



Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler



Guillermo Becerra Córdova

Universidad Autónoma Chapingo

Dpto. de Preparatoria Agrícola

Área de Física

e-mail: gbecerrac@chapingo.mx

Resumen

En los temas relacionados con las ondas en nivel medio superior, se estudia el efecto Doppler. El efecto Doppler es el cambio de frecuencia de una onda al moverse la fuente que la produce o el receptor que la recibe. Este efecto se produce debido al movimiento relativo de la fuente con respecto al observador; si no hay movimiento relativo, no aparecerá este efecto. El efecto Doppler aparece en ondas que se transmiten en el vacío o entre los espacios entre partículas de un medio o en ondas que se mueven en un medio material. La frecuencia de la luz visible, que es un tipo de radiación electromagnética, puede cambiar al moverse la fuente que la genera con respecto al observador o al moverse el observador con respecto a la fuente o ambos. Las estrellas cambian su color al acercarse o al alejarse de nosotros. Se dice que la luz de las estrellas se corre al azul cuando se acercan y se corre al rojo cuando se alejan. Por ello, se dice que el universo se está expandiendo ya que su luz se corre al rojo. Algo parecido sucede cuando una ambulancia se acerca a un observador, aumenta la frecuencia del sonido producido por la sirena de la ambulancia. Esto indica que el sonido de la sirena se vuelve más agudo. Lo contrario sucede cuando la ambulancia se aleja; el sonido producido por la sirena de la ambulancia se vuelve más grave. En este trabajo se presenta un sistema que resuelve problemas relacionados con el efecto Doppler. El sistema consta de 5 variables de las cuales el usuario deberá introducir los valores de sólo 4 de ellas. El valor restante lo calculará el sistema haciendo uso de la ecuación relacionada con el efecto Doppler. Las variables de las que consta el sistema son: frecuencia absoluta, frecuencia observada, velocidad de la onda, velocidad del observador y velocidad de la fuente. La idea de programa es que el usuario compare los resultados obtenidos por él y los resultados obtenidos por el sistema. Si el usuario hizo bien sus cálculos, los resultados deben coincidir con los resultados calculados por el sistema.

Palabras clave: Efecto Doppler, onda, frecuencia, frecuencia observada, velocidad de la onda, velocidad de la fuente y velocidad del observador

Introducción:

El efecto Doppler es un cambio que ocurre en la frecuencia de una onda cuando la fuente que produce las ondas y el observador que las registra se mueven uno con respecto del otro.

El efecto Doppler se hace patente cuando un auto pasa cerca de nosotros haciendo sonar la bocina.

Cuando se acerca, el tono del sonido es más alto que lo normal.

Esto se debe a que las crestas de las ondas sonoras llegan al observador con mayor frecuencia.

Cuando un auto se aleja, el sonido se hace más grave porque las crestas de las ondas llegan al observador con menor frecuencia.

La policía usa el efecto Doppler de las ondas de radar para determinar la rapidez de un auto.

Las ondas de radar son ondas electromagnéticas de menor frecuencia que las ondas de luz y de mayor frecuencia que las ondas de radio.

El sistema de radar de los autos de la policía las hace rebotar sobre un auto en movimiento y el computador calcula la rapidez del auto respecto a la unidad de radar comparando la frecuencia de las ondas emitidas con la frecuencia de las ondas reflejadas.

La luz también está sujeta al efecto Doppler. Cuando una fuente de luz se aproxima aumenta su frecuencia y cuando se aleja, disminuye.

El aumento en la frecuencia se llama desplazamiento hacia el azul porque la frecuencia se desplaza hacia la región de altas frecuencias del espectro de la luz visible, que corresponde con el color azul.

La disminución de la frecuencia se llama desplazamiento hacia el rojo porque la frecuencia se desplaza hacia el extremo de bajas frecuencias del espectro, correspondiente al color rojo.

Como la luz de las galaxias muestra un desplazamiento hacia el rojo, indicando que las galaxias se alejan de nosotros.

Midiendo el desplazamiento se puede calcular la rapidez con que se alejan las galaxias.

Teoría:

La frecuencia de una onda cuando la fuente que produce las ondas y el observador que las registra se mueven uno con respecto del otro, se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$f' = f \left(\frac{v + v_0}{v - v_s} \right)$$

Donde: f' es la frecuencia observada; f es la frecuencia de la onda; v es la velocidad de la onda; v_0 es la velocidad del observador y v_s es la velocidad de la fuente.

Convención de signos:

Si el receptor o el observador se acerca a la fuente o al emisor, entonces $v_0 > 0$.

Si el receptor o el observador se aleja a la fuente o al emisor, entonces $v_0 < 0$.

Si el receptor o el observador está en reposo con respecto a la fuente o al emisor, entonces $v_0 = 0$.

Si la fuente o el emisor se acerca al receptor o al observador, entonces $v_s > 0$.

Si la fuente o el emisor se aleja al receptor o al observador, entonces $v_s < 0$.

Si la fuente o el emisor está en reposo con respecto al receptor o al observador, entonces $v_s = 0$.

Descripción del Sistema:

En esta sección describiremos la forma en que se utiliza el sistema. En la figura 1 se muestra la ventana principal del sistema que se elaboró como resultado del proyecto. En esta ventana se muestran dos botones de comando. Uno de ellos sirve para **Continuar** con el sistema y el otro sirve para **Salir**.

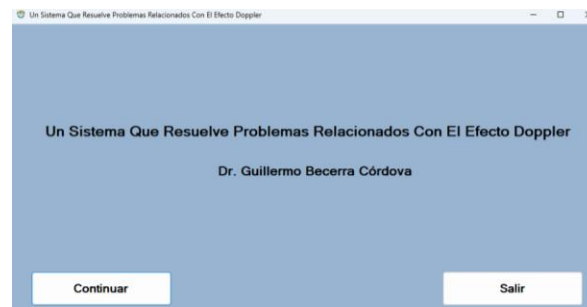


Figura 1. Ventana principal del programa.

Al escoger la opción Continuar aparecerá otra ventana como la mostrada en la figura 2. En esta ventana se muestran 6 cajas de texto que sirven para introducir los datos de un problema.

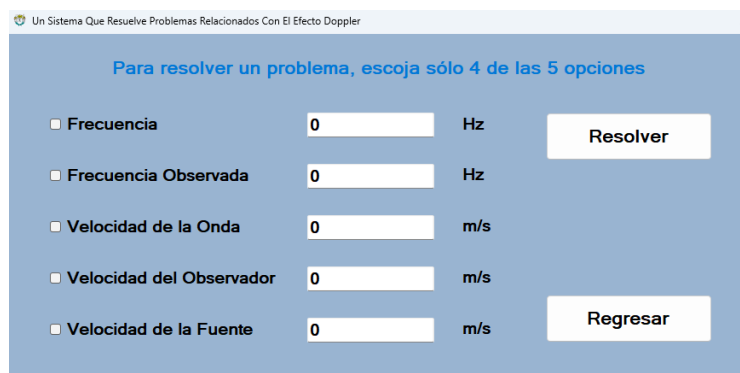


Figura 2. Ventana correspondiente al programa.

Como se observa en la figura 2, para resolver un problema se tienen que señalar 4 de las 5 opciones, las cuales corresponden a los datos del problema.

Al hacer clic en el botón **Resolver**, el sistema mostrará la solución del problema. Como se puede observar en la figura 2, las unidades de las frecuencias son Hertz (Hz) y las unidades de las velocidades son metros por cada segundo. (m/s).

A manera de ejemplo de cómo se utiliza el sistema, supongamos que una locomotora que se mueve a 30 m/s se aproxima a una persona que se encuentra parada a un lado de la vía. Su silbato emite un sonido cuya velocidad es de 340 m/s con un tono de frecuencia de 2 kHz. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima el tren?

Como se puede observar en el ejemplo, la velocidad de la fuente es de 30 m/s. Esta velocidad debe ser positiva ya que la locomotora se mueve hacia el observador. Por otra parte, la velocidad del observador es de 0 m/s debido a que está en reposo. La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s, aproximadamente. Finalmente, la frecuencia del sonido emitido por la locomotora es de 2000 Hz.

En consecuencia, la figura siguiente muestra los datos introducidos al sistema. También se muestran señaladas las opciones que corresponden con los datos del problema.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	2000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	0	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	0	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	30	m/s	

Figura 3. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón Resolver, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	2000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	2,193.5484	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	0	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	30	m/s	

Figura 4. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una frecuencia observada de 2193.5484 Hz que es la frecuencia del sonido escuchado por el observador. Como se puede apreciar, esta frecuencia es mayor que la frecuencia del sonido emitido por la locomotora debido a que se acerca al observador.

Como siguiente ejemplo de cómo se utiliza el sistema, supongamos que una locomotora que se mueve a 30 m/s se aleja de una persona que se encuentra parada a un lado de la vía. Su silbato emite un sonido cuya velocidad es de 340 m/s con un tono de frecuencia de 2 kHz. ¿Qué frecuencia escuchará la persona conforme se aproxima el tren?

Como se puede observar en el ejemplo, la velocidad de la fuente es de 30 m/s. Esta velocidad debe ser negativa ya que la locomotora se mueve alejándose del observador. Por otra parte, la velocidad del observador es de 0 m/s debido a que está en reposo. La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s, aproximadamente. Finalmente, la frecuencia del sonido emitido por la locomotora es de 2000 Hz.

En consecuencia, la figura siguiente muestra los datos introducidos al sistema. También se muestran señaladas las opciones que corresponden con los datos del problema.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	2000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	0	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	0	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	-30	m/s	

Figura 5. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón Resolver, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	2000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	1,837.8378	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	0	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	-30	m/s	

Figura 6. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una frecuencia observada de 1837.8378 Hz que es la frecuencia del sonido escuchado por el observador.

Como se puede apreciar, esta frecuencia es menor que la frecuencia del sonido emitido por la locomotora debido a que la locomotora se aleja del observador.

Como siguiente ejemplo de cómo se utiliza el sistema, supongamos que una fuente en reposo emite ondas que se propagan con velocidad de 180 m/s. Si un observador se separa de la fuente a 10 m/s y registra una frecuencia de 10 000 Hz, ¿qué frecuencia tiene la onda emitida?

Como se puede observar en el ejemplo, la velocidad de la fuente es de 0 m/s ya que se encuentra en reposo. Por otra parte, la velocidad del observador es de -10 m/s debido a que se está alejando de la fuente. La frecuencia observada es de 10000 Hz.

En consecuencia, la figura siguiente muestra los datos introducidos al sistema. También se muestran señaladas las opciones que corresponden con los datos del problema.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☐ Frecuencia	0	Hz	Resolver
☒ Frecuencia Observada	10000	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	180	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	-10	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 7. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón **Resolver**, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☐ Frecuencia	10,588.2353	Hz	Resolver
☒ Frecuencia Observada	10000	Hz	Regresar
☒ Velocidad de la Onda	180	m/s	
☒ Velocidad del Observador	-10	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 8. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una frecuencia de 10588.2353 Hz que es la frecuencia del sonido emitido por la fuente. Como se puede apreciar, esta frecuencia es mayor que la frecuencia observada debido a que el observador se aleja de la fuente.

Como siguiente ejemplo, supongamos que una fuente en reposo emite una onda cuya frecuencia es de 1000 Hz. Si un observador que se acerca con una velocidad de 40 m/s

registra la onda con una frecuencia de 1100 Hz, ¿Cuál es la velocidad de la onda emitida por la fuente?

Como se puede observar en el ejemplo, la frecuencia de la onda emitida por la fuente es de 1000 Hz. La velocidad del observador es de 40 m/s los cuales son positivos debido a que se acerca a la fuente. De igual forma, vemos que la frecuencia observada es de 1100 Hz. Lo que se busca es la velocidad de la onda. La figura siguiente muestra los datos introducidos al sistema.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	1000	Hz	Resolver
☒ Frecuencia Observada	1100	Hz	
☐ Velocidad de la Onda		m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	40	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 9. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón **Resolver**, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	1000	Hz	Resolver
☒ Frecuencia Observada	1100	Hz	
☐ Velocidad de la Onda	400.0000	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	40	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

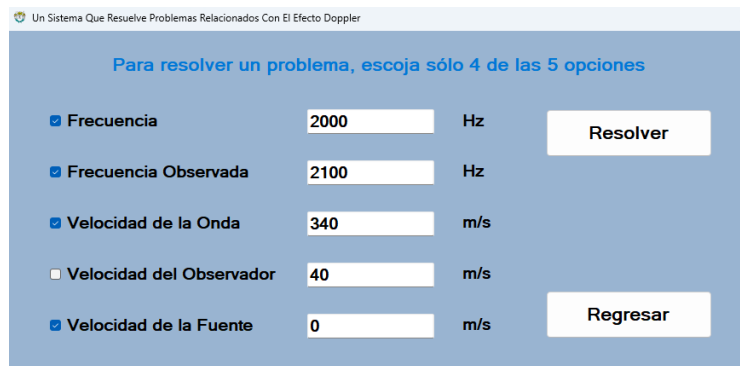
Figura 10. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una velocidad de la onda de 400.0000 m/s. La velocidad de la onda debe ser de 400.0000 m/s para que registre una onda de 1100 Hz cuando la fuente emite una onda de 1000 Hz.

Como siguiente ejemplo, supongamos que un observador registra un sonido cuya frecuencia es de 2100 Hz. Si la frecuencia del sonido emitido por la fuente es de 2 000 Hz y la fuente está en reposo, ¿cuál es la rapidez con la que se mueve el observador? La velocidad del sonido es de 340 m/s.

Como se puede observar en el ejemplo, la frecuencia observada es de 2100 Hz y la frecuencia del sonido emitido por la fuente es de 2000 Hz. De igual forma, la velocidad de

la fuente es de 0 m/s y la velocidad del sonido es de 340 m/s. La siguiente figura muestra los datos introducidos al sistema.



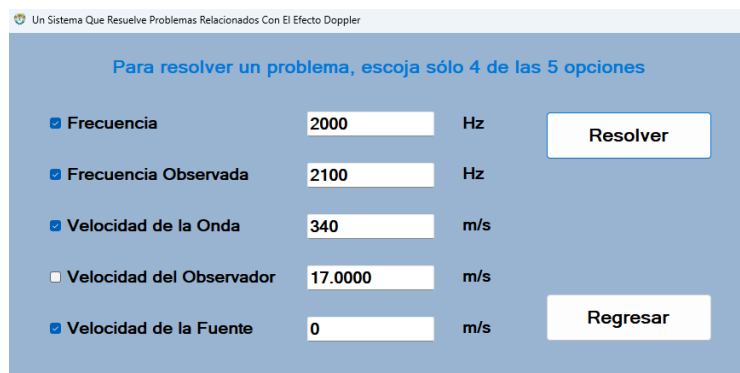
Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	2000	Hz	Resolver
☒ Frecuencia Observada	2100	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☐ Velocidad del Observador	40	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 11. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón **Resolver**, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.



Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	2000	Hz	Resolver
☒ Frecuencia Observada	2100	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☐ Velocidad del Observador	17.0000	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 12. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una velocidad del observador igual a 17.0000 m/s. La velocidad del observador debe ser de 17.0000 m/s para que registre una onda de 2100 Hz cuando la fuente emite una onda de 2000 Hz.

Como siguiente ejemplo, supongamos que un observador se mueve con una velocidad de 20 m/s acercándose a una fuente que se mueve con una velocidad de 30 m/s alejándose del observador. Si la fuente emite un sonido de 20000 Hz, ¿cuál es la frecuencia del sonido escuchada por el observador?

Como se puede observar en el ejemplo, la frecuencia emitida por la fuente es de 20000 Hz. De igual forma, la velocidad del observador es de 20 m/s, los cuales son positivos debido a que se acerca a la fuente. La velocidad de la fuente es de -30 m/s ya que se aleja del observador. Finalmente, la velocidad del sonido es de 340 m/s. La figura siguiente muestra los datos introducidos al problema.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	20000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada		Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	20	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	-30	m/s	

Figura 13. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón **Resolver**, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	20000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	19,459.4595	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	20	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	-30	m/s	

Figura 14. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una frecuencia observada de 19459.4595 Hz. Esta frecuencia es menor que la frecuencia emitida por la fuente debido a que la fuente se aleja más rápido que el observador.

Como siguiente ejemplo, supongamos que un observador se mueve con una velocidad de 20 m/s acercándose a una fuente que se encuentra en reposo. Si la fuente emite un sonido de 20000 Hz, ¿cuál es la frecuencia del sonido escuchada por el observador?

Como se puede observar en el ejemplo, la frecuencia emitida por la fuente es de 20000 Hz. De igual forma, la velocidad del observador es de 20 m/s, los cuales son positivos debido a que se acerca a la fuente. La velocidad de la fuente es de 0 m/s ya que se encuentra en reposo. Finalmente, la velocidad del sonido es de 340 m/s. La figura siguiente muestra los datos introducidos al problema.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	20000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	0	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	20	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 15. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón **Resolver**, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	20000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	21,176.4706	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	20	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	0	m/s	

Figura 16. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una frecuencia observada de 21176.4706 Hz. Esta frecuencia es mayor que la frecuencia emitida por la fuente debido a que el observador se acerca a la fuente.

Ahora vamos a ver el caso en el que la fuente se acerca al observador. Supongamos que un observador se encuentra en reposo y una fuente sonora se acerca al observador con una velocidad de 20 m/s. Si la fuente emite un sonido de 20000 Hz, ¿cuál es la frecuencia del sonido escuchada por el observador?

Como se puede observar en el ejemplo, la frecuencia emitida por la fuente es de 20000 Hz. De igual forma, la velocidad del observador es de 0 m/s y la velocidad de la fuente es de 20 m/s ya que se acerca al observador. Finalmente, la velocidad del sonido es de 340 m/s. La figura siguiente muestra los datos introducidos al programa.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	20000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	0	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	0	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	20	m/s	

Figura 17. Datos introducidos al sistema.

Al hacer clic sobre el botón **Resolver**, el sistema mostrará el resultado del problema. La siguiente figura muestra este resultado.

Un Sistema Que Resuelve Problemas Relacionados Con El Efecto Doppler

Para resolver un problema, escoja sólo 4 de las 5 opciones

☒ Frecuencia	20000	Hz	Resolver
☐ Frecuencia Observada	21,250.0000	Hz	
☒ Velocidad de la Onda	340	m/s	Regresar
☒ Velocidad del Observador	0	m/s	
☒ Velocidad de la Fuente	20	m/s	

Figura 18. Resultado del problema.

Como se puede ver en la figura, el resultado del problema corresponde con una frecuencia observada de 21250.0000 Hz. Esta frecuencia es mayor que la frecuencia emitida por la fuente debido a que la fuente se acerca al observador.

Al comparar los dos resultados anteriores nos podemos percatar de que no es lo mismo que la fuente se acerque al observador que el observador a la fuente. Cuando la fuente se acerca al observador hay mayor variación de la frecuencia que cuando el observador se acerca a la fuente. Esto nos indica que no es simétrico el movimiento.

Conclusiones:

- El sistema puede resolver problemas relacionados con el efecto Doppler considerando los casos cuando la fuente se acerca o se aleja del observador, cuando el observador se acerca o se aleja de la fuente, cuando ambos se acercan o se alejan, cuando la fuente se acerca al observador y el observador se aleja de la fuente o cuando el observador se acerca a la fuente y la fuente se aleja del observador.
- El usuario no puede introducir frecuencias negativas.
- No puede haber resultados en los cuales cualquiera de las frecuencias sea menor que cero.
- El usuario no puede introducir velocidades de la onda negativas.

- Las velocidades del observador o de la fuente que introduzca el usuario pueden ser negativas o positivas, siempre y cuando su valor absoluto no sea mayor que el valor de la velocidad de la onda.
- No es lo mismo que el observador se aleje o se acerque a la fuente cuando se encuentra en reposo que la fuente se acerque o se aleje al observador cuando se encuentra en reposo. Aumenta más la frecuencia cuando la fuente se acerca o se aleja del observador.
- La frecuencia y la frecuencia observada no pueden ser iguales cuando la fuente y el observador se encuentran en movimiento relativo.
- El sistema puede resolver muchos más casos de problemas que los mostrados en los libros de texto.
- El sistema puede servir de apoyo a la enseñanza del efecto Doppler.

Referencias:

- Beltrán V. y Braun E. (2020) Principios de Física. México, D. F.: Trillas.
- Bueche, F. J. (2018) Física General. México, D. F.: McGRAW-HILL.
- Ceballos F. J. (2017) Enciclopedia de Visual Basic 4. México, D. F.: Alfaomega Grupo Editor.
- Hewitt, P. (2010) Física Conceptual. México, D.F.: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Resnick, R. y Halliday, D. (2015) Física. Vol. I. México, D.F.: CECSA.
- Serway, R.A. (2014) Física. México, D.F.: Interamericana.
- Tipler, P. A. (2018) Física. México, D.F.: Reverté.