

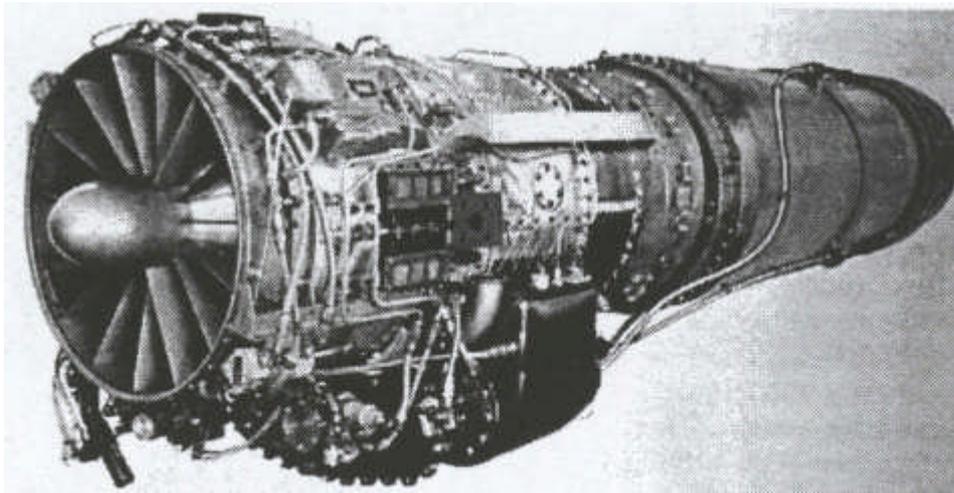


# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

## Motores a Reacción

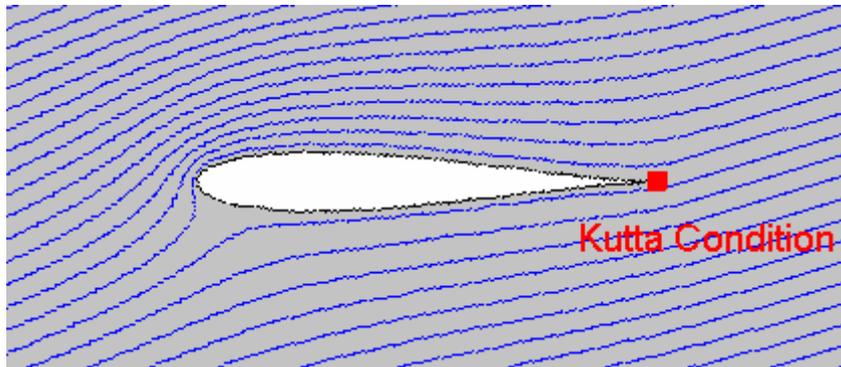
Por Gizmo



Motor a reacción J85, con post-combustión

### Porqué un motor a reacción

El aire, a bajas velocidades, podemos considerarlo incompresible. Sin embargo, a medida que aumenta la velocidad, y aproximadamente a mach 0.5 (la mitad de la velocidad del sonido), empiezan a aparecer fenómenos “de compresibilidad”, y ya no podemos considerar el aire como un fluido de densidad constante.



Al ir aumentando la velocidad, llegaremos a lo que se conoce como **Mach crítico**. No es necesario volar a velocidad supersónica

para que exista aire, en alguna parte en torno al aparato, circulando a la velocidad del sonido. Recordemos que el avión vuela puesto que el aire que circula por la parte superior del ala lo hace más rápido que el



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

que circula por debajo, generando una diferencia de presiones, cuya resultante de fuerzas se traduce en sustentación, y resistencia inducida. Así pues, el Mach crítico se define como el mach de vuelo (la velocidad de vuelo del avión dividida por la velocidad del sonido en la región en la que se encuentra volando el avión), en el que en algún punto de los alrededores del avión existe aire en régimen sónico. Esto causa la aparición de ondas de choque, que a su vez causan un aumento importante de la resistencia aerodinámica, y que la sustentación también caiga.

Bien, si este fenómeno aparece sobre el ala, es de imaginar que aparecerá mucho antes sobre la hélice, pues además de llevar la velocidad de vuelo del aparato, tiene la suya propia por encontrarse girando. La composición de velocidades, hace que la velocidad de los elementos de la hélice sea mucho mayor que la de vuelo del avión. Así pues, si aparece el fenómeno del Mach crítico en la hélice, al aumentar la resistencia, aumenta la potencia necesaria para moverla, y por otro lado al disminuir la sustentación de cada elemento de pala de la hélice (imaginaros la pala de la hélice cortada en rebanadas muy finas), la hélice proporciona menos tracción, y deja de ser eficiente.

Después de esto comprendemos que los aviones equipados por hélice están limitados en su velocidad máxima precisamente por el propulsor... Así se explica que los aviones convencionales más rápidos no pasaran de unos 700km/h, y que el caza experimental XP-47J se quedara en unos "escasos" 813km/h. Así pues... ¿si queremos volar más rápido? Entonces necesitaremos otro sistema moto-propulsor.



XP-47J

---



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

## Motores a reacción

La idea de la propulsión “a chorro” no es nueva. Ya Herón de Alejandría hizo un “juguete” propulsado por gases saliendo a “altas” velocidades escapando por unas toberas. Si expulsamos un gas a alta velocidad en un sentido, nuestro vehículo se desplazará en el contrario.

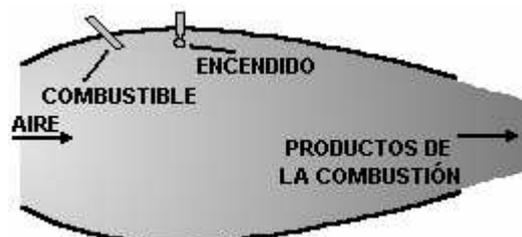
La propulsión a chorro se emplea sobre todo en aviones de alta velocidad, o en cohetes, o en misiles... Y según la zona de vuelo y la velocidad que vaya a alcanzar el “cacharro” que lo monta, es más adecuado uno u otro motor...

El combustible es quemado, es decir, oxidado. El oxidante, puede ser el oxígeno procedente de la atmósfera, o bien puede ser proveniente de tanques especiales. Dentro de estos primeros encontramos el estatorreactor, el pulso-reactor, el turbo-reactor, el turbo-fan, los turbo-hélices y turbo-ejes. Los segundos, los componen los motores cohete.

La fuerza que hace este motor es...  $F=G \cdot (V_s - V_0) + A_s \cdot (P_s - P_0)$  Donde  $G$  es el gasto másico, es decir, el aire que entra al motor por unidad de tiempo y puede obtenerse como  $G = \rho_0 \cdot V \cdot A$ , siendo “ $\rho_0$ ” la densidad del aire, “ $V$ ” la velocidad de vuelo del aparato, por tanto la velocidad a la que entra el aire en la tobera y “ $A$ ” el área de entrada. “ $A_s$ ” es el área de salida de la tobera e incremento de “ $P$ ” es el incremento de presión. Dado que casi siempre se usan toberas adaptadas, este último término es cero.

---

## Estatorreactor



Estatorreactor - Grafico original de [esta pagina](#)

Es el tipo de motor a reacción más simple de todos. Consiste en una tubería hueca. Según sea para vuelo subsónico o supersónico será

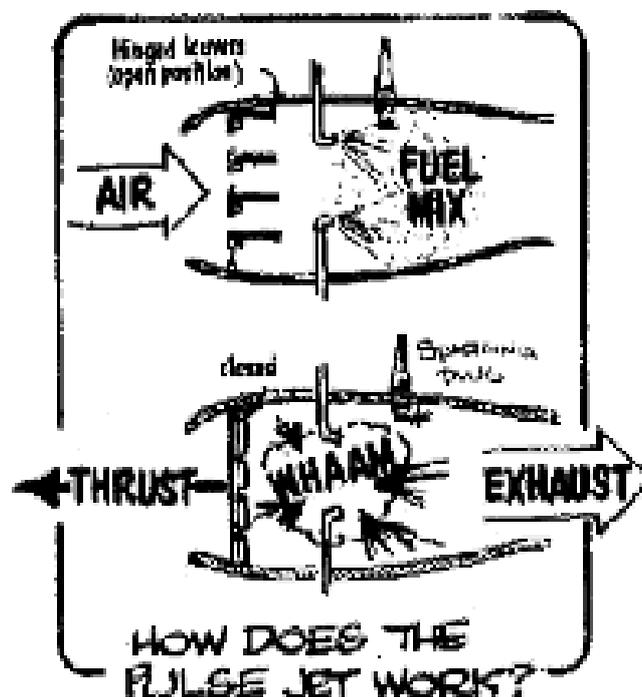


# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

como la que se muestra arriba (divergente-convergente) o convergente-divergente (similar a un tubo Venturi). Compone tres partes, la entrada es el difusor, que hace que baje la velocidad del aire e incremente su presión. En la parte central se encuentra la cámara de combustión, donde este aire a alta presión se mezcla con el combustible y donde se produce el encendido de la mezcla. La última parte es la tobera, en la que los gases pierden presión y ganan velocidad. Como norma general, se emplean lo que se denominan "Toberas adaptadas", es decir, la presión de los gases es igual a la presión atmosférica. Para que este motor funcione, el vehículo debe encontrarse ya en movimiento, así que suelen ser aviones lanzados desde otros aviones, o bien misiles... Este motor no tiene utilidad fuera del mercado militar o aviones de investigación.

## Pulso-reactor



Este sistema de propulsión es similar al anterior, y fue utilizado de forma operativa, en la V1. En el artículo sobre la V1 explico como funciona... y dice así:

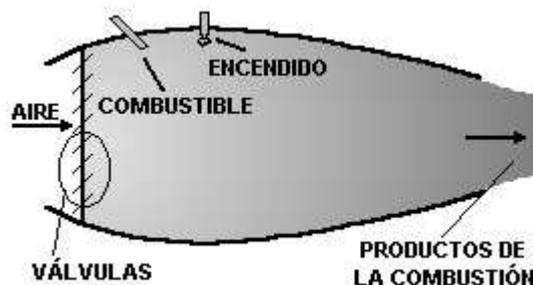


# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

«El sistema de propulsión consistía en un motor del tipo llamado “pulso-reactor”, formado por un tubo de acero soldado, que componía el difusor, cámara de combustión y tobera, de 3.35m de longitud.

A la entrada del tubo (difusor) se encontraba una válvula de persiana y nueve inyectores de combustible. La velocidad de avance hacía que la válvula se abriera, entrando aire en la cámara de combustión, en la cual era inyectado el combustible. La presión inicial de la combustión hacía que la válvula de no-retorno se cerrara, así que el aire se expandía a través del tubo y era expulsado a gran velocidad a través de la tobera de salida, proporcionando la propulsión a chorro. La inercia de los gases escapando reducía la presión en la cámara de combustión, que era alimentada con butano, el cuál era encendido por una única bujía que se mantenía en funcionamiento hasta que la temperatura de las paredes de la cámara de combustible era suficientemente alta como para permitir el auto-encendido. La bajada de presión en la cámara de combustión provocaba la apertura de la válvula y se comenzaba a repetir el proceso. Esto se realizaba entre 40 y 45 veces por segundo (y daba a este motor su característico sonido, por el que los aliados la conocieron como la Buzz-bomb, impulsando a la bomba a una velocidad que variaba entre 624 y 656km/h. La riqueza de la mezcla aire-combustible se mantenía en la proporción adecuada con respecto a la velocidad de vuelo y la altitud (es decir, respecto a la densidad del aire) gracias a un mecanismo de compensación regulado por un tubo pitot.»



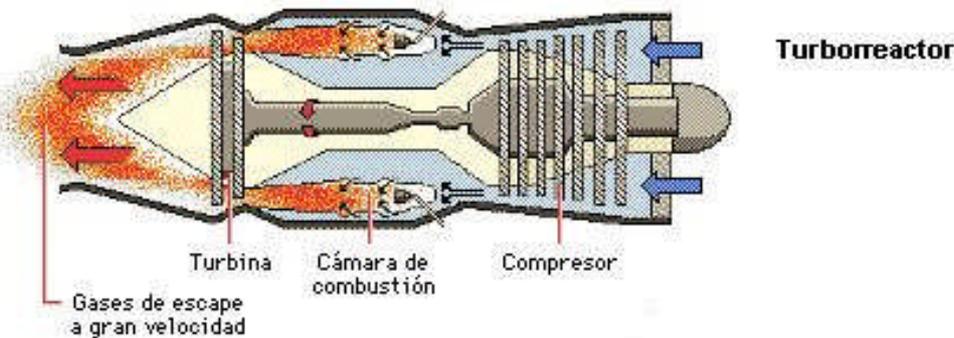
Pulso reactor - Grafico original de [esta pagina](#)



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

## Turborreactor



Al comienzo de emplear los motores a reacción, los más empleados fueron los turborreactores, reemplazados finalmente por los turbofanés, por ser éstos últimos motores de menor consumo, para un mismo empuje. El funcionamiento es similar a los anteriores, pero con algunos elementos diferenciadores. Además del difusor, cuenta con un compresor mecánico, que puede ser bien de tipo axial o centrífugo. Los axiales, son los más utilizados hoy en día. Consisten en una serie de “anillos” de álabes, unos móviles y otros fijos, intercalados, que forman el compresor, girando los móviles solidariamente. Cada par de “anillos” fijo y móvil forma un escalón del compresor. Unos serán álabes de estator y otros de rotor. En ocasiones existe más de un compresor, siendo denominado el más próximo a la entrada de gases “de baja” (presión) y el más cercano a la cámara de combustión “de alta” presión. En un compresor axial de 15 escalones podríamos aumentar la presión 24 veces.

Una vez comprimido el aire, se le hace pasar a la cámara de combustión, que a su vez puede ser de diversos tipos. En la cámara de combustión se mezcla con el combustible pulverizado y se quema. Cuanto mayor fuera la temperatura alcanzada, mayor sería el rendimiento y la potencia del turborreactor. Sin embargo esta temperatura está limitada (1100°C máximo, aproximadamente) por los materiales que usamos en construir la cámara, y los elementos posteriores que han de atravesar los gases a alta velocidad y temperatura.

A continuación los gases atraviesan la turbina, de composición similar al compresor, compuesta también de escalones, álabes de estator y de



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

rotor... El movimiento de rotación que le imprimen los gases es el que arrastra al compresor.

Finalmente, los gases pasan por la tobera de escape, que tiene la función contraria al difusor. En la tobera, los gases intercambian presión por velocidad, siendo acelerados. Las toberas suelen estar adaptadas, siendo la presión de salida igual a la atmosférica, entre otras cosas, hace que la expulsión de gases sea más silenciosa (si se formara una onda de choque a la salida, el ruido sería mayor).

Puesto que el compresor es arrancado por la turbina, estos tipos de motores han de ser arrancados con una Unidad Auxiliar de Potencia (APU) que iniciará el giro del compresor.

Cuanto mayor es la densidad del aire quemado, mayor es la potencia dada. Así pues, en días de calor, en los que el aire es menos denso, la potencia sería menor. Eso mismo ocurre también con la altitud. A mayor altitud, menor densidad de aire. Así pues el techo operativo del avión viene marcado por su motor.

Como sistemas de aumento de potencia, podríamos mencionar la inyección de agua en la cámara de combustión (aumenta la densidad) o el sistema militar de aumento de potencia por excelencia: el post quemador. Este “cacharro” no es más que un dispositivo para quemar combustible en el aire que sale de la turbina, aumentando el empuje de una forma considerable... pero triplicando el consumo. Por tanto el post quemador se utiliza exclusivamente en situaciones puntuales (pistas cortas de despegue, despegues de urgencia y desde portaaviones, combate...)

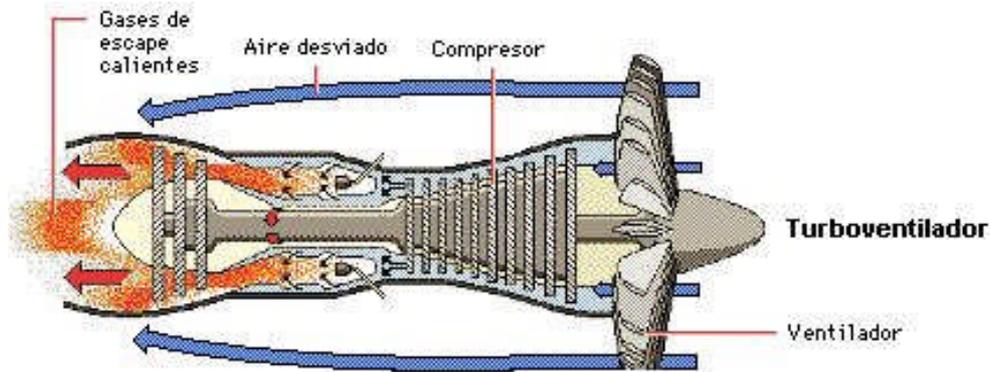
---



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

## Turbofan



Se le conoce también como turborreactor de doble flujo. Para aumentar la eficiencia de los reactores, y conseguir el mismo empuje con menor gasto de combustible, nacieron los turbofanos o turboventiladores. El funcionamiento es el mismo, solo que existe un flujo adicional de aire que pasa por fuera del motor, es decir, no se quema, y aumenta el empuje del motor. Se define el índice de derivación como el cociente del gasto másico de aire (kg aire/segundo) que pasa por fuera de la cámara de combustión entre el gasto másico del aire que atraviesa la cámara de combustión. Según este índice, existen los motores de alto y de bajo índice de derivación, siendo cada uno de ellos más apto para un rango de velocidades.

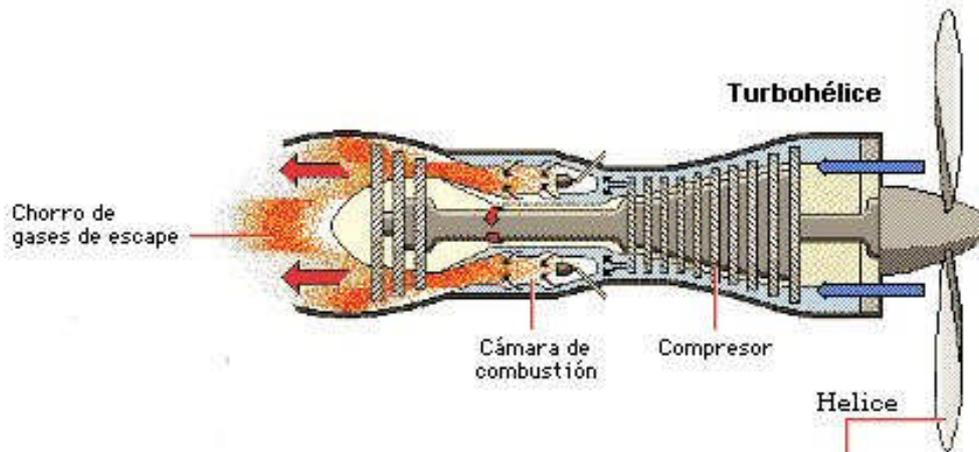
---



# SANDGLASS PATROL

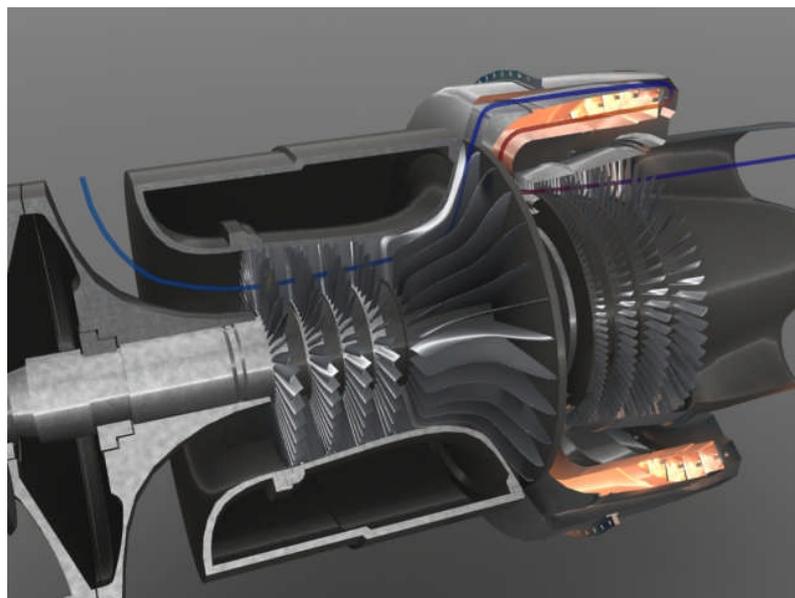
<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

## Turbohélice y turboeje



El funcionamiento es idéntico a los anteriores. La diferencia es que en vez de usarse los gases para propulsar a chorro el aparato, se usan para mover una hélice (los gases que mueven la turbina del compresor, mueven también una turbina que mueve la hélice). Los gases proporcionan algo de empuje extra, en algunos casos, siendo la tracción proporcionada por la hélice.

El turbo eje es idéntico al turboprop, pero en vez de llevar acoplada la hélice, se une el eje a una caja reductora y una serie de engranajes, para transmitir el movimiento a la hélice del helicóptero.



Motor de helicóptero de flujo inverso, modelado por Javier Camacho en 3D-Studio



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

El motivo de esta diferencia de motores, pese a funcionar todos de una forma similar, es debido a que cada uno de ellos proporciona un mejor rendimiento moto-propulsor en un determinado rango de velocidades. El turbohélice ha sustituido al motor alternativo (de pistones) para aviones de hélice de gran potencia, pues para una misma potencia pesa mucho menos. ¿Por qué no equipar entonces a los aviones más pequeños de turbohélice en lugar de motores alternativos? Una vez más entran en juegos los rendimientos del motor, y la dificultad de fabricar turbohélices eficientes de un tamaño tan pequeño.

---

## Motor Cohete



Motor cohete - Grafico original de [esta pagina](#)

En este caso, no existe toma de aire para producir la combustión. Tanto el combustible como el comburente (el oxidante) van almacenados en el avión y se suministran al motor. La no dependencia del oxígeno del aire para producir la combustión, les convierten en únicos para los viajes espaciales. Es un motor relativamente simple, contando en principio solo con la cámara de combustión y la salida de gases. Ahora bien, hay que almacenar el combustible y el comburente, y aquí ya entramos en el tema de cohetes de propérgoles sólidos y líquidos, y su forma de almacenaje. Puesto que el objeto de esta página solo es dar unas nociones básicas de cómo funciona, y eso ya está hecho, no entraré en más detalle. Quien quiera saber más, puede consultar bibliografía especializada.

---



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

## Historia

El principio de la propulsión a chorro se conoce desde hace siglos, aunque su empleo para propulsar vehículos que transportan cargas es relativamente reciente. El primer motor a reacción que se conoce fue un dispositivo experimental de vapor desarrollado alrededor del siglo I dC. por el matemático y científico griego Heron de Alejandría. Conocido como eolípilo, el aparato de Heron no realizaba ningún trabajo práctico, aunque demostraba que un chorro de vapor expulsado hacia atrás impulsa al generador hacia delante. El eolípilo era una cámara esférica a la que se suministraba vapor desde un soporte hueco. El vapor podía escapar por dos tubos curvos situados en lados opuestos de la esfera, y la reacción a la fuerza del vapor expulsado provoca el giro de la esfera.

El desarrollo de la turbina de vapor se atribuye al ingeniero italiano Giovanni Branca, que en 1629 dirigió un chorro de vapor contra una turbina que a su vez impulsaba una troqueladora. La primera patente registrada para una turbina de gas la obtuvo en 1791 el inventor británico John Barber.

En 1910, siete años después de los primeros vuelos de los inventores estadounidenses Orville y Wilbur Wright, el científico francés Henri Marie Coanda diseñó y construyó un biplano con propulsión a chorro, que despegó y voló por sus propios medios, pilotado por el propio Coanda. Sin embargo, desalentado por la falta de aceptación pública de su avión, Coanda abandonó sus experimentos.

Durante los 20 años siguientes, la turbina de gas se fue perfeccionando. Uno de los resultados de los trabajos experimentales de aquel periodo fue la construcción en 1918 de un turbocompresor para motores aeronáuticos convencionales, impulsado por una turbina movida por los gases de escape. En los primeros años de la década de 1930, numerosos ingenieros europeos obtuvieron patentes de turbinas de gas. El diseño patentado por el ingeniero aeronáutico británico Frank Whittle en 1930 suele considerarse como el primer esbozo práctico de la turbina de gas moderna. En 1935, Whittle aplicó su diseño básico al desarrollo del turboreactor W-1, que en 1941 realizó su primer vuelo.

Entretanto, el ingeniero aeronáutico francés René Leduc había mostrado en París (en 1938) un modelo de estatorreactor. El ingeniero alemán Hans Pabst von Ohain diseñó un turboreactor de flujo axial, y un avión propulsado por este motor realizó su primer vuelo en 1939, el Heinkel He 178. El año siguiente, bajo la dirección del ingeniero aeronáutico Secundo Campini, los italianos desarrollaron el Caproni-Campini. Su motor era algo parecido a un turbo-reactor, solo que el



# SANDGLASS PATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

compresor iba movido por un motor de pistón de 9 cilindros normal y corriente. El resultado fue desastroso, no alcanzado apenas los 300km/h. El primer avión a reacción estadounidense, el Bell XP-59, estaba impulsado por el turborreactor I-16 de General Electric, una adaptación del diseño de Whittle realizada en 1942.

El pulsorreactor fue desarrollado por el ingeniero alemán Paul Schmidt a partir de un principio descrito por primera vez en 1906. Schmidt obtuvo su primera patente en 1931. El misil V-1, que voló por primera vez en 1942, estaba propulsado por un pulsorreactor. A mediados de la década de 1940 también tuvieron lugar los primeros vuelos comerciales con turbohélice. En 1947, el avión experimental X-1, propulsado por un motor cohete de cuatro cámaras con combustible líquido y transportado por un bombardero hasta la estratosfera para su lanzamiento, fue el primer avión pilotado en romper la barrera del sonido. Posteriormente, el avión experimental Douglas Skyrocket, propulsado por un reactor además de un motor cohete de combustible líquido, rompió la barrera del sonido a baja altitud después de despegar por sus propios medios.

El primer reactor comercial, el británico Comet, comenzó a volar en 1952, pero el servicio se suspendió después de que en 1954 se produjeran dos accidentes graves, debido a un fenómeno desconocido hasta ese momento: la fatiga de los materiales. Ese mismo año, en Estados Unidos, el avión a reacción Boeing 707 se probó con fines comerciales. En 1958 los vuelos regulares comenzaron.

El constante desarrollo de la propulsión a chorro ha llevado a avances espectaculares en la aeronáutica: por ejemplo, aviones pilotados capaces de alcanzar velocidades varias veces superiores a la del sonido, misiles balísticos intercontinentales o satélites artificiales lanzados por cohetes de gran potencia

(Esta **Historia**, aunque fusilada vilmente de “El Rincón del Vago”, ha sido ligeramente corregida por mí. El resto de las explicaciones son mías, salvo los gráficos, que proceden o bien de esta web, o de las ya indicadas anteriormente, o cedidas por un compañero: Javier Camacho).