

Informe 7: Efecto *Doppler*

Carlos Eduardo Caballero Burgoa

200201226@est.umss.edu

23 de junio de 2021

Grupo: J2

Docente: Ing. Milka Mónica Torrico Troche

Carrera: Ing. Electromecánica

Resumen

Este documento detalla el experimento realizado en simulador para hallar la relación funcional entre los diferentes casos posibles del efecto *Doppler*, además del hallar el valor de la velocidad del sonido en el medio; para esto se realizó la medición de las velocidades y frecuencias, tanto de un emisor de onda sonora como de un receptor; posteriormente se calculó las relaciones funcionales con el método de mínimos cuadrados y finalmente se determinó el valor de la velocidad del sonido, resultando ser: $343[m/s]$.

1. Introducción

Cuando un emisor y un receptor de ondas sonoras están en movimiento relativo con respecto al medio en el cual se propagan (**Figura 1**), la frecuencia de las ondas recibidas es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas. Este fenómeno, descrito por primera vez por el científico austriaco del siglo XIX *Christian Doppler* [1].

Para analizar ese fenómeno, solo se considerará el caso especial en que las velocidades del emisor y el receptor se encuentran a lo largo de la línea que los une.

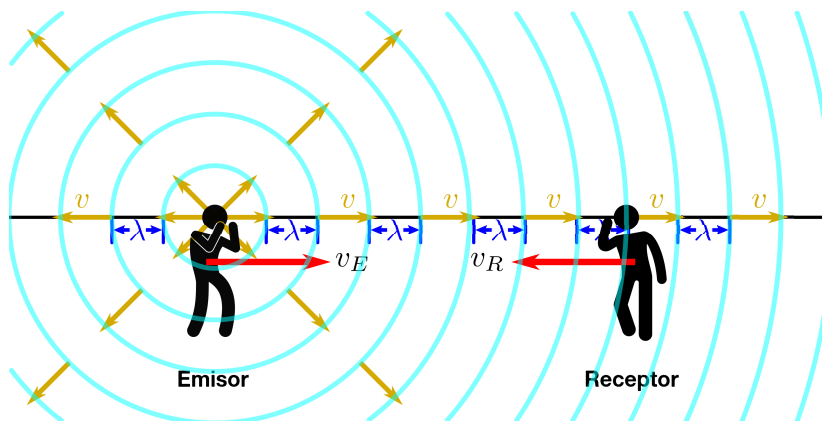
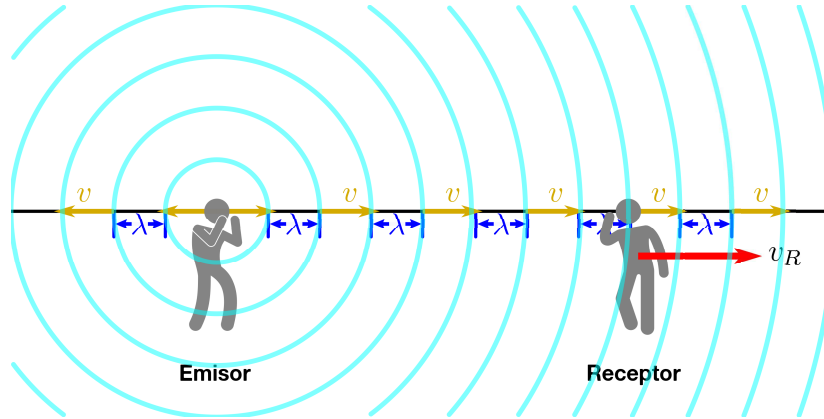


Figura 1: Emisor de sonido y receptor en movimiento relativo.
Nota: Elaboración propia.

**Figura 2:** Receptor en movimiento y emisor estacionario.**Nota:** Elaboración propia.

Se consideran tres posibles casos.

1.1. Receptor en movimiento y emisor estacionario

Sea un receptor (R) que se mueve con velocidad (v_R) alejándose de un emisor estacionario (E) como en la **Figura 2**. El emisor emite una onda sonora con frecuencia (f_E) y longitud de onda ($\lambda = v/f_E$).

La rapidez de la onda sonora se acerca al receptor en movimiento con una rapidez de propagación relativa igual a: $(v - v_R)$.

Por tanto la frecuencia que el receptor capta es:

$$f_R = \frac{v - v_R}{\lambda} = \frac{v - v_R}{v/f_E} = \left(\frac{v - v_R}{v} \right) f_E$$

$$f_R = \left(1 - \frac{v_R}{v} \right) f_E \quad (1)$$

Desarrollando la ecuación, se obtiene:

$$f_R = f_E - \frac{f_E}{v} v_R \quad (2)$$

Por tanto, un receptor que se mueve hacia un emisor ($v_R < 0$) percibe una frecuencia más alta (tono más agudo) que el emitido. Y un receptor que se aleja del emisor ($v_R > 0$) percibe una frecuencia más baja (tono más grave).

1.2. Emisor en movimiento y receptor estacionario

Sea un emisor (E) que se mueve con velocidad (v_E) hacia un receptor estacionario (R) como en la **Figura 3**. La rapidez de la onda relativa al medio sigue siendo (v); que no cambia por el movimiento del emisor.

La longitud de onda ya no es igual a: v/f_E , y varía tanto por delante del movimiento, como por detrás de él.

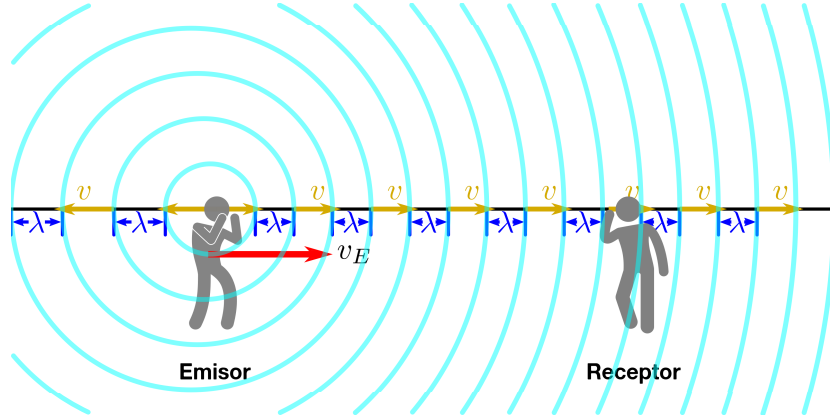


Figura 3: Emisor en movimiento y receptor estacionario.

Nota: Elaboración propia.

$$\lambda_{\text{delante}} = \frac{v - v_E}{f_E}$$

$$\lambda_{\text{detrás}} = \frac{v + v_E}{f_E}$$

Las ondas adelante y atrás del emisor se comprimen y se estiran respectivamente por el movimiento.

Por tanto la frecuencia que el receptor capta es:

$$f_R = \frac{v}{\lambda_{\text{delante}}}$$

$$f_R = \left(\frac{v}{v - v_E} \right) f_E \quad (3)$$

Desarrollando la ecuación, se obtiene:

$$(v - v_E) f_R = v f_E$$

$$v f_R - v_E f_R - v f_E = 0$$

$$(v_E f_R) = v (f_R - f_E) \quad (4)$$

1.3. Emisor en movimiento y receptor en movimiento

Para el caso en que el emisor (E) y el receptor (R) están en movimiento, se combinan ambas consideraciones hechas en los casos anteriores.

Por tanto la frecuencia que el receptor capta es:

$$f_R = \left(\frac{v - v_R}{v - v_E} \right) f_E \quad (5)$$

Desarrollando la ecuación, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 (v - v_E) f_R &= (v - v_R) f_E \\
 v f_R - v_E f_R &= v f_E - v_R f_E \\
 v_R f_E - v_E f_R &= v f_E - v f_R \\
 (v_R f_E - v_E f_R) &= v (f_E - f_R)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Para el experimento se verificará las relaciones funcionales descritas en las **Ecuaciones (2), (4) y (6)**, midiendo los valores de velocidad del emisor (v_E), velocidad del receptor (v_R), además de la frecuencia emitida (f_E), y la frecuencia percibida (f_R).

Posteriormente se despejará en cada ecuación, el valor de la velocidad del sonido en el medio utilizado.

2. Método experimental

Para la realización del experimento, se emplea el simulador «*oPhysics: Interactive Physics Simulations*», ubicado en la dirección web: <https://ophysics.com/w11.html>, tal como se presenta en la **Figura 4**.

2.1. Receptor en movimiento y emisor estacionario

Se registrarán los valores de frecuencia percibida (f_R), para diferentes valores de velocidad del receptor (v_R).

Una vez registrados los datos, se procederá a graficar la relación (v_R vs. f_R), y con la ayuda del método de los mínimos cuadrados, se hallará la relación funcional entre las variables.

Finalizando con el calculo del valor de la velocidad del sonido (v), a partir de la **Ecuación 2**:

$$B = -\frac{f_E}{v}$$

Despejando v , se obtiene:

$$v = -\frac{f_E}{B} \tag{7}$$

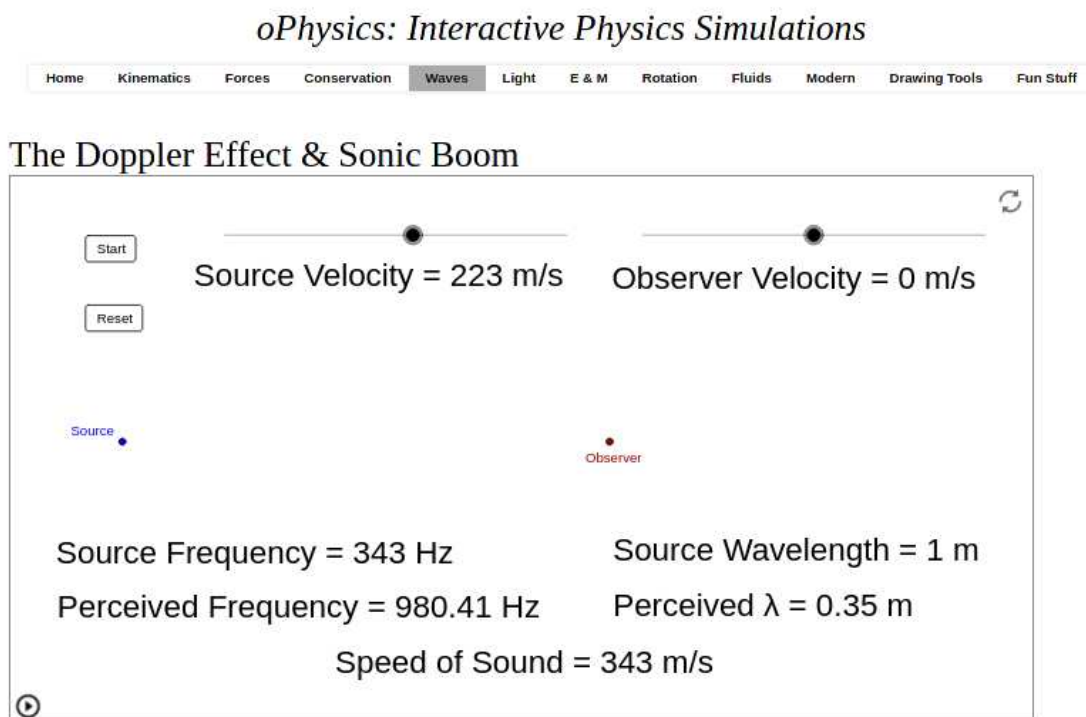
Datos necesarios para el experimento:

Frecuencia sonora emitida:

$$f_E = 343[\text{Hz}]$$

Datos tomados en el experimento:

En el **Cuadro 1**, se pueden ver los valores tomados del experimento, tanto la velocidad del receptor (v_R) como la frecuencia percibida (f_R).

**Description**

Explore the Doppler Effect for sound and Sonic Boom. Use the sliders to adjust the speed of the sound source and the sound observer.

Figura 4: Simulador de efecto *Doppler*.

Nota: Captura propia.

| i | $v_R[m/s]$ | $f_R[Hz]$ |
|-----|------------|-----------|
| 1 | -100 | 443 |
| 2 | -80 | 423 |
| 3 | -60 | 403 |
| 4 | -40 | 383 |
| 5 | -20 | 363 |
| 6 | 0 | 343 |
| 7 | 20 | 323 |
| 8 | 40 | 303 |
| 9 | 60 | 283 |
| 10 | 80 | 263 |
| 11 | 100 | 243 |

Cuadro 1: Mediciones de la frecuencia percibida por un receptor con un emisor estacionario.

Nota: Elaboración propia.

2.2. Emisor en movimiento y receptor estacionario

Se registrarán los valores de frecuencia percibida (f_R), para diferentes valores de velocidad de emisor (v_E).

Una vez registrados los datos, se procederá a graficar la relación $((f_R - f_E) \text{ vs. } (v_E f_R))$, con la ayuda del método de los mínimos cuadrados, se hallará la relación entre las variables.

Finalizando con el calculo del valor de la velocidad del sonido (v), a partir de la **Ecuación 4**:

$$B = v \quad (8)$$

Datos necesarios para el experimento:

Frecuencia sonora emitida:

$$f_E = 343[Hz]$$

Datos tomados en el experimento:

En el **Cuadro 2**, se pueden ver los valores tomados del experimento, tanto la velocidad del emisor (v_E) como la frecuencia percibida (f_R).

2.3. Emisor en movimiento y receptor en movimiento

Se registrarán los valores de frecuencia percibida (f_R), para diferentes valores de velocidad de emisor (v_E) y velocidad del receptor (v_R).

Una vez registrados los datos, se procederá a graficar la relación $((f_E - f_R) \text{ vs. } (v_R f_E - v_E f_R))$, con la ayuda del método de los mínimos cuadrados, se hallará la relación entre las variables.

| i | $v_E[m/s]$ | $f_R[Hz]$ | $f_R - f_E$ | $v_E f_R (1 \times 10^4)$ |
|-----|------------|-----------|-------------|---------------------------|
| 1 | -100 | 265.57 | -77.4300 | -2.6557 |
| 2 | -80 | 278.13 | -64.8700 | -2.2250 |
| 3 | -60 | 291.93 | -51.0700 | -1.7516 |
| 4 | -40 | 307.18 | -35.8200 | -1.2287 |
| 5 | -20 | 324.10 | -18.9000 | -0.6482 |
| 6 | 0 | 343.00 | 0 | 0 |
| 7 | 20 | 364.24 | 21.2400 | 0.7285 |
| 8 | 40 | 388.28 | 45.2800 | 1.5531 |
| 9 | 60 | 415.72 | 72.7200 | 2.4943 |
| 10 | 80 | 447.33 | 104.3300 | 3.5786 |
| 11 | 100 | 484.15 | 141.1500 | 4.8415 |

Cuadro 2: Mediciones de la frecuencia percibida por un receptor estacionario con un emisor en movimiento.

Nota: Elaboración propia.

Finalizando con el calculo del valor de la velocidad del sonido (v), a partir de la **Ecuación 6**:

$$B = v \quad (9)$$

Datos necesarios para el experimento:

Frecuencia sonora emitida:

$$f_E = 343[Hz]$$

Datos tomados en el experimento:

En el **Cuadro 3**, se pueden ver los valores tomados del experimento, tanto la velocidad del emisor (v_E), la velocidad del receptor (v_R), como la frecuencia percibida (f_R).

3. Resultados

3.1. Receptor en movimiento y emisor estacionario

A partir de los datos obtenidos se genera la gráfica de la **Figura 5**.

Posteriormente se calculo la recta de mejor ajuste por el método de los mínimos cuadrados, resultando los siguientes valores:

$$A = (343 \pm 0)[Hz]; 0 \%$$

$$B = (-1.0 \pm 0)[m^{-1}]; 0 \%$$

| i | $v_E[m/s]$ | $v_R[m/s]$ | $f_R[Hz]$ | $f_E - f_R$ | $v_R f_E - v_E f_R (1 \times 10^4)$ |
|-----|------------|------------|-----------|-------------|-------------------------------------|
| 1 | -100 | -100 | 343.00 | 0 | 0 |
| 2 | -100 | -50 | 304.29 | 38.7100 | 1.3279 |
| 3 | -100 | 0 | 265.57 | 77.4300 | 2.6557 |
| 4 | -100 | 50 | 226.86 | 116.1400 | 3.9836 |
| 5 | -100 | 100 | 188.15 | 154.8500 | 5.3115 |
| 6 | -50 | -100 | 386.64 | -43.6400 | -1.4968 |
| 7 | -50 | -50 | 343.00 | 0 | 0 |
| 8 | -50 | 0 | 299.36 | 43.6400 | 1.4968 |
| 9 | -50 | 50 | 255.72 | 87.2800 | 2.9936 |
| 10 | -50 | 100 | 212.08 | 130.9200 | 4.4904 |
| 11 | 0 | -100 | 443.00 | -100.0000 | -3.4300 |
| 12 | 0 | -50 | 393.00 | -50.0000 | -1.7150 |
| 13 | 0 | 0 | 343.00 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 50 | 293.00 | 50.0000 | 1.7150 |
| 15 | 0 | 100 | 243.00 | 100.0000 | 3.4300 |
| 16 | 50 | -100 | 518.60 | -175.6000 | -6.0230 |
| 17 | 50 | -50 | 460.06 | -117.0600 | -4.0153 |
| 18 | 50 | 0 | 401.53 | -58.5300 | -2.0076 |
| 19 | 50 | 50 | 343.00 | 0 | 0 |
| 20 | 50 | 100 | 284.47 | 58.5300 | 2.0076 |
| 21 | 100 | -100 | 625.30 | -282.3000 | -9.6830 |
| 22 | 100 | -50 | 554.73 | -211.7300 | -7.2623 |
| 23 | 100 | 0 | 484.15 | -141.1500 | -4.8415 |
| 24 | 100 | 50 | 413.58 | -70.5800 | -2.4208 |
| 25 | 100 | 100 | 343.00 | 0 | 0 |

Cuadro 3: Mediciones de la frecuencia percibida por un receptor en movimiento con un emisor en movimiento.

Nota: Elaboración propia.

Siendo su coeficiente de correlación (r):

$$r = -1$$

Considerando que el modelo de ajuste es:

$$f_R = A + Bv_R$$

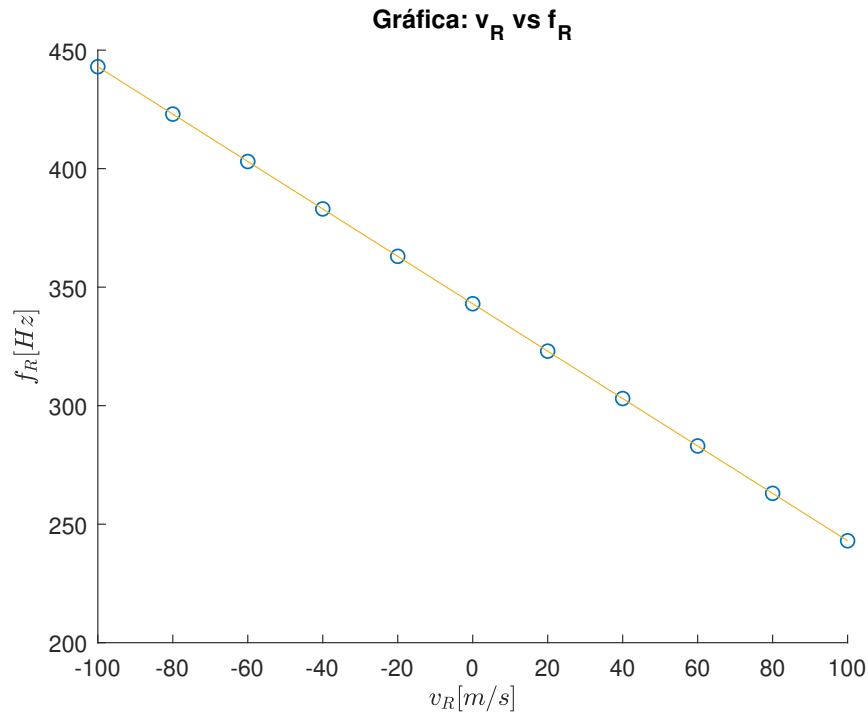


Figura 5: Relación funcional entre v_R y f_R .

Nota: Elaboración propia.

Por tanto, se comprueba la relación funcional entre f_R y v_R .

| Resultado |
|-------------------|
| $f_R \propto v_R$ |

Para el cálculo de la velocidad del sonido (v) se utiliza la **Ecuación 7**, resultando:

| Resultado |
|------------------------------|
| $v = (343 \pm 0)[m/s]; 0 \%$ |

3.2. Emisor en movimiento y receptor estacionario

A partir de los datos obtenidos se genera la gráfica de la **Figura 6**.

Posteriormente se calcula la recta de mejor ajuste por el método de los mínimos cuadrados, resultando los siguientes valores:

$$A = (0.4 \pm 0.2)[m/s^2]; 65.32 \%$$

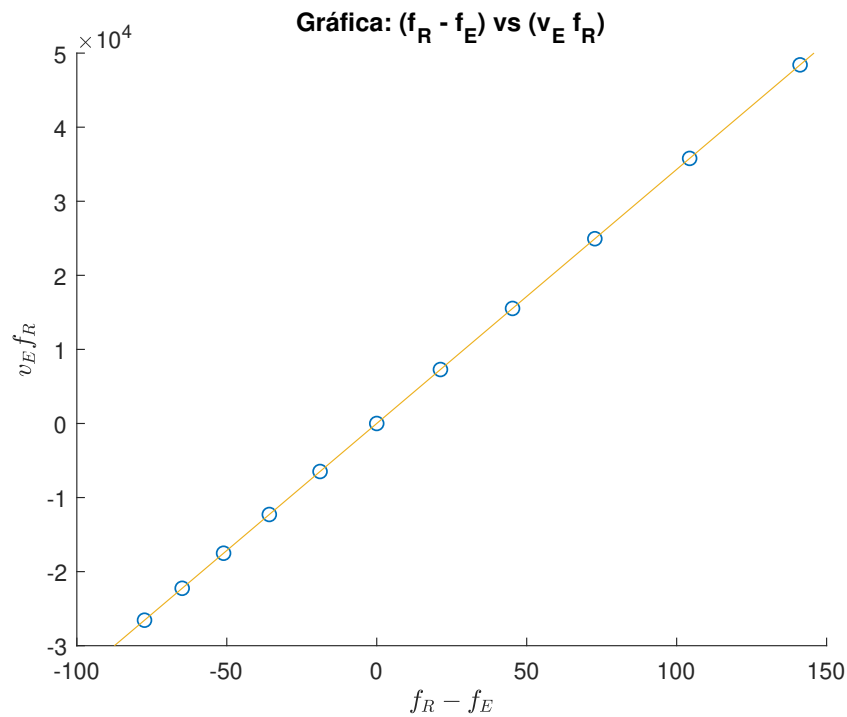


Figura 6: Relación funcional entre $(f_R - f_E)$ y $(v_E f_R)$.

Nota: Elaboración propia.

$$B = (343.000 \pm 0.003)[m/s]; 0.001 \%$$

Siendo su coeficiente de correlación (r):

$$r = 1.0000$$

Considerando que el modelo de ajuste es:

$$(v_E f_R) = A + B(f_R - f_E)$$

Por tanto, se comprueba la relación funcional entre $(f_R - f_E)$ y $(v_E f_R)$.

| Resultado |
|---------------------------------|
| $(f_R - f_E) \propto (v_E f_R)$ |

Para el calculo de la velocidad del sonido (v) se utiliza la **Ecuación 8**, resultando:

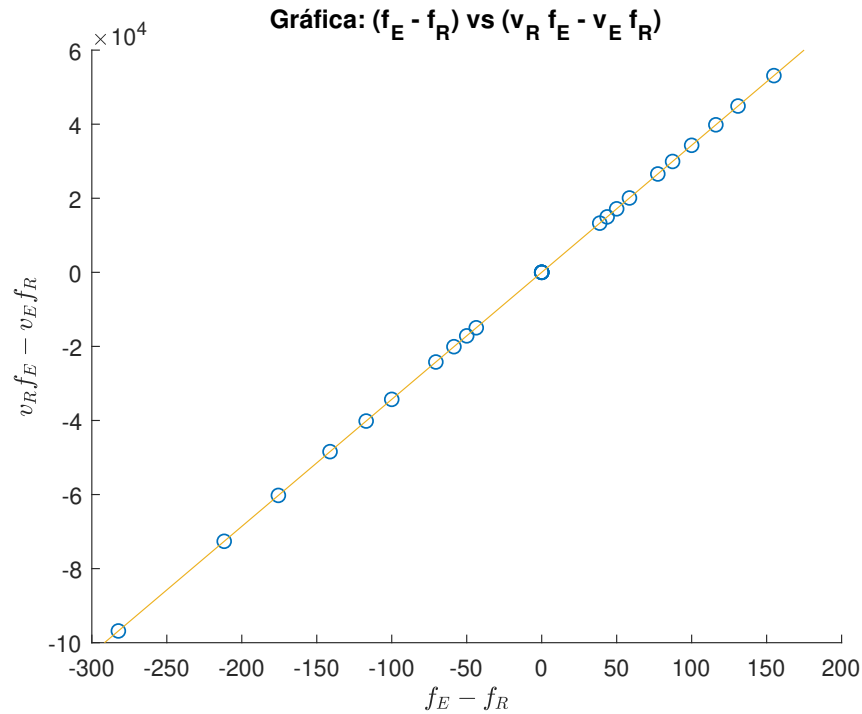


Figura 7: Relación funcional entre $(f_E - f_R)$ y $(v_E f_E - v_E f_R)$.

Nota: Elaboración propia.

| Resultado |
|--|
| $v = (343.000 \pm 0.003)[m/s]; 0.001 \%$ |

3.3. Emisor en movimiento y receptor en movimiento

A partir de los datos obtenidos se genera la gráfica de la **Figura 7**.

Posteriormente se calculo la recta de mejor ajuste por el método de los mínimos cuadrados, resultando los siguientes valores:

$$A = (-0.1 \pm 0.2)[m/s^2]; 220.05 \%$$

$$B = (343.000 \pm 0.002)[m/s]; 0.0 \%$$

Siendo su coeficiente de correlación (r):

$$r = 1.0000$$

Considerando que el modelo de ajuste es:

$$(v_R f_E - v_E f_R) = A + B(f_E - f_R)$$

Por tanto, se comprueba la relación funcional entre $(f_E - f_R)$ y $(v_R f_E - v_E f_R)$.

| Resultado |
|---|
| $(f_E - f_R) \propto (v_R f_E - v_E f_R)$ |

Para el calculo de la velocidad del sonido (v) se utiliza la **Ecuación 9**, resultando:

| Resultado |
|---------------------------------------|
| $v = (343 \pm 0.002)[m/s]; 0.0004 \%$ |

4. Discusión

El calculo del error de la velocidad del sonido, en todos los casos resultó 0 o muy próximo a este, lo que refleja el uso de un simulador muy ideal.

Este simulador tampoco ofrece la información sobre la precisión de los datos, por lo que no puede obtenerse una medida apropiada de error de los resultados.

5. Conclusiones

Se halló la relación funcional entre las velocidades del emisor, velocidad del receptor, frecuencia emitida, y frecuencia percibida, confirmándose la **Ecuación 5**.

También se calculó el valor de la velocidad del sonido en el medio simulado, siendo este valor el mismo en todos los casos.

Referencias

- [1] Young, Hugh D. y Freedman, Roger A. (2013).
Física Universitaria. Volumen 1.
13va Edición.
Capitulo 16. Sección 8.
- [2] Laboratorio efecto *Doppler*.
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
Extraído el 23 de Junio del 2021, de:
<https://www.studocu.com/bo/document/universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa/fisica-experimental-3/informe/laboratorio-efecto-doppler/9041486/view>.