuevas tecnologías y medios de producción. En cualquier caso si el C-212 se concibió como un avión barato fue por que se pensaba que posiblemente se fabricaran unas pocas unidades, como pasó con el Azor.

¿Crees que es el precio lo que ha motivado el éxito del Aviocar?

No sólo. Hubo otros factores como el que en el año 1978 se produjera la desregulación del transporte civil en EE.UU. Además también ha contado el hecho que el C-212 sea muy versátil y se hayan hecho infinidad de versiones; aquí, en CASA le llamamos cariñosamente el avión repollo por que es como las nueces repollo cuya publicidad presumía de que no había dos iguales.

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer a todos los entrevistados todo el tiempo que me han dedicado.

No sería justo que no me acordase de la gran ayuda que me han prestado las personas de la biblioteca...

No puedo olvidarme de J. M. Porcel, sin él el artículo hubiera quedado menguado...

...Tampoco de Manuel Prieto por la charla que mantuvimos sobre el avión que me «situó» en el artículo.



José Antonio Martínez Cabezas

Ingeniero Aeronáutico

Jefe de Configuración de nuevos desarrollos

Colaborador de la Revista de Aeronáutica y Astronáutica



NOTICIAS



SISTEMAS ESPACIALES. ASINATURA DE LIBRE ELECCIÓN

Comenzó a impartirse este curso en la UPM. Dividida en dos módulos, está dirigida a los alumnos de 2.º curso que siguen el nuevo Plan de Estudios de la ETSI Aeronáuticos y a los alumnos de 3.º de la ETSI Telecomunicaciones.

SANMARTÍN LOSADA, NOMBRADO ACADÉMICO DE LA ACADEMIA DE INGENIERÍA DE ESPAÑA

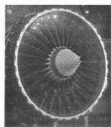
El catedrático de la ETSI Aeronáuticos y doctor ingeniero aeronáutico, Juan Ramón SanMartín Losada, fue nombrado el pasado 18 de marzo, académico de la Academia de Ingeniería de España. Esta es la primera vez, desde la constitución de la Academia de Ingeniería en abril de 1994, que se ha realizado un nombramiento por votación de sus miembros.

Con SanMartín, son ya cuatro los ingenieros aeronáuticos que forman parte de la misma. Los otros tres, ya conocidos, son Amable Lihán, catedrático de la UPM, Antonio Barrera, catedrático de la Universidad de Sevilla y César Dopazo, catedrático de la Universidad de Zaragoza.

SEGUNDO CONGRESO NACIONAL DE MATERIALES COMPUESTOS

El próximo mes de noviembre, del 25 al 28, se celebrará en la ETSI Aeronáuticos el 2.º Congreso Nacional de Materiales Compuestos, organizado por la Asociación Española de Materiales Compuestos. Este Congreso será el foro para la presentación de aquellos trabajos I+D que en relación con los materiales compuestos se están realizando en Universidades, Centros de Investigación y Empresas.

El Congreso es de carácter abierto, tanto en su temario (Materiales Compuestos de matriz polimérica, metálica, cerámica, GRC), como en su contenido (desde aportaciones conceptuales hasta aplicaciones industriales recientes), sin otra limitación que el nivel de calidad y rigor de los trabajos a presentar, mínimamente exigible en este tipo de certámenes.



CÓMO FUNCIONAN UNA HÉLICE Y UN AERORREACTOR

¿Has intentado explicarle a algún amigo de forma sencilla y clara cómo se consigue el empuje que hace volar un avión? Entender cómo funcionan las ruedas es bastante intuitivo, pero ¿y una hélice? Si éste es tu caso, aquí está tu artículo

Adrián González Zorn
Ingeniero Aeronáutico

1. LA NECESIDAD DEL EMPUJE

Los automóviles, los trenes, y los vehículos similares se impulsan a sí mismos haciendo que sus ruedas roten en la superficie de la carretera o raíl, la cual proporciona una base sólida contra la que empujar. Incluso la acción de caminar depende de la habilidad de aplicar fuerzas con los pies. En una superficie muy resbaladiza, cuando no se pueden aplicar convenientemente las fuerzas, el movimiento es inseguro y quizás peligroso. Pero si dos personas de pie en una suave superficie helada se empujan entre sí, resbalarán para separarse, es decir, se moverán en direcciones opuestas. Este es el principio del cual dependen los barcos y los aviones ara su propulsión:

para moverse hacia adelante deben encontrar algo en el medio en el que flotan o vuelan y empujarlo hacia atrás en cantidades suficientes y a velocidades tales que se genere una fuerza importante.

Para moverse hacia adelante deben encontrar algo en qué apoyarse en el medio en el que flotan o vuelan y empujarlo hacia atrás en cantidades suficientes y a velocidades tales que se genere una fuerza importante.

2. MODOS DE CREAR EMPUJE: LA HÉLICE

Sea una hélice de un avión movida por un motor de cualquier tipo.

Vamos a ver cómo se comporta el aire al atravesar la hélice. Para ello imaginemos previamente que el avión planea con la hélice parada, para así comprender mejor el efecto de la rotación de la misma. El disco que recorre la hélice si se moviese es atravesado por un tubo de corriente en el que las partículas vistas desde el avión lleven la velocidad contraria a la dirección del vuelo. Véase la Figura 1.

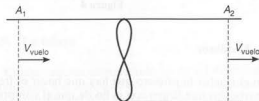


Figura 1

La masa por unidad de tiempo que atraviesa una sección de ese tubo de corriente es:

$$\rho \cdot v_{\text{vuelo}} \cdot A_1 = \rho \cdot v_{\text{vuelo}} \cdot A_2$$

donde:

v_{vuelo} : Velocidad de vuelo del avión.

A_1 : Área de entrada del tubo.

A_2 : Área de salida del tubo.

Observamos que en el caso en que A_1 es igual a A_2 no hay empuje.

Vamos a ver qué ocurre cuando se pone en marcha la hélice. Para ello volvemos a hablar de velocidades de partículas respecto al avión. La velocidad de vuelo en un avión de hélice está entre los 100 y los 600 km/h y a esas velocidades el aire se comporta como incompresible (se demuestra en aerodinámica). El tubo de corriente que atraves

viesa la hélice es más ancho en A_1 y más estrecho en A_2 , como puede verse en la Figura 2.

Donde a v_i se le denomina velocidad inducida, veamos el por qué:

La hélice lo que hace es acelerar el aire en dirección opuesta a la del movimiento y se obtiene una reacción en la dirección del movimiento. Como v_i es mayor que cero vemos que A_2 es menor que A_1 sin más que aplicar que la masa por unidad de tiempo que entra en A_1 es igual a la que sale por A_2 ya que sino la hélice tendría alguna fuente o sumidero y no es el caso. Así que:

$$\rho \cdot v_{\text{vuelo}} \cdot A_1 = \rho \cdot (v_{\text{vuelo}} + 2v_i) \cdot A_2$$

de la que se deduce

$$A_2 = A_1 \cdot v_{\text{vuelo}} / (v_{\text{vuelo}} + 2v_i)$$

Vemos que cuanto mayor sea v_i , más se estrechará el tubo.

Pero, ¿quién empuja realmente a la hélice? Para ello es conveniente ver la evolución de la presión estática y

de la velocidad del aire a lo largo del eje del tubo de corriente, como se muestra en la Figura 2.

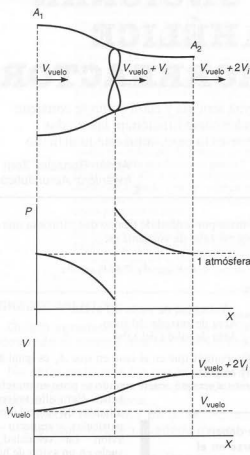


Figura 2

Hasta llegar a la hélice la presión baja debido a que el aire se acelera. La partícula es succionada por la hélice. En la hélice su presión aumenta bruscamente. Pasada la hélice la partícula sigue acelerándose así que la presión baja hasta volver a ser la atmosférica. Vemos intuitivamente (que es el fin de este artículo) que justamente en la hélice se crea un salto ascendente de presión que es el que crea una fuerza resultante sobre la hélice que empuja ésta hacia adelante.

Justamente en la hélice se crea un salto ascendente de presión que es el que crea una fuerza resultante sobre la hélice que empuja ésta hacia adelante.

3. MODOS DE CREAR EMPUJE: EL REACTOR

Sea un reactor que crea el mismo empuje de la hélice del apartado anterior y a esa misma velocidad. Está claro que este es un caso muy concreto, pero el fin es intuir la física del reactor, y para ello nos fijamos en una situación ideal y en un caso concreto. Sea un reactor que tiene una sección de entrada A_1 y una sección de salida A_2 , con su correspondiente flujo de aire (Figura 3):

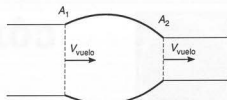


Figura 3

El comportamiento del aire por delante de A_1 y por detrás de A_2 es parecido al de la hélice. Las partículas del aire llevan en A_2 una velocidad mayor que en A_1 y el avión experimenta un empuje hacia delante debido a la ley de acción y reacción.

La diferencia entre la hélice y el reactor está en lo que ocurre entre A_1 y A_2 . Vamos a verlo y para ello en la Figura 4 están representadas las cinco etapas básicas del reactor y la evolución en cada una de ellas de la presión y de la velocidad.

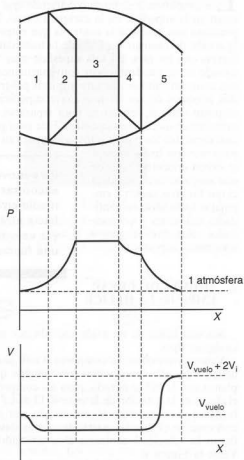


Figura 4

3.1. El difusor

En el reactor lo primero que hay que hacer es frenar las partículas que llegan con el fin de que el compresor pueda trabajar a bajas velocidades. El difusor es el encargado de hacerlo. Es un tubo divergente en el cual la

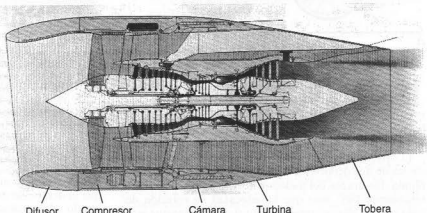
velocidad baja y la presión sube. En el caso ideal esta etapa no crea empuje ni resistencia al no haber elementos que «agarran» al aire.

3.2. El compresor

Con el fin de acelerar posteriormente las partículas es aquí donde les damos presión. Para ello utilizamos una potencia que sacamos de la turbina a través de un eje que alimenta al compresor. Es esta la etapa en que las partículas del aire empujan al motor hacia delante, donde el fluido «agarra» al motor.

3.3. La cámara de combustión

Se inyecta en el aire el combustible (en una cantidad despreciable frente a la del aire) y la reacción química eleva la temperatura. Al tratarse de un sistema abierto la presión estática no varía (en el caso particular de que la velocidad tampoco lo haga). En el caso ideal que estamos viendo en esta etapa el aire no crea una fuerza resultante sobre el motor.



3.4. La turbina

La turbina es la etapa que extrae la energía mecánica del fluido, necesaria para mover el compresor. Para ello dispone de unas palas (rótór) que son movidas por el fluido, el cual disminuye su presión. Pudiera pensar el lector que entonces la caída de presión en la turbina debería ser igual a la subida de presión en el compresor, pero no es así. Sin embargo, el trabajo que sale de la turbina sí es el que entra en el compresor. Con una misma cantidad de energía se puede subir la presión de un fluido frío mucho más que si está caliente. O dicho de otro modo, un fluido caliente al experimentar una pequeña bajada de presión, da el mismo trabajo que al soportar una gran bajada de presión en frío. Por eso, en el reactor la caída de presión en la turbina es menor que la subida de presión en el compresor, porque en la turbina los gases están calientes. La bajada de presión en los álabes de la turbina crea una resultante sobre el motor, contraria al empuje, pero menor que la fuerza resultante de la subida de presión que teníamos en los álabes del compresor.

3.5. La tobera

El aire caliente comprimido ha de ser expulsado a la atmósfera. Un conducto convergente se encarga de bajar la presión del aire hasta la presión atmosférica y de subir la velocidad del mismo. Sin esta aceleración de

las partículas fluidas no podrían existir las altas presiones aguas arriba (en la salida del compresor y en la cámara de combustión).

En resumen, el único punto en que en un caso tan ideal el aire «agarra» al motor para crear una fuerza resultante sobre el motor es el compresor y la turbina, siendo la fuerza resultante en el compresor el decisivo para contribuir al empuje del motor. Es decir, lo esencial para empujar es el compresor seguido de la tobera que acelera el fluido.

4. CONCLUSIÓN

Vemos que el secreto de crear empuje, tanto en la hélice como en el reactor, es comprimir el aire primero para posteriormente acelerarlo y expulsarlo en el sentido contrario al avance. En la hélice el compresor son las palas de la hélice.

¿Cuándo se debe usar una hélice y cuándo un aerorreactor?

La experiencia demuestra que las hélices a altas velocidades pierden su eficacia debido a que en la punta de las palas se alcanza la velocidad del sonido, sin embargo si queremos un avión que vuele despacio el aerorreactor tiene un rendimiento peor que el de la hélice. La hélice es entonces el compresor perfecto, tanto por sencillez como por las prestaciones.

El secreto de crear empuje, tanto en la hélice como en el reactor es comprimir el aire primero para posteriormente acelerarlo y expulsarlo en el sentido contrario al avance.

PROYECTO

ROTOR



Ignacio Aznar Hercilla
Ingeniero Aeronáutico

EL ORIGEN DEL SISTEMA ROTOR

El proyecto ROTOR se basa en una idea original de nuestro compañero Pablo Carrasco Vergara, y trata acerca de la optimización del pedaleo ciclista desahaciendo la tradicional ligadura consistente en un ángulo entre bielas constante y de 180°.

El origen de la idea surgió de la comparación biomecánica de dos deportes, el ciclismo y la natación. En esta última, los brazos del nadador no van desfasados constantemente 180°, sino que la velocidad de rotación de cada uno de ellos se amolda al nivel de esfuerzo que está realizando, de tal forma que el brazo que está fuera del agua va más rápido que el brazo sumergido. De esta forma se consigue que antes de que el brazo sumergido salga fuera del agua, el otro entre en el líquido y se solapen las tracciones producidas por ambos miembros.

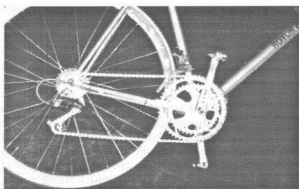
Sin embargo, en el ciclismo no existe este solape de tracción, ya que justo en el momento que un pedal llega al punto muerto inferior y deja de entregar potencia, el otro llega al punto muerto superior y se dispone a comenzar su entrega de potencia. Esta problemática de los puntos muertos es bien conocida en el mundo del ciclismo, y provoca que el pedaleo no sea uniforme o «redondo», sino a golpes o «a pistón», y dicha sensación es tanto más acusada cuanto más inclinada es la carretera.

El sistema ROTOR consiste en hacer que la velocidad de rotación de cada pedal varíe de forma sinusoidal con el ángulo girado, yendo más lento en la zona delantera de su recorrido (zona de entrega de potencia) y más rápido en la zona trasera. Esto se consigue ligando cada biela a un engranaje elíptico (o circular descentrado) que gira alrededor de uno de sus focos. Ambos engranajes se sincronizan mediante una segunda pareja de engranajes

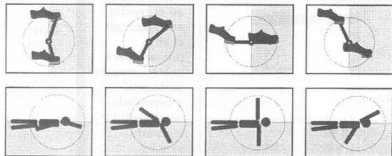
elípticos rígidamente unidos entre sí y que idealmente giran a velocidad constante, induciendo en aquellos la variación de velocidad de tipo senoidal deseada.

De esta forma la entrega de potencia por parte de cada pierna es mucho más uniforme, consiguiéndose un incremento a lo largo del ciclo de entre un 20 y un 25 % en función de la excentricidad de los engranajes elípticos.

Además se utiliza un plato excéntrico (ligado a la biela derecha) que presente su máximo brazo en la zona óptima y su brazo mínimo en la zona mala, de tal forma que el desarrollo empleado también varíe con el ángulo girado adaptándose a la curva de potencia obtenida de la pierna derecha. Así, cuando la pierna empuja entregando máxima potencia se está utilizando un desarrollo real muy elevado, mientras que cuando la pierna sube el desarrollo empleado es muy reducido. Por ejemplo, para la excentricidad con la que actualmente estamos trabajando, con un plato de 53 dientes se tendrá un desarrollo

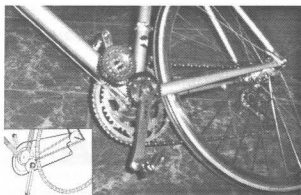


Lateral derecho: igual a la bicicleta convencional.



que estará variando entre el equivalente a un plato de 66 dientes en la zona óptima, y el equivalente a un plato de 40 dientes en la zona mala.

El aparente problema de este método radica en la asimetría entre ambas piernas, ya que cuando la pierna derecha baja empujando con máximo desarrollo la pierna izquierda está subiendo, y por tanto cuando la pierna izquierda baja empujando parece que lo está haciendo con mínimo desarrollo.



Lateral izquierdo: mecanismo de sincronización a la vista.

llo. Así que da la impresión de que sólo se beneficia la pierna derecha, pero no es así, ya que el conjunto de los 4 engranajes elípticos presenta una relación de multiplicación máxima cuando baja la pierna izquierda y mínima cuando ésta sube.

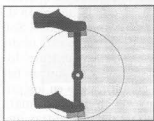
Así pues, esta relación de multiplicación compensa la aparente asimetría del sistema y consigue que «de hecho» la pierna izquierda también empuje con máximo desarrollo y suba con mínimo desarrollo.

EL DESARROLLO TÉCNICO DEL SISTEMA ROTOR

Dada la dificultad (de hecho imposibilidad) de encontrar engranajes elípticos en el mercado, inicialmente se emplearon engranajes circulares descentrados en su lugar. La diferencia entre ambos no era excesiva (de apenas 6 decimas de milímetro en el punto más crítico) ya que la excentricidad necesaria es muy pequeña, pero el engrane no era lo suficientemente suave y continuo, y se notaba un pequeño golpeteo al pedalear.

El método habitualmente empleado en la fabricación de engranajes es el tallado, que consiste en hacer girar un redondo sobre una cremallera con la forma adecuada para que vayan formando los flancos de los dientes. La dificultad en encontrar engranajes elípticos se debe a que todos y cada uno de los dientes son diferentes entre sí, y por tanto deben ser generados de forma independiente. Aunque sabíamos de su existencia (al menos teórica) a través de un libro alemán de principios de siglo, nos fue imposible encontrar a nadie en España que los fabricase.

Puesto que los resultados obtenidos con engranajes circulares descentrados no eran todo lo buenos que necesitábamos, decidimos diseñar nosotros mismos el engranaje elíptico y fabricarlo en una máquina de electroerosión por hilo (de las habitualmente empleadas en matricería).



Punto muerto en las bicicletas.

Los resultados obtenidos con los engranajes elípticos han sido completamente satisfactorios, ya que además de eliminar cualquier tipo de holgura ó golpeteo al pedalear, el montaje se ha simplificado enormemente al eliminar piezas intermedias que eran ne-

cesarias para montar descentrados los engranajes circulares adquiridos en el mercado.

Actualmente tenemos desarrollados varios prototipos de alta calidad, entre los que destacan ROTOR 3 (con engranajes circulares excentricos), ROTOR 4 (con engranajes elípticos), ROTOR 2 (sistema con 2 cadenas y sin cambios de marchas, diseñado para su uso en pista) y una ESTATICA (para aplicaciones de fitness).

Algunos de estos prototipos se han presentado en ferias internacionales, tanto en Norteamérica como en Europa, obteniéndose los siguientes galardones:

- Medalla de Oro con Mención del Jurado en la feria Bruselas Eureka 95.
- Mejor Invención Española de 1995, Premio Especial otorgado por la Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Medalla de Oro de la Sección de Transportes y Vehículos, en la Exposición Internacional de Invenções y Nuevos Productos Inpx 96 en Pittsburgh, U.S.A.
- Premio de la Organización a la Mejor Invención, en la Exposición Internacional de Invenções y Nuevos Productos Inpx 96 en Pittsburgh, U.S.A.
- Medalla Rey Hassan II al Mérito a la Invención, otorgada por la Delegación Oficial Marroquí en Inpx 96.

EL DESARROLLO EMPRESARIAL DEL SISTEMA ROTOR

El desarrollo empresarial del sistema ROTOR está llevándose a cabo a través de la empresa ROTOR Componentes Tecnológicos, S.L. que es la propietaria de los derechos de la patente del sistema. Actualmente el equipo de trabajo está formado por Pablo Carrasco Vergara (inventor y estudiante de 6.º curso de Ingeniería Aero-náutica), Ignacio Estellés Rey (abogado y gestor-administrador del proyecto) e Ignacio Aznar Hercilla (Ingeniero Aeronáutico y autor del presente artículo). Las gestiones realizadas hasta la fecha son tanto empresariales como deportivas, entre las que se incluyen:

- Creación de una filial en U.S.A. que se encarga de la venta de licencias en el mercado norteamericano, y en la que trabajan tres ingenieros y un abogado estadounidenses.
- Creación de un equipo de triatlón en U.S.A. que se encarga de la promoción del producto en el mercado norteamericano, y que ha conseguido éxitos deportivos, así como la homologación de la Federación Norteamericana de Triatlétismo (U.S.A.T.).
- Construcción de un prototipo de bicicleta estática para una de las mayores empresas de fitness de norteamérica. Este prototipo a sido evaluado a nivel técnico, biomecánico y fisiológico, demostrando la superioridad del sistema ROTOR frente al pedaleo convencional. Actualmente estamos negociando los términos de un contrato de colaboración con dicha grupo empresarial.
- En construcción varios prototipos de carretera, montaña y estática para distintos grupos deportivos europeos del máximo nivel, así como para triatletas, y para laboratorios médicos y centros de alto rendimiento especializados en medicina deportiva.
- Estudio de la aplicación del sistema ROTOR a tandems de competición para ciclistas invidentes.
- Gestiones para la homologación del sistema por parte de la Unión Ciclista Internacional (U.C.I.) y de la Federación Internacional de Triatlétismo (I.T.U.).



*Elevadas potencias, bajos consumos y poca contaminación.
Tres conceptos siempre enfrentados
pero cada vez en menor medida*

LA "i" MÁGICA

Luis Urosa Méndez-Trelles
Ingeniero Aeronáutico

Todos recordamos los coches que circulaban por España 15 años atrás sin necesidad de hacer mucha memoria, ya que todavía quedan muchos circulando por ahí. Sirvan como ejemplo los R-5 o los Ford Fiesta (los primeros). Comparando aquellos modelos con los actuales, a simple vista se ve que muchas cosas han cambiado, aunque las principales innovaciones están precisamente donde no se ven, bajo el capó. De aquellos modelos ruidosos, de escasa potencia (escasamente se llegaba a los 50 CV), con un consumo y contaminación bastante altos para las prestaciones que eran capaces de ofrecer, se ha pasado a los actuales modelos donde fácilmente se sobrepasan los 100 CV y además, consumen mucho menos.

¿Qué es lo que ha cambiado?... El secreto está en el sistema de alimentación, al sustituir los carburadores por los sistemas de inyección, la famosa «i» en las siglas de muchos de los modelos actuales como GTI, GSI, TDI, GDI, etc. aunque también es verdad que hay modelos que, siendo de inyección, no tienen ninguna «i» en su nombre.

LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN HAN EXPERIMENTADO UNA RÁPIDA Y ESPECTACULAR EVOLUCIÓN

Vamos a retroceder un poco en el tiempo y recordar cuando alrededor de diez años atrás llegaron dos modelos al mercado que se harían super famosos. Nos referimos al Golf GTI y al Kadett GSI (ambos con una i). Aunque en realidad las siglas tienen mucho de comercial (y la mitad de las veces no significan nada), lo cierto es que estos modelos fueron unos de los primeros en instalar sistemas de inyección electrónica, lo que les permitía alcanzar potencias de 115 CV con 2.000 c.c. aproximadamente y un consumo relativamente bajo para la época (del orden de 9 lt/100 km como consumo medio), mientras que el resto de los co-

ches del su mismo segmento tenían prestaciones muy inferiores. Alcanzaron gran fama porque eran capaces de dejar atrás a muchos de los coches de la época consumiendo relativamente poco. Su ventaja frente a los demás era el sistema de inyección. A partir de este momento se inició una frenética carrera por parte de todos los fabricantes para adoptar sistemas de inyección, al punto que, **en sus diferentes variantes, prácticamente todos los modelos actuales están equipados con sistemas de inyección. La inyección se ha convertido en una técnica indispensable para obtener motores competitivos en el mercado.**

Hablamos de inyección en general, pero convendría matizar que existen muchos y muy diferentes tipos de inyección.

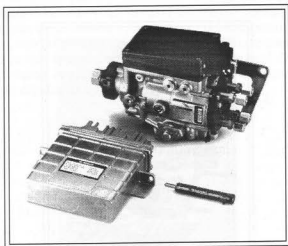
En los motores de gasolina la inyección de combustible se realiza en el colector de admisión, hablando de inyección monopunto si solamente hay un inyector para los cuatro cilindros y de inyección multipunto si hay un inyector para cada cilindro. Evidentemente, la inyección multipunto ofrece muchas más ventajas de cara a reducir el consumo, disminuir contaminantes y en definitiva mejorará las actuaciones del automóvil, pero claro está que cuatro inyectores son más caros que uno, por lo que se suele reservar la inyección monopunto a coches de la gama baja, aunque cada vez es mayor la tendencia a usar multipunto incluso en estas versiones.

Aunque lo normal en los gasolina es inyectar en el colector de admisión, recientemente ha aparecido un motor en el mercado donde la inyección de gasolina se realiza directamente en el cilindro. Son los motores GDI de los que hablaremos más tarde.

En cuanto a los diésel, hay principalmente dos tipos de inyección: indirecta y directa. Ambas tienen un inyector por cada cilindro, pero en los primeros el combustible se inyecta en una precámara de combustión situada en la culata, mientras que en los segundos el combustible se inyecta directa-

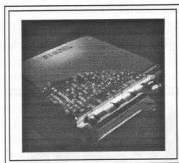
mente en la cámara de combustión formada por el émbolo.

Estas diferencias generales en los sistemas de inyección se ven amplificadas cuando nos referimos a la presión con la que se inyecta el combustible en los distintos sistemas. Así, mientras que los gasolina que inyectan en el colector suelen tener presiones de inyección del orden de 4 bares, **los inyectores de un diésel de inyección directa suelen presentar presiones de inyección superiores a 1.000 bares...** Esto hace que los inyectores diésel sean mucho más complejos que los de gasolina y por lo tanto, mucho más caros. (Este es uno de los motivos por lo que los coches diésel suelen ser un poco más caros que los de gasolina a la hora de su adquisición.)



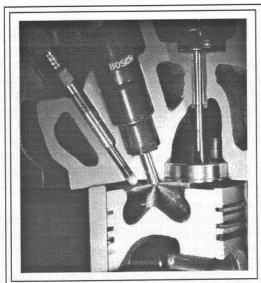
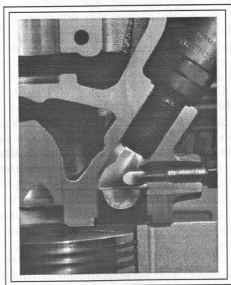
Una moderna bomba rotativa que inyecta a 1.000 bares, una centralita de control electrónico y un inyector de salidas múltiples.

Los sistemas de inyección, en general, pueden ser mecánicos o electrónicos, esto es, controlando el instante de la inyección y la duración de la misma de forma mecánica o electrónica. Aunque los sistemas mecánicos ya logran ventajas frente a los carburadores convencionales, son realmente los sistemas electrónicos los que logran «exprimir más jugo» al motor al poder controlar muchos más parámetros (y además de una forma sencilla). Por ejemplo, los carburadores no «ven» el régimen de giro del motor, mientras que los sistemas de inyección sí.



La unidad de control electrónico del motor diésel puede incluso ajustar el suministro de combustible para compensar los cambios de altitud.

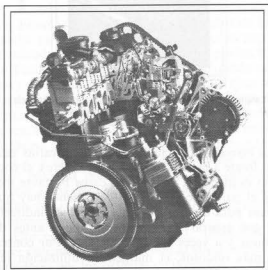
La inyección directa en diésel tiene varias ventajas frente a la indirecta. En los primeros, el consumo es menor (y en algunos casos bastante menor), el par suele ser más alto y apenas hay que esperar para arrancar en frío (en los de indirecta hay que esperar unos pocos segundos antes de arrancar y a veces se hacen eternos). Por contra, son más ruidosos, el margen de utilización (en



A la izquierda, un sistema de inyección indirecta. A la derecha podemos ver que en los de inyección directa, ésta se efectúa dentro de la misma cámara, en este caso con un inyector de salidas múltiples.

cuanto al régimen de giro) es menor, tienen mayores vibraciones y suelen ser más pesados.

Los motores diésel de inyección directa no son nuevos, ni mucho menos. De hecho, los camiones, autobuses y vehículos pesados en general vienen montando este tipo de motores desde hace muchos años. La novedad de los TDi (turbodiesel de inyección directa) está en su aplicación a turismos, la cual es posible gracias a la mejora en los sistemas de inyección. Una de las primeras marcas en utilizar un motor de este tipo en un turismo de serie fue Fiat, en su modelo Croma en el año 1988, pero la marca que de verdad puso de moda las siglas TDi fue Audi cuando montó su motor diésel de inyección directa y 1,9 litros en su modelo 80 (el predecesor del actual A4), el cual era capaz de proporcionar 90 CV.



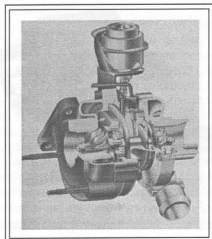
El revolucionario motor TDi de 110 CV.

En los camiones los sistemas de inyección no están muy exigidos, ya que el máximo régimen de giro de estos motores es muy bajo (del orden de 3.000 rpm). En cambio, en un automóvil se requiere que los regímenes sean mayores para que el coche disfrute de una buena aceleración, o al menos suficiente. Los últimos TDi rondan las 4.500 rpm de máximo régimen de giro y aunque el aumento respecto a los motores que equipan a los camiones es de sólo 1.500 aproximadamente las exigencias para el equipo de inyección son muchísimo mayores.

Esta limitación en el régimen máximo para los TDi hace que la potencia llegue pronto, pero también se acabe rápidamente. En los motores con precámara (los de inyección indirecta) el par es menos contundente que en los de inyección directa, aunque son utilizables a mayores regímenes. El hecho de inyectar en precámara y no directamente permite que los regímenes de utilización suban

hasta aproximadamente 5.500 rpm, eso sí, a costa de un mayor consumo, más contaminantes y menos par que los TDi.

Otro aspecto de vital importancia en los motores diésel es el tema de la sobrealimentación. **Prácticamente todos los motores diésel que se precien son sobrealimentados, y más concretamente turbosobrealimentados**, es decir, mediante un turbocompresor movido por los gases del escape se comprime el aire antes de meterlo en los cilindros con la finalidad de meter más cantidad. Con esto se logra aumentar la potencia y el par a la vez que se mejora el consumo. En diésel la turbosobrealimentación tiene muchas ventajas, salvo el precio de turbo, pero resulta insignificante comparado con la mejora en las actuaciones que consigue.



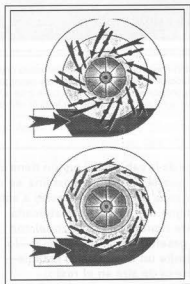
Un turbocompresor de geometría variable, que da excelente resultado en motores como el Audi 110 CV.

No muchos años atrás los diésel eran ruidosos, sucios (se veía el humo negro salir por el escape) y con una falta de potencia más que evidente. Esto era debido principalmente a que los sistemas de inyección que se tenían no eran excesivamente buenos y que el turbo, en caso de llevarlo por aquella época, no funcionaba con buenos rendimientos.

El problema de los turbocompresores es que hay que mover una turbina diseñada para funcionar con flujo de gases continuo con el flujo de gases procedente del motor alternativo, y que por lo tanto, es a «impulsos». Esto hace que los rendimientos del conjunto motor-turbo no sean excesivamente altos, pero en los últimos años se han logrado avances en el diseño de los turbocompresores lo que permite un rendimiento aceptable en el acoplamiento motor-turbo, razón por la cual, **hoy por hoy, prácticamente todos los diésel son turbosobrealimentados.**

Un «refinamiento» son los turbocompresores de geometría variable. Los turbo convencionales (de geometría fija) presentan el problemita de que a

bajo régimen la turbina apenas gira a suficiente velocidad como para que el compresor comience a introducir una cantidad apreciable de aire en los cilindros. El resultado es que la respuesta del motor se retrasa desde que aceleramos, a bajo régimen, hasta que el motor empieza a empujar con fuerza. Este retraso es el tiempo que se requiere para que el flujo de gases de escape (que es mayor cuanto mayor sea el régimen) acelere a la turbina lo suficiente para que el compresor proporcione un flujo de aire mayor. El turbo de geometría variable lo que viene a resolver es este problema. Cuando los gases que deben de mover la turbina son relativamente escasos (bajo régimen) un regulador controlado por un sistema electrónico mueve unos álabes directrices situados en la carcasa de la turbina, lo que permite orientar el flujo de gases de forma adecuada para obtener un mayor régimen de giro de la turbina y por lo tanto del compresor. Así, con las mismas revoluciones del motor, se consigue que el compresor gire más rápido que el de un turbo convencional y por lo tanto, alimente más rápidamente y mejor a los cilindros.



El aire entra en el turbo. Para favorecer el flujo en el interior a bajas vueltas se abren los álabes que dan paso a la turbina (arriba). Una vez que el motor sube de régimen, los álabes se cierran (abajo).

Para ver las ventajas del turbo en los motores diesel basta con tomar dos ejemplos reales. El Renault Laguna de 2.188 c.c. sin turbo sólo es capaz de entregar 85 CV, mientras que el mismo motor con turbo es capaz de entregar 115 CV. Es decir, por adoptar el turbo 30 CV más, y encima, con menores consumos. Otro ejemplo, para comparar los turbos de geometría fija con los de geometría variable, es el caso de Audi A4. Con 1896 c.c. el modelo con turbo de geometría fija es capaz de entregar 90 CV, mientras que el mismo motor

equipado con turbo de geometría variable alcanza los 110 CV. Al utilizar la geometría variable se logran 20 CV más y además consumiendo menos. Estos ejemplos ponen de manifiesto la gran ventaja que tiene el empleo de los turbocompresores.

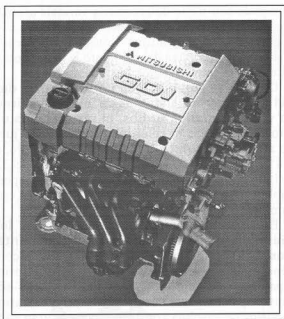
Cuando se combinan en un solo motor diesel los modernos sistemas de inyección directa y los modernos turbos, el resultado es un motor con unas excelentes prestaciones junto a unos consumos bajísimos. Por ejemplo, el A4 con 110 CV consume sólo del orden de 3,7 lt/100 km en cruceros de 90 km/h, consumo impenable hace unos pocos años para un coche de este tamaño.

Es interesante observar que mientras que los diesel «han nacido» para ser sobrealimentados, esta técnica en los motores de gasolina convencionales presenta una serie de desventajas, principalmente de detonación, que hace que no sea muy empleada. Hace unos pocos años hubo varios modelos de gasolina con turbo, pero la gran cantidad de accidentes que sufrieron les hizo ganar muy mala fama. Como ejemplo el R-5 GT turbo que fue el, tristemente, protagonista de muchos accidentes. Estos eran debidos a que en los primeros turbos existía un desfase muy grande entre el aumento de régimen de giro del motor y el régimen del turbo, de forma que cuando el conductor, poco habituado a los turbos, aceleraba antes de entrar en una curva el incremento de potencia originado por el turbo se presentaba de forma repentina y en la mitad de la curva, resultando... tortazo.

Estos problemas y su mala fama motivaron que prácticamente se dejaran de emplear al aparecer los motores 16 válvulas, ya que estos últimos mejoran la respuesta del motor, principalmente a alto régimen, sin los problemas del turbo. De hecho, en la actualidad apenas se comercializan motores turbo de gasolina, y en cambio muchos de los modelos, incluso de pequeña cilindrada, adoptan la técnica de las 16 válvulas.

Muy recientemente ha aparecido en el mercado un «nuevo» motor que combina la ventajas de los diesel y de los gasolina en un único motor. Nos referimos a los motores de inyección directa de gasolina (GDI) presentado por Mitsubishi el año pasado. La idea del grupo japonés es muy buena, mientras que los diesel de inyección directa destacan por su aprovechamiento del combustible, los motores de gasolina proporcionan mayor potencia. **Con su motor de inyección directa de gasolina, Mitsubishi pretende tomar lo mejor de ambos mundos, permitiendo conjugar un consumo inferior al de un diesel convencional y una potencia superior al de un gasolina de cilindrada equivalente. Todo ello sin caer en sus contrapartidas.**

Como tal, la inyección directa de gasolina no es nueva. Ya la empleó Mercedes en sus legendarios



Motor Mitsubishi de inyección directa en gasolina: prestaciones con el consumo de un Diesel.

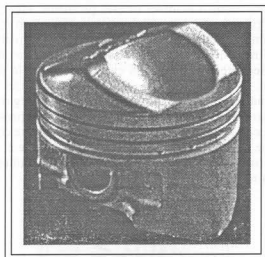
300 SL a mediados de los años 50 y varios fabricantes retomaron sus estudio durante la pasada década, principalmente Volkswagen.

El principal tropiezo de Mercedes en aquellos 300 SL era que el chorro de gasolina inyectado diluía el aceite adherido a las paredes de los cilindros. Esto sólo sucedía durante la fase de calentamiento, pero tenía efectos desastrosos para la longevidad del motor. Este fenómeno desaparece en el motor de Mitsubishi, pues la inyección se realiza en el último momento de la carrera de compresión, de manera que el combustible sólo encuentra en su camino la cabeza del pistón, y no las paredes del cilindro.

Puesto que la gasolina tiene que, por un lado vaporizarse, y por otro encontrar oxígeno para que se realice la combustión, es necesario realizar un meticuloso estudio de dinámica de fluidos en el interior del cilindro. Para ello, los ingenieros de Mitsubishi han diseñado, entre otras muchas cosas, un colector de admisión casi vertical y sin apenas curvatura de forma que no hay obstáculos para el paso del aire y se aprovecha el propio peso del aire para su entrada en el cilindro. Justo un poco antes de que el pistón termine de comprimir el aire entran en juego dos de los **puntos más novedosos del motor: el inyector de alta presión y la cabeza de pistón horadada.**

El inyector introduce el combustible a una presión a aproximadamente 50 bares. El diseño de este inyector es lo que ha hecho posible el diseño de este tipo de motor. En efecto, por inyectar al final de la carrera de compresión la presión en el cilindro es bastante alta por lo que se debe de

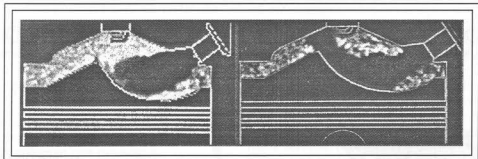
inyectar a gasolina a una presión suficientemente alta. Al hablar de los sistemas de inyección, ya se comentó que en los motores diesel las presiones de inyección eran del orden de 1.000 bares, sin embargo estas presiones no son alcanzables para los motores de gasolina por la propia naturaleza del combustible. Esto se debe a que el gasóleo es auto-lubricante, mientras que la gasolina no, por lo que alcanzar la presión de inyección de 50 bares con gasolina no es nada sencillo.



El pistón con la cabeza horadada es pieza clave en la fluido-dinámica de este motor. Se encarga de reconducir la mezcla hacia la bujía y de que aquella no se desperdigue por toda la cámara.

La forma de la cabeza del pistón tiene como misión que el chorro de gasolina se dirija hacia la zona de la bujía. Gracias a esto se consigue una mezcla estratificada (diferente riqueza según la zona) con mucha gasolina cerca de la bujía —lo que permite un combustión estable— y un exceso de aire en el resto.

En realidad, se suministra una proporción de combustible muy pequeña, que puede llegar a ser de una parte de combustible por cada 40 partes de aire, en lugar de una parte por cada 14,7 de un motor catalizado convencional, lo que beneficia de forma drástica el consumo. Durante el funcionamiento en este modo pobre el acelerador regula exclusivamente la cantidad de combustible inyectado (exactamente igual que en los diésel), en lugar de estrangular la mariposa de admisión. Tan estable resulta la combustión que el ralentí puede ser de tan sólo 400 rpm. Si a este hecho se le suma la ausencia de la mariposa, la mejora del consumo al



La mezcla "pobre" paso a paso. El chorro de gasolina choca con la cabeza esférica del pistón, que reconduce el flujo y lo mantiene compacto, rodeando la bujía. En la cámara puede haber combustión con sólo 40 partes de gasolina por cada una de aire, pues en el entorno de la bujía la proporción es cercana a la estequiométrica (14,7:1). Este reparto irregular —pero cuidadosamente estudiado— de la gasolina se conoce como "carga estratificada". El resultado es una combustión estable con una aportación mínima de gasolina.

ralentí respecto al motor convencional equivalente puede alcanzar el 40 %.

En realidad, este motor de Mitsubishi si que cuenta con mariposa de admisión convencional. Cuando se pisa generosamente el acelerador o cuando el motor gira por encima de las 5.500 rpm se entra en modo de funcionamiento de «alta potencia», con lo que se abandona el objetivo de máxima eficiencia energética y en su lugar se busca máxima potencia. Para ello, el aire de admisión pasa por un canal auxiliar, con una mariposa reguladora del caudal, y también cambia por completo la forma de trabajar de la inyección. En lugar de inyectar al final de la carrera de compresión, el combustible entra en la cámara durante la carrera de admisión. Al vaporizarse la gasolina el aire se enfría, por lo que aumenta su densidad y permite la entrada de más aire, por lo que aumenta el rendimiento volumétrico y la potencia del motor. Esto permite también una elevada relación de compresión —12:1— sin que se presenten problemas de

detonación. Todo esto trae con sí, según Mitsubishi, en que su motor de inyección directa consigue una potencia un 10 % superior respecto al motor convencional del que deriva.

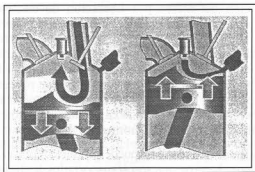
Cuando el motor está trabajando con mezcla pobre, se presentan altas temperaturas en el motor, y con ellas óxidos de nitrógeno (NO_x). Gracias a la estabilidad de la combustión y que al estar funcionando con mezclas pobres hay un exceso de aire, el motor admite un recirculación de los gases de escape del orden del 30 %. Esta técnica, denominada EGR, consiste en reintroducir por el colector de admisión parte de los gases de escape, lo que hace disminuir la emisión de NO_x hasta en un 90 % respecto a un motor catalizado convencional.

¿Todo ventajas? Eso parece. Por el momento las expectativas para este motor son fantásticas.

El primer modelo que se comercializará en España con este motor es el Mitsubishi Carisma de 1.800 c.c. y 16V. (Así que, el que se vaya a comprar un coche próximamente que se lo piense.)

Como comentario a lo novedoso de este motor basta con indicar que en su desarrollo se han registrado nada menos que 150 patentes. No hay que olvidar que elementos como la bomba de inyección o los inyectores no existían en los catálogos de los suministradores de componentes antes de este desarrollo de Mitsubishi. Además, y como es lógico en los japoneses, ya están investigando nuevas variantes para este motor, en donde se contempla el uso de la turbosobrealimentación y de los sistemas de distribución variables.

En vista de los espectaculares resultados que se están obteniendo con los motores TDi y las grandes expectativas que se presentan para los GDi, **el futuro parece seguir apuntando hacia la inyección directa, ya sea diésel o gasolina**, y más concretamente en mejorar los sistemas de inyección, es decir, mejorar esa «x» que, aunque en realidad no sea mágica, lo parece.



Dos motores en uno: alta potencia o bajo consumo. Una de las máximas particularidades del nuevo motor reside en su funcionamiento dual. En el modo "pobre" (ilustración derecha), la inyección se realiza al final de la carrera de compresión y se obtienen bajos consumos. Al funcionar en el modo de "alta potencia" (ilustración izquierda), la inyección se realiza mientras el pistón desciende, para dar suficiente tiempo para una inyección abundante y para una adecuada formación de la mezcla.

CORROSIÓN DE ARMADURAS

Un caso frecuente de Patología de Hormigón



Alfonso Díez Mentzel
Ingeniero Aeronáutico

1. INTRODUCCIÓN

Es posible que alguno de vosotros, conduciendo por la M-30, y en un alarde de deformación profesional, se haya fijado en uno de los puentes que cruzan por encima la mencionada autopista a la altura de Ventas, y se haya dado cuenta de que en la parte inferior del tablero del puente la malla de armaduras se halla al descubierto, sin recubrimiento de hormigón, y en un estado de oxidación que parece, cuanto menos, preocupante.

Esta estructura, al igual que otras muchas en nuestro país y fuera de él, ha sufrido un *proceso patológico* conocido como corrosión de las armaduras: el recubrimiento de éstas no ha sido capaz (probablemente por causas químicas y de ataque medioambiental, dada la situación expuesta a la contaminación del puente, o bien por escasez física del espesor del recubrimiento) de proteger las armaduras contra la corrosión, que una vez iniciada ha provocado el desprendimiento del recubrimiento, dejando las armaduras al aire.

En este caso, y por el momento, dadas las características de los puentes de hormigón pretensado —las armaduras afectadas hasta ahora no son las activas, sino las pasivas— es más un problema estético que de seguridad, aunque no estaría de más tomar medidas para evitar la progresión del fenómeno.

Sin embargo, la corrosión de armaduras ha provocado la destrucción de numerosas estructuras de hormigón armado, que han tenido que ser demolidas o abandonadas.

2. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

El ataque químico a la armadura es, con diferencia, la principal causa de daños en las construcciones de hormigón.

Aún así, en condiciones

El ataque químico a la armadura es, con diferencia, la principal causa de daños en las construcciones de hormigón.

normales el acero de las armaduras no sufre corrosión dentro del hormigón por el carácter protector del mismo, debido a los dos fenómenos siguientes:

- La presencia de oxígeno en la masa de hormigón provoca la *pasivación* de las armaduras, es decir, la formación de una fina capa de óxido que impide la progresión de la corrosión.
- El carácter básico del recubrimiento, suficientemente denso, poco poroso y de espesor adecuado, impide el acceso a la armadura de los agentes agresivos externos, al tiempo que evita la carbonatación del hormigón, manteniendo el carácter básico e impidiendo por tanto la corrosión.

Desgraciadamente, en muchos casos el recubrimiento no protege suficientemente las armaduras, ya sea por la baja calidad del hormigón, o porque la fisuración y la carbonatación han reducido el carácter protector del recubrimiento.

En este caso, se produce la corrosión electroquímica de las armaduras, en la que intervienen dos fenómenos distintos:

- Un *proceso anódico* consistente en la disolución del hierro por liberación de electrones, que se produce al romperse la capa pasivada.
- Un *proceso catódico*, en el que los electrones liberados en el proceso anódico se combinan con el oxígeno y el agua presentes en el hormigón formando iones oxidrilo, que posteriormente forman óxido de hierro, sin que sea necesaria la rotura de la capa pasivada para que se produzca este fenómeno.

Además, la corrosión puede producirse por el ataque por cloruros que son transportados hasta la armadura a través del agua contenida en la estructura porosa del hormigón, produciendo picaduras locales que rompen la capa pasiva, iniciando el proceso anódico y reduciendo la sección de la barra.

La humedad medioambiental es un factor importante en estos procesos, que ocurren con humedades relativas comprendidas entre un 50 % y la saturación, siendo especialmente sensibles al fenómeno aquellas estructuras expuestas a procesos cíclicos de humectación y secado.

Una vez iniciado el proceso de corrosión, los productos de la misma, debido al aumento de volumen que presentan, ejercen presiones sobre el hormigón, fisurándolo

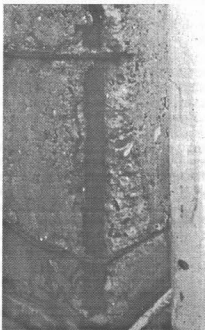
Otro factor a tener en cuenta es el de la fisuración, presente en las condiciones normales de servicio en gran número de estructuras, y que supone un camino directo de acceso a la armadura de los agentes agresivos externos como el anhídrido carbónico y los cloruros. En este sentido, las fisuras longitudinales son más peligrosas que las transversales, puesto que afectan a superficies mucho mayores de barra.

Una vez iniciado el proceso de corrosión, los productos de la misma, debido al aumento de volumen que presentan, ejercen presiones sobre el hormigón, fisurándolo, aumentando las vías de acceso de los agentes agresivos, y acelerando el proceso.

Finalmente, el efecto más perjudicial de la corrosión de las armaduras, no suele ser la disminución de la sección de las mismas, con el consecuente aumento de la tensión, puesto que se trata de un proceso relativamente lento. Por el contrario, son las condiciones de adherencia y anclaje de las armaduras las que más se deterioran en este proceso, pudiendo provocar en algunos casos el colapso repentino de la estructura. De ahí la importancia de vigilar su evolución, para tomar las medidas oportunas.

El peligro de corrosión es especialmente alto cuando están presentes cloruros en el hormigón, por amasa-

do con agua de mar, o bien por contener áridos provenientes de una playa, o simplemente cuando la estructura está expuesta al ambiente marino. (Por ejemplo, los antiguos estadios de Riazor, en La Coruña, y Carlos Tartier, de Oviedo, hubieron de ser demolido por la corrosión de las armaduras debida a estos motivos). Así pues, las obras portuarias en general, y por ejemplo, todas aquellas estructuras aeroportuarias presentes en los numerosos aeropuertos españoles que se encuentran en las proximidades del mar, son estructuras especialmente sensibles a la aparición del fenómeno de la corrosión.



Corrosión de la armadura debido a una capa de hormigón excesivamente delgada sobre la misma.

3. PREVENCIÓN

La experiencia obtenida a lo largo de los casi 100 años de empleo del hormigón armado indica que si se emplean recubrimientos adecuados, una baja relación agua-cemento, con un contenido suficiente de este último, una compactación energética —pero sin pasarse— y un curado en condiciones adecuadas, la durabilidad de las estructuras es excelente, siendo muchas las que sobrepasan los 75 años de vida en buenas condiciones de servicio, pudiendo prolongarse este periodo con operaciones de mantenimiento simples y poco costosas.

El curado, a través de su influencia en la porosidad, la permeabilidad y la carbonatación, tiene una gran influencia en el riesgo de corrosión. A pesar de ello, es escasa la atención que recibe el proceso de curado, puesto que **existe la creencia de que si el hormigón alcanza la resistencia a compresión especificada, el proceso de curado no es importante**. Esta errónea opinión se basa en el hecho de que el curado afecta poco a la resistencia a compresión del hormigón, pero mucho a su estructura interna, resistencia a tracción, microfisuración, etc.

En este sentido van las recomendaciones incluidas en la Instrucción EH-91, que, por ejemplo, en su artículo 13.3 indica los recubrimientos mínimos que han de tener las armaduras, en función del ambiente en el que se encuentre el hormigón.

El peligro de corrosión es especialmente alto cuando están presentes cloruros en el hormigón, por amasado con agua de mar, o bien por contener áridos provenientes de una playa, o simplemente cuando la estructura está expuesta al ambiente marino

4. UNA SOLUCIÓN

Puesto que, una vez iniciada la corrosión de las armaduras, su reparación es técnicamente difícil y económicamente costosa, cada vez es más evidente la necesidad de tomar las medidas oportunas, tanto en la fase de proyecto como en la de ejecución de una obra, para evitar que ésta se produzca.

Una posible solución al problema es la aplicación de un recubrimiento plástico o metálico protector a las armaduras.

Los recubrimientos plásticos, usualmente a base de resinas epoxi, presentan en algunos casos la desventaja de una adherencia deficiente y una relativa facilidad para dañarse durante el transporte, manipulación y montaje de las armaduras, por su fragilidad.

Dentro de los recubrimientos metálicos comercialmente viables, el que se ha revelado como más eficiente es el obtenido por galvanización en caliente, técnica que ha demostrado su eficacia y fiabilidad desde hace algunos años, en las condiciones más desfavorables y en las estructuras más complicadas.

En España, las investigaciones del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción han determinado las particularidades de este sistema de protección, así como sus ventajas más importantes, entre las cuales podemos destacar la protección anódica que ofrecen aún cuando el recubrimiento haya sido dañado mecánicamente ó por soldadura, la pasivación del recubrimiento de zinc dentro del hormigón fraguado por formación de capas de hidroxincatos cálcicos sumamente adherentes, y una mayor resistencia al ataque por cloruros, tanto endógenos como provenientes del exterior.

Además, suprimen la posibilidad de aparición de antiestéticas manchas de óxido de hierro en los paramentos vistos, eliminando prácticamente el

riesgo de desconchado de la capa de hormigón que recubre las armaduras.

Esto se traduce en un aumento de la fiabilidad del hormigón armado en ambientes agresivos y una mayor tolerancia a las desviaciones de formulación y ejecución como puedan ser una relación agua/cemento demasiado alta y una compactación deficiente (hormigón más poroso), posicionado incorrecto de las armaduras con el resultado de un

recubrimiento excesivamente delgado, etc.

Estas ventajas tienen, lógicamente, un precio: el coste de las armaduras galvanizadas puede llegar a ser, en algunos casos, has-

ta un 50% superior al de las armaduras «en negro». Este gasto puede estar justificado en numerosas obras, sobre todo aquellas con gran responsabilidad estructural, ambiente agresivo y altos costes, tanto de ejecución original, como de reparación de la estructura dañada, sobre todo teniendo en cuenta que el coste adicional de empleo de armaduras galvanizadas puede ser del orden del 0,5 % del valor de la obra. Téngase en cuenta, por ejemplo, que los costes de la inminente reparación del puente de Ventas mencionado al comienzo de este artículo, se han cifrado en torno a los 2.000 millones de pesetas, sin contar las molestias que a los usuarios de la M-30 van a producir dichas obras.

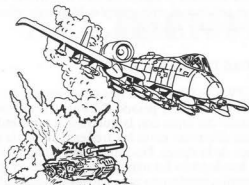
Analizando adecuadamente los riesgos y las consecuencias económicas derivados de la corrosión de las armaduras, el empleo del galvanizado en caliente puede estar económicamente justificado en numerosas obras, aunque en la mayoría las recomendaciones recogidas en el apartado dedicado a la prevención del fenómeno, son más que suficientes para evitarlo.

Una posible solución al problema es la aplicación de un recubrimiento plástico o metálico protector a las armaduras



Renovación de un muro de hormigón armado.

Téngase en cuenta, por ejemplo, que los costes de la inminente reparación del puente de Ventas mencionado al comienzo de este artículo, se han cifrado en torno a los 2.000 millones de pesetas, sin contar las molestias que a los usuarios de la M-30 van a producir dichas obras.



GUERRA NOCTURNA

Rafael Fernández Villasante
Ingeniero Aeronáutico

La visión nocturna ha supuesto uno de los avances tecnológicos más importantes en el campo militar desde la Segunda Guerra Mundial. **Hoy en día es posible el combate a cualquier hora, independientemente de la luz solar y de las condiciones ambientales (polvo, humo, camuflaje, etc.).** Estados Unidos ha desarrollado un programa denominado TWSP (Thermal Weapon Sight Programme) que, en breve, dará a la infantería la capacidad de combate durante la noche que ya explotaron con éxito los carros de combate y helicópteros durante la Guerra del Golfo.

Durante años, se ha tratado que los soldados no se queden nunca en condiciones de completa oscuridad. En este sentido, los intensificadores de imagen han jugado un importante papel, ya que permiten obtener un cierto grado de visión después de la puesta del sol. Sin embargo, aunque estos aparatos están diseñados para visión nocturna, requieren algo de luz residual para funcionar (estrellas). Además, no resuelven el problema que se presenta en casos como presencia de polvo, humo o camuflaje.

Los sistemas de imagen térmica basan su funcionamiento en otro principio, no necesitando luz visible sino la radiación infrarroja emitida por todos los objetos. Cualquiera cosa, ya sea un ser animado o inanimado, con una temperatura superior al cero absoluto, emite energía infrarroja, es decir, una onda electromagnética cuya una longitud de onda está comprendida entre 0,75 y 20 micras. Solamente dos bandas útiles de radiación infrarroja atraviesan la atmósfera, sus longitudes de onda son 3-5 micras y 8-12 micras (la banda 0,75-2 micras también atraviesa la atmósfera, pero la emisión en este rango es prácticamente despreciable).

La mayoría de los equipos de visión nocturna actuales son sensibles a la energía infrarroja cuya longitud de onda está situada en el rango 8-12 micras. Estos equipos, enfriados a temperaturas criogénicas, pueden crear imágenes similares a las de una pantalla de televisión. **Durante la Guerra del Golfo, los carros de combate así equipados eran capaces de observar las ratas del desierto escabulléndose por la arena,** y de convertir en blancos evidentes los tanques enemigos que acechaban en la distancia.

El Ejército de los Estados Unidos quería dotar a su infantería de unas características similares, lo que le llevó a desarrollar el TWSP. Buscaba un visor que pudiera ser usado por una variedad de armas tales como rifles de asalto, ametralladoras, lanzagranadas, y que pesase alrededor de 2 kg. Es decir, quería un TWS (Thermal Weapon Sight).

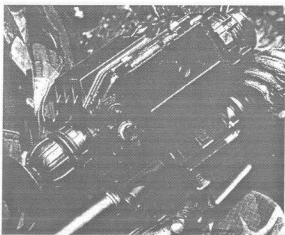
Una vez definidas las características que había de tener el visor nocturno, se encontraron con un importante escollo: no podía realizarse, al menos el rango 8-12 micras, ya que el equipo requerido era demasiado grande, demasiado pesado y demasiado caro. Por si esto fuera poco, el aparato utilizado para el enfriamiento de los equipos era excesivamente ruidoso. Es decir, justamente lo que menos desearía un soldado cuando se encuentra realizando una patrulla nocturna.

Debido a todos estos inconvenientes se desvió la atención hacia el rango 3-5 micras. A pesar de que el ancho de banda 8-12 micras es el ideal para captar objetos, las imágenes obtenidas con la banda 3-5 micras son comparables a las anteriores e incluso, en algunas ocasiones, de mejor calidad debido a la transmisión atmosférica de estas longitudes de onda.

El motivo por el cual los sensores de energía infrarroja deben ser enfriados es reducir el ruido y las señales no deseadas. La energía de los fotones disminuye al aumentar la longitud de onda de la señal transmitida. Por lo tanto, cuanto mayor es la longitud de onda, más fríos han de estar los sensores para reducir el ruido electrónico. Así, los sensores de energía infrarroja que detectan el rango 3-5 micras no deben ser enfriados tanto como los otros, lo que permite importantes ahorros de energía.

Los sensores que trabajan en el rango 8-12 tienen una temperatura de trabajo de -196°C mientras que en el caso de los TWS (rango 3-5 micras) la temperatura de trabajo aumenta hasta los -98°C . ¡Casi 100°C superior!

Además de todo lo anterior, hubieron de realizarse importantes avances en diferentes tecnologías como electrónica, enfriamiento termoelectrónico, ópticas de difracción y materiales plásticos para poder llevar a cabo este ambicioso proyecto. A continuación se describe someramente parte del funcionamiento de estos visores.



El TWS es un visor de 1,9 kg de peso que puede ser usado en rifles y pequeñas armas de infantería. Permite a los soldados ver a través de la oscuridad, humo, polvo, niebla, etc.

ENFRIAMIENTO TERMOELÉCTRICO

Como se ha comentado, el sensor de energía infrarroja debe ser enfriado a temperaturas criogénicas para dar efectividad al conjunto. Existen dos tipos de enfriadores que podrían ser utilizados al efecto: de ciclo cerrado y termoelectrónicos.

Los enfriadores criogénicos de ciclo cerrado son comparables a los frigoríficos que se encuentran en todas las cocinas. Ambos funcionan comprimiendo y expandiendo un líquido de trabajo, requieren una gran cantidad de energía y ocupan un volumen considerable. La diferencia fundamental se encuentra, pues, en el líquido utilizado, en un caso para mantener la temperatura a 0°C y en el otro mucho más baja. Así, los enfriadores criogénicos de este tipo utilizan helio o nitrógeno que les permite alcanzar los -196°C necesarios para el funcionamiento correcto de los captadores que trabajan en el rango 8-12 micras. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, los TWS no requieren temperaturas tan bajas (-98°C), lo cual supone un ahorro considerable. Estas temperaturas permiten la utilización de enfriadores termoelectrónicos.

Los enfriadores termoelectrónicos supusieron un adelanto importante para el desarrollo de los TWS, ya que son los únicos que unen a su capacidad de enfriamiento un tamaño (aproximadamente el de la uña del pulgar) lo suficientemente pequeño. No tiene partes móviles, compresores ni condensadores, por lo que es silencioso y fiable. Además tiene un consumo muy bajo y puede funcionar con baterías.

Estos enfriadores son de forma de piramidal y consisten en seis capas, cada una más pequeña que la inmediatamente inferior, ya que ésta deberá enfriarse a sí misma y la que tiene montada encima, separadas por delgadísimos pares de materiales semiconductor de tipos p y n . El principio de funcionamiento en el que se basan es que al pasar la

corriente eléctrica a través de dos materiales distintos se produce el enfriamiento de uno de ellos y el calentamiento del otro.

ÓPTICAS DE DIFRACCIÓN

Los TWS se fabrican en tres configuraciones: ligero (1,9 kg), medio y pesado (2,2 kg), dependiendo del tamaño del arma con la que va a ser utilizado. La única diferencia entre los tres es el montaje telescópico de la óptica. Ha sido en este campo en el que se han logrado las mayores reducciones en peso y tamaño, empleando para ello las denominadas ópticas de difracción. Además, de esta tecnología se derivaron reducciones en los costes y mayores resoluciones.

A diferencia de lo que ocurre con las lentes convencionales, que tienen una superficie suave y continua, las lentes de difracción presentan numerosas ranuras que pueden apreciarse a simple vista como círculos concéntricos. Al pasar la energía electromagnética a través de la lente, las ondas se desvían y convergen en un mismo punto. Esto también se podría conseguir con una óptica convencional pero a costa de añadir peso y dinero.

Por otro lado, los elementos de las ópticas de difracción no son tan sensibles a la posición como lo son en el caso de ópticas convencionales. Esto permite la utilización de materiales plásticos en lugar de aluminio para alojar al conjunto, lo cual se traduce en una importante reducción de peso, requisito fundamental para el TWS.

MATERIALES AVANZADOS

El TWS debía ser ligero. Ningún soldado va a llevar consigo un visor para el rifle que sea muy pesado independientemente de sus prestaciones. Además, debía soportar los agentes químicos, biológicos y nucleares, así como los procesos de descontaminación, que son enormemente dañinos para la mayoría de los materiales. Sólo existe un material que cumpla con todos estos requisitos: el plástico. Pero no cualquier tipo de plástico, el PEEK. El TWS es la primera aplicación militar de este plástico que tiene unas características que le permiten mantener tolerancias estrechas y servir de cuna a una óptica delicada incluso durante el retroceso del arma de fuego. El PEEK es ligero pero lo suficientemente resistente como para sobrevivir en el campo de batalla.

CONCLUSIÓN

El TWS comenzó a fabricarse para la US Army a principios de 1995 en Hughes Electronics. **Al final de la década, la infantería estará equipada con visores que le darán capacidad para la lucha nocturna en igualdad de condiciones que los carros de combate, o los aviones.**

"ACCIDENTES" CIENTÍFICOS



"El genio consiste en un 1 % de inspiración y un 99 % de transpiración".

BENJAMÍN FRANKLIN

Víctor M. Carretero
Alumno ETSI Aeronáuticos

Puede parecer un insulto a la ciencia y la investigación humana o simplemente un aspecto más de ellas considerado de manera desigual, pero la suerte, el azar en mayor o menor medida e incluso una «venganza» de la Naturaleza, errores de los científicos en muchas ocasiones han demostrado ser fuente de numerosos hallazgos que no por esperados resultaron sorprendentes, alguno incluso indispensable; sin embargo, resulta obvio advertirlo, es necesario no subestimar la propia capacidad del investigador y por ello prestar una atención especial a tales encuentros fortuitos para sacar partido a eso que de manera tan «inesperada» se presenta, aumentando si cabe el interés hacia la nueva perspectiva abierta.

Bajo este argumento de «accidentes» han aparecido a lo largo de la historia una serie de descubrimientos y hallazgos que implican cierto componente de suerte o azar destacado, unas veces porque buscando una solución del problema se descubre en un hecho simple no contemplado, otras porque la solución «quiere» saltar directamente a las manos del investigador; en algunas, los errores o descuidos consiguen solventar el problema; y aún el grupo de sucesos en que la pura casualidad es el desencadenante del hecho. El profesor Royston M. Roberts llama a este componente indefinible presente siempre en todo proceso de investigación SERENDIPÍA (Serendipity en inglés, palabra acuñada por Horace Walpole en 1784. El diccionario la define como: *la facultad de hacer descubrimientos afortunados e inesperados por accidente*), si bien el mismo distingue también la PSEUDOSERENDIPÍA como aquellos descubrimientos accidentales que culminan una búsqueda para la solución del problema. Ejemplos clarificadores de pseudoserendipia se pueden destacar de la investigación de Goodyear

Bajo este argumento de «accidentes» han aparecido a lo largo de la historia una serie de descubrimientos y hallazgos que implican cierto componente de suerte o azar destacado

sobre la vulcanización del caucho (cuando jugaba con una pastilla de caucho que dejó por descuido sobre una estufa en la que había manipulado previamente azulre; él buscaba la forma de estabilizar el caucho a cambios de temperatura, pero la vulcanización no se le había ocurrido de forma práctica), el accidente que permitió a Nobel hallar el estabilizante de la nitroglicerina para inventar la dinamita (en cierta ocasión una botella de nitroglicerina rota empapó el sustrato terroso del embalaje y cuyo componente principal era una clase de caolín muy absorbente). «Suerte» o «accidente» en los campos de la observación, el azar favorece sólo a la mente preparada (Louis Pasteur), nunca debe descuidarse el hallazgo fortuito, sino estudiarlo con más detalle para sacar partido del mismo del

que sustentar el interés. ¿Cómo si no se hubiera manufacturado el TFE (tetrafluor etileno) para crear el PTFE (politetrafluor etileno, teflón)? (1). ¿Habría soñado Kekulé con la estructura molecular

del benceno si no hubiese estado preocupado por cómo podía desentrañarse el misterio de la sustancia cuya fórmula química responde a C_6H_6 ?

Conviene resaltar a este respecto de la casualidad o el azar en la investigación los siguientes aspectos:

1. **La suerte o la casualidad (en forma de descuido, error, etc.) pueden determinar el éxito o fracaso de un determinado experimento**, así como reconducirlo a resultados siquiera esperados del original, aunque revolucionario para otros aspectos de la ciencia. Este punto ha quedado patente en multitud de ocasiones en la historia de la ciencia, aceptado unas veces por los investi-

gadores y rechazado tenazmente por otros; con lo cual habrá de ser tenido en cuenta cada vez que se realiza cualquier investigación. La compañía Sandoz Corporation pedía a sus empleados muestras de suelo mientras viajaban a distintos lugares del mundo con el fin de analizar los microorganismos que contenían; mediante dicho procedimiento fue posible descubrir las Cicloporinas, actualmente indispensables en el tratamiento inmunosupresor de los trasplantes.

2. Suponer que tal efecto (el accidente o el azar) es la panacea representa el mayor error para cualquier científico. Una vez producido el suceso (por ineficaz o simple que parezca) hay que insistir en él con curiosidad e «instinto» de provecho. Por lo tanto, el acontecimiento se convierte en el primer paso para la nueva investigación, sea ésta relacionada con el experimento original o no guarde relación alguna con aquel. Muestras de ello podemos encontrarlas quizás de forma clara en la invención del cierre de velcro (2).

Alguno de los avances tecnológicos más importantes de nuestro siglo se han debido en una parte a acontecimientos que nada tenían que ver con la pura investigación científica, cabe pues preguntarse si de otra forma habrían sido tal vez imaginados (al menos la solución que se presentó como definitiva) o cuanto tiempo hubiera transcurrido hasta dar con la solución de no presentarse «por sí sola».

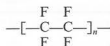
Ejemplos de este tipo convienen ser ilustrados para dejar patente el grado de importancia que llega a tener ese componente no incluido en ninguna hipótesis científica; los que aquí se indican son tan sólo una forma resumida de lo que puede encontrarse en el libro *SERENDIPIA, Descubrimientos Accidentales en La Ciencia*; Royston M. Roberts, Edit.: Alianza. Se han obviado los ya conocidos casos de Nobel, Goodyear —comentados anteriormente—, Newton, Arquímedes y se ha centrando la exposición en el mundo tecnológico, con referencias más cercanas al campo aeronáutico:

- (1) El PTFE o teflón fue descubierto (6 abril 1938) por el técnico de Du Pont Roy Plunkett cuando manipulaba un tanque de TFE para fabricar refrigerante; la boquilla de extracción parecía bloqueada y dado que el tanque estaba lleno de fluido, decidió desmontarla para averiguar la causa de la obstrucción: la válvula funcionaba. El objetivo

de la inspección —el tanque fue serrado— desveló la existencia de un polvillo blanco sólido desconocido que resultó ser el polímero natural de tetrafluor etileno, se había encontrado, por primera vez, el PTFE (teflón). La investigación posterior permitió, no sin dificultades, polimerizar el PTFE, que logró su desarrollo a gran escala gracias a la Segunda Guerra Mundial: se empleó en elementos de cierres y contención de la bomba atómica por sus particularidades químicas.



tetrafluoretileno



politetrafluoretileno (monómero)

- (2) El cierre de velcro (VELvet-CROchet) se inventó alrededor de 1950 cuando George de Mestral tras un paseo por el campo y como en tantas otras ocasiones llevaba en la ropa algunas semillas de cadillos —arrancamoños— adheridas a su ropa. Intrigado por el sistema de sujeción de las semillas comprobó al microscopio la peculiar estructura de ganchos terminales de éstas; George de Mestral se limitó a copiar y mejorar el sistema natural para inventar el velcro.

- (3) Una de las causas de la superioridad de la aviación aliada en la II Guerra Mundial sobre los alemanes se pudo deber a dos descubrimientos particulares: uno, la mejora en el octanaje del combustible y otro, el aislamiento plástico de polietileno en los cables de radares,

Una de las causas de la superioridad de la aviación aliada en la II Guerra Mundial sobre los alemanes se pudo deber a dos descubrimientos particulares.

telégrafos y los aviones.

El desarrollo de combustibles de alto octanaje se debe a la reacción o «química» de Friedel-Crafts, los cuales mientras intentaba preparar yoduro de amilo tratando cloruro de amilo con aluminio y yodo comprobaron que entre los productos de reacción se obtenía ácido clorhídrico y más sorprendentemente hidrocarburos; advir-

El descubrimiento de la polimerización a gran escala del polietileno —PE— se debió a una fuga en el equipo de la cámara de polimerización.

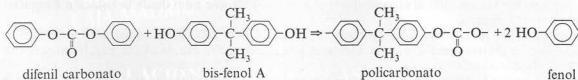
tieron que el cloruro de aluminio obtenía los mismos resultados inesperados. Tal descubrimiento permitió sintetizar una gran variedad de hidrocarburos y cetonas lo que posibilitó que el combustible de aviación empleado por el bando aliado —Friedel era francés y Crafts norteamericano— contuviese tolueno y otros hidrocarburos de alquilación directamente de la aplicación de la reacción Friedel-Crafts, lo que permitía mejorar el octanaje y el rendimiento frente a la aviación alemana cuyos aviones eran superiores.

El descubrimiento de la polimerización a gran escala del polietileno —PE— se debió a una fuga en el equipo de la cámara de polimerización. El personal de I.C.I. (Imperial Chemical Industries) estudiaba el efecto de las altas presiones en reacciones químicas, entre ellas las de etileno con benzaldehído sin resultados esperanzadores —sólo una fina capa de polvo blanco sobre las paredes de la cámara. En diciembre de 1935 se repitieron experimentos con etileno y equipo mejorado (1.400 atm y 180 °C), durante uno de los experimentos se produjo un descenso de la presión dentro de la cámara que se compensó bombeando más etileno, el resultado fue una gran cantidad de polímero generado. Tras áridas investigaciones se concluyó que la bajada de presión se debió a una fuga en el sistema y el aumento de polimerización fué causada por la presencia en el etileno bombeado de la cantidad correcta de oxígeno para catalizar la formación de polietileno. La utilización del polietileno para recubrir como aislante los cables telegráficos submarinos; durante la Segunda Guerra Mundial el PE fue utilizado como aislante de alta frecuencia en cables de radar terrestre y aéreo lo que supuso una integración de sistemas hasta el momento impensable.

Cabe indicar que el descubrimiento de la polimerización del HDPE (polietileno de alta densidad) debida a los catalizadores Ziegler-Natta se originó a partir de la presencia de restos de suciedad en la cámara de polimerización.

les— fue inventado cuando era más necesario: en el inicio del desarrollo automovilístico de principios de siglo y se deben a un curioso accidente ocurrido en el laboratorio del francés Edouard Benedictus; dicho así parece una simplificación excesiva, pero su inventor solamente necesitó olvidarse de cerrar un matraz de disolvente de nitrato de celulosa (colodión), para una vez evaporado éste y ante un descuido, el matraz cayese al suelo; ante la atónita mirada de Benedictus el tarro se rompió en pedazos pero éstos no se desparramaron por el suelo sino que conservaron la forma original del matraz ya que el colodión había actuado como «pegamento» formando una película capaz de mantener unidos los trozos de vidrio. En un principio el incidente fue olvidado, sin embargo en las semanas posteriores algunos informes relataron varios accidentes de tráfico donde las víctimas presentaban graves heridas por cortes con los cristales —normales— de los parabrisas lo que llevó a Benedictus a retomar el estudio de su descubrimiento, que resolvió también uniendo dos láminas de vidrio por una solución plástica intermedia —acetato de celulosa. Había nacido el cristal laminado «Triplex».

- (5) La invención —descubrimiento— de los policarbonatos se debe a la falta del reactante original —bisguayocol— para obtener fenol con que se encontró Daniel Fox, técnico de General Electric aquel día de 1953; en lugar de emplear el bisguayocol, Fox utilizó lo que había en los almacenes: bisfenol-A —un compuesto relacionado—. Tras algunos fracasos con carbonatos de alquino y bisfenol, se decidió por calentar carbonato de difenilo —compuesto aromático— y bisfenol-A. Por fin pudo destilar el fenol, pero en el recipiente de reacción se formó un producto cada vez más viscoso que llegó a atascar el agitador mecánico; esperó a que se enfriase para retirarlo del recipiente, sin embargo este tuvo que ser destruido para sacar el producto solidificado. El propio Fox declaró que nadie en G.E. tuvo apreciación del signifi-



- (4) El cristal laminado de seguridad —obligatorio en los parabrisas de los automó-

cado de un polímero tan diferente como aquel.



NOTICIAS



CONTROL INTELIGENTE DE UN HELICÓPTERO BORROSO

Acordado por el Claustro de Profesores de la UPM y a propuesta de la Facultad de Informática, el pasado 28 de enero, festividad de Santo Tomás de Aquino, fue investido Doctor «Honoris Causa» el profesor Michio Sugeno del «Tokio Institute of Technology».

Con el título «Mi dedicación a 'lo borroso' y otros recuerdos», habló en el acto de investidura el profesor Sugeno, de quien se señaló que «reúne en sí mismo las características de un investigador básico y de un ingeniero que nos muestra el camino de la ingeniería del futuro». Es particularmente conocido por la obtención de una serie de resultados prácticos que «han sido fundamentales para hablar no sólo de tecnologías borrosas sino de *ingeniería fuzzy*».

Explicó Sugeno a los concurrentes su teoría de la Lógica Borrosa, cómo llegó a ella y las posibles aplicaciones a la Inteligencia Artificial, haciendo hincapié en el control por radio, a distancia y con voz humana, de un helicóptero no tripulado mediante instrucciones orales, tratadas por inferencia con reglas borrosas. Señaló que la aplicación del control borroso a un helicóptero real de uso común sin piloto, que a estado desarrollando en su instituto desde 1988, es «uno de los sistemas más difíciles». En la actualidad, éste se está utilizando para fumigar las cosechas en Japón.

FESTIVIDAD DE SANTO TOMÁS DE AQUINO

Entre otros actos, se entregaron además las tradicionales Medallas de la Universidad Politécnica de Madrid a los miembros de la misma que han merecido esta distinción, como Margarita Gil Paz, quien desde hace 37 años está al servicio de la Centralita de la ETSI Aeronáuticos, y Jesús Sánchez Vázquez, encargado del Servicio de Publicaciones desde 1957, aunque ya son 43 años los que lleva dedicados a la ETSIA.

MÁSTER DE SISTEMAS AEROPORTUARIOS

El pasado 19 de diciembre se entregaron, en el Paraninfo de la UPM, los títulos de la segunda edición del Máster de «Sistemas Aeroportuarios», impartido en la ETSI Aeronáuticos. El Máster fue propuesto por Aena, según señaló el profesor, y director del Máster, Rafael Sanjurjo Navarro. Han contado para su desarrollo con la colaboración del orden de 140 profesores procedentes de Aena, de la UPM y de prestigiosos profesionales procedentes de otras empresas y organismos públicos. Asimismo, anunció el desarrollo de una tercera edición del Máster a partir de enero, en la que también contará con la financiación y la colaboración de los profesionales de Aena. Esta 3.ª edición se está desarrollando en la actualidad.

ESPAÑA INICIA UNA ETAPA COMERCIAL Y CIENTÍFICA CON EL LANZAMIENTO DEL MINISAT 01

El pasado lunes 21 de abril a las 15:28 horas fue lanzado al espacio y puesto con éxito en órbita el Minisat 01, realizado por el Instituto de Técnica Aeroespacial (INTA) y construido por la empresa Construcciones Aeronáuticas S.A. (CASA). El lanzamiento se realizó desde un cohete estadounidense Pegasus, que a su vez fue lanzado al espacio desde el avión L-1011 que salió desde la Estación Espacial de Maspalomas en Canarias.

El minisatélite, que ha costado 4.500 millones de pesetas y pesa 200 kg, ha comenzado a dar, desde el día 21, 14 vueltas diarias alrededor de la Tierra en una órbita a 592 km de altura y se le calcula una vida operativa de dos años.

Aunque esta no sea la primera vez que España haya lanzado un satélite con tecnología enteramente española, pues se recordará que nuestra Universidad puso en órbita el UPM/Sat1, lanzado desde la Guayana francesa el 7 de Julio de 1995, no cabe duda no obstante, que con el lanzamiento del Minisat, España ha entrado en la carrera comercial y científica del espacio.

PROGRAMA ESPAÑA

CURSO INTEGRADO AIRMAN 215.
Desde Piloto privado (ab initio) hasta Piloto Comercial, IFR y Polimotores, con una experiencia real de 215 horas, complementada con simulador biturbina.

TEORICA. Impartida por un cuadro de profesionales con un alto prestigio dentro del Transporte Aéreo.

VUELO. 215 horas de vuelo, con dos bases de operaciones, Madrid-Cuatro Vientos y Minaya (libre de tasas).

PROXIMA PROMOCION:
SEPTIEMBRE '97. Abierto plazo matricula.

CURSO TEORICO DE PILOTO DE TRANSPORTE DE LINEA AEREA.
1ª PROMOCION 100% DE APROBADOS.

PROXIMAS PROMOCIONES:
ABRIL Y OCTUBRE DE 1997.

CURSO DE ADAPTACION AL TRANSPORTE, CAT'97.

Curso de Adaptación al Transporte 1997, impartido en simuladores DC-9, B-727 o A-300, con la colaboración de IBERIA, Líneas Aéreas de España.

OTROS CURSOS:

- CURSO DE INSTRUCTORES DE COMERCIAL E INSTRUMENTAL.
- PROGRAMA ESPECIAL RENOVACION PILOTO COMERCIAL E INSTRUMENTAL.

CURSOS DE COMIENZO INMEDIATO:

- AUXILIARES DE VUELO (TCP'S).



AIRMAN

ESCUELA
RECONOCIDA POR
LA DIRECCION
GENERAL DE
AVIACION CIVIL,
TE OFRECE:

PROGRAMA ESPAÑA-USA-ESPAÑA

AIRMAN te ofrece formarte como Piloto de líneas aéreas, combinando una enseñanza teórica comunitaria con las licencias USA, en nuestra escuela de California.

FORMACION TEORICO-PRACTICA ESPAÑA

Un amplio programa de formación teórica de más de 1000 horas lectivas, combinando con el título y licencia de piloto privado en España.

FORMACION EN VUELO USA

3 opciones de experiencia en vuelo:

- Opción A: 320 horas de vuelo.
- Opción B: 450 horas de vuelo (Mínimo exigible para líneas aéreas).
- Opción C: 1500 horas de vuelo (Alta experiencia-ATP USA), con una proyección directa al mundo laboral del Transporte Aéreo.

LICENCIAS OBTENIDAS: Piloto privado, Piloto Comercial, IFR, Polimotores y ATP-USA/España, previos exámenes ante la DGAC.

TODOS NUESTROS PROGRAMAS ESTAN ADAPTADOS A LA NORMATIVA OFICIAL DE CONVALIDACION DE LA DGAC.

ABIERTO PLAZO DE MATRICULA
12ª PROMOCION: SEPTIEMBRE '97.

ACUERDO ESPECIAL
CREDITO CON
CAJA MADRID

INSTALACIONES ACADÉMICAS

C/. Velazquez, 119, 2º. Madrid

Tel: 91-5640493 Fax: 91-5640494

OFICINA DE CUATRO VIENTOS

Edificio frente a la Torre de control.

Tel/Fax: 91-508.87.62.

<http://www.arrakis.es/~airman>



ACADEMIA NEWTON

Ingenieros Aeronáuticos

CURSO DE VERANO

1^{er} Curso

☞ Matemáticas Generales

☞ Cálculo

☞ Física I

☞ Física II

☞ Álgebra

☞ Dibujo

☞ Química

2^o Curso

☞ Termodinámica

☞ Mecánica I

☞ Mecánica II

☞ Ecuaciones Diferenciales

☞ Geometría Diferencial

☞ Circuitos Eléctricos

☞ Elast. y Resist. de Materiales

☞ Electrónica I

3^{er} Curso

☞ Mecánica de Fluidos

☞ Métodos Matemáticos

4^o Curso

☞ Aerodinámica

☞ Vibraciones

☞ Estadística



NEWTON

ACADEMIA

Hilarión Eslava, 12 2^ºA
28015 MADRID
Tel. 5434512

Hilarión Eslava 12, 2ºA

Tfno.: 5434512