

Motor a reacción

David Oramas Muñoz

1º BTO A

Profesor orientador: Enrique Alonso

Índice

1. Introducción	2
2. Características generales	2
3. Historia	3 - 4
3.1 Precedentes	3
3.2 ¿Quién lo inventó?	3 - 4
3.3 Primer reactor comercial	4
3.4 Aplicación en coches	4
3.5 En la actualidad	4
4. Tipos	5 - 12
4.1 Turborreactor	5 - 7
4.2 Turbofan	7 - 9
4.3 Turbohélice	9 - 11
4.4 Motor de cohete	11 - 12
5. Certificación	12 - 13
5.1 Ingestión de aves	12
5.2 Ingestión de agua	13
5.3 Desprendimiento	13
6. Desarrollos futuros	13 - 14
6.1 Gear turbofan	13 - 14
6.2 Scramjet	14
7. Curiosidades	14 - 17
7.1 El más pequeño y el más grande	14 - 15
7.2 El combustible que utiliza	15
7.2 Lo que propulsa un motor	15
7.3 ¿Cómo se enciende?	16
7.4 Marcha atrás de un motor a reacción	16
7.5 Contrails	17
8. Conclusión	17
9. Bibliografía	17 - 18

1. Introducción

La motivación para hacer este trabajo es que el tema me interesa desde que tengo uso de razón, y además que tengo suficientes conocimientos para realizar un trabajo de esta extensión. Otros factores son que ya realicé también un trabajo parecido en la asignatura de tecnologías cuyos resultados fueron satisfactorios y que fue gracias al profesor de informática que al final me decidí a hacerlo. Espero de este trabajo me ayude a realizar exposiciones extensas con más soltura y a conocer mejor la carrera que me gustaría estudiar en un futuro.

El motor a reacción es una de las máquinas que ha impulsado la economía moderna, desde el transporte aéreo hasta la defensa, pasando por el transporte marítimo y los viajes espaciales, y quizás también una de las más ignoradas por el público general, ya sea porque no se encuentra en la vida cotidiana o por la complejidad del mismo.

El objetivo de este trabajo es que el lector sepa un poco más acerca de los motores a reacción y sus diferencias respecto a otros motores además de recordar algunos conceptos de física que puede que no haya usado desde el instituto. También mostrar que el concepto es ingenioso pero sencillo, cualquiera que sea la impresión que cause en un principio.

2. Características generales

El motor a reacción es una forma de propulsión que, como cualquier otro motor, convierte un tipo de energía (química en este caso) en energía mecánica. Su funcionamiento consiste en acelerar un fluido (el aire) y proyectarlo hacia atrás. Al hacer fuerza sobre el aire para proyectarlo hacia atrás, el aire devuelve una fuerza igual pero en sentido contrario que empuja el motor hacia delante (tercera ley de Newton). Un ejemplo casero de motor a reacción sería inflar un globo y soltarlo con la boquilla sin anudar. El globo sale disparado porque el aire comprimido en el interior del globo sale a gran velocidad por la boquilla. También tiene relación con la segunda ley de Newton, que dice que una fuerza es igual a la masa por la aceleración, con lo cual la fuerza que desarrolla un motor a reacción es igual a la masa de aire que acelera por la aceleración que le proporciona. A diferencia de otros motores, este utiliza un medio fluido para generar empuje y no depende de una superficie sólida, como podría ser el suelo. Surge como alternativa al motor de pistón y actualmente no tienen rival en cuanto a eficiencia de combustible y rapidez en transporte. Pueden funcionar con diesel o, más comúnmente, con queroseno, a excepción de los motores de cohete que funcionan con combustible sólido.

Este tipo de motor es usado en aviones (comerciales, militares, de recreo y hasta teledirigidos), en helicópteros, en tanques, en barcos (ferry's de alta velocidad, barcos de salvamento de respuesta rápida y yates), en vehículos espaciales (cohetes, transbordadores), en misiles e incluso en algunos coches de competición.

3. Historia

Como muchas de las cosas con las que contamos hoy en día, el motor a reacción es producto de la carrera armamentística de la Segunda Guerra Mundial. Las exigencias de la guerra requerían un motor más eficiente y rápido que el motor de pistón.

3.1 Precedentes

La primera idea fue propuesta por el propio Isaac Newton en el siglo XVIII, el cual imaginó un vehículo que se propulsaba por acción de una explosión en su parte trasera produciendo una fuerza hacia atrás que, por su propio principio de acción reacción, devolvería una fuerza hacia adelante que empujaría el vehículo. Más tarde en el siglo XIX, el ingeniero Henri Giffard inventaría el primer motor destinado al vuelo para zeppelines (a vapor), pero era demasiado pesado para volar. Más tarde en el mismo siglo, el ingeniero Otto Daimler inventaría el primer motor de combustible del mundo. En el año 1903 vuela el primer avión controlado de la historia construido por los hermanos Wright, propulsado por un motor de combustión interna de 12 caballos.

3.2 ¿Quién lo inventó?

Se reconoce a dos personas como inventores del motor a reacción, cada uno de forma independiente, uno en el bando aliado y el otro en el nazi:

- La primera de ellas es Frank Whittle, un ingeniero aeronáutico inglés que en 1929 estaba diseñando el primer prototipo de la historia. Sin embargo, el diseño de Whittle no recibió ningún apoyo de la Royal Air Force (fuerza aérea inglesa), por lo que tuvo que buscarse la vida para construir y probar su idea. En 1937 tenía el primer prototipo listo, justo cuando empezaba la Segunda Guerra Mundial y cuando el gobierno empezaba a mostrar interés en su invento. Este motor voló por primera vez el 15 de mayo de 1941 propulsando un caza experimental inglés Gloster E.28/39. Sin embargo no fue el primer motor a reacción en volar.



Gloster E.28/39. Fuente: airliners.net Copyright: Jim Groom

- El segundo se llamaba Hans von Ohain, ingeniero aeronáutico alemán que desarrollaba su idea en 1936. Tuvo listo su prototipo en 1937 solo un año después de concebirlo y cinco meses después que el de Whittle, ya que contaba con la ayuda del fabricante aeroespacial alemán Heinkel. Despues de muchos rediseños y pruebas, el motor de Hans voló por primera vez el 27 de agosto de 1939

propulsando un avión Heinkel He 178, convirtiéndose así en el primer vuelo a reacción de la historia, antes que el motor de Whittle.



Heinkel He 178. Fuente: fiddlersgreen.com

Rápidamente se convirtió en el favorito de los constructores aeronáuticos militares de la época y se utilizaron algunos cazas a reacción en la segunda mitad de la Segunda Guerra Mundial.

3.3 Primer reactor comercial

El primer avión comercial en utilizar motores a reacción fue el De Havilland Comet, de fabricación inglesa. Estaba propulsado por 4 motores De Havilland Ghost e hizo su primer vuelo el 27 de julio de 1949. Este avión tenía ventajas operativas como la rapidez con respecto a los aviones propulsados con hélices y la posibilidad de volar más alto, consumiendo menos combustible. Aunque fue el primer avión de línea como los que conocemos hoy, sufrió graves accidentes producto del desconocimiento del funcionamiento de las dinámicas a gran altitud y de la fatiga del metal que redujeron su reputación.

3.4 Aplicación en coches

Desde 1964, algunos motores a reacción, sobre todo de cazas, se usan en ciertos coches de competición, como los llamados jet dragsters que hacen carreras de velocidad en línea recta, o en coches especialmente concebidos para batir records mundiales en suelo. La fabricación de estos vehículos es casera y se montan motores utilizados en aviones e incluso antiguos fuselajes, ya que ninguna empresa fabrica motores a reacción para coches.

3.5 En la actualidad

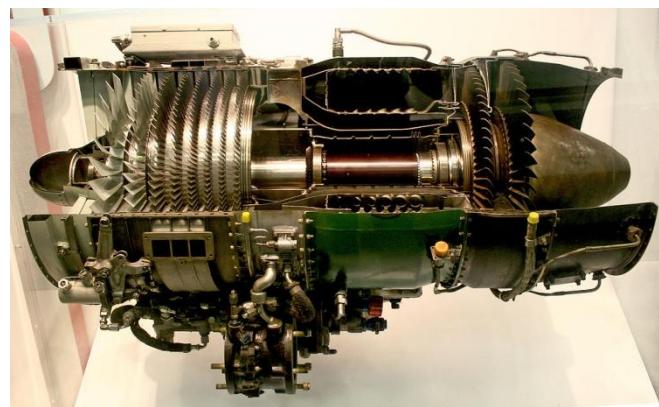
Hoy en día los motores a reacción más utilizados son de tipo turboventilador de doble flujo (del inglés turbofan), que ofrecen ciertas ventajas operativas como velocidad, reducción del nivel de ruido, reducción del costo de mantenimiento y disminución del consumo de combustible con la consiguiente reducción de emisiones. Estos motores succionan el aire a través de un ventilador o fan y dividen el aire en dos flujos distintos, en los que solo uno de ellos pasa por la cámara de combustión.

4. Tipos

Vamos a tratar los cuatro tipos principales de motor a reacción:

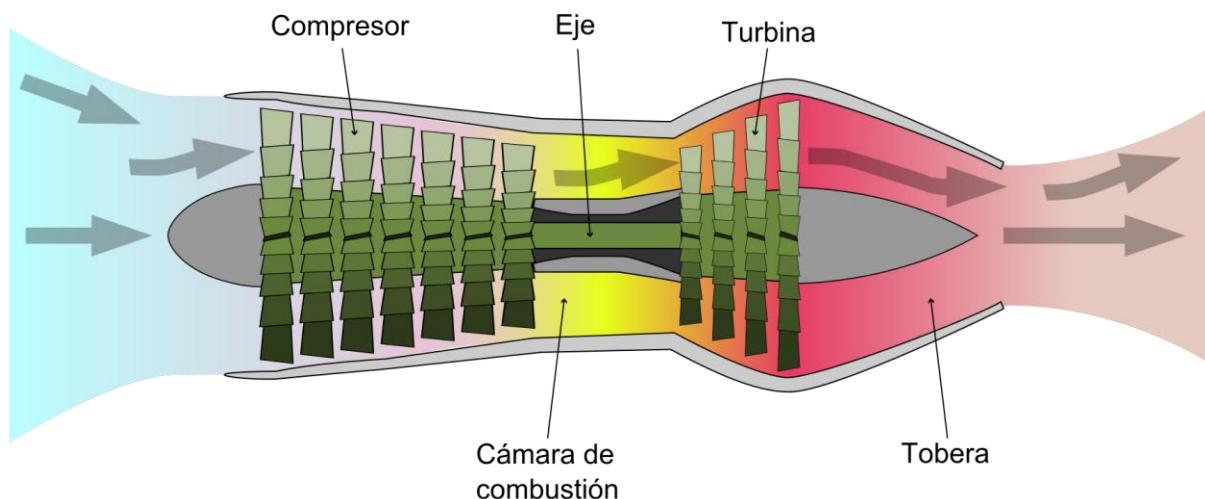
4.1 Turborreactor

Descripción – Fue el primero que existió y el menos complejo de todos. Se usa sobre todo en aviones militares como cazas y en los aviones más antiguos.



Turborreactor GE J85. Fuente: Wikimedia

¿Cómo funciona? – Este motor es de flujo axial, lo que significa que el aire se mueve a través de él siguiendo la dirección de un eje, en este caso el eje que une el compresor y la turbina. Antes de comenzar la explicación del funcionamiento de este motor se recomienda no hacer similitudes con los motores de combustión interna (por ejemplo el motor de un coche) ya que su funcionamiento es totalmente distinto. Un motor turborreactor se divide en tres partes principales que se mencionan por el orden en el que el aire fluye por ellas: compresor, cámara de combustión y turbina.



Esquema de un turborreactor. Fuente: Wikimedia

El compresor y la turbina están formados por una serie de discos en cuya circunferencia se disponen una serie de álabes. Un álabe es una pequeña pala, que tiene una forma helicoidal, como el aspa de un ventilador doméstico y que hace lo mismo al girar que un ventilador, desplazar el aire. En el compresor y la turbina se intercalan discos de álabes móviles con conjuntos de álabes fijos dispuestos en forma radial en las paredes del motor (como en la turbina de una central eléctrica).



Pared de un compresor. Fuente: Iberia mantenimiento



Parte móvil de un compresor. Fuente: Iberia mantenimiento

Cuando el compresor gira crea una diferencia de presión, creando un vacío en el exterior del motor y aumentando la presión en el interior. Para aliviar esa diferencia el aire tiende a ocupar las zonas de baja presión y así se crea el efecto de succión. Así el aire es succionado al interior del motor a través del compresor, el cual fuerza al aire a pasar cada vez más rápido por un espacio más pequeño, comprimiéndolo. A continuación el aire llega a la cámara de combustión, ya a elevada presión y temperatura, donde se mezcla con el combustible. El combustible utilizado por este tipo de motor reacciona cuando está sometido a cierta presión, igual que el diesel. Por eso el combustible hace explosión nada más mezclarse con el aire previamente comprimido por el compresor. A partir de este punto, aparte de tener una masa de aire a presión y temperatura extremas, ya se ha conseguido acelerar una masa de aire hacia atrás que, recordemos de la introducción de este trabajo, es el objetivo primordial de un motor a reacción para generar empuje, pero para que todo esto ocurra primero hay que conseguir que el compresor gire para que pueda succionar aire del exterior y comprimirlo. El aire de la cámara de combustión está sometido a gran presión y como cualquier fluido tiende a aliviar esa presión de la forma más fácil. La única salida para el aire es la tobera (parte de atrás del motor y salida de gases) y para llegar hasta allí tiene que pasar por la turbina. El funcionamiento de la turbina de un motor a reacción es igual que el de la turbina de una central eléctrica: por la propia forma de la turbina esta adquiere movimiento giratorio cuando el aire pasa a través de ella. La turbina está conectada al compresor mediante un eje, por lo que el giro que adquiere la turbina al salir el aire del motor se transmite al

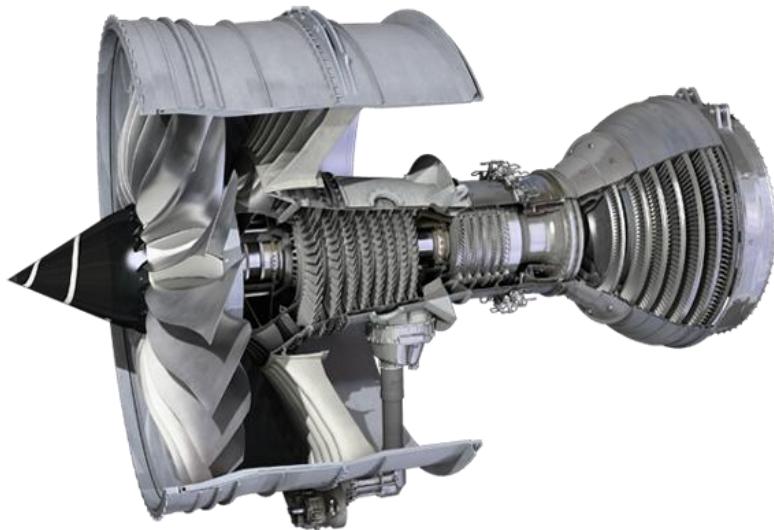
compresor, y este ciclo de retroalimentación se produce todo el rato que el motor está encendido.

Además, algunos motores turborreactores, sobre todo de uso militar, tienen unos componentes extra llamados posquemadores que introducen combustible en la salida de gases del motor. Este sistema aumenta en un 50% la potencia del motor, pero también aumenta sensiblemente el consumo de combustible y el ruido. Cuando este sistema está activado se puede ver una estela roja desde la salida de gases.

4.2 Turboventilador

Descripción – Del inglés “turbofan”, es el motor a reacción más usado hoy en día.

Se usa en la gran mayoría de aviones de línea, aviones de carga, aviones privados y en los aviones de combate más modernos. Son los más eficientes en cuanto a consumo de combustible y emisiones de ruido. También son los más complejos, por lo que resultan más caros de mantener que los turborreactores. El nombre de este motor viene del gran ventilador que tiene en su parte delantera.



Corte de un motor Rolls Royce Trent 1000. Fuente: Rolls Royce

¿Cómo funciona? – La característica principal del funcionamiento de un motor turbofan es que divide el aire en dos flujos distintos, llamados flujo primario y flujo secundario, aunque irónicamente el flujo secundario corresponde al 80 – 90% del aire total que succiona el motor y genera el 75 – 85% del empuje total. La diferencia entre la cantidad de aire que pasa por el flujo secundario y la que pasa por el primario se llama índice de derivación (bypass ratio en inglés). El flujo primario representa el 10 – 20% del aire que succiona el motor, y genera el 15 – 25% del empuje total.

Un motor turboventilador se divide en dos partes principales:

- Fan (ventilador en castellano): es el encargado de succionar el aire al interior del motor. También se encarga de acelerar el flujo secundario.



Ventilador de un motor Rolls Royce Trent 900.

Fuente: airliners.net Copyright: Weimeng

- Propulsor: por él solo pasa el flujo primario. Se divide en las siguientes partes mencionadas por orden de recorrido del aire: compresor de baja presión, compresor de alta presión, cámara de combustión, turbina de alta presión, turbina de baja presión.

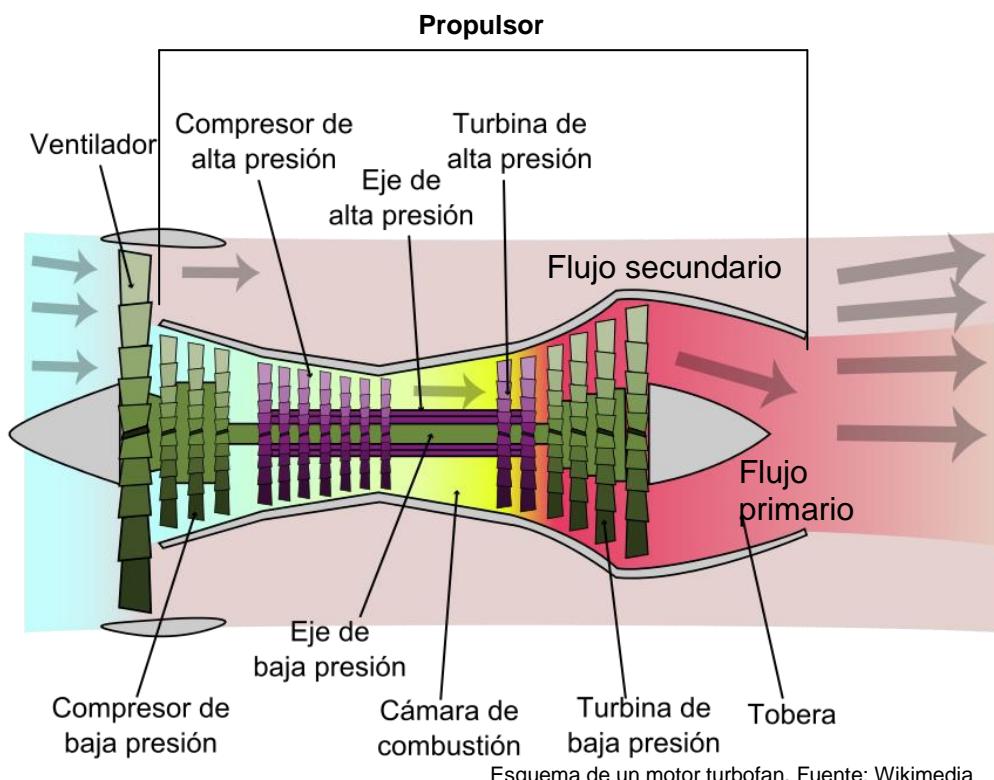


Motor Rolls Royce Trent 700 descapotado con el propulsor visible.

Fuente: airliners.net Copyright: Dana Low

El aire, después de entrar en el motor a través del fan, se divide en dos flujos. El aire del flujo secundario es acelerado hacia atrás por el propio fan, mientras que el aire del flujo primario entra en el propulsor y pasa al compresor de baja presión, el cual comprime el aire haciéndolo pasar a través de una serie alterna de álabes fijos y móviles. Cuando el aire sale del compresor de baja presión está a una temperatura de 450 °C. A continuación pasa al compresor de alta presión, cuyo trabajo es el mismo que el compresor de baja presión, solo que éste gira mucho más rápido, acelerando el aire, que alcanza

una temperatura de 700°C. Después el aire pasa a la cámara de combustión, donde se inyecta el combustible y donde se alcanza la presión y temperatura máxima, unos 1800 °C. Cuando el aire entra en la cámara de combustión lo hace rodeando los inyectores para que la explosión del combustible no se produzca en contacto directo con las paredes de la cámara de combustión. Si no se hiciera así, el motor se derretiría. Como en los turborreactores, en este punto el aire ya está acelerado hacia atrás y a una presión muy elevada, y la única salida es la tobera. Para llegar hasta allí, el aire es forzado a pasar por la turbina de alta presión y por la turbina de baja presión, a las que hace girar. La turbina de alta presión hace girar al compresor de alta presión, y la turbina de baja presión hace girar al compresor de baja presión y al fan. Los flujos primario y secundario se juntan a la salida del motor. En los motores más modernos el índice de derivación es cada vez mayor y el conjunto compresor-turbina de baja presión y el conjunto compresor-turbina de alta presión giran en direcciones opuestas para aumentar la eficiencia.



4.3 Turbohélice

Descripción – este tipo de motor combina la tecnología de la hélice y el motor turborreactor. Se utiliza en aviones regionales y en aviones militares tácticos como el Lockheed C130 Hércules, ya que ofrecen una respuesta mucho más rápida a los cambios en el acelerador que realice el piloto, tienen la capacidad de invertir el empuje en vuelo (algo parecido a intentar frenar un automóvil metiendo la marcha

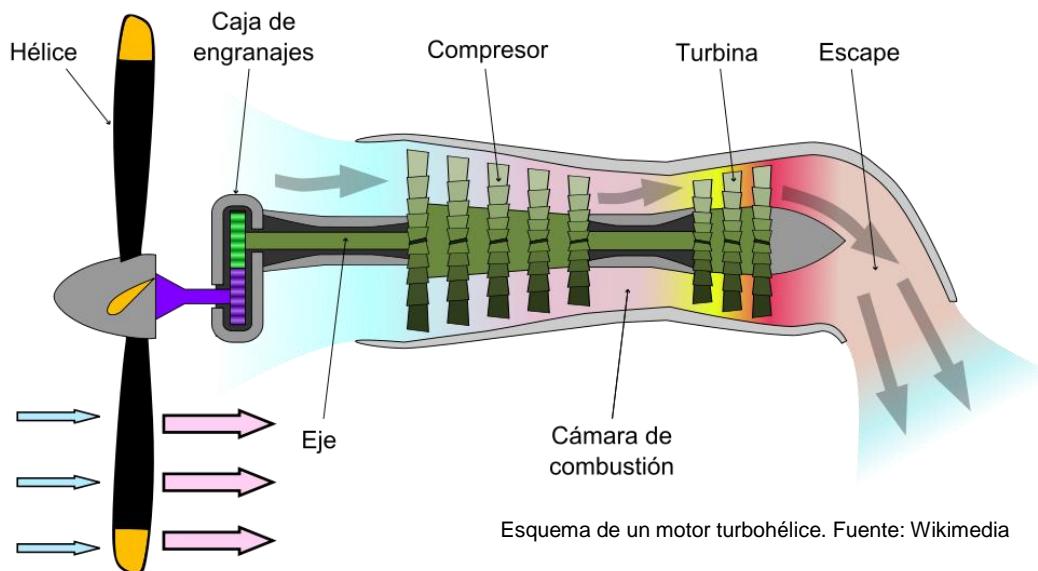
atrás) y son mucho más resistentes a ingestión de objetos sólidos, lo que lo hace perfecto para pistas cortas en aeropuertos pequeños o



operaciones en terrenos sin pavimentar.

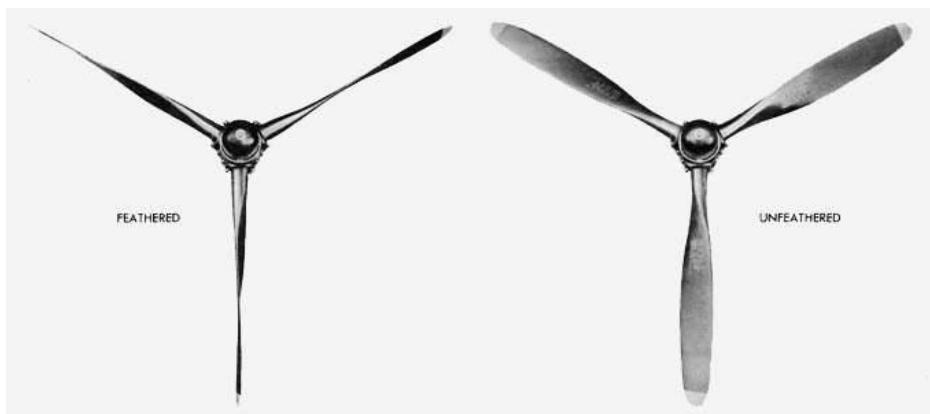
¿Cómo funciona? – Un motor turbohélice es parecido a un motor turbofan, es decir, podemos considerar a la hélice como el fan, pero en este motor el flujo secundario iría por fuera del motor y solo hay un conjunto compresor – turbina. La hélice al girar crea una diferencia de presión: delante de la hélice se crea un vacío, y detrás, el aire se presuriza, y la forma más fácil físicamente de aliviar esa diferencia de presión es empujar el motor hacia adelante. Así es como funciona una hélice, pero como en todos los motores anteriores todavía falta saber cómo se hace rotar la hélice. En los motores de pistón, la hélice la propulsa un motor de combustión interna como el de un coche; pero en los motores turbohélice, la hélice la propulsa un motor turborreactor: una pequeña parte del aire que succiona la

Motor Pratt & Whitney PT27. Fuente: Wikimedia



hélice se introduce en el interior del motor y sigue el mismo camino que seguiría en el caso de un motor turborreactor; llega al compresor (que funciona igual que en los anteriores motores, el aire se hace pasar a través de una serie de álabe

fijos y móviles, cada vez más rápido por un espacio más reducido), después llega a la cámara de combustión y luego a la turbina, antes de salir al exterior (ambas partes funcionan igual que sus homólogas en los dos motores anteriormente explicados). El movimiento de rotación conseguido con la turbina mueve el compresor y la hélice, pero antes de llegar a la hélice pasa por un mecanismo reductor para permitir que el compresor gire a mayor velocidad (la hélice tiene un límite estructural de velocidad de rotación inferior al del compresor) y así aumentar la eficiencia. Aparte mencionar que las palas (cada una de las aspas de la hélice), pueden variar su inclinación (del término pitch en inglés) para cambiar la cantidad de aire que mueven y así adaptarse a cada momento del vuelo.



Ejemplo de ángulo de las palas de una hélice: a la izquierda las palas no forman ángulo con la dirección de avance (no producen propulsión); a la derecha las palas forman un ángulo agudo con respecto a la dirección de avance (producen propulsión).

Fuente: airliners.net

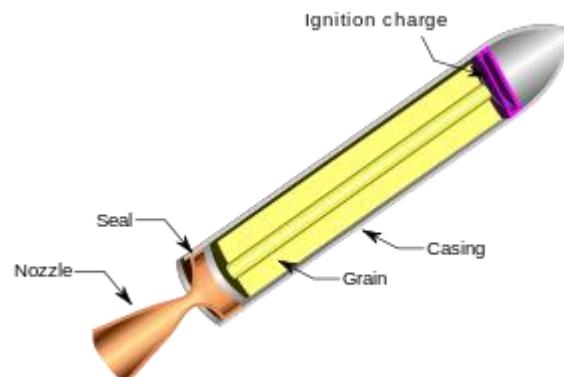
4.4 Motor de cohete

Descripción – Se usa en cohetes, misiles y vehículos espaciales como el transbordador. Se usa en vehículos espaciales ya que un motor de este tipo lleva todos los materiales para producir propulsión (oxígeno y combustible) y no depende del medio exterior. Son los motores más potentes que existen pero también los más ineficientes.



Transbordador espacial estadouniense. Fuente: Taringa

¿Cómo funciona? – Un motor de cohete mezcla aire y combustible y explota la mezcla obteniendo aire presurizado que sale por la tobera. A diferencia de los otros motores vistos, el motor obtiene el oxígeno de un depósito integrado en el vehículo que propulsa. La tobera suele tener forma de embudo y después se ensancha, haciendo que la salida de gases sea pequeña pero luego se permite la liberación de la presión consiguiendo que el fluido se acelere y produzca la mayor fuerza hacia atrás posible.



Esquema de un motor de cohete. Fuente: Wikimedia

5. Certificación

Todos los motores que se utilizan en servicio han de pasar una serie de pruebas de certificación para asegurarse de que no fallen en ninguna situación. Todas estas pruebas se realizan en bancos de pruebas, el homólogo a probar un motor de coche en un laboratorio.



Banco de pruebas de Iberia mantenimiento. Fuente: Iberia mantenimiento

5.1 Prueba de capacidades

Se comprueba que cumple con todas las especificaciones para las que fue diseñado (consumo de combustible, fuerza desarrollada, vibraciones, diferencia de presión entre la entrada y la salida de gases...).

5.2 Ingestión de aves

Todos los motores deben ser capaces de ingerir un ave de tamaño medio (unos 2 kg) y recuperar la normalidad tras tres vueltas, o bien ingerir varias aves y, en caso de que el motor falle (ya sea que se deformen los álabes o que se desprendan partes del motor) el motor tiene que ser capaz de contener el fallo, es decir, evitar que salga metralla. Sobra decir que estas pruebas se hacen con aves congeladas y muertas, no se hace con aves vivas.

5.3 Ingestión de agua

Un motor tiene que ser capaz de seguir funcionando en condiciones de lluvia torrencial y de granizo. Esta prueba se realiza con mangueras que apuntan directamente al motor. El motor debe ser capaz de ingerir unos 2 mil litros de agua por minuto para superar la prueba. También se realizan pruebas de las mismas características con arena y granizo.

5.4 Desprendimiento

El desprendimiento de una pala del ventilador o de cualquier árbol móvil del motor provocaría una situación de desequilibrio que, sumado a las altas velocidades a las que gira un motor, produce una reacción muy violenta que destruiría el motor con toda probabilidad. Esta es una de las pruebas más exigentes y destructivas que un motor debe superar. Se coloca una carga explosiva en la base de una de las palas del fan, se acelera el motor a máxima potencia y entonces se hace explotar la carga que provoca la ruptura de la pala. El motor debe ser capaz de contener la explosión y evitar que salga metralla.

6. Desarrollos futuros

Los objetivos en i+d de motores a reacción son: reducir el peso, reducir el consumo de combustible, reducir emisiones acústicas, reducir emisiones producto de la combustión y reducir los costes de mantenimiento manteniendo el mismo empuje.

6.1 Gear turbofan

Es muy parecido al motor turbofan, con la diferencia de que existe un sistema de cambio de marchas entre el ventilador y el compresor de baja presión. En todo motor, el ventilador tiene un límite estructural de velocidad de giro inferior a la del compresor de baja presión, debido a su gran diámetro. Reduciendo la velocidad de giro del fan respecto a la del compresor no hace falta limitar la velocidad de giro del compresor, permitiendo que el compresor pueda hacer su trabajo (comprimir el aire) con menos etapas (cada etapa corresponde a un disco de álabes móviles seguido por otro de álabes fijos). Este motor reduce la cantidad de piezas (es decir, se reduce el peso y costes de mantenimiento) y permite un mayor índice de derivación (recordemos que el índice de derivación era el porcentaje de aire que pasa por el flujo secundario respecto al total que absorbe el motor).

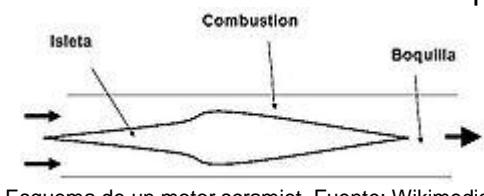
A mayor índice de derivación, mayor eficiencia. El primer motor gear turbofan que entrará en servicio comercial será el Pratt & Whitney PW1000G en el cuarto trimestre de este año.



Motor Pratt & Whitney PW1000G. Fuente: Airbus

6.2 Scramjet

Aunque no es una tecnología nueva, es muy poco utilizada y se investiga para futuros viajes espaciales, ya que no necesita llevar su propio oxígeno. Este motor carece de partes móviles: comprime el aire por su propia forma y su propio movimiento hacia adelante. Tiene la ventaja de que es muy sencillo, pero también la desventaja de que solo se puede encender y mantener en marcha a velocidades supersónicas.



Esquema de un motor scramjet. Fuente: Wikimedia

7. Curiosidades

7.1 El más pequeño y el más grande (que se fabrican en serie)

El motor a reacción más pequeño que existe es el JetCat P20-SE y se usa en aviones de aeromodelismo. Tiene una longitud de 17 centímetros y un diámetro de 6 centímetros (cabe en la palma de una mano) y genera una fuerza de 24 Newtons (lo justo para propulsar un carrito de la compra).



Motor JetCat P20-SE. Fuente: www.alanwheeler.co.uk

Por el otro lado, el motor a reacción más grande del mundo (y también el más potente) es el General Electric GE90-115B, planta motriz del Boeing 777 (el avión bimotor más grande del mundo). Este motor tiene el gigantesco diámetro de 3,43 metros (más ancho que muchos aviones de línea y seguramente más alto que la habitación en la que esté leyendo este trabajo), una longitud de 7,29 metros y un peso de 8 toneladas. Desarrolla una fuerza de 514 kiloNewtons a máxima potencia y tiene el record del vuelo más largo realizado por un avión comercial (de Hong Kong a Londres sobrevolando el pacífico, Estados Unidos y el atlántico).



Motor General Electric GE90-115B. Fuente: forum.airlines-manager.com

7.2 El combustible que utiliza

El combustible más usado es el keroseno. Es un hidrocarburo derivado del petróleo que contiene entre 8 y 16 carbonos por molécula. Tiene una densidad 0,804 kg/L y un punto de ignición de 245°C (por lo que cuando se enciende el motor es necesaria una chispa eléctrica para que el combustible explote). Es muy similar al diesel usado en automóviles, pero tiene dos características que lo hacen idóneo para la aviación: la primera es su menor densidad (el combustible pesa menos) lo que permite que las aeronaves sean más ligeras, y la segunda es su punto de congelación de -47°C en comparación a los -8°C del diesel, factor muy importante ya que las aeronaves suelen volar a gran altura donde la temperatura exterior es del orden de -45°C. Como curiosidad añadir que en aviación el combustible no se mide en litros, sino en kilogramos, ya que es mucho más importante saber el peso que carga un avión que el volumen de combustible.

7.3 ¿Qué energía proporciona un motor?

En aviación, el motor aprovecha el movimiento giratorio de sus partes móviles para suplir de energía eléctrica al avión (necesaria para el funcionamiento de los sistemas) y presión hidráulica (necesaria para mover las superficies de control). En los aviones con cabina presurizada los motores desvían una parte del flujo secundario para presurizar la cabina, es decir, los motores proporcionan el aire que respiramos durante un viaje en avión.

7.4 ¿Cómo se enciende?

Para encender un motor a reacción se proyecta aire presurizado hacia la turbina del motor, de forma que esta empieza a rotar hasta que alcance suficiente velocidad para que el motor absorba el suficiente aire como para empezar a inyectar combustible y el motor se mantenga girando por sí solo. Para conseguir el aire presurizado inicial se puede conectar al motor un generador de aire comprimido externo, o bien se puede usar el APU (Auxiliary Power Unit por sus siglas en inglés) un motor de combustión interna que se encuentra en aviones de cierto tamaño y que tienen el objetivo de suplir de energía eléctrica, hidráulica y pneumática al avión cuando los motores principales estén apagados.

7.5 La marcha atrás de los motores a reacción

Al igual que el motor de un coche, un motor a reacción también puede dar marcha atrás, pero de forma sustancialmente distinta: para dar marcha atrás, en el caso de un motor turborreactor, se cierran unas palas en la tobera del motor que redirigen el aire hacia adelante; si es un motor turbofan, las reverse doors (homólogamente serían como el capó de un coche) se desplazan hacia atrás moviendo unas compuertas que redirigen el aire del flujo secundario hacia adelante, o bien unas aletas se abren en los laterales del motor y redirigen el flujo secundario hacia adelante; o bien si es un motor turbohélice, las palas de la hélice cambian su ángulo de ataque de forma que la diferencia de presión se produce al revés. La capacidad de invertir el empuje se suele utilizar a la hora de frenar un avión durante el aterrizaje (de hecho el ruido más fuerte que se oye cuando un avión frena por la pista es la inversión de empuje de los motores), y rara vez se utiliza durante el rodaje por el aeródromo por dos razones: la primera es que es más seguro utilizar un tractor para dar marcha atrás, ya que la inversión del empuje genera un gran flujo de aire que puede causar desperfectos a los equipos encargados de asistir el avión en la puerta de embarque, además de que puede dañar el motor ya que durante la inversión ingiere sus propios gases de salida; la otra razón es que es más barato sacar el avión de la puerta de embarque con un tractor que con los propios motores.



Motor CFM56-5 con las palas de inversión abiertas.
Fuente: airliners.net Copyright: Jasper Kleine



Motor Engine Alliance GP7000 con las reverse door desplazadas.
Fuente: aviation.stackexchange.com

7.6 Contrails

Todos hemos mirado alguna vez al cielo y hemos visto las estelas blancas que dejan los aviones cuando pasan a gran altura (contrails). Veamos por qué se producen.



Contrails de cuatro motores Rolls Royce Trent 900.
Fuente: airliners.net Copyright: Felix Gottwald

Recordemos que el combustible que se utiliza en motores a reacción es un hidrocarburo, y la combustión de un hidrocarburo produce dos productos principales: dióxido de carbono y agua. El agua sale del motor a una alta temperatura (en estado gas) y se enfriá rápidamente. Si las condiciones ambientales son idóneas, se forman pequeñas gotitas de agua, las cuales forman una nube que es la propia estela. Dependiendo de las condiciones ambientales, las estelas pueden durar desde unos segundos hasta varias horas. Es objeto de debate y de investigación si estas estelas ayudan a reflejar parte de la radiación solar hacia el espacio, o por el contrario contribuyen al efecto invernadero.

8. Conclusión

El motor a reacción es uno de los grandes avances tecnológicos y una de las piezas de ingeniería más avanzadas e ingeniosas del pasado siglo y de este. Ha hecho posible los viajes largos en poco tiempo y la red de transporte y logística que tenemos hoy en día. Aunque no tienen un futuro muy brillante ya que funcionan con combustibles fósiles, los fabricantes están constantemente buscando la manera de hacerlos más eficientes, más ligeros y menos ruidosos para seguir en línea con las exigencias de la sociedad actual.

9. Bibliografía

El contenido de este trabajo está sacado principalmente de páginas web (se recomienda usar traductor, la mayoría de ellas está en inglés):

- Wikipedia:
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_engine
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Turbojet>
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Turbofan>
 - <http://en.wikipedia.org/wiki/Turboprop>
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_car

- http://es.wikipedia.org/wiki/Turborreactor#/media/File:Turbojet_operation-axial_flow-es.svg
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Turbofan#/media/File:Turbofan_operation.svg
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Turboprop#/media/File:Turboprop_operation-en.svg
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel#Jet_B
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_engine
- Airliners.net:
 - <http://www.airliners.net/aviation-articles/read.main?id=85>
 - http://www.airliners.net/aviation-forums/tech_ops/read.main/30762/
 - http://www.airliners.net/aviation-forums/general_aviation/read.main/693079
 - [http://www.airliners.net/photo/UK---Air/Gloster-E28-39-\(mock-up\)/1331795/L/&sid=37da36dde8b8620f47677608480e5db4](http://www.airliners.net/photo/UK---Air/Gloster-E28-39-(mock-up)/1331795/L/&sid=37da36dde8b8620f47677608480e5db4)
 - <http://www.airliners.net/photo/Vueling-Airlines/Airbus-A320-216/1851619/L/>
 - Otras:
 - <http://www.rolls-royce.com/customers/civil-aerospace/products/civil-large-engines/trent-xwb/technology.aspx#technology>
 - <http://aviation.stackexchange.com/questions/6361/why-doesnt-the-a380-use-its-outboard-thrust-reversers>
 - <https://twitter.com/>
 - <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/UEET/StudentSite/engines.html>
 - <http://lifesflightplan.com/2012/02/14/techie-tuesday-how-does-a-jet-engine-work/>
 - <http://www.airbus.com/>