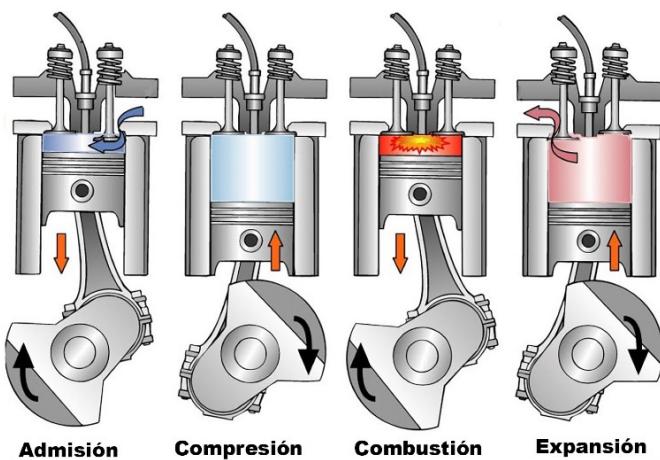


# Propulsión





## Introducción

La física define a la propulsión cómo la acción o movimiento generado a partir de una fuerza determinada que empuja o da impulso a algo. Más precisamente, en la aviación, es la fuerza que empuja al avión para que este tenga velocidad y de ese modo consiga generar sustentación.

Las aeronaves se encuentran propulsadas por dos tipos distintos de motores, que responden a su vez, a dos principios de la termodinámica. Por más que encontramos variantes, como las que se muestra en el gráfico a continuación. Los principios de funcionamiento son dos.

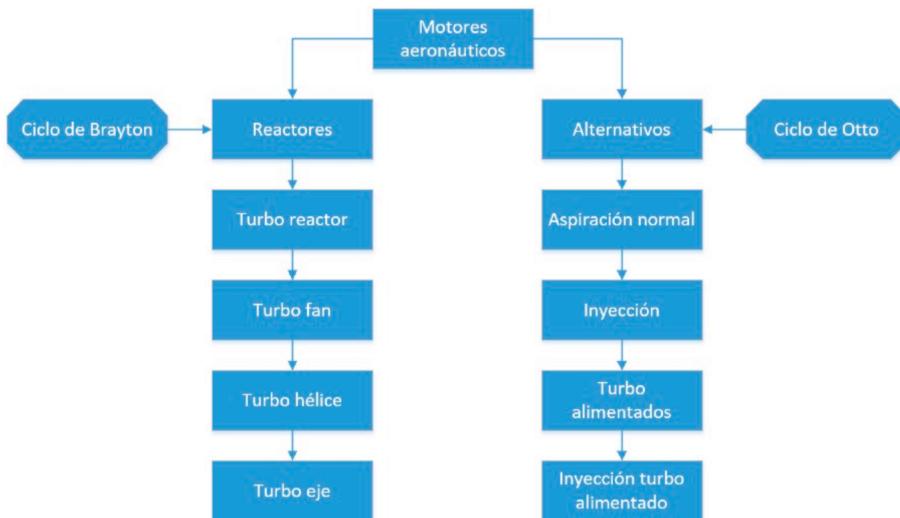


Figura 1. Tipos de motores utilizados en la industria aeronáutica

Los motores alternativos utilizados en la aviación ya tienen más de un siglo de desarrollo. Desde el primer vuelo de los hermanos Wright hasta la actualidad evolucionaron y fueron avanzando en la confiabilidad en paralelo al desarrollo. Los motores a reacción utilizan los principios de las leyes físicas de Newton y el ciclo termodinámico de Brayton para generar

empuje. Entre los motores a reacción más utilizados en la aviación, podemos encontrar los siguientes:

- Turbo reactor (turbojet): fue el primero en desarrollarse y equipar a distintos tipos de aeronaves (civiles y militares). Su origen data de 1930 en Alemania. El motor consiste en un sistema de entrada de aire, una etapa de compresor, una de combustión y otra de turbina impulsada por los gases de escape; ese funcionamiento es el que generaba el empuje que propulsaba a las aeronaves. Un ejemplo típico de este tipo de motor es el Pratt Whitney JT3D que propulsaba a los Boeing 707, Douglas DC-8, Boeing B52, entre otras aeronaves de gran porte.

- Turbo fan: es la evolución del turbo reactor. Si bien posee el mismo principio de funcionamiento, estos motores poseen doble etapa de compresión y expansión de los gases. También cabe remarcar que la combustión en las cámaras se produce solo con un porcentaje del aire que ingresa al motor, el restante pasa por un ducto libre y se une junto con los gases de escape, para conformar el empuje total. Este tipo de motor es el más utilizado en la actualidad en las aeronaves de gran porte. Un ejemplo típico es la serie de motores Rolls Royce Trent, que en sus distintas versiones, propulsan desde los Boeing 757, MD-11, hasta el moderno Boeing 787 Dreamliner (versión Trent 1000).

- Turbo hélice: es un tipo de motor que revolucionó la aviación. Se trata de un reactor que, en vez de producir gases de escape que, a su vez, generan empuje; produce trabajo mecánico que impulsa un eje. Ese eje mueve una caja reductora que impulsa a la hélice. Es el tipo de propulsión más utilizada en aeronaves de medio porte para transporte y entrenamiento. El ejemplo más saliente de este motor es el Pratt Whitney PT6, un turbohélice que equipa desde aeronaves de fumigación aérea como el Air Tractor AT-600 hasta un avión multipropósito de transporte como el Cessna 208 Gran Caravan.

- Turbo eje: no es ni más ni menos que el motor turbohélice adaptado para impulsar las cajas de transmisión de los helicópteros. El motor Turbomeca Arriel es un claro ejemplo, este motor en sus distintas variantes, impulsa a los helicópteros Eurocopter AS 350 B2, AS 350B3, entre otros.

En este libro nos centraremos en los principios de funcionamiento, componentes, particularidades y protección de los motores alternativos (o recíprocos); propulsión utilizada en la gran mayoría de las aeronaves livianas de aviación general. Por lo tanto, empezaremos explicando cual es el principio fundamental del motor alternativo... el Ciclo de Otto.

## **El ciclo Otto vs el Ciclo Brayton**

Antes de responder la pregunta, debemos entender un concepto clave: termodinámica. Es la rama de la física que estudia la interacción entre la temperatura y las distintas manifestaciones de la energía; y desde allí todos los procesos de interacción de estas dos variables. Dicho esto, pasemos al Ciclo de Otto.

El Ciclo de Otto es un ciclo termodinámico que describe el principio físico de funcionamiento de los motores de combustión interna (alternativos o recíprocos en la aviación). Este ciclo fue descubierto en 1876 por el ingeniero alemán Nicolaus Otto (1832-1891) que luego lo aplicó en la invención del primer motor de combustión interna.

Este principio termodinámico rige los motores de combustión interna de dos tiempos y los de cuatro tiempos; en los de cuatro están incluidos los motores diésel. A los efectos del presente libro, nos centraremos en el ciclo de cuatro tiempos, que es el que utilizan los motores alternativos de aviación.

El Ciclo de Otto para motores de cuatro tiempos consta de cuatro instancias o tiempos. Ellos están divididos en: admisión, compresión, combustión y expansión (o escape). En el siguiente gráfico se puede ver cómo se presentan los cuatro tiempos dentro del conjunto cilindro, pistón, cigüeñal.

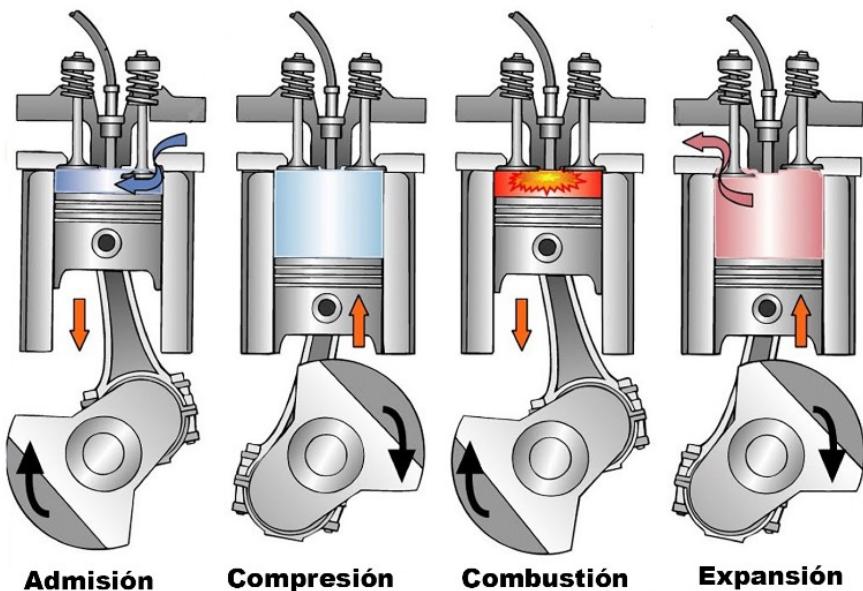


Figura 2. Los cuatro tiempos del motor de combustión interna

Los cuatro tiempos que se observan en la figura anterior comprenden el proceso de secuencia que se da en cada uno de los cilindros del motor. El trabajo generado por cada uno de los pistones, es el que impulsa al cigüeñal para producir el posterior giro de la hélice, y consecuentemente, el efecto aerodinámico que propiciará la propulsión final del avión. Vamos en detalle cómo se produce este fenómeno.

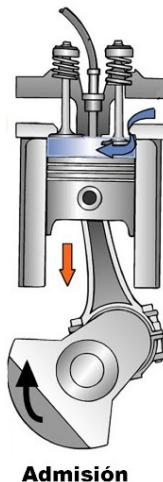
El principio de los cuatro tiempos del motor se produce en una sola vuelta o rpm. Es decir, en una giro completo del cigüeñal se dan los cuatro pasos que a continuación se detallan:

## Admisión

Al abrirse la válvula de admisión del cilindro, mientras que la de escape permanece cerrada, ingresa la masa de aire a la cámara del cilindro. Este fenómeno se produce por el efecto de aspiración que realiza el pistón durante la carrera de retroceso, hacia el punto muerto inferior.

El pistón actúa como un émbolo que succiona el aire durante ese recorrido. Cuando el conjunto biela y pistón alcanzan al punto muerto inferior, habrá ingresado la cantidad de aire necesaria para la combustión.

El movimiento descendente del pistón se produce por la acción de la biela, que se encuentra solidaria con el cigüeñal. El cigüeñal, es justamente, el encargado de producir el movimiento de todas las bielas y pistones dentro de cada uno de los cilindros, de modo secuencial y armonizado.



**Admisión**

## Compresión

Luego de haber alcanzado el punto muerto inferior, el conjunto biela pistón inician el camino inverso hacia el punto muerto superior. Cuando el pistón alcanza el punto muerto inferior, la válvula de admisión se cierra, generando una cámara sellada dentro del cilindro. A medida que avanza el recorrido del pistón sobre las paredes del cilindro, el aire contenido se comprime.



**Compresión**

Cuando el pistón alcanza el punto muerto superior, la masa de aire se encuentra en su máximo valor de compresión. El conjunto biela pistón mantiene la posición alcanzada por un fragmento de segundo, hasta que se inicia la fase siguiente.

## Combustión

Con la cámara del cilindro completa de aire comprimido y ambas válvulas cerradas, ingresa el combustible y a continuación se genera la chispa de la bujía inserta en el cilindro. La acción del arco que genera la bujía hace que el combustible vaporizado junto con la masa de aire dentro del cilindro, entren en ignición repentinamente; y produzcan una explosión controlada.

La explosión del combustible, como cualquier otra explosión, produce una gran liberación de energía; en forma de calor y presión. El incremento repentino de la presión en la cámara impulsa al émbolo (conjunto pistón biela) hacia el punto muerto inferior. Instante donde comienza la cuarta instancia del ciclo. Una vez que se produjo la combustión, se genera la apertura de la válvula de escape, para permitir la salida de subproductos de la combustión hacia el escape.



## Expansión

La presión contenida en la cámara luego de la combustión, produce un efecto de expansión que, literalmente, empuja al émbolo (conjunto pistón biela) hacia el punto muerto interior. La acción que produce la energía de expansión de la combustión, se transforma en trabajo mecánico que transmite la biela hacia el cigüeñal.

Ya con la válvula de escape cerrada, durante la última fase de la expansión, se produce la apertura de la válvula de admisión, para dar lugar nuevamente al inicio del primer ciclo de admisión.

Los cuatro tiempos descriptos en los párrafos anteriores se dan de modo secuencial en cada uno de los cilindros del motor. El trabajo mecánico que cada uno de ellos transmite hacia el cigüeñal es el que luego se convertirá en la fuerza y velocidad con que ese componente gire. Es decir, la energía que producen cada uno de los conjuntos de cilindro y la velocidad en la secuencia en que se da el proceso, son las variables que se traducen en revoluciones por minuto (rpm) y caballos de fuerza (hp) o caballos de vapor (CV).



**Expansión**

El ciclo de Otto, en teoría, es un ciclo termodinámico adiabático ideal. Sin embargo, en la práctica, las transformaciones que se presentan en la cámara del cilindro no se desarrollan en un volumen constante. Por lo tanto, el Ciclo de Otto, queda limitado a una expresión teórica de base y fundamento para el principio físico que se genera en el motor de combustión interna.

El rendimiento o eficiencia del motor depende de la relación de compresión. Esa relación es la expresión del volumen máximo disponible en la cámara sellada del cilindro, delimitada entre el punto muerto máximo superior y el punto muerto máximo inferior. La relación de compresión del motor es la que genera el requerimiento del tipo de nafta (octanaje) necesario para la optimización de la energía de expansión de combustión. En los motores de uso aeronáutico, el uso de combustible está limitado al AVGAS 100 LL; más adelante se desarrollarán las particularidades de esta nafta de bajo contenido en plomo usada en la aviación.

Por otro lado debe considerarse la relación entre la masa de aire y el combustible que generan la explosión. Esta relación se la conoce como “mezcla”, más adelante nos referiremos específicamente a este concepto. De momento, lo que es importante señalar es que la mezcla es una relación específica de cantidades de aire y combustible que dan como resultado una explosión con una liberación controlada de energía. La proporción de combustible y aire de la mezcla se la denomina en química como proporción o relación estequiométrica; este término define a las soluciones donde cada uno de los elementos constitutivos se encuentran presentes en una cantidad determinada, con el objetivo de dar como resultado la reacción deseada... en este caso una reacción exotérmica controlada de temperatura y presión.

## **El Ciclo de Brayton**

A contraposición de lo que se desarrolló en los párrafos anteriores, mencionaremos las generalidades del principio termodinámico que utilizan los motores a reacción mencionados al inicio de la obra.

El Ciclo de Brayton o Ciclo de Joule o Ciclo de Froude es el principio termodinámico de un fluido compresible (aire) que, consiste en una etapa de compresión, una de calentamiento y una expansión adiabática. Este principio simple, es la base de funcionamiento de una infinidad de procesos en la industria, y por sobre todo, es la base teórica fundamental del motor a reacción.

La aplicación de la turbina de gas basada en el ciclo Brayton a la propulsión aérea se debe al ingeniero inglés Frank Whittle, quien en 1927 patentó la idea y la propuso a la fuerza aérea inglesa. Una serie de expertos liderados por Alan Arnold Griffith estudiaron en los años anteriores, las posibilidades técnicas de la turbina de gas como medio de propulsión