

DOPPLER: DEFINICIÓN

El efecto Doppler fue escrito por primera vez por el matemático y físico austriaco Christian Doppler (1803-1853).



Es la variación de la frecuencia percibida respecto de la emitida, debido al movimiento de un Emisor de ondas y/o del observador relativos al medio por el que las ondas se propagan.

Este efecto se produce para cualquier movimiento ondulatorio siempre que el emisor de ondas y/o el observador se muevan.

DOPPLER: DEFINICIÓN

Si el observador y el emisor están quietos la frecuencia percibida por el observador es la misma que la emitida por el emisor

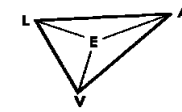
•



Pero si alguno se mueve la frecuencia percibida por el observador ya no es la misma

•





1) Fuente sonora moviéndose y un observador en reposo

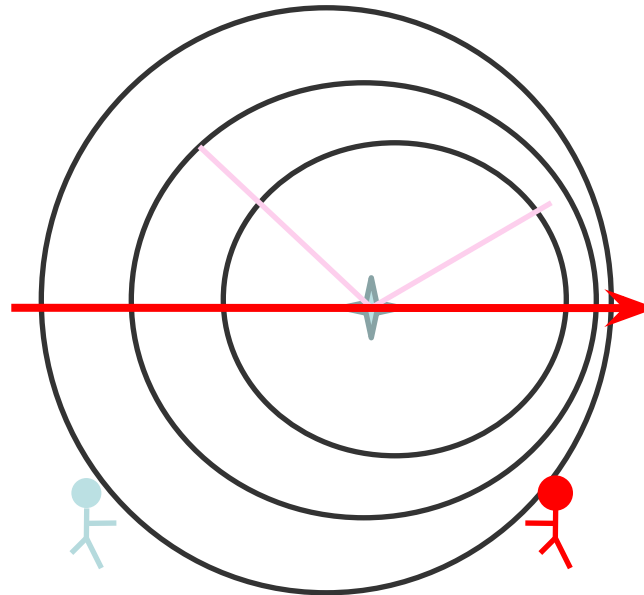
Quando el emisor se está moviendo acercándose al observador, entonces los frentes de ondas se irán aproximando unos a otros generando un cambio de longitud de onda, en cambio si se está alejando del observador los frentes de onda se irán espaciando.

$$1) \lambda_i = \frac{V_s + V_e}{f_e}$$

$$2) f_{oi} = \frac{V_s}{\lambda_i}$$



$$\frac{V_s}{f_{oi}} = \frac{V_s + V_e}{f_e}$$

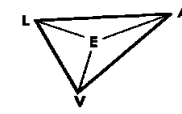


$$3) \lambda_d = \frac{V_s - V_e}{f_e}$$

$$4) f_{od} = \frac{V_s}{\lambda_d}$$



$$\frac{V_s}{f_{od}} = \frac{V_s - V_e}{f_e}$$



1) Fuente sonora moviéndose y un observador en reposo

$$\frac{V_S}{f_{oi}} = \frac{V_S + V_e}{f_e}$$



.



$$\frac{V_S}{f_{od}} = \frac{V_S - V_e}{f_e}$$

$$\frac{f_e}{f_{oi}} = \frac{V_S + V_e}{V_S}$$

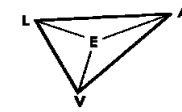
$$\frac{f_e}{f_{od}} = \frac{V_S - V_e}{V_S}$$



$$f^o = \frac{f^e}{\left(1 \pm \frac{V_e}{V_s}\right)}$$



Donde el signo negativo indica que el emisor se aproxima y el signo positivo que la emisor se aleja.

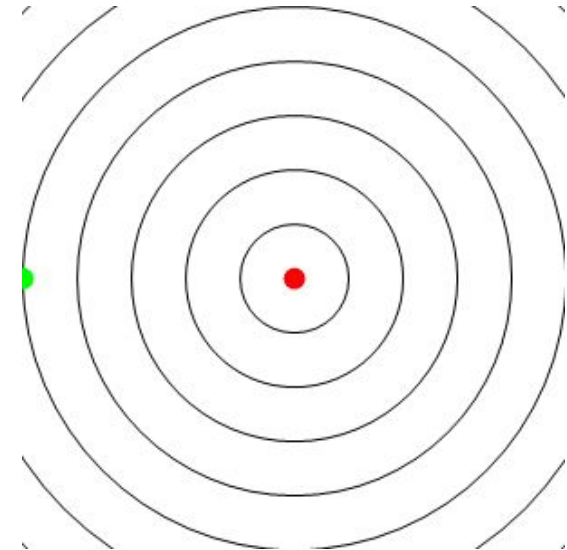


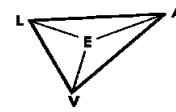
2) Fuente en reposo y el observador en movimiento

Si el observador se mueve con velocidad V_0 y se aproxima o se aleja de la fuente en reposo, entonces no habrá variación en la longitud de onda pero si en la frecuencia, teniendo la expresión:

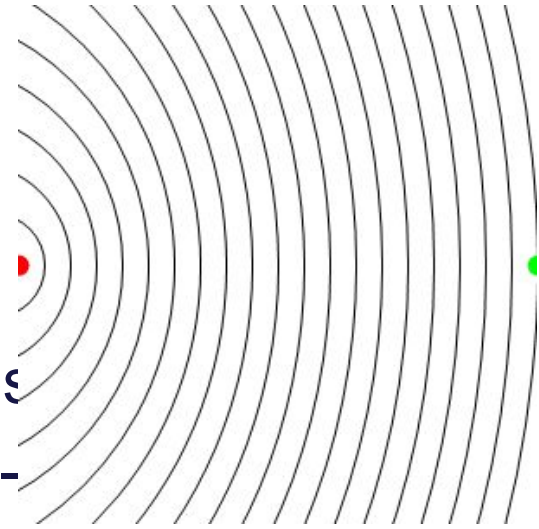
$$f^o = f^e \left(1 \pm \frac{V_o}{V_s} \right)$$

Donde el signo positivo indica que el observador se aproxima y el signo negativo, que el observador se aleja.





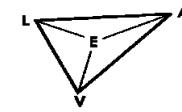
3) Fuente y el observador en movimiento, combinación caso 1) y 2)



cuando se “acercan” se usan los signos superiores
cuando se “alejan” se usan los signos inferiores (-

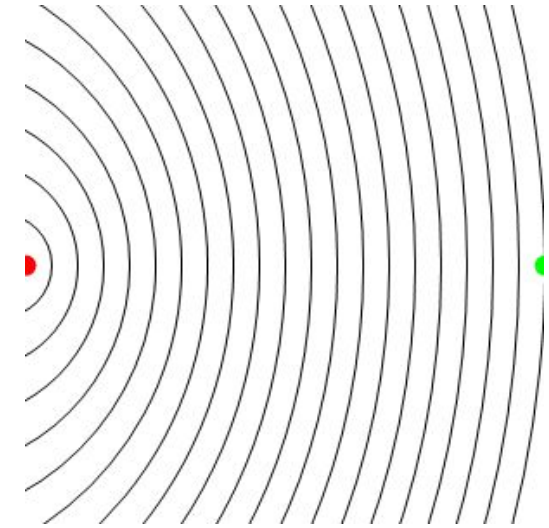
$$f' = f \frac{\left(1 \pm \frac{V_o}{V_s}\right)}{\left(1 \mp \frac{V_e}{V_s}\right)} \quad \longrightarrow \quad f^o = f^e \left(\frac{V_s \pm V_o}{V_s \mp V_e} \right)$$

- La velocidad del observador es:
 - Positiva, $v_o > 0$, cuando el observador se mueve (respecto al medio) en el sentido que lo aleja de la fuente
 - Negativa, $v_o < 0$, cuando se mueve hacia la posición de la fuente
- La velocidad de la fuente es
 - Positiva, $v_s > 0$, cuando la fuente se mueve (respecto al medio) hacia la posición que ocupa el observador
 - Negativa, $v_s < 0$, cuando se mueve en el sentido que lo aleja del observador.

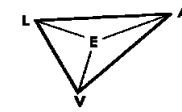


3) Fuente y el observador en movimiento, combinación caso 1) y 2)

$$f^o = f^e \frac{\left(1 \pm \frac{V_o}{V_s}\right)}{\left(1 \pm \frac{V_e}{V_s}\right)} \longrightarrow f^o = f^e \left(\frac{V_s - V_o}{V_s - V_e}\right)$$



DOPPLER: DESCRIPCION DEL FENOMENO



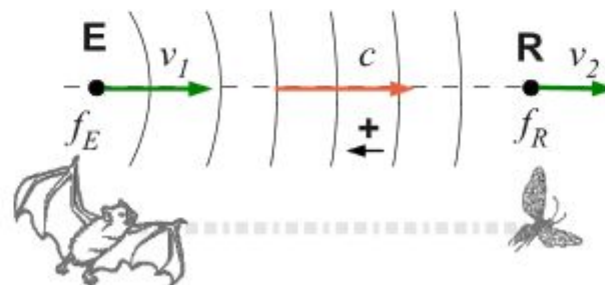
Un murciélago que persigue una mosca emite ultrasonidos a una frecuencia de 55 kHz. El murciélago se mueve a $v_1 = 13 \text{ m/s}$ y la mosca a $v_2 = 2,4 \text{ m/s}$ ambos en la misma recta y no hay viento apreciable. Calcular en estas condiciones:

- (a) Frecuencia con la que llegan las ondas a la mosca.
- (b) Frecuencia que detectará el murciélago para el sonido reflejado en la mosca.

Solución

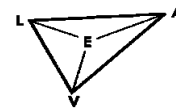
- (a) Frecuencia con la que llegan las ondas a la mosca.

En este caso el murciélago es el emisor y su velocidad es $v_E = -v_1$ ya que el murciélago persigue (se acerca) a la mosca. La mosca es el receptor y $v_R = -v_2$ ya que la mosca se intenta alejar (huye) del murciélago:



Ondas que llegan a la mosca.

DOPPLER: DESCRIPCION DEL FENOMENO



observador-----mosca

emisor-----murcielago

$$f^o = f^e \left(\frac{V_s \pm V_o}{V_s \boxtimes V_e} \right) \longrightarrow f^o = 55000 \frac{1}{s} \left(\frac{340 - 2.4}{340 - 13} \right)$$

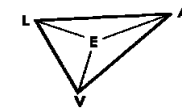
$$f^o = 56.78 \text{khz}$$

Punto b)

observador-----murcielago

emisor-----mosca

$$f^o = 56780 \frac{1}{s} \left(\frac{340 + 13}{340 + 2.4} \right) \longrightarrow f^o = 58.54 \text{khz}$$



4) Efecto del Viento

Si se mueve rígidamente de forma uniforme, la generalización de las fórmulas anteriores es sencilla. Si conocemos las velocidades de la fuente V_e , el observador V_o , el aire V_a respecto a un sistema externo (como el suelo), basta con calcular previamente las velocidades del emisor y el receptor relativas al aire. Con esto, la fórmula general queda:

$$f^o = f^e \left(\frac{V_{s/T} - V_{o/T}}{V_{s/T} - V_{e/T}} \right)$$

$$V_{sonido/aire} - V_{aire/Tierra} = V_{sonido/Tierra}$$

4) Romper la barrera del sonido



Singularidad de Prandtl-Glauert

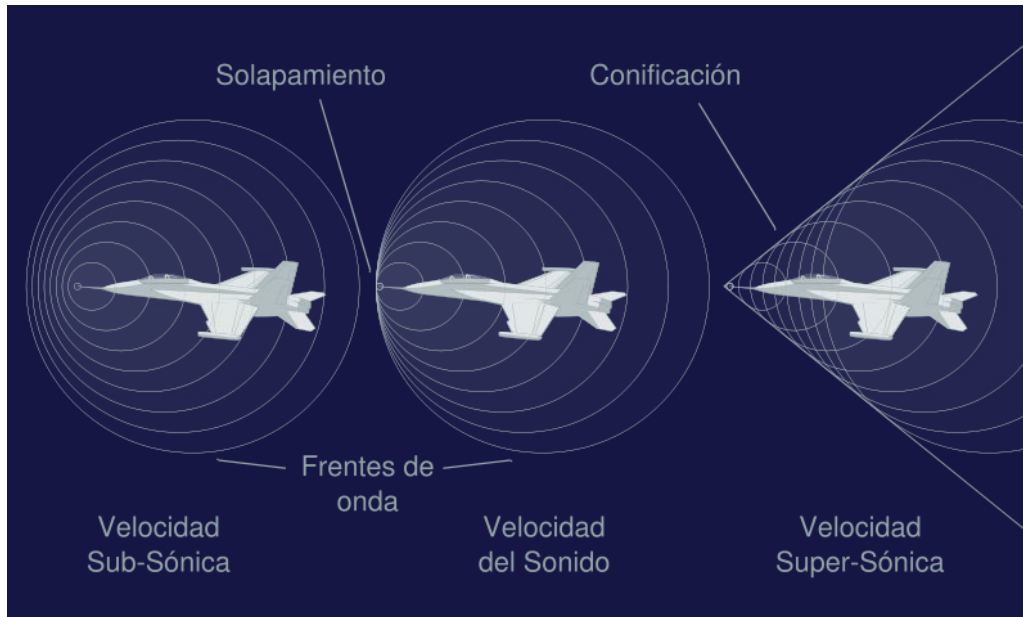
Este halo blanco que se forma en torno al avión es aire comprimido. Cuando un avión se acerca a la velocidad del sonido, las ondas sonoras que genera se desplazan casi a la misma velocidad que el aparato con lo que no pueden adelantarlo, de manera que se van acumulando delante del avión formando el muro de aire comprimido.

Cuando el avión acelera por encima de la velocidad del sonido, adelanta a este muro (el sonido va ahora más despacio que el avión, con lo que las ondas ya no pueden seguirlo) “rompiéndolo”; esta rotura provoca el llamado “estampido sónico”.

4) Romper la barrera del sonido



4) Romper la barrera del sonido



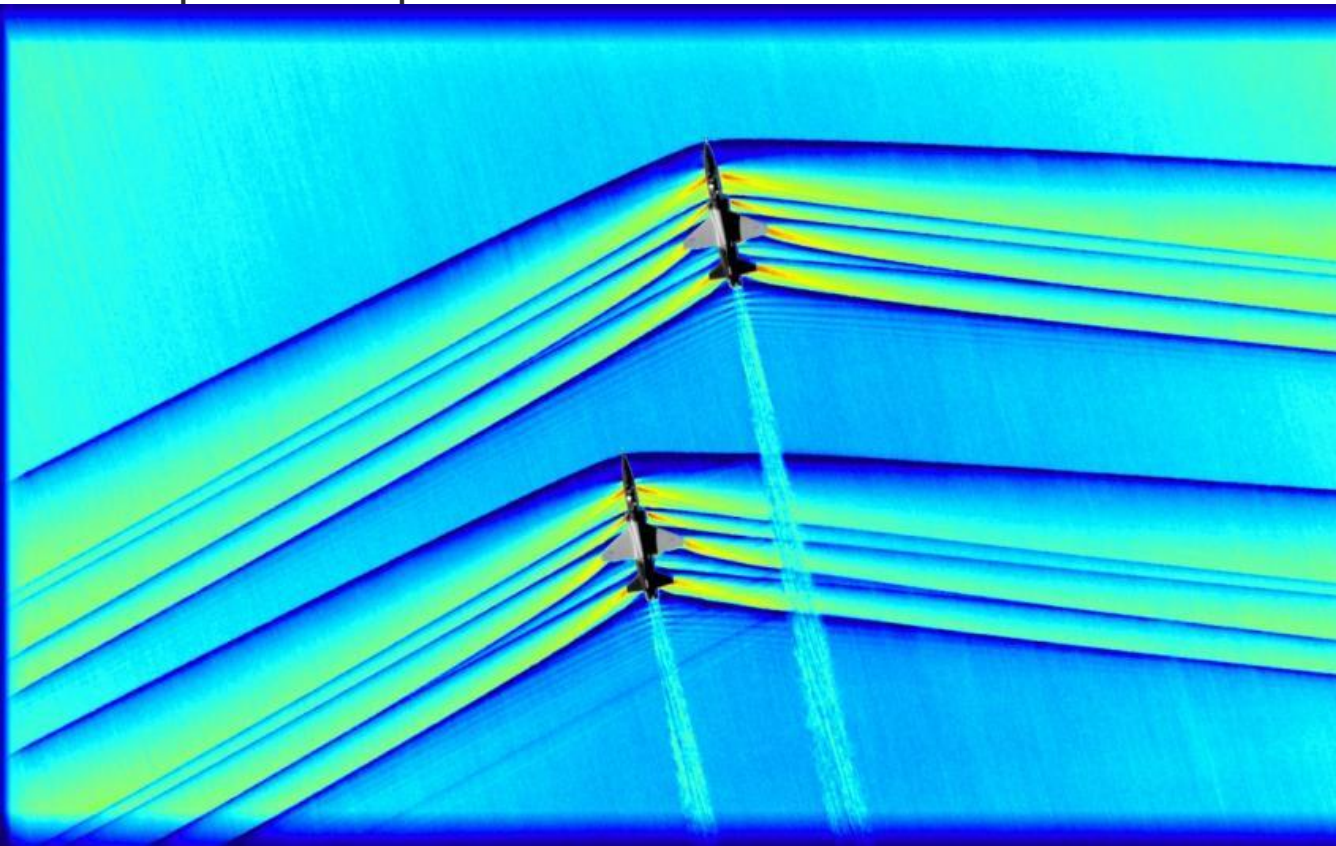
Para un observador quieto

$$f^o = \lim_{V_s \rightarrow V_e} f^e \left(\frac{1}{1 - \frac{V_e}{V_s}} \right)$$

Se denomina **explosión sónica**, **boom sónico** o **estampido sónico** al componente audible de la onda de choque provocada por un avión cuando sobrepasa la velocidad Mach 1.

4) Romper la barrera del sonido

Estas imágenes se han tomado desde una nave [NASA B-200 King Air](#) volando a 30.000 pies. Los aviones supersónicos de las fotos son los modelos [Northrop T-38](#) y T-34, volando en formación cerrada a una distancia de 2.000 pies del B-200, con tan solo 10 pies de separación entre ellos.



Para capturar las fotos se ha utilizado **una cámara especial de alta sensibilidad** capaz de reflejar los cambios en las ondas del aire. Funciona a una velocidad de **1400 frames por segundo**, así que es capaz de capturar fotos a ultra cámara lenta.

4) Romper la barrera del sonido Número Mach (M)

Es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto

Este número fue propuesto por el físico y filósofo austríaco Ernst Mach (1838-1916), uno de los más grandes teóricos de la física de los siglos XIX-XX, como una manera sencilla de expresar la velocidad de un objeto con respecto a la velocidad del sonido.

Se observa con frecuencia en aviones militares, aunque también lo pueden provocar aviones civiles, como el ya retirado de servicio Concorde, capaz de alcanzar Mach 2.03, o la Lanzadera espacial, que llega a Mach 27.