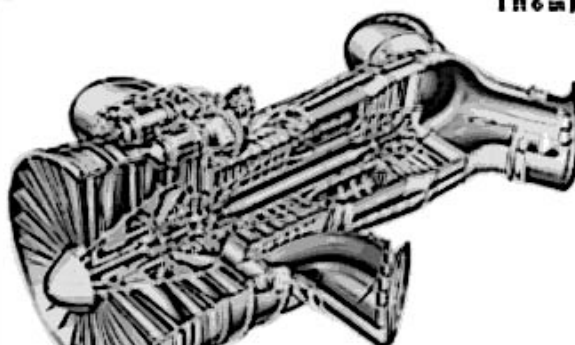
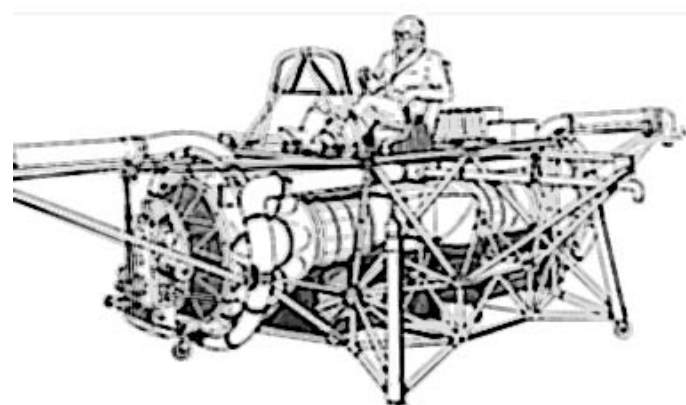
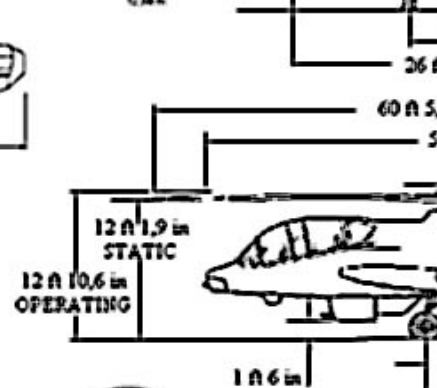
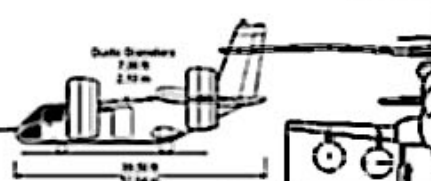
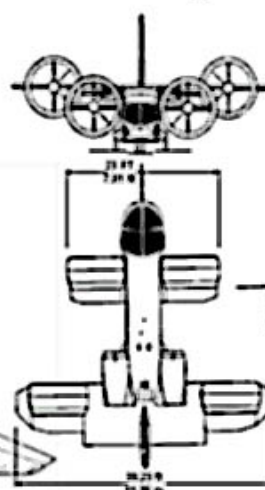
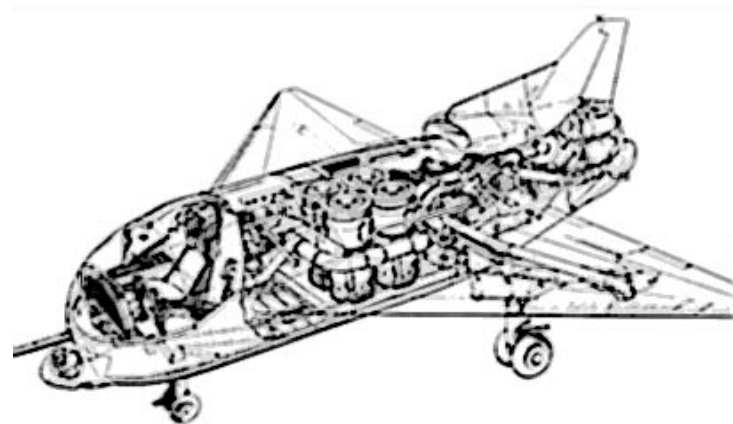
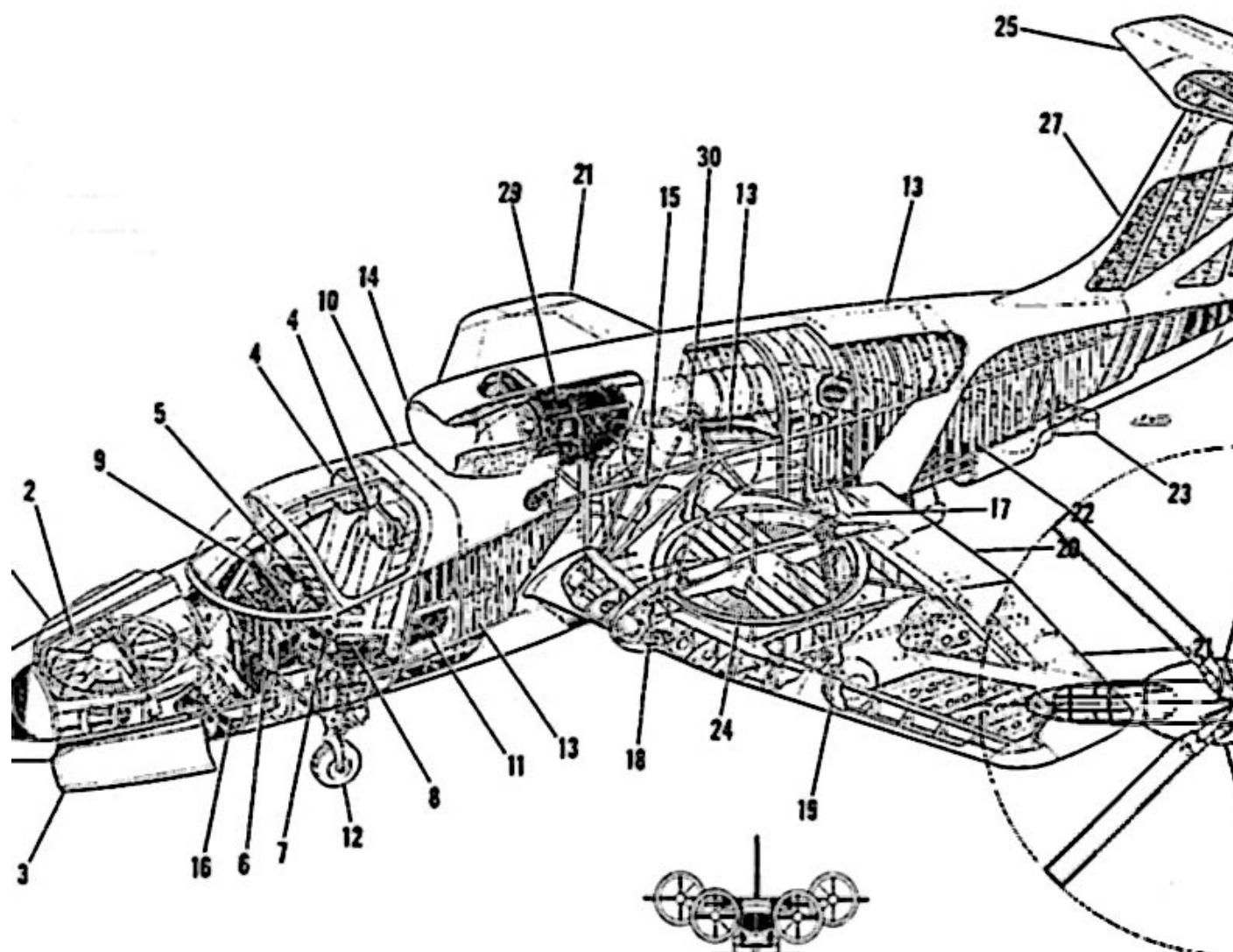




INFORME TÉCNICO SOBRE LOS INICIOS, EVOLUCIÓN, ACTUALIDAD Y FUTURO DE LA AERONAVE VTOL (Vertical Take Off & Landing)

RESUMEN

Desde tiempos inmemoriales, ya en el S. IV a.C. existen pruebas de que el hombre ha estado buscando la forma de volar como un pájaro, sin lograrlo hasta que los hermanos Wright, a principios del siglo XX (año 1903). Pero no satisfecho con hacer volar un aparato convencionalmente, el hombre ha seguido investigando hasta dar con la máquina VTOL (Vertical Take Off & Landing), que traducido al español quiere decir despegue y aterrizaje vertical. En este informe técnico se hace un pequeño estudio sobre los inicios de este tipo de aeronaves, así como su evolución a lo largo del tiempo, parándonos en cada tipo de aparato, y haciendo descripciones sobre estos. También se hace un breve comentario sobre la actualidad y el futuro del VTOL, mencionando las últimas innovaciones en esta materia. Por último, se da una conclusión sobre el significado que han tenido estos aviones en la historia general de la aviación.

INDICE DE CONTENIDOS

• INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de la historia de la aviación, normalmente nos viene a la cabeza la historia de la aeronave de ala fija, desde el primer vuelo de los hermanos Wright, pero existe un desarrollo casi paralelo de las aeronaves conocidas como VTOL (Vertical Take Off and Landing o despegue y aterrizaje vertical). El interés por este tipo de aeronaves es muy grande, sobre todo en ciertos trabajos como rescate, extinción de incendios, y desplazamientos en grandes ciudades, gracias al reducido espacio que necesitan para despegar y aterrizar, y las ventajas que presenta el vuelo estático.

En el trabajo expuesto se describe la evolución de este tipo de aeronaves, desde el primer artilugio volador inventado por China y usado como un simple juguete, hasta el V22, convertiplano de última generación que aún hoy día está en fase de desarrollo, y sin olvidarnos del helicóptero, y del ilustre Juan de la Cierva, precursor de este tipo de aeronave, con su conocido autogiro.

• CLASIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE LOS AVIONES VTOL

Podemos definir los aviones VTOL, como aquellas aeronaves que tienen la capacidad de despegar y aterrizar verticalmente.

La clasificación de este tipo de aparatos es la siguiente:

- Helicóptero
- Puro
- Mixto
- Convertiplano
- Aviones tail sitter
- Aviones VTOL de toberas orientables
- Otros VTOL experimentales

El helicóptero puro (fig.1) está compuesto principalmente por un fuselaje, rotor principal, y rotor de cola. Otras formas de helicópteros puros son de doble rotor en tandem, o doble rotor de ejes oblicuos.



fig. 1 Helicóptero puro de rotor único.

El Helicóptero mixto es un Helicóptero al cual se le han acoplado dos planos sustentadores fijados al fuselaje, para que a grandes velocidades produzcan la sustentación casi exclusiva de la máquina. Estos llevan también motores de empuje horizontal independientes para producir la velocidad de traslación. Con ello, podemos alcanzar velocidades mucho mayores que con un helicóptero convencional (figura 2).



fig. 2 Comanche (helicóptero compuesto)

El convertiplano (fig.3) es un avión que va equipado con planos sustentadores móviles (orientables), haciendo girar a su vez los motores que en ellos se encuentran, y produciendo empuje vertical u horizontal a conveniencia del piloto.



fig. 3 Convertiplano

Los aviones sentados sobre su cola (*tail sitter*), se caracterizan por tener su tren de aterrizaje en la cola (una rueda a cada lado) y sobre sus derivas dorsales (superior e inferior). Este avión despegaba y aterrizaba verticalmente, como un cohete, situándose en posición horizontal de manera gradual, una vez alcanzada la velocidad necesaria para la sustentación mediante los planos sustentadores. Solo se hace una breve mención debido a la poca utilidad práctica que se le encontró a este tipo de aeronaves.

En la clase d), nos encontramos con aviones del tipo *Harrier*, el cual va equipado con un motor que posee varias salidas orientables haciendo el mismo efecto que el convertiplano, pero este es propulsado exclusivamente por motores de reacción puros.

Por último, nos encontramos con los experimentos de vuelo vertical llevados a cabo por la NASA y otras organizaciones, en donde podemos encontrar verdaderos platillos volantes y otros artilugios que, o no son muy prácticos, o son demasiado caros, o no llegan a tener un nivel de seguridad mínimo para su uso a gran escala.

• HISTORIA

• Primera idea: Helicóptero.

En el momento en que *Thomas Alva Edison* observó el primer vuelo del aeroplano de los hermanos *Wright*, comentó: El aeroplano no servirá para nada en absoluto hasta que no pueda volar como un pájaro mosca verticalmente hacia arriba, verticalmente hacia abajo y mantenerse en vuelo estacionario como un pájaro mosca.

El paso del tiempo nos ha ido demostrando que estaba, pero que muy equivocado con respecto a las aeronaves de ala fija, debido al gran desarrollo que han tenido. Pero no cabe duda de que el avión capaz de despegar y aterrizar verticalmente ofrecería innumerables ventajas con respecto al avión convencional.

La mayoría de los accidentes en aviación ocurren durante el despegue y aterrizaje, y en vuelo a gran velocidad a baja altitud del suelo, donde el piloto requiere una gran capacidad de concentración y el avión exige un control exhaustivo de todos los indicadores, así como gran precisión en los mandos de vuelo. Si a estos, les sumamos el mal tiempo y la oscuridad, hacemos que el vuelo sea considerado como un arte, muy difícil de lograr. Además, el tamaño y velocidad de los aviones, siempre en continuo ascenso, tienden a aumentar aún más la dificultad de manejo, hasta tal punto que un avión de línea común, necesita recorrer una distancia de 3 Km y alcanzar una velocidad de más de 300 Km/h para poder sustentarse. Con la ayuda del desarrollo en

materia de seguridad, y la mejora de materiales, motores, estructuras y demás, se ha conseguido llevar a la aviación a un nivel de siniestralidad realmente bajo, pero aún así, los ingenieros nunca olvidaron las palabras de Edison.

A pesar de todo lo mencionado anteriormente, el helicóptero fue la primera máquina voladora que imaginó el hombre. Nos podemos remontar al siglo IV a.C. en China y encontrar el primer juguete que mediante una rotación rápida con las manos se elevaba; o recordar al genial *Leonardo Da Vinci*, de cuya mente salieron verdaderos bocetos de helicópteros. Su imaginación desarrolló máquinas teóricamente correctas, pero que en aquella época hubiera sido imposible llevar a la práctica.

A Leonardo siguieron otros muchos pensadores e inventores, pero todos con dos carencias básicas para desarrollar un verdadero helicóptero: una clara comprensión del concepto "sustentación" y un motor adecuado.

China. S IV a.C. El primer antecedente del concepto de Alagatoria lo encontramos en la antigua China, en el Siglo IV a.C. Un libro llamado "Pao Phu Tau" nos habla de un "Maestro" describiendo una especie de coches voladores hechos de madera y con unas correas atadas a unas aletas que los mantienen en movimiento. Esta es la primera vez de la que tenemos constancia, en la que se habla de lo que podemos considerar un helicóptero.	Leonardo da Vinci En el Códice Atlántico Leonardo da Vinci nos presenta lo que, a menudo, se ha considerado el primer diseño serio de un helicóptero. En su época, sin la tecnología adecuada, fue imposible convertir su sueño en realidad. <i>"...He descubierto que una máquina en forma de rosca,</i>  <i>como ésta, si está bien hecha de lino almidonado, se elevará en el aire si se le dá un giro rápido..."</i>
---	--

fig. 4 Antecedentes del helicóptero

El principio se aplicó por primera vez a escala real en Francia, el 13 de Noviembre de 1907, con un aparato que constaba principalmente de dos rotores que giraban en direcciones opuestas, diseñado por *Paul Cornu* (fig 5).



fig. 5 Aparato diseñado por Paul Cornú, en 1907.

Pero el primer helicóptero práctico no se desarrolló hasta 1936, que fue el *Focke-Achgelis Fw 61*, que hizo vuelos de mas de una hora, alcanzando una altura de 3492m y una velocidad de 122 km/h. Casi simultáneamente aparecieron helicópteros Francia e Inglaterra. Pero tampoco fueron realmente prácticos debido al pesado sistema de dos rotores que usaban para evitar el problema que tienen con la Tercera Ley de Newton (acción y reacción) que afecta a este tipo de aparatos.

La solución la encontró la encontró el la casa *Sikorsky*, con el rotor de cola, en 1940. El helicóptero en concreto fue el *Sikorsky VS-300* (fig. 6), y gracias a este, se empezó a ver las capacidades reales que se llegarían a alcanzar años más tarde.

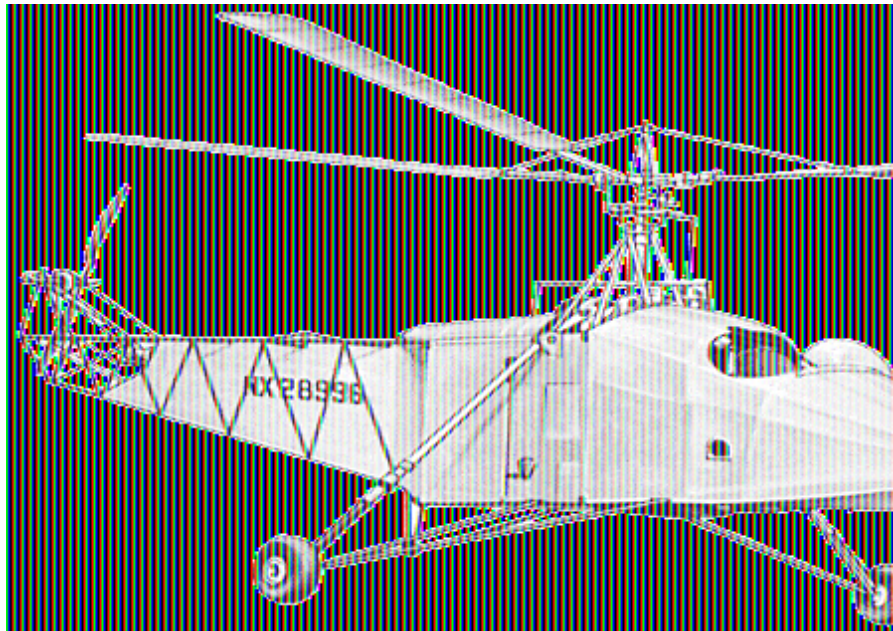


fig. 6 Sikorsky VS-300

Aunque la mayor parte del éxito del desarrollo del helicóptero se debe a *Sikorsky*, sus aparatos comportaban aspectos importantes ideados por el ingeniero español *Juan de la Cierva*. En 1923, La Cierva había construido el primer autogiro (fig 7) capaz de volar con éxito.

El autogiro, como tal, no es un avión VTOL, pero la sustentación, la produce totalmente el rotor horizontal, con lo que se tubo que enfrentar a los primeros problemas aerodinámicos característicos de cualquier helicóptero de hoy día. La Cierva aportó grandes avances, como la articulación de las palas vertical y horizontalmente.

fig. 7 Autogiro de Juan de la Cierva

Existía una modalidad de despegue en modelos más avanzados de autogiro llamada despegue por salto, en el que el motor se mantenía embragado al rotor principal, produciendo el despegue vertical, y desembragándolo en el aire una vez que alcanzaba velocidad.

A partir del helicóptero de *Sikorsky*, se empezaron a desarrollar cada vez mas, aportando cada vez mas ventajas, como las que ofreció el S-55 en la guerra de Corea, donde, en tres años recogió a mas de 23.000 heridos, muchos de ellos tras las líneas enemigas.

El siguiente gran avance, fue gracias a los motores de reacción, que han ido desplazando cada vez más a los motores de pistón, debido a su gran relación potencia–peso. Gracias a estos motores (sobre todo a su pequeño tamaño), se reducía mucho espacio, peso y se facilitaba también la maniobrabilidad de los aparatos.

Como resumen a la historia de la aeronave de ala rotativa, diremos que, aunque es el medio más eficiente para el vuelo vertical, no lo es tanto para vuelo horizontal ni resulta adecuada para grandes velocidades (ver la explicación en el anexo 1). Ello ha llevado al estudio de otros métodos de despegue vertical que a su vez ha espoleado el desarrollo convencional del helicóptero.

En el campo del helicóptero, *Lockheed* ha producido el primer rotor rígido, o sea un rotor con palas fijadas rígidamente a la cabeza del rotor sin las articulaciones corrientes de batimiento y retroceso. Esto es posible con el uso de una técnica giroscópica estabilizadora que evitaba los efectos de los primeros rotores sin articulación. Entre las ventajas encontramos la buena estabilidad, bajo nivel de vibración, facilidad de mando, sencillez en la mecánica (y mantenimiento), y grandes velocidades (mas de 426 km/h).

• Helicóptero compuesto

Pero aun seguía siendo una velocidad relativamente pequeña, con lo que se buscaron nuevos métodos. Los primeros resultados fueron el helicóptero compuesto o mixto, y el convertiplano. En el helicóptero compuesto, el rotor se encuentra prácticamente descargado cuando vuela a grandes velocidades en sentido horizontal, viniendo proporcionado el empuje de traslación por motores independientes, y la sustentación por alas fijas. El convertiplano es una aeronave en la que tanto las alas como los motores (turbohélices normalmente) podían girarse sobre el eje transversal del avión, pudiendo despegar verticalmente cuando se giraban hacia arriba, e ir aumentando la velocidad horizontal rotando gradualmente los planos sustentadores. Así, en la posición horizontal, la sustentación es totalmente debida a los planos.

El primer helicóptero compuesto (primer avión VTOL), fue el *Rotodyne* (fig. 8), en el cual se proyectaron dos grupos de motores para proporcionar aire al rotor principal durante el vuelo vertical. En el extremo de cada pala hueca del rotor iba montado un reactor que quemaba keroseno. La transición al vuelo horizontal se llevaba a cabo transfiriendo progresivamente fuerza del rotor principal a las hélices. El *Rotodyne* en vuelo de crucero solo avanzaba gracias a la tracción de las hélices, obteniéndose la sustentación con el rotor y el ala convencional; esta última proporcionaba mas de la mitad de la sustentación total.



fig. 8 A la izquierda un modelo avanzado de Rotodyne; A la derecha el Kamov Vintokryl (1963)

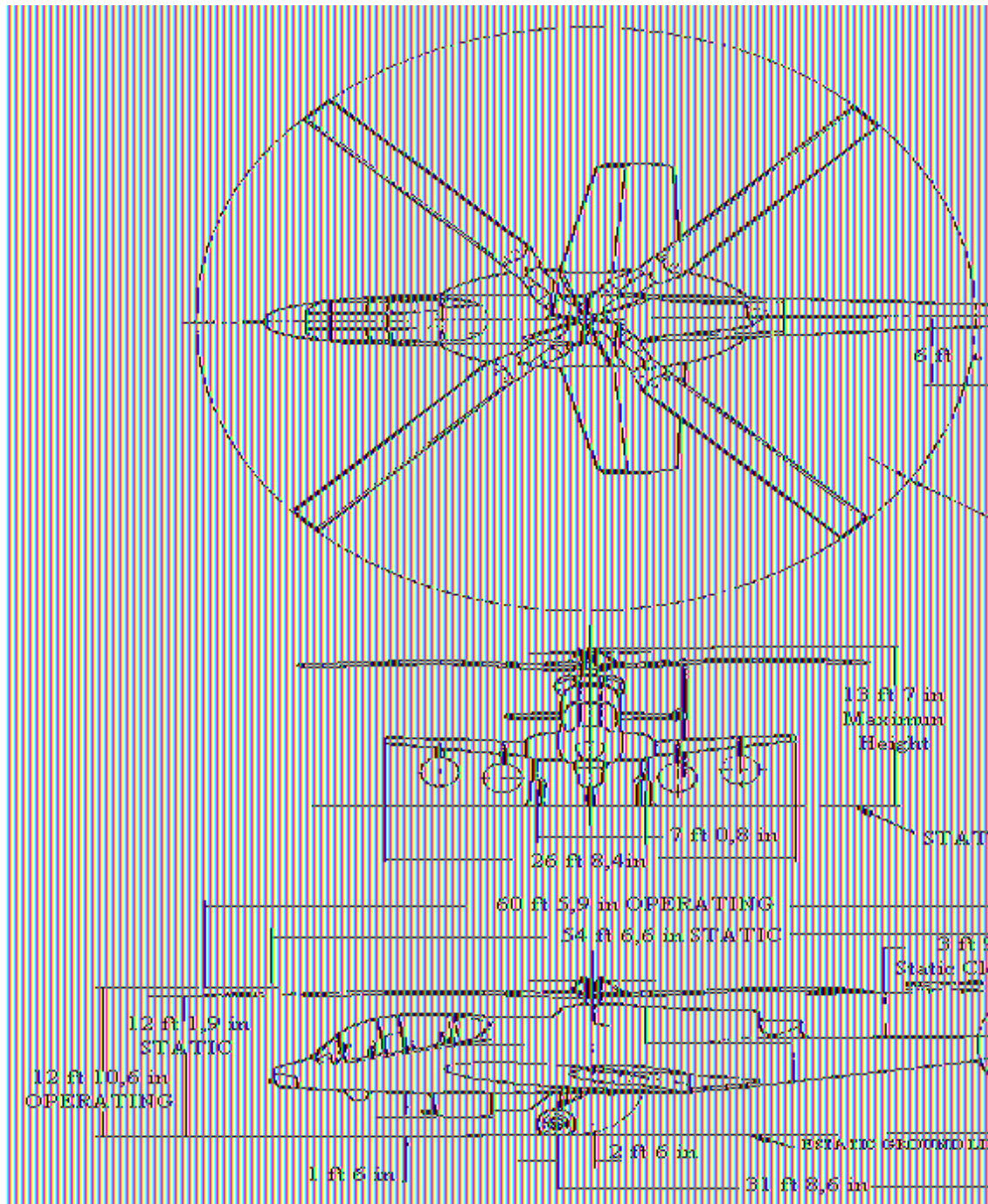


fig. 9 Vistas de un moderno helicóptero mixto de combate (el Comanche)

- Avión sentado sobre su cola

Aun con estos avances, el rotor principal proporciona problemas a grandes velocidades. Como lo principal era producir un aparato que combine la capacidad del VTOL con las características del vuelo horizontal del avión convencional, la idea de utilizar la hélice tanto para el vuelo vertical como para el vuelo horizontal es quizás una idea natural para la investigación.

Una de las primeras soluciones a ensayar era el tipo de avión sentado sobre su cola (*tail sitter*), representado por el *Convair XFY-1* y *Lockheed XFV-1* (fig. 10). Estos aviones con ala delta, impulsados por turbohélices, se apoyaban sobre la cola para despegar, con su morro mirando hacia arriba, es decir, en posición vertical. Las

hélices contrarrotativas (ver anexo 2) actuaban como el rotor de un helicóptero para el despegue, ascendiendo el avión recto hacia arriba desde el suelo. Una vez en el aire, el avión se situaba en posición horizontal y volaba convencionalmente. Para el aterrizaje se procedía a la inversa. Se reducía la velocidad hasta que el morro miraba hacia arriba y se posaba en el suelo sobre cuatro ruedas de los bordes de las dos alas y de las dos derivas.

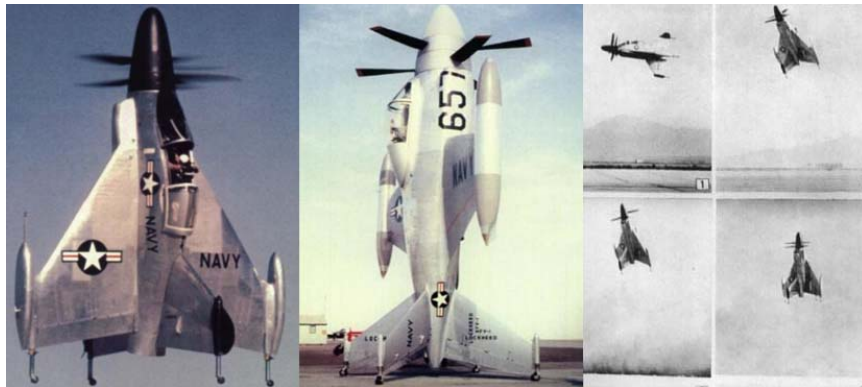


fig. 10 De izquierda a derecha: Convair XFY-1, Lockheed XFV-1, y transición de vuelo horizontal a aterrizaje del Convair XFY-1

La configuración anteriormente descrita tiene varias desventajas, como son la dificultad de aterrizaje, la postura extremadamente incómoda de los asientos, y la dudosa utilidad para llevar a cabo vuelos de transporte de pasajeros.

• El convertiplano

En los años cincuenta se empezó a desarrollar una nueva idea de aeronave VTOL. El concepto del rotor basculante se empezó a ensayar en aviones de ala fija (no basculante). El convertiplano *Bell XV-3* hizo su primera conversión de vuelo vertical a vuelo horizontal en diciembre de 1958. Para el despegue las dos hélices, con sus ejes verticales, actuaban como los rotores de un helicóptero. A una velocidad de avance predeterminada los rotores basculan poco a poco hacia delante hasta alcanzar 90° , pasando a actuar fácilmente como hélices. Durante la conversión, que duraba de 10 a 15 segundos, la sustentación era transferida progresivamente de las hélices al ala.

Si los servicios ha de llevar a cavo un avión VTOL son tales que la mayor parte del tiempo estará volando en vuelo normal horizontal, parece lógico que sea lo más parecido posible a un avión convencional.

Ling-Temco-Vought llegaron a esta conclusión después de un estudio exhaustivo de las soluciones VTOL. Se puede alcanzar este ideal basculando no solamente la hélice sino también los morros y todo el ala. Durante el vuelo vertical con las alas y los motores horizontales, estos aviones son virtualmente aviones convencionales en todos los aspectos. Una nota importante es que los convertiplanos de hoy día, las alas se basculan unos 100° para poder volar hacia atrás, o mantenerse en estacionario con viento de cola.

• VTOL de empuje único a reacción

Aunque la idea de ala basculante parece prometedora, existe una fuerte corriente de opinión que considera que solo es un paso hacia la forma definitiva del vuelo VTOL, a base de empuje único a reacción.

La primera demostración práctica de sustentación directa por reactor la llevó a cabo *Roll Royce* con el *Thrust Measuring Rig* (fig. 11 izquierda) en 1954. Con el sobrenombre de *Flying Bedstead* o camastro volante, este vehículo, que tuvo gran éxito, era impulsado por dos motores a reacción Nene de 4500 Kg. dirigido hacia arriba. El mando lateral se obtenía por medio de aire comprimido que salía hacia abajo por cuatro toberas

montadas sobre brazos sobresalientes a cada lado y en la parte anterior y posterior del aparato.

Partiendo del camastro de *Rolls Royce* se construyó un aparato mucho más adelantado, el *Short SC-1* (fig. 11 derecha). Con alas en delta, este avión estaba impulsado por cinco motores *Rolls Royce RB.108*, de 970 Kg. de empuje cada uno. Cuatro de los motores actuaban como reactores de sustentación, y un quinto, como propulsor. Los cuatro motores de sustentación, fabricados especialmente para este fin, eran muy notables debido a que eran capaces de aportar hasta 8 Kg de empuje por cada kilo de peso, y esto puede compararse con un motor convencional moderno turboreactor: 5 Kg. de empuje por cada Kilo de peso.

Estos aparatos son buenos ejemplos en vistas al logro VTOL con sustentación a reacción. Se puede utilizar uno solo o un grupo de motores, que proporcionan sustentación para el vuelo vertical, así como empuje para el vuelo horizontal, como el *Rolls Royce*, o bien puede proveerse de motores para la sustentación y empuje, como el *Short SC-1*. Los dos sistemas tienen sus desventajas. El concepto de motores separados permite que los motores sean diseñados para su cometido particular. Esta ventaja tiene la contrapartida en el hecho de que al alcanzar la velocidad de vuelo correspondiente a la sustentación por el ala, los motores de sustentación se paran y han de transportarse como peso muerto. La seguridad conferida por los motores múltiples es obvia, y será imprescindible en aviones de línea VTOL.



fig. 11 Aeronaves VTOL mediante empuje único a reacción

El concepto de motor de doble fin da lugar a un avión sencillo. La fiabilidad deseable y la sencillez es la mejor manera de obtenerla. Con un solo motor, las características de vuelo, especialmente la velocidad de subida y la maniobrabilidad, son superiores debido a tener menos peso total. En el caso del avión de ataque supersónico, la necesidad del empuje de propulsión es mayor que en el avión subsónico convencional. Con motores separados de para sustentación y empuje, puede ser necesario colocar quemadores de postcombustión a los motores de propulsión para obtener el empuje necesario (añadiendo peso y complicación), mientras que con un solo motor puede obtenerse un empuje adecuado normal.

Debido a la gran sencillez, el concepto de un solo motor se adoptó en el *Hawker Siddeley Harrier* (fig 12). Este avión táctico de ataque V/STOL está impulsado por un motor turbofán *Pegasus* (fig 13 izquierda), que descarga aire frío del compresor a través de dos toberas delanteras giratorias de empuje, y aire caliente de la turbina a través de dos toberas giratorias traseras. La totalidad del empuje puede dirigirse hacia abajo para la operación V/STOL, o hacia atrás para el vuelo convencional. El único mando que se añade al aparato es una palanca situada al lado del mando de gases cuya función es orientar las toberas hacia abajo o hacia atrás. Esto explica la sencillez de maniobrabilidad del *Harrier*.



fig. 12 Varios Harrier en formación

Otra de las ventajas es que este tipo de aeronaves es capaz de realizar despegues y aterrizajes convencionales cuando no es necesario realizarlos, de manera que puede ahorrar la gran cantidad de combustible que se consume al realizar el despegue vertical.

Como indicamos anteriormente, una instalación de un solo motor tiene desventajas, y algunas de ellas se hacen mas patentes al aumentar el tamaño cuando el avión se utiliza para otros usos como el transporte de pasajeros.

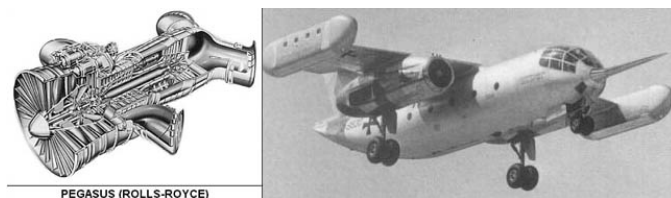


fig. 13 A la izquierda el motor Pegasus de Rolls Royce; A la derecha el Dornier Do 31.

El mayor avión VTOL polimotor que ha sido construido es el transporte alemán táctico *Dornier Do 31* (fig. 13 derecha). Está propulsado por dos motores *Pegasus* de sustentación/vuelo horizontal con un escape a través de cuatro toberas giratorias, como el *Harrier*, y dos barquillas en los extremos del ala llevando cada una cuatro motores sustentadores a reacción. Para el despegue, las toberas del motor *Pegasus* giran para producir empuje hacia abajo y funcionan los motores de sustentación. Una vez ganada altura las toberas principales giran hacia atrás y cuando se ha obtenido la velocidad suficiente para el avance, los motores de sustentación se paran. Entonces el avión funciona convencionalmente. Este avión, al igual que el *Harrier*, puede realizar

despegues y aterrizajes convencionales cuando no le sea totalmente imprescindible, abaratando los costes de combustible y teniendo la posibilidad de aumentar la carga útil de la aeronave.

- **Soplantes**

También puede obtenerse el despegue vertical por medio de aparatos conocidos como *soplantes de sustentación*. Una soplante de sustentación comprende un rotor horizontal movido por el escape de los motores de propulsión que inciden sobre las paletas de la turbina alrededor de la periferia del rotor. La gran cantidad de aire que atraviesa la soplante convierte a ésta en un aparato de sustentación más eficiente que el turboreactor y pueden utilizarse persianas para cerrarlas y conservar el perfil del ala durante el vuelo convencional.

Un avión que utilizó este sistema de sustentación fue el *Ryan XV-5^a* (fig. 14). Se trataba de un avión de dos pasajeros que tenía un ala, fuselaje y cola convencionales con superficies de control, con las soplantes de sustentación carenadas e incorporadas en las alas y una soplante más pequeña en la proa. Iba propulsado por dos reactores de 1200 Kg. De empuje montados encima del fuselaje. Normalmente los gases se conducían hasta debajo de la cola, pero durante el despegue vertical, eran encauzados por medio de unas tuberías hasta las paletas de las turbinas de las soplantes, en las alas. Estas aumentaban el empuje del turboreactor en casi un 300 por 100, y por lo tanto ofrecían una sustentación relativamente económica.

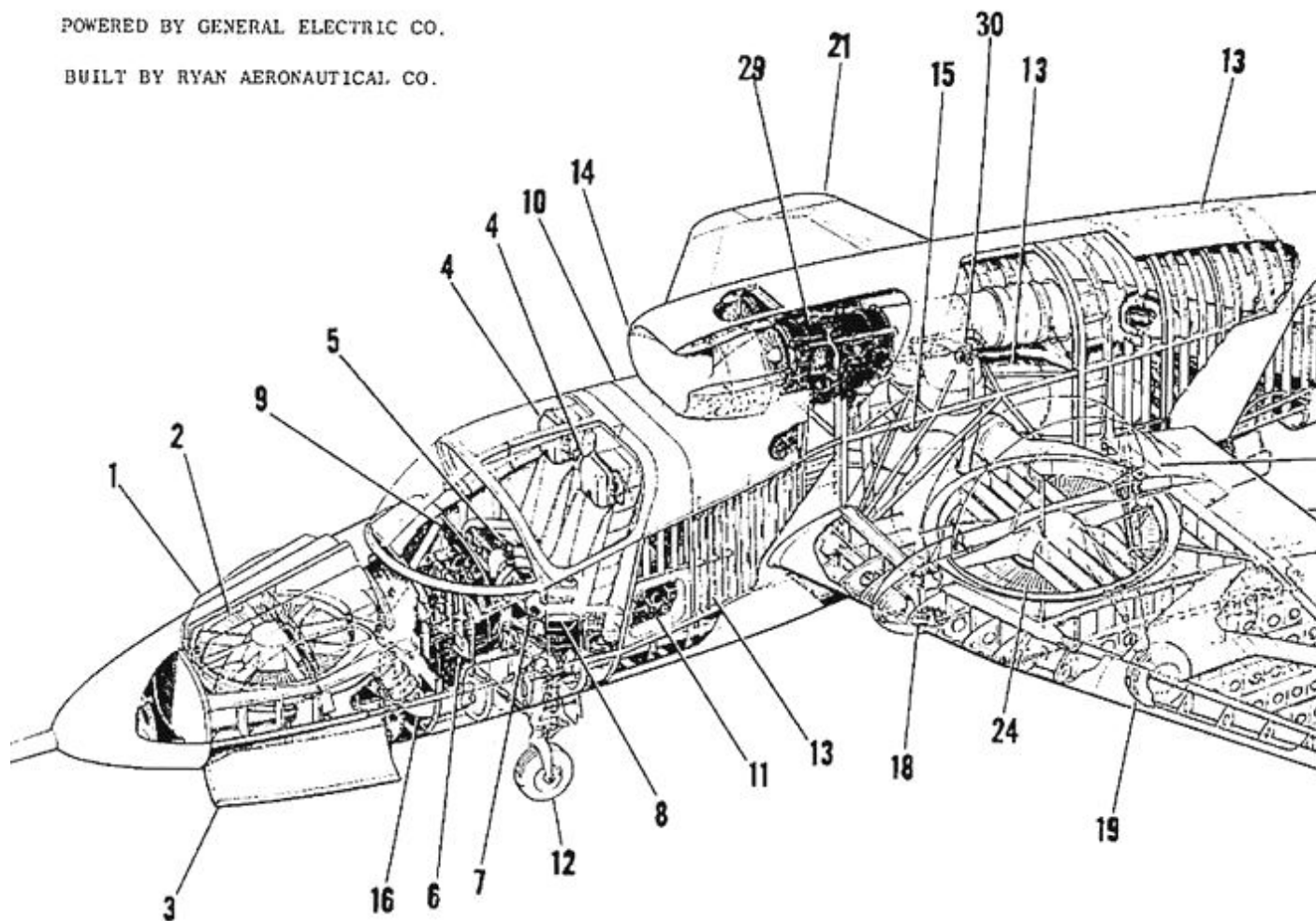
Además de las de las persianas, sobre las aperturas de las soplantes había compuertas deflectoras para ayudar al control y a la transición. La soplante de proa proporcionaba el mando de cabeceo, mientras que las del ala y sus persianas se ajustaban para proporcionar control de cabeceo y guiñada.

Las soplantes de sustentación carenadas exigían grandes aperturas en las alas, siendo muy difíciles de alojar dentro del perfil de estas, además de ocupar espacio necesario para el combustible.

ARMY VZ-11 VTOL RESEARCH AIRCRAFT

POWERED BY GENERAL ELECTRIC CO.

BUILT BY RYAN AERONAUTICAL CO.



- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. NOSE FAN INLET LOUVERS | 11. ELECTRICAL COMPARTMENT |
| 2. GE-X376 PITCH CONTROL FAN | 12. NOSE GEAR |
| 3. NOSE FAN THRUST REVERSERS AND NOSE FAIRINGS | 13. FUEL TANK |
| 4. ZERO-ZERO EJECTION SEAT | 14. SINGLE SPLIT INTAKE |
| 5. CONVENTIONAL CONTROL STICK | 15. CROSS-OVER DUCT |
| 6. RUDDER PEDALS | 16. NOSE FAN SUPPLY DUCT |
| 7. THROTTLES | 17. MAIN FAN CLOSURE |
| 8. LIFT CONTROL STICK | 18. EXIT LOUVER ACTUATORS |
| 9. INSTRUMENT PANEL | 19. TWO POSITION LANDING GEAR |
| 10. HYDRAULIC COMPARTMENT | 20. FLAP |

fig. 14 Ryan XV-5A

• LA AERONAVE VTOL HOY DIA

Podemos decir que hoy día, por lo menos a nivel de uso civil, debido a los grandes inconvenientes que suelen plantear este tipo de aeronaves, y su gran coste, podemos decir que es el helicóptero el único que se ha salvado del olvido, por ser el más práctico, económico y versátil. Eso si, existiendo una gran variedad de ellos

dependiendo del tipo de trabajo que se quiera llevar a cabo.

Los problemas de los rotores de helicópteros se han ido solucionando, siendo hoy día un único problema (de los principales) el que queda por resolver: el límite de velocidad de rotación impuesto por la velocidad del sonido. Este problema limita también la velocidad de traslación, como ya se explicó antes. La solución a priori es fabricar una pala con perfil supersónico, pero lo que puede parecer sencillo, es algo a lo que todavía no ha llegado ningún fabricante.

A lo que si se ha llegado, es a desarrollar un rotor bastante más rápido que los habituales mediante la misma técnica usada en los aviones supersónicos. Esta es la conocida como el ala en flecha, aplicada a la punta de las palas del rotor, lo cual podemos observar en la figura 15.



Photo Copyright © Peter Unmuth - VAP

fig. 15 Helicóptero Apache; ejemplo de ala en flecha aplicado a las palas de rotor.

Este tipo de pala, todavía en desarrollo, no se encuentra en rotores de helicópteros civiles, pero no cabe duda de que si ofrece buenos resultados, llegará a fabricarse en serie para helicópteros de todo tipo.

Si nos abrimos al desarrollo en toda su amplitud, podemos decir que el *Harrier* ha sido uno de los más exitosos aparatos de combate gracias a sus buenas características. Pero aún así, sigue teniendo una barrera a traspasar: la velocidad del sonido.

Para ello, hoy día, las compañías *Boeing* y *Lockheed* están fabricando los primeros prototipos del *Joint Strike Fighter*, un avión mucho más avanzado, capaz de pasar la barrera del sonido, volar totalmente automatizado, y evitar a casi cualquier tipo de radar. Se espera que de aquí a unos años, el *Joint Strike Fighter* sustituya al *Harrier*, pasando este último a formar parte de la historia de la aviación.

En último lugar, hay que hacer mención al desarrollo del convertiplano, el cual está evolucionando en el campo militar, gracias al *V-22 Osprey* de *Boeing*. Este medio de transporte de tropas ya está certificado para el vuelo, y es posible que pronto salga una versión civil. Para más información sobre el V-22, leer el anexo 3.



fig. 16 A la izquierda el Join Strike Fighter; a la derecha el V-22 Osprey

• CONCLUSION

No cabe duda que las aeronaves VTOL han sufrido una gran evolución desde sus comienzos hasta hoy, pero debido a su relativa ineficiencia y complejidad, los aparatos VTOL corrientes, representados casi totalmente por helicópteros, son muy costosos. Por lo tanto sólo se usan cuando su posibilidad de subida vertical y vuelo estacionario les permite llevar a cabo misiones que no son posibles con aviones convencionales.

Es necesario recordar, eso sí, la cantidad tan grande de personas que han salvado los helicópteros en las guerras (como Corea o Vietnam), la impresionante labor contra incendios que podemos ver todos los veranos en cualquier parte del mundo, o el rápido transporte sanitario desde cualquier accidente hasta el hospital más cercano.

Una utilización más amplia de aviones VTOL en el futuro depende al parecer del desarrollo mejorado del empuje dirigido (toberas giratorias), turbo ventiladores, motores de sustentación a reacción y dispositivos de sustentación por ventilador.

El desarrollo parece quedará supeditado a las necesidades militares para una aplicación civil posterior. Sin embargo los beneficios de viajes más rápidos que prometían los aviones VTOL no serán completamente explotados hasta que se haya solucionado el problema del ruido, haciendo posible su utilización en el centro de las ciudades.

- **ANEXOS**
- **Anexo I: Eficiencia o rendimiento de sustentación**

Para que un aeroplano despegue es necesario producir un empuje hacia

arriba superior a su peso en carga. En un avión convencional, esta fuerza de sustentación es generada por el ala, la cual genera una diferencia de presiones entre el intradós y el extradós, haciendo que la aeronave se eleve. Se puede decir que el ala desvía el aire hacia abajo, y de hecho, todas las fuerzas de impulsión, sustentación y control, se obtienen produciendo una corriente de aire que se mueve en la dirección requerida. Una hélice produce empuje llevando aire desde delante hacia atrás a una velocidad aumentada. Un motor de reacción hace lo mismo, aunque la vena de aire es de diámetro relativamente más pequeño y la velocidad mucho más elevada.

El rendimiento de sustentación depende de la relación entre la cantidad de aire desviada y su velocidad. En términos sencillos, cuanto mayor es la velocidad del aire desviado, menor es el rendimiento, o sea que doblando la velocidad, el rendimiento se reduce a la mitad.

Así, el dispositivo más eficiente para producir sustentación es el ala fija de un avión convencional. La posibilidad de despegue vertical requiere la generación de sustentación sin movimiento hacia delante, es decir, el ala del avión. Como hemos visto, en un helicóptero el ala fija está constituida por un ala rotativa conocida como rotor.

Aunque menos eficiente que un ala fija, un rotor, al impartir una velocidad relativamente pequeña a una cantidad de aire relativamente grande, es más eficiente que un motor a reacción que proporciona una corriente de gases a gran velocidad a una columna de aire relativamente pequeña.

- **Anexo II: Hélices contrarrotativas**

Como ya se sabe, el giro de un rotor alrededor de un eje produce un par

de rotación igual magnitud y dirección contraria, con lo que en el caso de ciertas aeronaves de despegue vertical como el helicóptero o el avión sentado sobre su cola, es necesario añadir algún mecanismo que evite que el fuselaje gire en sentido contrario al rotor.

Existen varios métodos, como el rotor de cola o la sustitución de este por un chorro de gases procedentes de la tobera de salida del motor turboeje, regulable mediante persianas. Estas formas son aptas para un helicóptero, pero no para un *tail sitter*. Se adoptó por ello un sistema (el primero usado en helicópteros como antipar) llamado hélice contrarrotativa. Esta consistía en dos rotores, girando en sentido opuesto, de tal manera que el par de reacción de uno se contrarrestaba por el par de reacción del segundo. En helicópteros, éstos podían estar sobre distintos ejes paralelos entre sí, ejes oblicuos, o sobre un mismo eje.

Pero la verdadera hélice contrarrotativa es la del *Convair XFY-1*, que hacía que, sobre un mismo eje (se entiende que mecánicamente están separados) giraran dos hélices en sentido contrario la una a la otra, anulando efectivamente el efecto del par de reacción.

- **Anexo III: V-22 Osprey**

Datos técnicos de interés:

El Osprey puede transportar tropas a la playa en la mitad del tiempo necesario a los helicópteros. Transformándose en vuelo en un avión convencional, el V-22 casi dobla la velocidad de los aparatos de alas rotantes normales y hace el trabajo de tres helicópteros u otros medios de dimensiones equivalentes.

Techo de servicio: El Osprey puede permanecer fuera del alcance de la artillería antiaérea y los misiles que amenazan a los asaltos helitransportados.

En la terminología de los Marines de llama "Envolvimiento vertical" y consiste en superar velozmente una costa bien defendida por el enemigo con unidades que la sobrevuelan y aterrizan en su retaguardia antes de que los defensores puedan reaccionar. A tal fin, nada puede transportar a los Marines más velozmente que el revolucionario Bell-Boeing V-22 Osprey, un aparato capaz de volar como un aeroplano, pero que puede despegar y aterrizar como un helicóptero. Los medios de desembarco son lentos y eso los convierte en blancos fáciles, mientras que los helicópteros son terriblemente vulnerables al fuego enemigo.

Hasta hoy, el único modo de minimizar el tiempo de exposición era lanzar el ataque desde un punto lo más cercano posible a la costa. La parte negativa de esta táctica es la exposición de los buques de asalto al fuego de los misiles y la artillería de largo alcance. El Osprey ha cambiado todo eso.

Con sus rotores girados hacia arriba, puede despegar o aterrizar verticalmente, desde buques o desde la costa. La rotación de 90° hacia adelante de los rotores los transforma en hélices que permiten al Osprey volar a una velocidad doble que el más veloz de los helicópteros. En conjunción con veloces aerodeslizadores, el V-22 puede transportar tropas o armamento a mayor distancia que un helicóptero.

El comandante de una fuerza anfibia puede así lanzar su ataque desde más allá del horizonte, desembarcando sus unidades en un tiempo inferior del que emplearían los helicópteros y los medios tradicionales.

La idea de un avión de rotores basculantes se remonta a los días del nacimiento de la aviación, cuando se obtuvieron numerosas patentes de autogiros, heliplanos y convertiplanos. Sin embargo, muy pocos de ellos consiguieron volar. En 1951, el Cuerpo de Infantería de Marina de Estados Unidos emitió un pliego de condiciones para un avión de apoyo armado veloz, de despegue vertical o corto.

Bell eligió el concepto de rotores basculantes para responder. A mediados de los años sesenta, el proyecto se refinó y comenzó el desarrollo del avanzadísimo XV-15. Se construyeron dos prototipos, el segundo de los cuales completó las pruebas en 1979: con toda la versatilidad de un helicóptero, viajaba a casi 550 km/h.

• INDICE DE PERSONAJES, FABRICANTES Y MODELOS DE AERONAVES

ELEMENTO PÁGINA

Apache, helicóptero 19

Bell XV-3, convertiplano 14

Convair XFY-1, avión sentado sobre su cola 13

Dornier Do 31, VTOL de empuje a reacción 17

Focke-Achgelis Fw 61, helicóptero 9

Hawker Siddeley Harrier, VTOL de empuje a reacción 16

Joint Strike Fighter, VTOL de empuje a reacción 20

Kamov Vintokryl, helicóptero compuesto 12

Leonardo Da Vinci, científico 9

Ling-Temco-Vought, fabricante 14

Lockheed XFV-1, avión sentado sobre su cola 13

Lockheed, fabricante 11

Paul Cornu, 9

Pegasus, turbomotor 16

Roll Royce Thrust Measuring Rig o Flying Bedstead, VTOL de empuje a reacción 15

Roll Royce, fabricante 15

Rotodyne, helicóptero compuesto 12

Ryan XV-5A, VTOL de soplantes 18

Short SC-1, VTOL de empuje a reacción 15

Sikorsky S-55, helicóptero 11

Sikorsky VS-300, helicóptero 10

Sikorsky, fabricante 10

Thomas Alva Edison, científico 8

V-22 Osprey, convertiplano 20

Wright, hermanos 8

• BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

TÍTULO EDITORIAL AUTOR

Jane's Pocket Book Mc Donald & Jane's Michael J.H. Taylor

Las Artes del Vuelo Blume Jhon W.R. Taylor

Conocimientos del Avión Paraninfo A.E. Oñate

PAGINAS WEB

PAGINA DESCRIPCIÓN

www.airliners.net Archivo fotográfico

www.vtol.org Información general de VTOL

www.helis.com Página sobre helicópteros

www.aerovia.com Aviación general

www.drfc.nasa.gov Perteneciente a la N.A.S.A