

El Efecto Doppler de una Fuente de Sonido Moviéndose en un Círculo

Leopoldo Sanczyk – Julio Marin – Ariel Novoa
Sergio Baliño – Edgar Mata

l_sanczyk@hotmail.com; nec_31@hotmail.com; j_eidolon@hotmail.com;

FICEN – Universidad Favaloro - 2003

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo es estudiar experimentalmente el efecto Doppler para una fuente de sonido en movimiento circular uniforme. Se analizó el fenómeno en sus dos variantes: emisor en movimiento - receptor estacionario y emisor estacionario - receptor en movimiento. Nuestros resultados pueden ser explicados muy bien por un modelo basado en el efecto Doppler.

INTRODUCCION:

El efecto Doppler es un cambio en la frecuencia observada cuando el emisor o el receptor se mueven relativamente al medio. Para el sonido la frecuencia observada f' está dada en términos de la frecuencia de emisión f por:

$$f'(V_D, V_S) = \frac{C \pm V_D}{C + V_S} \quad (1)$$

nota: la formula esta expresada en términos de la magnitud de la velocidad, suponiendo un modelo unidimensional, en que todos la velocidades se realizan sobre un mismo eje. v_D es la velocidad del receptor relativa al medio, v_S es la velocidad de la fuente, y C es la velocidad del sonido en el medio. Los signos son elegidos de modo que f' tienda a ser mayor para el movimiento (del receptor o la fuente) 'hacia' y menor para el movimiento 'desde'.

Para estudiar el efecto Doppler de una fuente en movimiento circular^[2] debemos distinguir la magnitud de v_D y v_S en función del tiempo. Para esto necesitamos hacer algunas consideraciones geométricas basadas en la figura 1.

$$v_{D/S} = v \cos(\gamma)$$

Con v la velocidad tangencial de la fuente y γ el ángulo entre v y v_D / v_S . Si T es el periodo de rotación de la fuente y R el radio de la circunferencia, entonces

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

que da

$$v = \frac{2\pi R \cos(\gamma)}{T} \quad (2)$$

Observando los ángulos en la figura 1, encontramos que $\theta + 2\alpha = \pi$ y $\alpha + \gamma = \pi/2$. Despejando γ obtenemos $\gamma = \theta/2$. Para una v constante, $\theta = 2\pi t/T$ que deja a $\gamma = \pi t/T$. Sustituyendo γ en la ecuación (2):

$$v_{D/S} = \frac{2\pi R}{T} \cos(\pi t/T)$$

Sustituyendo esto en la ecuación (1) obtenemos las ecuaciones para nuestro experimento.

$$f' = f \frac{C}{C \pm 2\pi R/T \cdot \cos(\pi t/T)} \quad f' = f \frac{C \pm 2\pi R/T \cdot \cos(\pi t/T)}{C} \quad (3)$$

emisor en movimiento *receptor en movimiento*

Nota: el signo \pm depende de que emisor y receptor se alejen o se acerquen y se aplica de forma contraria para numerador y denominador.

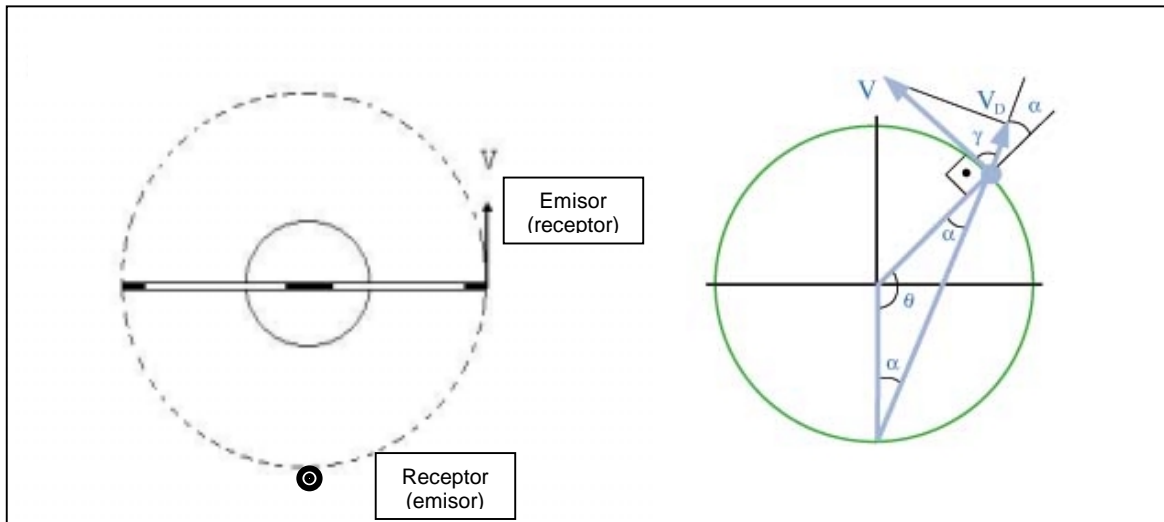


Fig.1. Descripción geométrica teórica del experimento.

EXPERIMENTO

El dispositivo usado (Fig.2) constaba de un motor de corriente continua, controlado por una fuente variable, que nos permitió variar la velocidad de rotación de la barra. Este se encontraba montado sobre una base de madera. Una varilla hueca de aluminio de cerca de 2 metros de longitud estaba unida al eje del motor mediante un sistema de sujeción y giraba a velocidad constante. Esta se encontraba rellena, y aislada en sus extremos, con telgopor para evitar que transmita el sonido. La fuente de sonido era un resonador piezoeléctrico (buzzer) de (4 - 15 Vcc de alimentación) con una frecuencia de $2800\text{Hz} \pm 400\text{Hz}$ alimentado con una batería de 9v. El receptor fue alternativamente, un micrófono analógico común y uno inalámbrico. Los datos fueron adquiridos por una PC y luego procesados

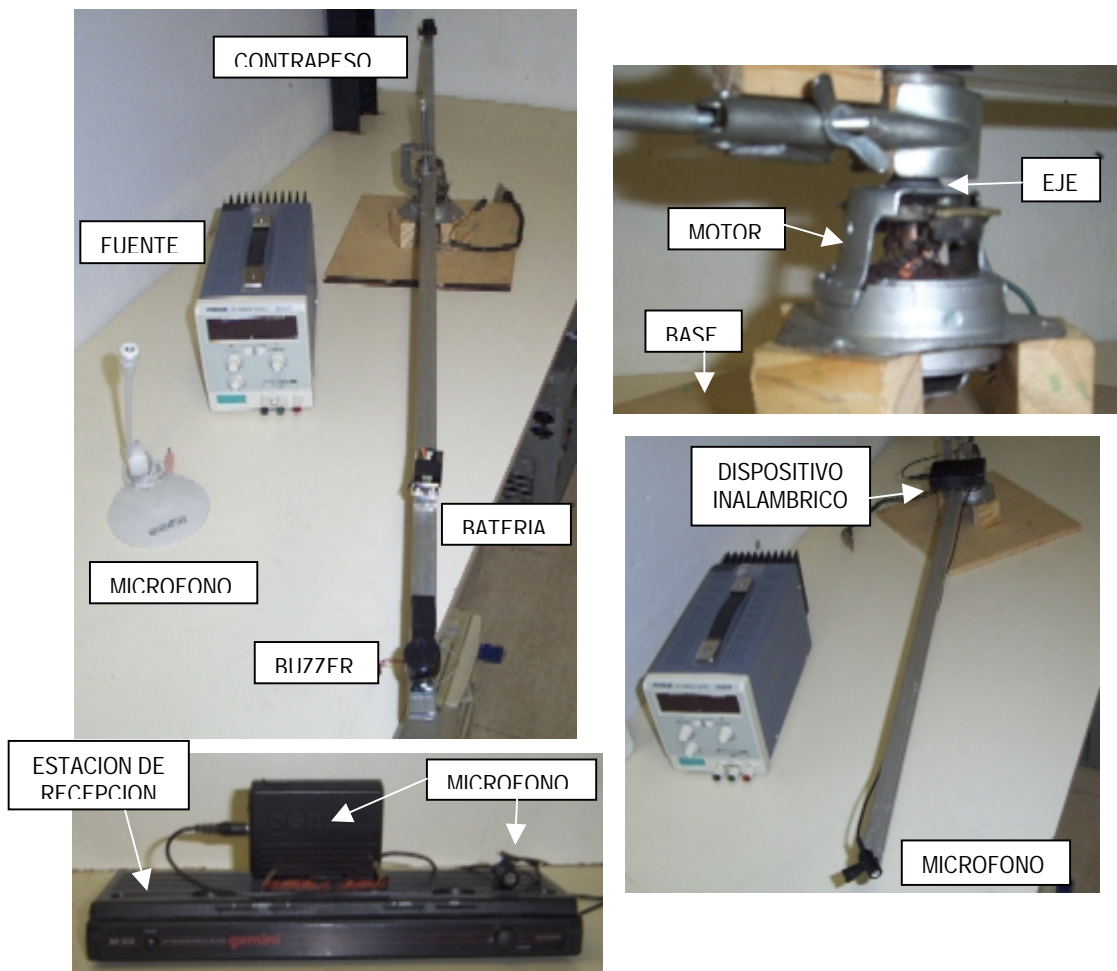


Fig.2. Dispositivo experimental.

La primer variante del efecto Doppler en ser realizada fue la del receptor estático y el emisor en movimiento. Para esto se sujeto el buzzer sobre uno de los extremos del dispositivo experimental y se colocó el micrófono fijo sobre un punto de la trayectoria de giro del buzzer. Para la variante del emisor estático y el receptor en movimiento se invirtió la posición del buzzer y el micrófono utilizando un dispositivo inalámbrico con su

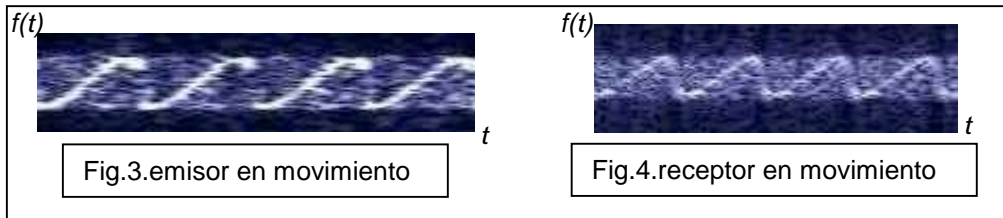
estación de recepción conectada a la placa de audio de la computadora. Para la primera parte de este experimento el dispositivo es similar al usado en la referencia (1). Para la segunda parte usamos una configuración que nosotros diseñamos.

RESULTADOS

De acuerdo a las condiciones en que realizamos el experimento ($P \approx 1 \text{ atm}$ y $T \approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$) determinamos la velocidad del sonido apropiada ($C \approx 346 \text{ m/s}$).

Mediante la utilización de un software de medición y realizando una captura de datos con el dispositivo en reposo, determinamos que la frecuencia central del piezoeléctrico utilizado (buzzer), era de aproximadamente 2935 Hz .

La figuras 3 y 4 muestran las señales obtenidas, mediante el uso de la PC, para las dos variantes del efecto Doppler.



Los datos adquiridos fueron procesados como se explica en el **apéndice de análisis** y obtuvimos así gráficas de frecuencia en función del tiempo, para ambos experimentos, que comparamos con la frecuencia teórica correspondiente (véase Fig.5 y Fig.6).

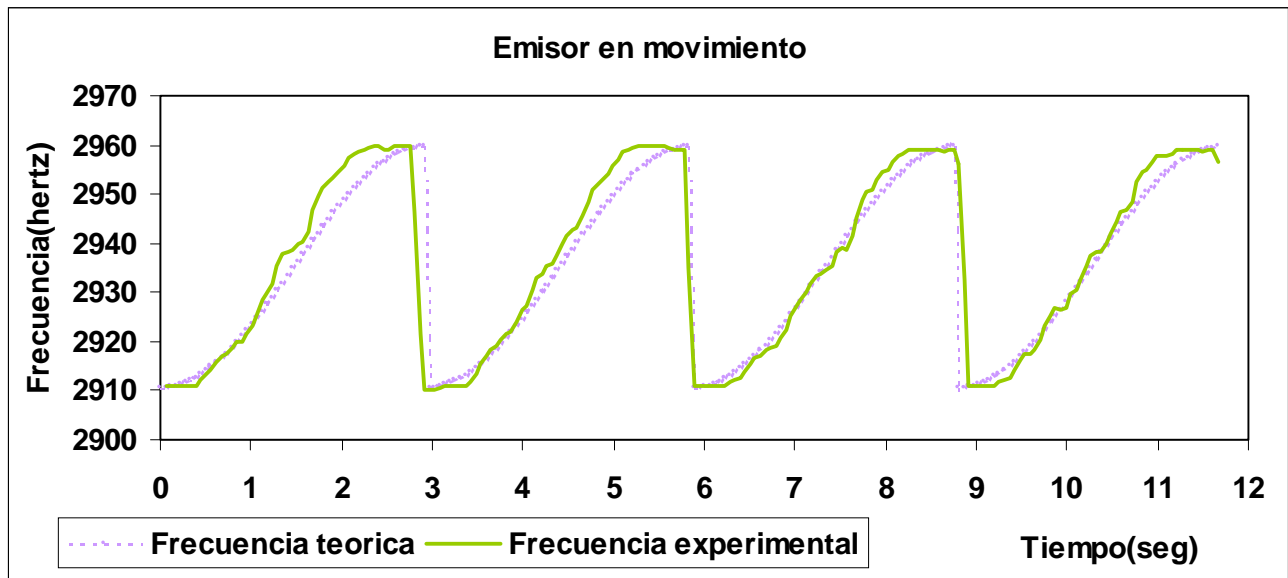


Fig.5. Gráfica en función del tiempo de la frecuencia teórica y los datos experimentales para el efecto Doppler con el emisor en movimiento.

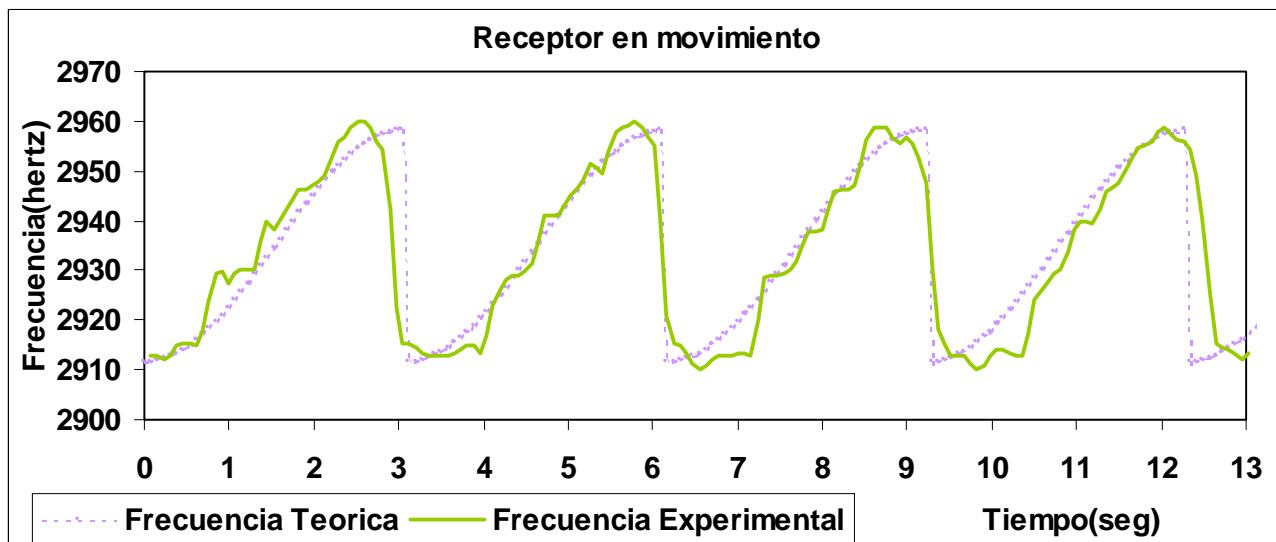


Fig.6. Gráfica en función del tiempo de la frecuencia teórica y los datos experimentales para el efecto Doppler con el receptor en movimiento.

Como podemos observar, el ajuste de la frecuencia experimental a la frecuencia teórica es más bien cualitativo. Está limitado a numerosos factores, como ser: la calidad del buzzer, la ganancia del micrófono y hasta inclusive el formato de compresión con el que se manejaron las imágenes digitalizadas. A su vez la segunda variante del efecto Doppler presenta dificultades técnicas que devienen en una señal mas confusa de analizar (véase Fig.6 y Fig.7).

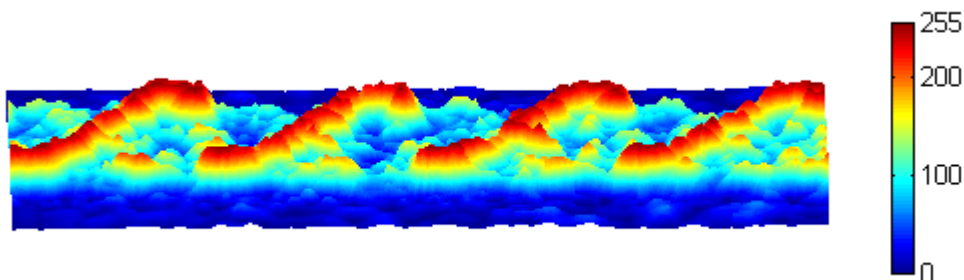


Fig.6. Representación de la señal como superficie tridimensional.

El análisis nos demostró lo siguiente. La frecuencia del buzzer registrada se incrementa hasta su máximo valor cuando este se acerca al micrófono(máxima velocidad de aproximación) Y esta decrece abruptamente hasta el mínimo justo después que el buzzer pasa sobre el micrófono(máxima velocidad de alejamiento). Cuando el buzzer se encuentra en el extremo opuesto al micrófono, no hay movimiento de alejamiento o aproximación entre ellos. Por eso la frecuencia registrada es la misma que la que produce el buzzer en reposo. Es así como el efecto Doppler produce que la frecuencia recibida varíe periódicamente al rededor de la frecuencia de emisión.

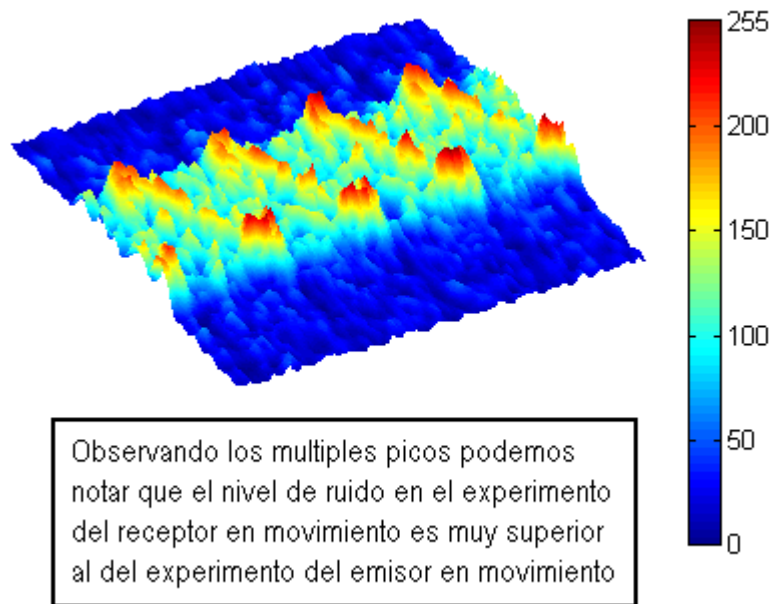


Fig.7. Representación de la calidad de la señal del experimento del receptor en movimiento.

CONCLUSION

Los resultados encontrados nos permiten deducir que cuando existe movimiento relativo entre emisor y receptor la frecuencia del sonido recibido difiere de la frecuencia del sonido emitido. Si receptor y emisor se aproximan la frecuencia recibida será mayor a la emitida. Por el contrario, si estos se distancian, la frecuencia recibida será menor que la emitida..

Podemos concluir entonces, que los resultados experimentales concuerdan de buena manera con las predicciones teóricas para cualquiera de las dos variantes del efecto Doppler estudiadas.

REFERENCIAS

1. HALLIDAY D., RESNICK R., WALKERS, Fundamentals Of Physics, 5th edition, John Wiley, New York, 1997
2. SABA M.M.F., " The Doppler Effect of a Sound Source Moving in a Circle", The Physics Teacher, Vol. 41, No. 2, pp. 89–91, Feb. 2003- <http://www.aapt.org/tpt>