

**La relación de la temperatura en medio gaseoso y sólido sobre la velocidad de
sonido**

**Pregunta de Investigación: *¿En qué medida la temperatura de un medio, puede
incidir en la velocidad del sonido que los atraviesa por el mismo?***

Asignatura: Física

Nivel Medio

Código Personal: hzc981

3913 palabras

Esta Monografía debe referenciarse de la siguiente manera:

De la Rosa Toro, A. (2020). *La relación de la temperatura en medio gaseoso y sólido sobre la velocidad de sonido* [Trabajo de investigación. Monografía, Centro Educativo Particular San Agustín] Perú.

ÍNDICE

Introducción.....	3
Investigación.....	4
Plan y diseño del experimento.....	12
Procedimiento Experimental.....	13
Resultados Obtenidos.....	14
Presentación de Datos.....	23
Conclusiones.....	25
Referencias.....	26

INTRODUCCION

La Investigación ha presentar tiene como motivación una conversación con mi padre en la que comentó que en el viejo oeste se solía colocar el oído en los rieles ferroviarios para saber si el tren se aproximaba. Ello me sorprendió, pues no asimilaba que era posible escuchar a través de un sólido como los rieles. Fue gracias a este hecho y bajo la premisa que “el sonido es una onda viajante en el espacio”, que encontré una relación entre el sonido y el medio donde se encuentra. Ante ello elegí como primera variable la temperatura del medio a través el cual viaja la onda de sonido, teniendo en cuenta la premisa que cada medio al cual la onda será expuesto tiene propiedades diferentes. Después como segunda variable propuse la velocidad del sonido que se mide en $m.s^{-1}$

Después me planteé la cuestión de si era factible poder calcular la velocidad del sonido, e incluso poder controlar el módulo de esta al manipular la temperatura del medio por el que atraviesa. Ante ello la única manera que podría ser posible es si existe una relación entre la velocidad del sonido y el medio al variar su temperatura, considerando las propiedades de cada medio y lo que implican, por ello es que surge la siguiente pregunta ***¿En qué medida la temperatura de un medio, puede incidir en la velocidad del sonido que los atraviesa por el mismo?***

Para poder responder a esta pregunta se mide la velocidad del sonido, con la ley de Serway, R. y Jewett, J. en un medio gaseoso y en un medio sólido. En este caso se están manipulando la variable de temperatura, que a su vez produce variación en otras magnitudes físicas de cada medio, para dar lugar a una cierta velocidad del sonido.

CAPÍTULO I

INVESTIGACIÓN

1. Comportamiento de una onda sonora

El sonido es una perturbación oscilatoria de un cuerpo en formas de ondas elásticas que resulta de una vibración que se mide en Hertz (Hz). La propagación del sonido sucede al interactuar con partículas presentes en el medio en la forma de estados de agregación. La propagación del sonido es un efecto domino en donde la partícula vibratoria inicial produce que la siguiente vibre y así continúe hasta que pierda la fuerza inicial por completo.

Según Bragado (2003, pg. 90)¹ Las ondas pueden clasificarse por la relación entre la dirección de propagación de onda y su vibración. En un primer caso se propaga una onda transversal que ocasiona una vibración perpendicular de las partículas en relación a la dirección de la onda. En un segundo caso se propaga una onda longitudinal que es la planteada para este experimento, en donde las partículas vibran de manera paralela a la dirección de la onda.

1.2. Medio oscilatorio

Para que un medio sea denominado como tal es necesario que posea tres características fundamentales: masa, inercia y elasticidad. Dependiendo de la composición del medio es que la propagación del sonido adquiere un comportamiento propio

a) Medio gaseoso:

- La velocidad del sonido dentro de un medio gaseoso puede conocerse a partir de la frecuencia y la longitud de onda.
- Tiene una forma de propagación esférica que viaja en todas direcciones ocasionando que se produzca lo que se conoce como campo sonoro.

¹ Bragado, I. (12 de febrero de 2003). Física General. <https://fisicas.ucm.es/data/cont/media/www/pag-39686/fisica-general-libro-completo.pdf>

- La propagación es lineal, es decir que distintas ondas cuya fuente de origen sean cuerpos diferentes pueden propagarse por el mismo medio a la vez sin que sucede alguna consecuencia adversa.

b) Medio Sólido

- La propagación del sonido no genera un campo esférico debido a que en su mayoría los sólidos son anisotrópicos, es decir que la dirección de las ondas y la forma que tomen depende de la posición donde sean liberados.
- La velocidad está condicionada a la elasticidad propia del material por el cual está compuesto el sólido.

2. Velocidad del sonido

El módulo de la velocidad del sonido hace referencia a la distancia que recorren las ondas elásticas a través de un medio durante un periodo de 1 segundo. Entre los factores que afectan a la velocidad del sonido se encuentran, la densidad, volumen la presión y la temperatura.

En el caso del medio gaseoso al realizarse el movimiento oscilatorio las moléculas del aire suelen generar zonas con mayor concentración de moléculas, donde hay mayor densidad, a las que se llama zonas de compresión y también se generan zonas con menor concentración de moléculas, llamadas zonas de rarefacción. Según Wu (1990, pg. 694)² el comportamiento de rarefacción y compresión del aire es adiabático, lo que impide la ganancia de calor con el movimiento de las partículas.

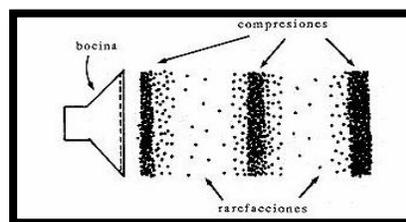


Figura 1³: Agrupación de partículas en medio gaseoso.

² Wu, J. (Julio de 1990). Are sound waves isothermal or adiabatic? <https://doi.org/10.1119/1.16405>

³ Fernández, P. (2017) La Alternancia del Sonido [Imagen]. Recuperado de <https://www.hispasonic.com/tutoriales/sonido-como-onda-nuestra-eterea-materia-trabajo/43285>

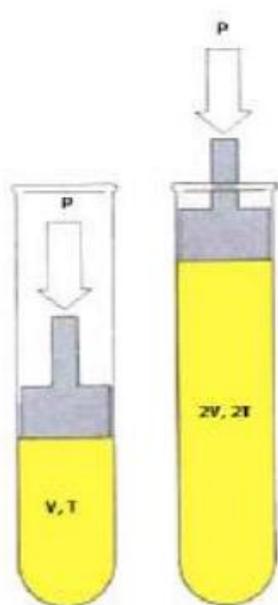
Por esta presión sonora es que sucede un cambio de densidad dentro del gas en un mismo volumen, donde las partículas empiezan a juntarse en pequeños grupos y con ello se fomenta la vibración de las partículas a partir de las ondas sonoras.

3. Manipulación temperatura y volumen del medio

Cabe recalcar que las ondas sonoras se propagan a través del espacio, por lo que su manera de transporte depende estrechamente de las condiciones del espacio, por ello la velocidad del sonido varía según parámetros determinados a partir de la variación de la temperatura.

3.1 Efecto temperatura dentro de un medio gaseoso

El comportamiento de un medio gaseoso se rige por las reglas de los gases ideales y que de acuerdo a la *Ley de Charles* la temperatura de un gas es directamente proporcional con el volumen que ocupa cuando la presión es constante.



Al variar el volumen, la densidad del medio también varía, pero de manera inversamente proporcional, esto ocurre debido a que, al aumentar la temperatura del gas, la fuerza intermolecular de los enlaces se debilita por un cambio de entalpia, por lo que las partículas tienen mayor movilidad y adquieren energía potencial para vibrar con mayor amplitud, por lo que la interacción entre moléculas es más frecuente, y por ende las ondas recorren mayor distancia en un periodo de 1 segundo. En la etapa siguiente las moléculas crean zonas de compresión y rarefacción generando una presión diferente al exterior, lo que ocasiona una variación en el volumen del gas.

Figura 2⁴: Esquema de Ley de Charles.

⁴ Montiel, G. M. (2010) Gráfica de Ley de Charles [Imagen]. Recuperado de <http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/UNIDADVGases.pdf>

La relación entre la presión y volumen de un gas tiene un razonamiento que implica las capacidades caloríficas de los mismos en ciertos momentos, donde en el primer momento se tiene una presión constante, por lo que la cantidad de calor que se necesita para poder elevar la temperatura sería mayor que cuando no es constante, ya que se tiene que aumentar el volumen, y en el segundo momento cuando el volumen es constante, el calor transmitido es proporcional a la capacidad calorífica de la presión, en este punto si se decidiera que el volumen ya no es constante, sucedería una expansión abrupta que no implicaría transferencia de calor por lo que sería una expansión adiabática en ese instante.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Entonces al tener en cuenta las capacidades caloríficas de la presión y el volumen se denota que sucede una expansión del gas, el módulo de esta expansión está determinado por el Coeficiente de Dilatación Adiabática (γ) y es la razón entre la capacidad calorífica a presión constante sobre la capacidad calorífica a volumen constante.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

- C_p Capacidad calorífica a presión constante
- C_v Capacidad calorífica a volumen constante
- γ es el coeficiente adiabático bajo esas condiciones.

3.2 Efecto temperatura dentro de un medio sólido

Dentro de un medio sólido, al variar la temperatura, la energía almacenada en los enlaces varía produciendo que el valor de la fuerza intermolecular y la longitud de enlace varíe también, sucediendo una contracción cuando la variación de temperatura es negativa y una expansión cuando es positiva. La razón de cambio en cuanto al tamaño del medio esta dado por el coeficiente de dilatación que es propio de cada material. Esta dilatación produce una variación en el volumen del sólido y también en la densidad del mismo, lo que permitirá que se identifique una variación en la velocidad de las ondas elásticas del sonido al variar la temperatura.

La dilatación generada por acción de la temperatura demuestra que el material se comporta de manera elástica, en donde al aplicar fuerza en cierta dirección se genera deformación en el cuerpo. En este caso lo que sucede con el sólido es que la variación de temperatura genera un esfuerzo térmico asociado a la dilatación térmica debido a la compresión o expansión que sea realizado por el cuerpo, entonces molecularmente los elementos en contacto con esa zona dilatada adquieren un vector fuerza en forma de energía potencial, produciendo fuerzas internas adicionales que actuaran en contra de ese esfuerzo térmico.

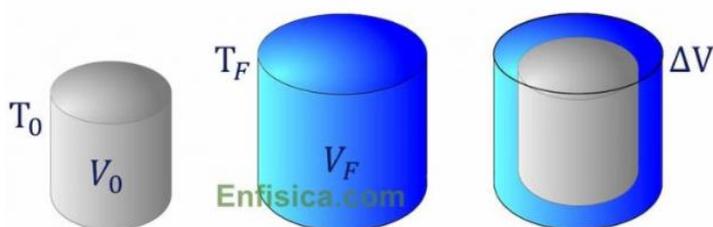


Figura 3⁵: El volumen del cilindro incrementa de forma isotrópica.

⁵ Alex, H. M. (2019) Dilatación Volumétrica [Imagen]. Recuperado de <https://enfísica.com/temperatura/dilatacion-lineal-superficial-y-volumetrica/>

4. Modelo Experimental

4.1 Modelo medio gaseoso

Para calcular el valor de la velocidad del sonido se realiza un sistema conformado por un tubo de acero sostenido por dos soportes de madera limitado por un pistón ajustable a la expansión del gas dentro. A su vez un mechero bunsen se encuentra en la parte de abajo para realizar los cambios de temperatura del sistema

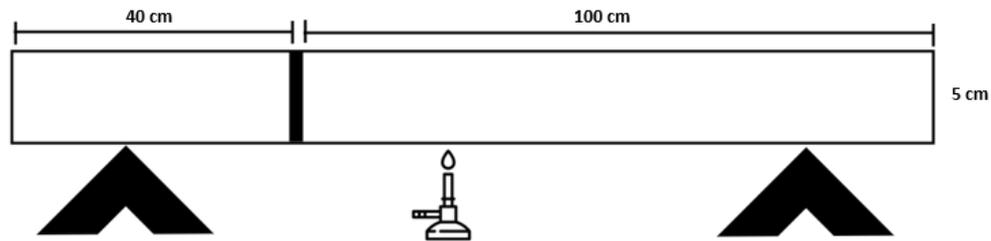


Figura 4: Modelo del experimento en medio gaseoso para calcular la velocidad del sonido.

4.2 Modelo medio Solido

Para calcular el valor de la velocidad del sonido se realiza un sistema conformado por una barra de acero sostenido por dos soportes de madera y que está conectado a una bocina que genera una misma intensidad de sonido. A su vez un mechero bunsen se encuentra en la parte de abajo para realizar los cambios de temperatura del sistema.

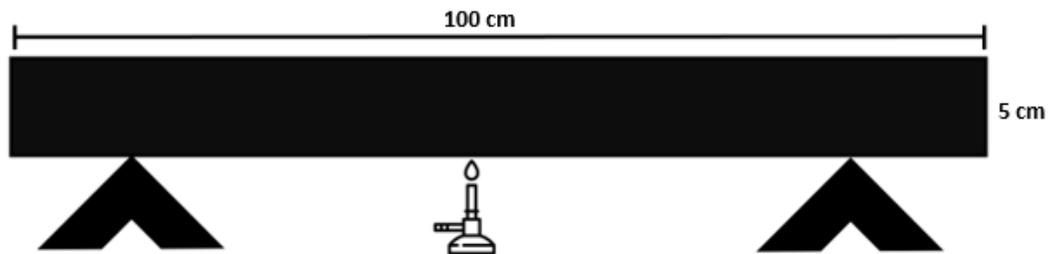


Figura 5: Modelo del experimento en medio sólido para calcular la velocidad del sonido.

5. Relación de la temperatura del medio con la velocidad de sonido

5.1 Ley de Velocidad de Sonido

Según Serway, R y Jewett, J (2008)⁶ “la rapidez de una onda depende de una propiedad elástica del medio y de una propiedad inercial del medio. De hecho, la rapidez de todas las ondas mecánicas sigue una expresión de forma general

$$v = \sqrt{\frac{\textit{Propiedad elástica}}{\textit{propiedad inercial}}}$$

La velocidad del sonido es dependiente de la temperatura. De esta manera es que para el cálculo de velocidad del sonido en un medio gaseoso se emplea la constante de dilatación adiabática, la constante de gas ideal, la temperatura y la masa relativa del gas.

$$v_g = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

- v_g es la velocidad del sonido en un gas
- γ es el coeficiente adiabático.
- T es la temperatura del sólido.
- M es la masa relativa del elemento del gas.

En medio sólido al tratarse de una barra con sección transversal y longitud determinada, se considera valores métricos relaciones con el volumen, por lo que el cálculo de la dilatación estará orientado al volumen final obtenido por la acción de la temperatura sobre el sólido. Esto se obtiene a partir de la siguiente fórmula

⁶ Serway, R. & Jewett, J. (2008). “Física para ciencias e ingeniería” (Volumen 1). Estados Unidos

$$\Delta V = 3\beta_L \Delta T V_0$$

- ΔV es variación de volumen.
- β_L es el coeficiente de dilatación del material.
- ΔT es la variación de temperatura.
- V_0 es el volumen inicial del sólido.

Al realizarse la dilatación de un material varían sus magnitudes métricas, variando su longitud, superficie y volumen, pero la masa del sólido permanece constante. Entonces a partir del nuevo volumen calculado se puede obtener el nuevo valor de la densidad.

De esta manera con los valores explicados anteriormente se puede calcular la velocidad del sonido a partir de la siguiente fórmula:

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

- v_s es la velocidad del sonido en un sólido.
- E es la constante de Young.
- ρ es la densidad del cuerpo.

PLAN Y DISEÑO DEL EXPERIMENTO

La pregunta en la que se basa esta investigación es la mostrada a continuación

¿En qué medida la variación de temperatura en medio sólido y gaseoso, puede incidir en la velocidad del sonido que los atraviesa?

HIPÓTESIS

El módulo de la velocidad del sonido que atraviesa por un medio gaseoso y sólido, no al mismo tiempo, depende de manera directamente proporcional a la variación de temperatura a la que se exponga el sistema.

$$V_s \propto T$$

MATERIALES

1. Sistema medio gaseoso:

- Soportes de madera
- Tubo de acero Aceros *Arequipa* (longitud 100 cm/ sección transversal de radio 0.1 cm)
- Mechero bunsen *JP SELECTA*
- Pistón de sector transversal circular
- Termómetro laser *PCE Instruments* $\pm 0.5 K$
- Wincha *Stanley* (± 0.050 cm)
- Vernier digital (± 0.002 cm)

2. Sistema Medio Sólido:

- Soportes de madera
- barra de acero Aceros *Arequipa* (longitud 100 cm/ sección transversal de radio 0.1 cm)
- Mechero bunsen *JP SELECTA*
- Termómetro laser *PCE Instruments* $\pm 0.5 K$
- Wincha *Stanley* (± 0.050 cm)
- Vernier digital (± 0.002 cm)

MEDIDAS DE SEGURIDAD

En este experimento se manipulan propiedades físicas de los materiales a emplear, siendo la variación de temperatura lo único potencialmente peligroso. Ante ello se necesita EPPs básico que conste de guantes de seguridad ignífugos y lentes de protección.

PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA

Para calcular la velocidad del sonido se utilizará la ley de velocidad del sonido. Primero se construirá el sistema del medio gaseoso que consta de un tubo de acero sostenido por dos soportes de madera y que posee un pistón de sección transversal circular ajustable a la expansión del gas dentro del tubo, además de un mechero bunsen en la parte inferior del tubo para variar la temperatura del sistema. Los valores métricos de este tubo son de 140 cm de longitud, sin embargo, la posición inicial del pistón se encuentra a los 100 cm y su sección transversal circular es 5 cm, para verificar ello se utilizará el vernier digital y la wincha realizando 3 repeticiones.

En el sistema, lo primero a realizar será apuntar el valor inicial de la temperatura del sistema y calcular el volumen inicial. A continuación, se variará la temperatura siguiendo el orden de una progresión aritmética ascendente con diferencia de 5 unidades, hasta que se llegue a los 353 K, para esto se utilizará el pirómetro laser con lo que se controlará la temperatura hasta el valor establecido. Cabe recalcar que en cada aumento de temperatura se deberá calcular el nuevo valor del volumen.

En segunda instancia se construirá un sistema similar al anterior, más con la diferencia que este constará como elemento principal una barra de acero. Los valores métricos para esta barra son de 100 cm de longitud y 5 cm de sección transversal, para verificar ello se utilizará el vernier digital y la wincha realizando 3 repeticiones.

Este sistema también será expuesto a un aumento de temperatura que siga el orden de una progresión aritmética positivo de diferencia de 5 unidades, hasta que llegué a los 353K, para esto se utilizará el pirómetro laser con lo que se controlará la temperatura hasta el valor establecido. En este caso será necesario apuntar los valores de la temperatura en cada cambio para calcular el nuevo volumen en dicha temperatura a partir de la fórmula de expansión volumétrica de un sólido.

En ambos casos se aplica la Ley de Velocidad de Serway Y Jewett, de acuerdo a las propiedades de cada medio. En ambos casos se encontrará un modelo matemático que relaciones las magnitudes de temperatura-velocidad.

CAPÍTULO II

RESULTADOS OBTENIDOS

Valores de Referencia para cálculo de velocidad del Sonido

1. Medio gaseoso (Temperatura inicial de 293 K)
 - 1.1.1. $Volumen\ Inicial_1(V) = Longitud \times \text{área superficial interior}$ $V = 1.00\ m \times 0,048^2\pi = 7.238\ L$
 - 1.1.2. $Volumen\ Inicial_2(V) = Longitud \times \text{área superficial interior}$ $V = 1.01\ m \times 0,047^2\pi = 7.010\ L$
 - 1.1.3. $Volumen\ Inicial_3(V) = Longitud \times \text{área superficial interior}$ $V = 1.00\ m \times 0,049^2\pi = 7.543\ L$
 - 1.1. $Constante\ Gas\ ideal: 0.082\ atm \cdot L/mol \cdot K$
 - 1.2. $Coeficiente\ adiabático\ del\ Aire = 1.4$
 - 1.3. $Presión\ cte. = 1\ atm$
 - 1.4. $Masa\ relativa\ del\ aire = 0.029\ kg/mol$
2. Medio sólido (Temperatura inicial de 293 K)
 - 1.1.1. $Volumen\ Inicial_1(V) = Longitud \times \text{área superficial}$ $V = 1.00\ m \times 0,051^2\pi = 8.171\ L$
 - 1.1.2. $Volumen\ Inicial_2(V) = Longitud \times \text{área superficial}$ $V = 1.01\ m \times 0,050^2\pi = 7.933\ L$
 - 1.1.3. $Volumen\ Inicial_3(V) = Longitud \times \text{área superficial}$ $V = 1.01\ m \times 0,051^2\pi = 8.253\ L$
 - 1.2. $Densidad\ inicial\ (\rho) = 7850\ kg/m^3$
 - 1.3.1. $Masa_1(m) = 7.850\ \frac{kg}{L} \times 8.171\ L = 64.142\ kg$
 - 1.3.2. $Masa_2(m) = 7.850\ \frac{kg}{L} \times 7.933\ L = 62.274\ kg$
 - 1.3.3. $Masa_3(m) = 7.850\ \frac{kg}{L} \times 8.253\ L = 64.786\ kg$
 - 1.4. $Coeficiente\ de\ dilatación\ Lineal\ (\beta_L) = 11.5 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$
 - 1.5. $Constante\ de\ Elasticidad\ del\ acero(E) = 20.6 \times 10^{10}\ N/m^2$

Tabla 1: Variación de volumen según Temperatura inicial en el Sistema del medio gaseoso.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen ₁ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen ₂ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen ₃ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$
293.3	7.238	7.010	7.543
298.5	7.366	7.134	7.677
303.6	7.492	7.256	7.808
308.3	7.608	7.369	7.929
313.2	7.729	7.486	8.055
318.3	7.855	7.608	8.186
323.5	7.983	7.732	8.320
328.8	8.114	7.858	8.456
333.7	8.235	7.976	8.582
338.5	8.353	8.090	8.705
343.2	8.469	8.203	8.826
348.3	8.595	8.325	8.957
353.2	8.716	8.442	9.083

Se emplea la *Ley de Charles* para obtener el valor del volumen del tubo de acero a medida que se aumenta la temperatura del medio

Tabla 2: Variación de volumen según Temperatura inicial en el Sistema del medio Sólido

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen ₁ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen ₂ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen ₃ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$
293.3	8.171	7.933	8.253
298.5	8.172	7.934	8.256
303.6	8.174	7.936	8.256
308.2	8.175	7.937	8.257
313.7	8.177	7.939	8.259
318.8	8.178	7.940	8.260
323.4	8.179	7.941	8.262
328.3	8.181	7.943	8.263
333.0	8.182	7.944	8.264
338.1	8.184	7.945	8.266
343.3	8.185	7.947	8.267
348.2	8.186	7.948	8.269
353.9	8.188	7.950	8.270

Se emplea la *Ley de Charles* para obtener el valor del volumen del tubo de acero a medida que se aumenta la temperatura del medio

DATOS PROCESADOS

Tabla 3: Cálculo de Incertidumbre experimental del Volumen obtenido en medio gaseoso.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen1 V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen1 V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen1 V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Dato Mayor	Dato Menor	(Dato Mayor-Dato Menor) / 2	Incertidumbre del Volumen
293.3	7.238	7.010	7.543	7.543	7.01	0.2665	0.321
298.5	7.366	7.134	7.677	7.677	7.134	0.2715	
303.6	7.492	7.256	7.808	7.808	7.256	0.2760	
308.3	7.608	7.369	7.929	7.929	7.369	0.2800	
313.2	7.729	7.486	8.055	8.055	7.486	0.2845	
318.3	7.855	7.608	8.186	8.186	7.608	0.2890	
323.5	7.983	7.732	8.320	8.320	7.732	0.2940	
328.8	8.114	7.858	8.456	8.456	7.858	0.2990	
333.7	8.235	7.976	8.582	8.582	7.976	0.3030	
338.5	8.353	8.090	8.705	8.705	8.09	0.3075	
343.2	8.469	8.203	8.826	8.826	8.203	0.3115	
348.3	8.595	8.325	8.957	8.957	8.325	0.3160	
353.2	8.716	8.442	9.083	9.083	8.442	0.3205	

Para hallar la incertidumbre experimental del volumen en medio sólido se calcula la diferencia entre el dato mayor y el menor de cada valor de temperatura, y después se divide a la mitad la diferencia obtenida y se identifica el mayor valor resultante.

Tabla 4: Promedio del volumen según la temperatura del sistema del medio gaseoso.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen Promedio V/(L) $\Delta L = \pm 0.321$
293.3	7.264
298.5	7.388
303.6	7.512
308.3	7.637
313.2	7.761
318.3	7.885
323.5	8.010
328.8	8.175
333.7	8.300
338.5	8.425
343.2	8.550
348.3	8.675
353.2	8.800

Tabla 5: Cálculo de Incertidumbre experimental del Volumen obtenido en medio sólido

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen ₁ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen ₂ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Volumen ₃ V/(L) $\Delta L = \pm 0.054$	Dato Mayor	Dato Menor	(Dato Mayor-Dato Menor) /2	Incertidumbre del Volumen
293.3	8.171	7.933	8.253	8.253	7.933	0.160	0.161
298.5	8.172	7.934	8.256	8.256	7.934	0.161	
303.6	8.174	7.936	8.256	8.256	7.936	0.160	
308.2	8.175	7.937	8.257	8.257	7.937	0.160	
313.7	8.177	7.939	8.259	8.259	7.939	0.160	
318.8	8.178	7.940	8.260	8.26	7.94	0.160	
323.4	8.179	7.941	8.262	8.262	7.941	0.161	
328.3	8.181	7.943	8.263	8.263	7.943	0.160	
333.0	8.182	7.944	8.264	8.264	7.944	0.160	
338.1	8.184	7.945	8.266	8.266	7.945	0.161	
343.3	8.185	7.947	8.267	8.267	7.947	0.161	
348.2	8.186	7.948	8.269	8.269	7.948	0.161	
353.9	8.188	7.950	8.270	8.270	7.950	0.160	

Para hallar la incertidumbre experimental del volumen en medio sólido se calcula la diferencia entre el dato mayor y el menor de cada valor de temperatura, y después se divide a la mitad la diferencia obtenida y se identifica el mayor valor resultante.

Tabla 6: Promedio del volumen según la temperatura del sistema del medio sólido.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen Promedio V/(L) $\Delta L = \pm 0.161$
293.3	8.119
298.5	8.121
303.6	8.122
308.2	8.123
313.7	8.125
318.8	8.126
323.4	8.127
328.3	8.129
333.0	8.130
338.1	8.132
343.3	8.133
348.2	8.134
353.9	8.136

Tabla 7: Masa promedio obtenido a partir de las mediciones de volumen del medio sólido

Volumen inicial V/(L) $\Delta L = \pm 0.161$	Masa Inicial m/(kg) $\Delta L = \pm 0.161$	Masa promedio m/(kg) $\Delta L = \pm 0.161$
8.171	64.142	63.734
7.933	62.274	
8.253	64.786	

La masa relacionada a cada volumen inicial fue obtenida a partir de la masa relativa del medio y su volumen, por lo que no tiene incertidumbre.

1.1) Datos procesados del Sistema de medio gaseoso: Velocidad del sonido en medio gaseoso.

Con la temperatura (T) medida anteriormente que varía en 5 ± 0.5 K, se puede calcular la velocidad del sonido utilizando la fórmula de velocidad del sonido en medio gaseoso, donde se considera la constante de gas ideal (R) con un valor de

0.082 atm. L/mol. K, el coeficiente adiabático del aire (γ) 1.4 (adimensional) y la masa relativa del aire (M) 0.029 kg/mol.

Tomando la temperatura inicial se realiza lo siguiente

- $v_g = x$
- $R = 0.082 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$ $\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ **0.082** $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{mol.K}}$
- $\gamma = 1.4$
- $T = 293 \text{ K} \pm 0.5$
- $M = 0.029 \text{ kg/mol}$

Se halla la Velocidad del Sonido en medio gaseoso:

$$v_g = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Se obtiene:

$$x = \sqrt{\frac{1.4 \times (8.314 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{mol.K}})(293 \text{ K})}{0.029 \text{ kg/mol}}} = \sqrt{\frac{1.400 \times (8.314 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})(293.0)}{0.02900}} = 342.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \pm 0.250 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Este procedimiento será repetido con todos los valores de temperatura en el sistema del medio gaseoso.

Tabla 8: Velocidad del Sonido según Volumen y temperatura en medio gaseoso.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen Promedio V/(L) $\Delta L = \pm 0.321$	Velocidad del Sonido $v_g / (m.s^{-1})$ $\Delta v_g = \pm 0.250$
293.3	7.264	342.929
298.5	7.388	345.842
303.6	7.512	348.732
308.3	7.637	351.597
313.2	7.761	354.440
318.3	7.885	357.259
323.5	8.010	360.057
328.8	8.175	362.833
333.7	8.293	365.588
338.5	8.418	368.323
343.2	8.543	371.037
348.3	8.667	373.731
353.2	8.792	376.407

Tabla 9: Velocidad del sonido a en medio gaseoso según simulador matemático (Hyperphysics)

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Velocidad del Sonido $v_g / (m.s^{-1})$
293.3	343.400
298.5	346.431
303.6	349.378
308.3	352.072
313.2	354.859
318.3	357.736
323.5	360.647
328.8	363.589
333.7	366.288
338.5	368.913
343.2	371.465
348.3	374.215
353.2	376.838

2.1) Cálculo discrepancia de Velocidad del sonido en medio gaseoso obtenido

Valor experimental (V_E)

El valor experimental resulta del promedio de los datos de la velocidad del sonido en medio gaseoso de la tabla 8.

$$V_E = 359.906 \text{ m.s}^{-1}$$

Valor teórico (V_T)

El valor teórico resulta promedio de los datos de la velocidad del sonido en medio gaseoso de la tabla 9.

$$V_T = 360.449 \text{ m.s}^{-1}$$

Discrepancia Velocidad del Sonido en medio gaseoso (Δ)

$$\Delta = \frac{V_T - V_E}{V_T} = \frac{360.449 - 359.906}{360.449} \times 100 = 0.151\%$$

3.1) Datos procesados del Sistema de medio sólido: Densidad de la barra de acero en diferentes volúmenes.

Anteriormente se obtuvo el valor del volumen dilatado a partir del volumen inicial (V) 8.171 ± 0.012 L, con ello es posible calcular un nuevo valor de densidad teniendo en cuenta que la masa promedio (m) se mantiene cte. $63.70 \text{ kg} \pm 0.012 \text{ kg}$. A partir de esto podemos relacionar los valores para obtener la nueva densidad del sólido en un determinado volumen y temperatura (T)

Tomando la temperatura inicial se realiza lo siguiente:

$$\rho = x$$

$$T = 293 \text{ K}$$

$$V = 8.119 \pm 0.161 \text{ L}$$

$$m = 63.73 \text{ kg} \pm 0.012 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$x = \frac{63.734 \text{ kg}}{8.119 \text{ L}} = 7.850 \pm 0.161 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

Este procedimiento será repetido con todos los valores de volumen asignados a una temperatura determinada en las tablas de datos directos.

Tabla 10: Densidad según volumen promedio y temperatura del medio sólido.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen Promedio V/(L) $\Delta L = \pm 0.161$	Densidad ρ /(kg/L) $\Delta \text{ kg/L} = \pm 0.161$
293.3	8.119	7.850
298.5	8.121	7.848
303.6	8.122	7.847
308.2	8.123	7.846
313.7	8.125	7.844
318.8	8.126	7.843
323.4	8.127	7.842
328.3	8.129	7.840
333.0	8.130	7.839
338.1	8.132	7.837
343.3	8.133	7.836
348.2	8.134	7.835
353.9	8.136	7.834

3.2) Datos procesados del medio sólido: Velocidad del sonido en medio sólido

A partir de los valores de las densidades obtenidas en el apartado anterior, se puede calcular la velocidad del sonido en medio sólido al relacionar la densidad inicial (ρ) $7.849 \pm 0.024 \text{ kg/L}$ y la constante de elasticidad (E) del material del que está hecho el sólido expuesto al calor, siendo en este caso el acero tiene un valor de $20.6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Tomando la temperatura inicial (T) se realiza lo siguiente:

$$v_s = x$$

$$T = 293 \text{ K}$$

$$\rho = 7.849 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 7849 \pm 0.161 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 20.6 \times 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad 20.6 \times 10^{10} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$x = \sqrt{\frac{20.6 \times 10^{10} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}}{7849 \text{ kg/m}^3}} = \sqrt{\frac{20.6 \times 10^{10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{7849}} = 5123.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$= 5123.025 \pm 0.081 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

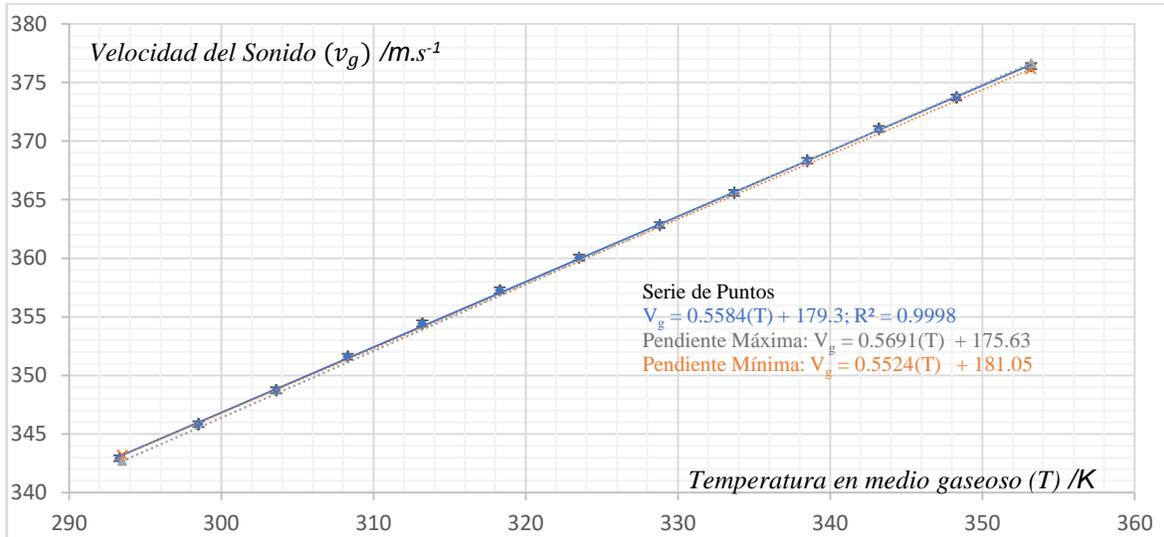
Este procedimiento será repetido con todos los valores de densidad asignados a una temperatura determinada en las tablas de datos directos.

Tabla 11: Velocidad del Sonido según volumen y temperatura en medio sólido.

Temperatura T/(K) $\Delta T = \pm 0.5$	Volumen Promedio V/(L) $\Delta L = \pm 0.161$	Velocidad del Sonido $v_s / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ $\Delta v_s / = \pm 0.081$
293.3	8.119	5122.698
298.5	8.120	5123.025
303.6	8.122	5123.677
308.2	8.123	5124.004
313.7	8.125	5124.657
318.8	8.126	5124.984
323.4	8.127	5125.311
328.3	8.129	5125.964
333.0	8.130	5126.291
338.1	8.132	5126.945
343.3	8.133	5127.272
348.2	8.135	5127.600
353.9	8.136	5127.927

DATOS PRESENTADOS

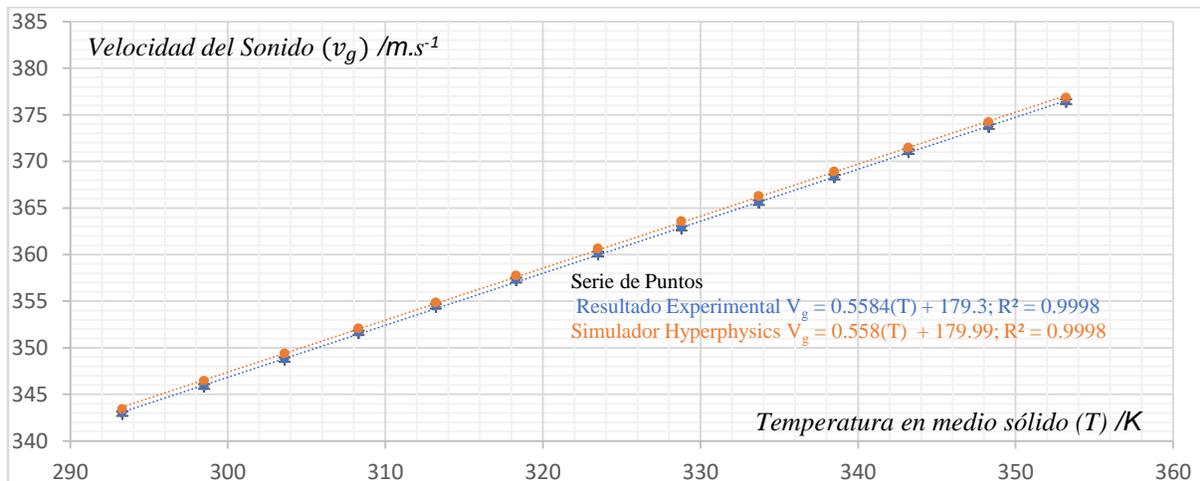
Gráfica 1: Velocidad del sonido vs temperatura en medio gaseoso.



En la gráfica 1 se identifica una ordenación lineal creciente de los datos. Esto indica que la hipótesis planteada era correcta y que la velocidad del sonido es directamente proporcional a la temperatura del medio gaseoso. La validez de esta relación radica en las barras de error relativamente pequeñas y el valor de la correlación $R^2 = 0.9998$. Finalmente, la relación de variables de la gráfica 1 se expresa mediante el siguiente modelo matemático preciso

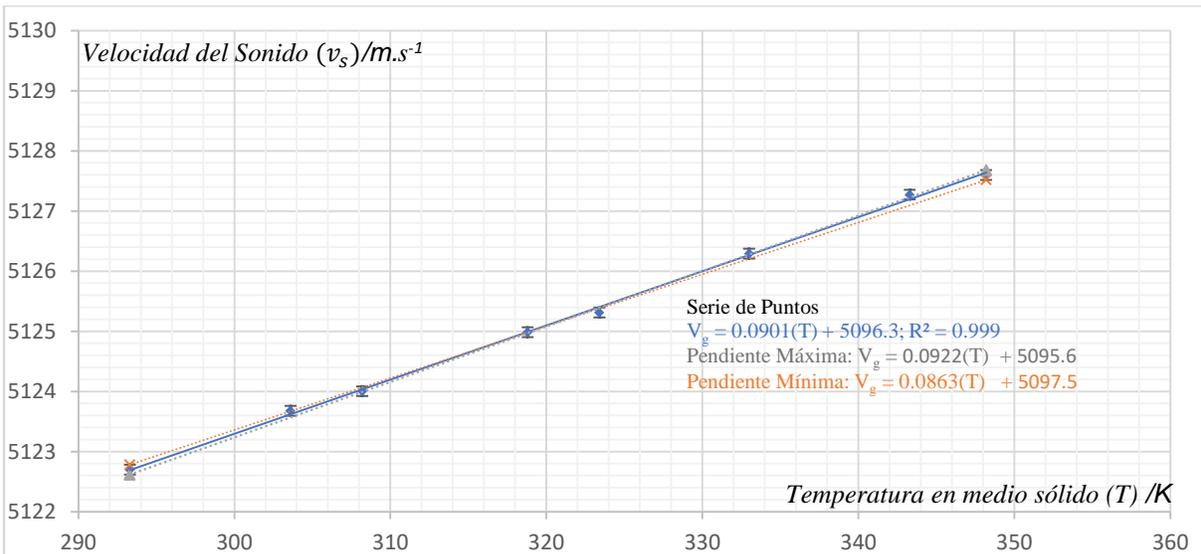
$$V_g = 0.5584(T) + 179.3$$

Gráfica 2: Comparación Velocidad del sonido en medio gaseoso experimental y Velocidad del Sonido en medio gaseoso obtenido por Simulador Hyperphysics, en relación a la temperatura.



La gráfica 2 es una comparación entre la velocidad del sonido en medio gaseoso experimental y la obtenida en un simulador. En ella se observa cómo es la función lineal que modela los datos obtenidos experimentalmente tiene una correlación menor que la del simulador, siendo ambas $R^2 = 0.9998$. Ello nos indica la cercanía a la precisión perfecta de los datos obtenidos, al tomar los valores arrojados por el simulador como datos teóricos. A partir de ello es que se calculó la discrepancia porcentual en la sección 2.1 de Datos procesados, y se obtuvo un valor de 0.551%. Finalmente, el modelo matemático obtenido por el simulador Hyperphysics es $V_g = 0.558(T) + 179.99$

Gráfica 3: Velocidad del sonido vs temperatura en medio sólido.



La gráfica 3 presenta solamente 8 valores de los 13 propuestos en la sección de datos procesados, debido a que eran muy dispersos respecto a la línea de ajuste. En ella se comprueba que la hipótesis planteada era correcta, pues los datos presentan un comportamiento que modelan una función lineal decreciente. Sobre las características de la gráfica se identifica que la correlación es bastante alta, lo que refuerza la validez de la relación entre variables, siendo $R^2 = 0.999$. A su vez el modelo matemático que indica la proporcionalidad entre ambas variables es el siguiente:

$$V_s = 0.0901(T) + 5096.3$$

CONCLUSIONES

En esta investigación se demostró que bajos los parámetros planteados existe una relación directamente proporcional entre la temperatura de un medio sólido y gaseoso y la velocidad del sonido que los atraviesa, en la que las variables adquieren el comportamiento de una función lineal al relacionarse. Esto se sustenta con el marco teórico, en la que se explicó que debido a la densidad de cada medio de estado de agregación distinto y a la variación de temperatura dentro del medio, que ocasiona un aumento en la energía potencial de las partículas y la adquisición de un movimiento con mayor amplitud. El resultado también se sustenta por las características de la gráfica 1 y la gráfica 3 en la que se presenta el modelo matemático $V_g = 0.5584(T) + 179.3$ y $V_s = 0.0901(T) + 5096.3$ respectivamente y el valor de correlación $R^2 = 0.9998$ y $R^2 = 0.999$ respectivamente. Además, se realizó una comparación con el simulador matemático Hyperphysics para la velocidad del sonido en medio gaseoso, en la que se obtuvo un modelo matemático teórico $V_g = 0.558(T) + 179.99$ y una discrepancia de 0.150%, lo que indica la alta precisión del experimento. Finalmente, de los datos obtenidos de velocidad del sonido resulta que, bajo las mismas condiciones, pero en medios de estados de agregación distintos la velocidad del sonido en medio sólido es 15 veces aproximadamente más rápida que la velocidad del sonido en medio gaseoso.

Para esta investigación se realizaron las mediciones de las magnitudes involucradas con instrumentos rudimentarios debido a las circunstancias a nivel mundial ocasionadas por la Pandemia del Virus Covid-19 ocasionando que a nivel nacional se aplique el decreto N.º 044-2020 estableciendo una cuarentena nacional, por lo que no se pudo acudir a laboratorios que poseían instrumentos adecuados por su mayor precisión.

Sugerencias

Se considera la posibilidad de evaluar el comportamiento de las ondas sonoras en un medio líquido bajo las mismas condiciones y parámetros que se han controlado según el procedimiento experimental. Esto con la finalidad de tener valores determinados sobre las variables expuestas en los tres estados de agregación.

REFERENCIAS

- Serway, R. & Jewett, J. (2008). Física para ciencias e ingeniería (Volumen 1). Estados Unidos. <http://fis.ucv.cl/docs/FIS-131/textos/Serway-septima-edicion-castellano.pdf>
- Bragado, I. (12 de febrero de 2003). Física General. <https://fisicas.ucm.es/data/cont/media/www/pag-39686/fisica-general-libro-completo.pdf>
- Wu, J. (Julio de 1990). Are sound waves isothermal or adiabatic? <https://doi.org/10.1119/1.16405>
- Nave, C. (2001). Velocidad del Sonido en Gases (Simulador matemático). <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/souspe3.html>
- Ostrovsky, L. & Potapov, A. (1999). *Modulated Waves, Theory and Applications*. The Johns Hopkins University Press.
- Young, H. & Freedman, R. & Lewis, A. (2013). Sears y Zemansky Física Universitaria. USA: PEARSON.