

**Modulación de la Velocidad del Sonido en respuesta a variaciones
Térmicas.**

**¿En qué medida la velocidad del sonido en Arequipa varía en respuesta a
distintos cambios de temperatura dentro de un sistema de tubos?**

Física NM

Número de palabras: 3999

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	4
1. Teoría:	4
1.1 Sonido:.....	4
1.2 Parámetros del Sonido:	5
1.2.1. Frecuencia:	5
1.2.2. Longitud de onda:	5
1.2.3. Periodo:.....	6
1.2.4 Ruido:.....	6
1. 3 Velocidad del Sonido:	6
1.4 La velocidad del Sonido en Arequipa en Temperatura ambiente:	8
CAPÍTULO 2: MARCO EXPERIMENTAL	8
1.1 Objetivos:.....	8
1.1.1 Objetivos generales:	8
1.1.2 Objetivos específicos:	9
1.2 Hipótesis:.....	9
2. Variables:	10
2.2 Planteamiento de la metodología:.....	11
2.3 Materiales e Insumos:.....	12
2.4 Procedimientos:	13
2.5 Plano Detallado:	14
2.6 Medidas de seguridad, ética y medioambiental:.....	15
2.6.1 Medidas de Seguridad:	15
2.6.2 Consideraciones Éticas:.....	15
2.6.3 Consideraciones Medioambientales:.....	15
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	16
1.1 Datos Brutos:	16
1.2 Análisis de Datos:	20
CAPÍTULO 4: CONCLUSIÓN.....	28
CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN.....	30
1.1 Limitaciones:	30
1.2 Propuestas para investigaciones Futuras.....	30
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
ANEXOS.....	32

INTRODUCCIÓN:

Desde pequeño, me fascinó la música. Recuerdo haber escuchado cómo el sonido era diferente en distintos lugares del Perú, y me pregunté por qué esto ocurría, ¿Qué determina que el sonido sea más rápido en ciertos materiales y bajo determinadas condiciones? ¿Cómo influyen las condiciones climáticas en la velocidad del sonido? Estas preguntas me llevaron a querer explorar y entender las teorías existentes sobre la modulación de la velocidad del sonido en respuesta a variaciones térmicas.

La presente monografía consiste en el estudio del efecto que tiene la velocidad del sonido frente a diferentes temperaturas. Este fenómeno es importante debido a las propiedades físicas que influyen en la propagación del sonido a través de distintos medios. Me enfocaré en una de estas propiedades físicas: la temperatura del aire. Ante esto, se utilizará un sistema de mediciones (un balde atravesado por un tubo de aluminio) para observar cómo cada uno responde a los cambios térmicos.

Por lo que la temática nos lleva a la siguiente pregunta: **¿En qué medida la velocidad del sonido en Arequipa varía en respuesta a distintos cambios de temperatura dentro de un sistema de tubos?**

Se tomó en cuenta otra investigación pasada, la tesis del bachiller Abimael Denos (2018), que determinó la variación de la velocidad del sonido frente a diferentes niveles de presión atmosférica en Arequipa. A partir de ello, se analizó su metodología y se buscó la mejor forma de proponer un nuevo enfoque en la presente investigación. Es así como se observó y siguió algunas recomendaciones para evitar errores y poder cumplir los objetivos trazados.

Las temperaturas seleccionadas para el experimento fueron de 49.3 °C a 78.3 °C. Para la obtención de datos se necesitaba un ambiente cerrado y controlado donde se llevará a cabo la experimentación, por lo cual se construyó un sistema aislado con el fin de minimizar los efectos de las interferencias externas, debido a que cualquier sonido externo aumenta la incertidumbre de error. En cuyo interior se colocó un tubo de aluminio; con este sistema se registrará dicha evolución con relación al tiempo transcurrido (para cada una de las temperaturas probadas).

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Este estudio se basa en principios fundamentales de las ondas oscilatorias y los fenómenos termo-físicos para comprender cómo la temperatura del medio afecta a la propagación del sonido en el sistema experimental.

1. Teoría:

1.1 Sonido:

Este parámetro se define como “una alteración física en un medio [...]. El medio por el cual viajan las ondas sonoras ha de poseer masa y elasticidad. Por tanto, las ondas sonoras no viajarán a través de un vacío”. (Colque, 2018, como se cita en Harris, 1995, p.17).

Asimismo, el sonido también puede explicarse como “la sensación auditiva excitada por una perturbación física en un medio” (Colque, 2018, como se cita en Cárdenas, 2013, p.21). Por lo tanto, este parámetro es una “forma de energía mecánica producida por una fuente, percibida por el oído humano y medida en unidades físicas relacionadas con la energía”. (Colque, 2018, como se cita en Cárdenas, 2013, p.21).

1.2 Parámetros del Sonido:

1.2.1. Frecuencia:

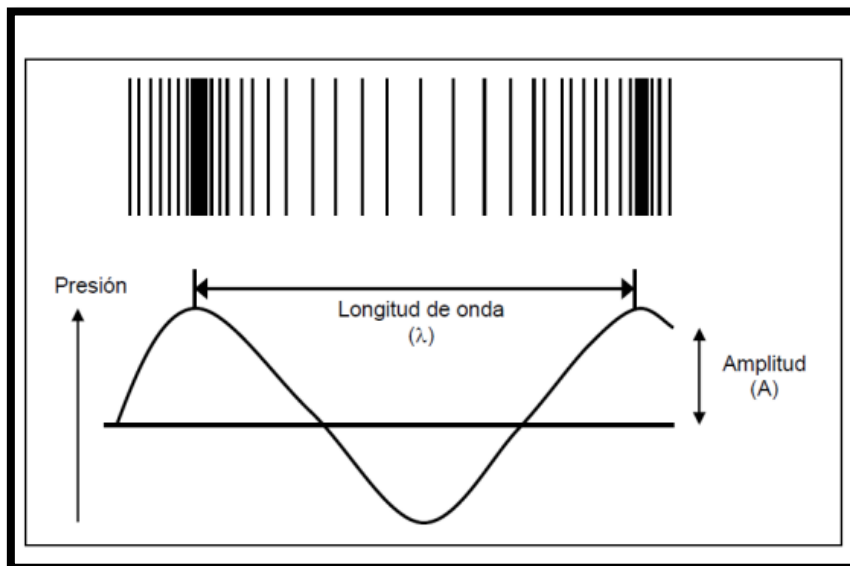
“Esta propiedad se mide en Hercios (Hertz, HZ) y nos permite saber a cuantos ciclos por segundo va esa onda”. (Colque, 2018, como se cita en Denos, 2018, p. 24)

Un ciclo comienza cuando la onda desciende hasta su amplitud negativa más baja, luego asciende hasta la línea central, continúa subiendo hasta su punto de amplitud máximo y vuelve a descender atravesando la línea central.

1.2.2. Longitud de onda:

Según Colque (2018; como se cita en Harris, 1995) “Su origen es un movimiento vibratorio, tal como la vibración de una membrana, y cuando llega a nuestro oído hace que el tímpano adquiera un movimiento vibratorio”. (p.26), la Figura N°1 muestra gráficamente la longitud de onda:

Figura 1
Longitud de onda



Nota. Colque, J., (2018). *Evaluación de los niveles de presión sonora a través de la elaboración de mapas de ruido en el hospital Goyeneche* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Entonces la longitud de onda de un sonido se define como la distancia vertical entre dos frentes de onda que están en la misma fase. Equivale a la distancia que la onda sonora viaja durante un ciclo completo de vibración.

1.2.3. Periodo:

“Tiempo que tarda en producirse un ciclo completo de oscilación medido en segundo, es decir el universo de la frecuencia”. (Colque, 2018, como se cita en Denos, 2018, p. 24)

1.2.4 Ruido:

Colque (2018; como se cita en Enríquez, 2002) define al ruido. “Un fenómeno sonoro formado por vibraciones irregulares en frecuencia (período, ciclo o Hertz) y amplitud por segundo, con distintos timbres, dependiendo del material que los origina” (p.6)

1. 3 Velocidad del Sonido:

Formula Experimental:

En el caso de un tubo abierto por un extremo y cerrado por el otro, como un tubo resonante, la velocidad del sonido (C) en el tubo está relacionada con la longitud del tubo (λ) y la frecuencia fundamental de resonancia (f) mediante la siguiente fórmula (PUCP, 2016, 1:06).

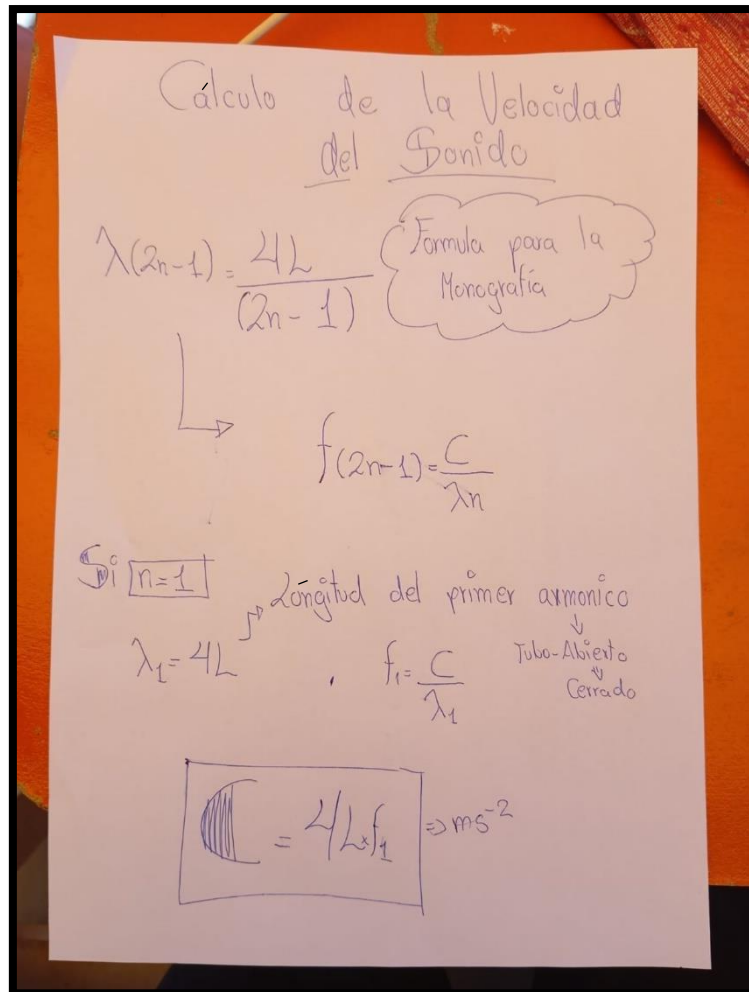
$$C = 4\lambda \cdot f$$

Definimos la frecuencia:

$$\frac{C}{4L} = f$$

Figura 2

Demostración de la fórmula práctica de la Velocidad del sonido.



Asimismo, en el caso del aire, la fórmula aproximada para calcular la velocidad del sonido en el aire en función de la temperatura es: (Giancoli, 2008, p.425)

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

Donde:

- c es la velocidad del sonido a la temperatura T .
- c_0 es la velocidad del sonido a la temperatura de referencia T_0 (usualmente 0°C o 273.15 K).
- T es la temperatura absoluta en $^\circ\text{C}$.

Simplificando la fórmula nos muestra que la velocidad del sonido es:

$$C \approx (331 + 0.6 \cdot T) \text{ m/s}$$

Fórmula Teórica:

Según Zemansky (2009) “la rapidez de la onda es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta” (p.559), asimismo la “rapidez del sonido en un gas ideal” (Zemansky, 2009, p.558), se presenta como:

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

- La cantidad γ [...] se denomina la razón de las capacidades caloríficas. (en el aire su valor es de 1.40).
- T tiene que estar en Kelvin.
- M es la masa molar, tiene que estar en kg/mol.
- R tiene el valor de 8.314472 (15) J/mol·K.

1.4 La velocidad del Sonido en Arequipa en Temperatura ambiente:

Según Colque (2018) “La velocidad del sonido es la velocidad a la que se desplazan las ondas sonoras. A una temperatura de 20 °C (68°F), la velocidad del sonido en el aire es de aproximadamente 344 m/s”. (p.28)

CAPÍTULO 2: MARCO EXPERIMENTAL

1.1 Objetivos:

1.1.1 Objetivos generales:

- Crear un sistema experimental que permita la variación controlada de la temperatura del medio en el tubo, garantizando la replicabilidad y precisión de las mediciones de velocidad del sonido.
- Identificar y cuantificar la relación entre las variaciones de temperatura y las modificaciones correspondientes en la velocidad del sonido,

proporcionando una comprensión más profunda de las propiedades acústicas del medio.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Determinar cómo varía la velocidad del sonido en función de los cambios de temperatura, utilizando un sistema de tubos compuesto uno de aluminio.
- Comparar la modulación de la velocidad del sonido de manera Teórica y Experimental a través de una comparación en una gráfica ambos modelos de la velocidad del Sonido.
- Analizar cómo la composición del agua en el tubo afecta la velocidad del sonido y determinar si ciertos componentes presentes en el medio tienen un impacto significativo.
- Aportar datos y conclusiones que puedan tener implicaciones más amplias para la comprensión de la propagación del sonido en ambientes con características térmicas particulares, como las presentes en Arequipa.
- Se evaluará la precisión y el margen de error de las mediciones que se dieron con cada variable.

1.2 Hipótesis:

A medida que aumenta la temperatura del aire en el sistema, la velocidad del sonido también aumenta debido a la mayor energía cinética de las moléculas de aire, lo que establece una relación directamente proporcional con la temperatura.

2. Variables:

Tabla 1

Variables dependientes e independientes.

Tipo de variable	Variable
Independiente	Temperatura del sistema (C°): Esta es la variable independiente que se manipula en el experimento. Se logra variar la temperatura del sistema al introducir agua fría o caliente en el balde, para que esta misma transfiera la temperatura al tubo de aluminio.
Dependiente	Velocidad del sonido (ms^{-1}): Esta es la variable dependiente que se observa y mide en respuesta a las variaciones de temperatura. La velocidad del sonido se registra utilizando un método preciso de medición, el cálculo de la relación entre la frecuencia y longitud de la onda. Se emite una onda sonora a través del medio en el tubo, y la velocidad de propagación de estos pulsos se registra y analiza.

Tabla 2

Variables Intervinientes

Variable interviniente	¿Cómo se mide?	¿Cómo se controla?
Presión atmosférica.	La presión atmosférica se mide con un barómetro. Puede haber variaciones locales, por lo que se requiere una medición precisa en la ubicación del experimento.	Se controla utilizando un barómetro y ajustando la presión al nivel del mar. La unidad de medida es el pascal (Pa).

Tabla 3

Variables Controladas

Variable controlada	¿Cómo se mide?	¿Cómo se controla?
Longitud del tubo (m)	La longitud del tubo se mide con una regla o un vernier	Se controla manteniendo constante la longitud del tubo durante todo el experimento. La unidad de medida es el metro (m).
Tipo de material del tubo (aluminio)	Se verifica el tipo de material mediante la documentación del fabricante y pruebas adicionales.	Se controla utilizando tubos del mismo material en todas las pruebas. La unidad de medida es la especificación del material.
Tiempo de exposición a la variación de temperatura	Se mide con un cronómetro desde el momento en que se inicia la variación de temperatura.	Se controla manteniendo constante el tiempo de exposición en todas las pruebas. La unidad de medida es el segundo (s).

2.2 Planteamiento de la metodología:

La pregunta de investigación será contestada aplicando una metodología teórico-experimental. Este enfoque se basará en un sistema diseñado en partes y conectado en función de las variables de investigación. La primera parte del sistema consiste en un conjunto de tubos de material uniforme y de diámetro constante, aislados térmicamente para asegurar que cualquier cambio en la velocidad del sonido se deba exclusivamente a las variaciones de temperatura controladas. Para medir la velocidad del sonido, se utilizará un generador de impulsos sonoros en un extremo del tubo y un sensor receptor en el otro extremo (*Phyfox*), conectado a un cronómetro manual. Para modificar la temperatura del sistema de tubos, se emplea un mecanismo de calentamiento y enfriamiento controlado, basado en el principio de conducción térmica. Un sistema de circulación de agua a temperatura variable se implementará alrededor de los tubos, permitiendo la transferencia de calor hacia y desde los tubos de manera eficiente, controlando y monitoreando la temperatura del aire dentro de los tubos con precisión. Durante la experimentación, se registraron las velocidades del sonido a diversas temperaturas, asegurando que cada condición térmica se mantenga estable durante el tiempo suficiente para realizar mediciones precisas. Los datos obtenidos se analizarán para determinar la relación entre la temperatura y la velocidad del sonido, proporcionando una respuesta cuantitativa y cualitativa a la pregunta de investigación.

2.3 Materiales e Insumos:

Tabla 4

Todos los materiales que se usarán en la investigación

Materiales	Especificaciones	Cantidad
Tubo de aluminio	Para construir el sistema de tubos. Dimensiones específicas: [1 pulgada de diámetro- 60cm de largo].	1
Contenedor horizontal (balde)	Donde se insertará el tubo de aluminio.	1
Sistema de calentamiento y enfriamiento	(Hornilla-Estufa Cocina Eléctrica 1000Watts 1 Hornilla-BabyLú) : Para variar la temperatura del agua que se introduce en el sistema de tubos. Asimismo, puede incluir calentadores eléctricos (hornilla) y/o sistemas de enfriamiento.	1
Agua con diferentes temperaturas (2.5 L. por variación)	Agua caliente y agua fría, necesarias para inducir variaciones de temperatura en el sistema. Además, se debe medir y controlar la temperatura con termómetros precisos.	10
Multímetro	(ANENG DM850) : Para adaptar los datos recibidos por el sensor de Temperatura	1
Sensor de Temperatura (PASCO)	Para medir las variaciones de temperaturas.	1
Instrumentos de medición de longitud	Regla y vernier (Calibrador Vernier Capacidad 300 mm - 12" Tramontina PRO) para medir la longitud precisa del tubo.	2
Cronómetro	(AnyTime 013 Fechador Alarma Split Rango 24 Hr Negro) : Para medir y controlar el tiempo de exposición a la variación de temperatura.	1
Vaso de precipitado(500ml)	Para almacenar el agua y colocar al sistema de tubos	1
Agua	Con esta sustancia se darán las variaciones de temperatura	25 litros
Laptop o dispositivo de registro de datos (HP-VICTUS)	Para almacenar y analizar los datos recopilados durante las mediciones de la velocidad del sonido.	1
Software de análisis de datos acústicos.	(Phyfox-Pasco) : Herramienta informática para analizar los resultados obtenidos y generar conclusiones.	2

2.4 Procedimientos:

Para llevar a cabo el experimento, se comienza asegurando que el tubo de aluminio esté limpio y en buenas condiciones. Luego, se ensambla el sistema de tubos siguiendo las dimensiones y especificaciones del *Plano Detallado*. El contenedor horizontal se coloca en un área segura y nivelada. Posteriormente, se inserta agua (2.5 Litros por prueba) al contenedor, asegurándose así de evitar movimientos durante el experimento. La longitud del tubo se mide con precisión utilizando una regla o un vernier. (desde 10-19 centímetros).

El dispositivo ultrasónico (*Phyphox*) de medición de las frecuencias del sonido se conecta a una computadora o registrador de datos. Se ajusta la temperatura del agua mediante un sistema de calentamiento y se varía la composición del medio en el tubo utilizando agua fría y caliente. Las mediciones de la velocidad del sonido se realizan con el soplido, registrando los datos en función de las variaciones de temperatura en el *Excel*.

Además, se mide la presión atmosférica con un barómetro. Un cronómetro se utiliza para controlar el tiempo de exposición a las variaciones de temperatura (1 minuto por cada temperatura). Todos los datos obtenidos, incluyendo temperatura y las frecuencias, se registran y analizan para identificar patrones y relaciones, para que se cree una relación entre la velocidad del sonido y la variación de temperaturas, utilizando software de análisis de datos acústicos (*Excel*).

2.5 Plano Detallado:

Figura 3

Prototipo virtual del sistema de pruebas: Medición de la velocidad del sonido.

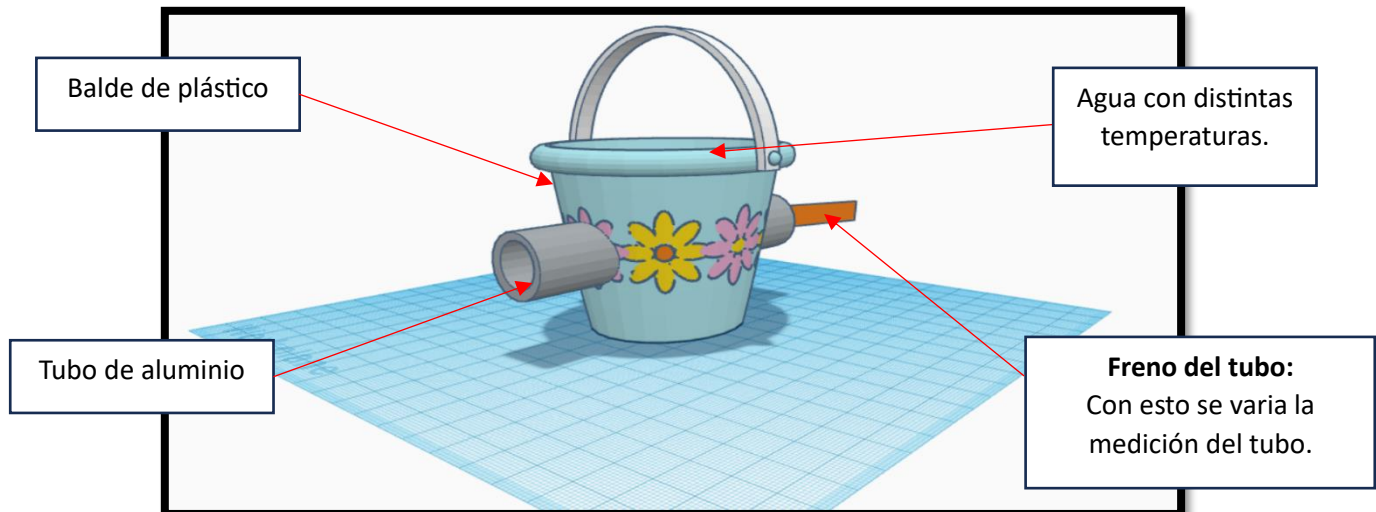


Figura 4

Prototipo físico del sistema de pruebas: Medición de la velocidad del sonido.



Figura 5

Principales materiales para la experimentación.



Nota. Velp Scientifica™ Agitador con placa calefactora cerámica digital AREC.X -. (s/f). Fishersci.es. Recuperado el 6 de junio de 2024, de <https://www.fishersci.es/shop/products/arec-x-digital-ceramic-hot-plate-stirrer-4/17244083>

2.6 Medidas de seguridad, ética y medioambiental:

2.6.1 Medidas de Seguridad:

- ✓ **Manipulación de Calor:** Tomar precauciones al trabajar con sistemas de calefacción, asegurándose de seguir las pautas de seguridad para evitar quemaduras o lesiones.
- ✓ **Emergencias:** Establecer un plan de emergencia que incluya procedimientos claros para situaciones como derrames, fugas o cualquier otro incidente, por ejemplo, derrame del agua caliente.

2.6.2 Consideraciones Éticas:

- ✓ **Transparencia y Honestidad:** Reportar y compartir los resultados de manera transparente y honesta (usar APA), evitando la manipulación de datos o conclusiones.
- ✓ **Confidencialidad:** Proteger la privacidad y confidencialidad de cualquier información personal recopilada durante el experimento, si aplica.

2.6.3 Consideraciones Medioambientales:

- ✓ **Manejo Responsable de Residuos:** Disponer de manera adecuada de cualquier residuo generado durante el experimento, siguiendo las regulaciones medioambientales locales, en este caso, utilizar materiales reciclados en la creación del sistema de pruebas
- ✓ **Minimización de Impacto Ambiental:** Tomar medidas para reducir al mínimo cualquier impacto ambiental negativo asociado con el experimento, como el consumo de recursos o la generación de residuos.

- ✓ **Uso Sostenible de Recursos:** Priorizar el uso eficiente de recursos, como energía y agua, y buscar métodos que minimicen la huella medioambiental del experimento.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS.

1.1 Datos Brutos:

Se calcularon las diferentes velocidades del sonido en **función de las frecuencias y las longitudes de las ondas**. Para la modulación de la velocidad del sonido en respuesta a variaciones térmicas, se relacionaron estos parámetros para obtener una gráfica precisa de la velocidad del sonido.

Por lo que para calcular las diferentes velocidades del sonido se relacionaron 10 diferentes temperaturas; estas se variaron con un lapso de 1 minuto por cada 2.5 Litros de agua; las temperaturas se midieron en relación con la medición que transfiere la temperatura interna del agua al material del tubo, en este caso el aluminio. Véase las tablas 10-19 (dentro de los anexos).

Tabla 5

Muestra de la frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (43.9 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f \text{ v } T$ (Hz)	$\Delta T \text{ v } \Delta 1/f$
894.35	0.10	0.40	0.00112	0.0000000125
813.05	0.11	0.44	0.00123	0.0000000151
745.29	0.12	0.48	0.00134	0.0000000180
687.96	0.13	0.52	0.00145	0.0000000211
639.60	0.14	0.56	0.00156	0.0000000244
596.23	0.15	0.60	0.00168	0.0000000281
558.97	0.16	0.64	0.00179	0.0000000320
526.09	0.17	0.68	0.00190	0.0000000361
496.86	0.18	0.72	0.00201	0.0000000405
470.71	0.19	0.76	0.00212	0.0000000451

En un tubo cerrado por un extremo y abierto por el otro, la relación entre la longitud del tubo λ y la frecuencia f de la onda estacionaria fundamental está dada por $f = \frac{c}{4\lambda}$. Al graficar $\frac{1}{f}$ (en el eje X) y 4λ (en el eje Y), se obtiene una relación lineal.

Además, cabe resaltar que la incertidumbre del periodo (T) o $\frac{1}{f}$ con el cálculo salió un valor despreciable y es por ello por lo que no se incluyen dentro de la gráfica, aun así, se muestra el procedimiento para su hallazgo (en una frecuencia):

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta f}{f}$$

$$\Delta T = \frac{T \Delta f}{f}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta f}{f^2}$$

$$\frac{\Delta f}{f^2} = \frac{0.01}{894.35} = 0.0000000125 \text{ Hz}$$

Asimismo, la incertidumbre de la longitud de la onda se tuvo que transformar a metros, debido a que solo se planteó la incertidumbre del instrumento de medición, esto se explica con el siguiente planteamiento:

$$\Delta \lambda = 0.01$$

$$\Delta\lambda = \frac{0.01}{100}$$

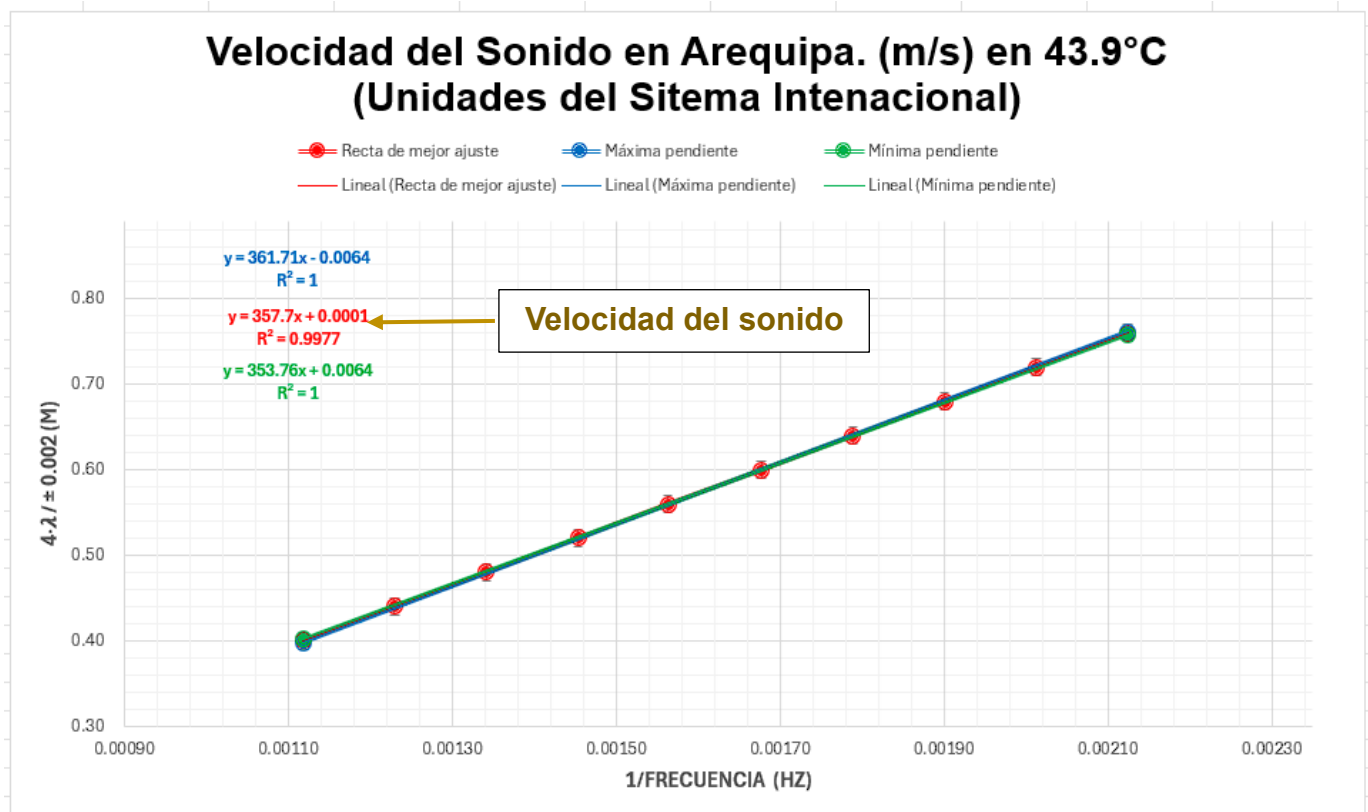
$$\Delta\lambda = 0.0005$$

$$\Delta 4\lambda = 0.0005 \cdot 4$$

$$\Delta 4\lambda = 0.002$$

Figura 6

Relación de la longitud con la frecuencia para el cálculo de la velocidad del sonido en una temperatura de 43.9 °C.



Donde el valor experimental de la velocidad del sonido se estimó en aproximadamente: $357.70 \pm 3.98 \text{ ms}^{-1}$. La incertidumbre absoluta se dio con el siguiente cálculo (lo mismo se dará con todas las temperaturas):

$$\frac{(361.71 - 357.70) + (357.70 - 353.76)}{2} = \frac{4.01 + 3.94}{2} = \frac{7.95}{2} = \pm 3.975$$

Figura 7

Máxima pendiente y mínima pendiente (teórica específicamente para esta gráfica)

Máxima pendiente	
x_1	$y_1 - \Delta y_1$
x_9	$y_9 + \Delta y_9$
Mínima pendiente	
x_1	$y_1 + \Delta y_1$
x_9	$y_9 - \Delta y_9$

Figura 8

Máxima pendiente y mínima pendiente (expresada con los datos recopilados para esta gráfica)

Máxima			Mínima	
0.00112	0.398		0.00112	0.402
0.00212	0.762		0.00212	0.758

Utilizando la propiedad de ondas estacionarias en tubos, explicada en el marco teórico, esta variación en la frecuencia de resonancia, causada por el cambio en la longitud del tubo, genera una relación lineal directamente proporcional entre la longitud del tubo y el inverso de la frecuencia.

Ambas variables se relacionan con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{c}{4\lambda} \quad v \quad \frac{1}{f} = \frac{4\lambda}{c}$$

Esta relación indica que el inverso de la frecuencia $\left(\frac{1}{f}\right)$ es directamente proporcional a la longitud efectiva del tubo (4λ), con la pendiente de la gráfica representando la velocidad del sonido en el medio. Al graficar 4λ en función de $\frac{1}{f}$ se presenta una línea recta cuya pendiente corresponde a la velocidad del sonido. Los datos experimentales de (4λ) y $\left(\frac{1}{f}\right)$ fueron graficados, y se observó

una relación lineal esto evidenciado con el coeficiente de determinación de $(R^2) = 0.9997$), confirmando que las variaciones en 4λ corresponden proporcionalmente a las variaciones en $\left(\frac{1}{f}\right)$. La pendiente de esta línea recta nos proporcionó el valor de a $357.70 \pm 3.98 \text{ ms}^{-1}$

Este valor es consistente con la velocidad del sonido a una temperatura de (43.9°C) considerando que la velocidad del sonido en el aire aumenta con la temperatura. Utilizando la fórmula empírica para la velocidad del sonido en función de la temperatura:

$$C = 331.3 + 0.6 (43.9)$$

$$C = 357.64 \text{ ms}^{-1}$$

El valor obtenido experimentalmente (357.70 ms^{-1}) es muy cercano al valor teórico (357.64 ms^{-1}) , a pesar de ser mayor, valida la relación científica de las mediciones experimentales. Confirmando que los resultados experimentales son consistentes con la teoría y confirman la relación directamente proporcional esperada, validando tanto el modelo teórico como la precisión de las mediciones.

1.2 Análisis de Datos:

Para la evaluación del comportamiento de la velocidad del sonido respecto a la temperatura del ambiente, se hace un contraste entre la formulación experimental (la principal en la monografía) y dos representaciones teóricas que se plantearon en el marco Teórico, para esto empezamos con los datos procesados para el comportamiento experimental:

Incertidumbre de la velocidad del sonido:

$$\frac{(\text{máx. pendiente} - \text{mín. pendiente})}{2} = \pm \Delta C (\text{Velocidad del Sonido}).$$

Tabla 6

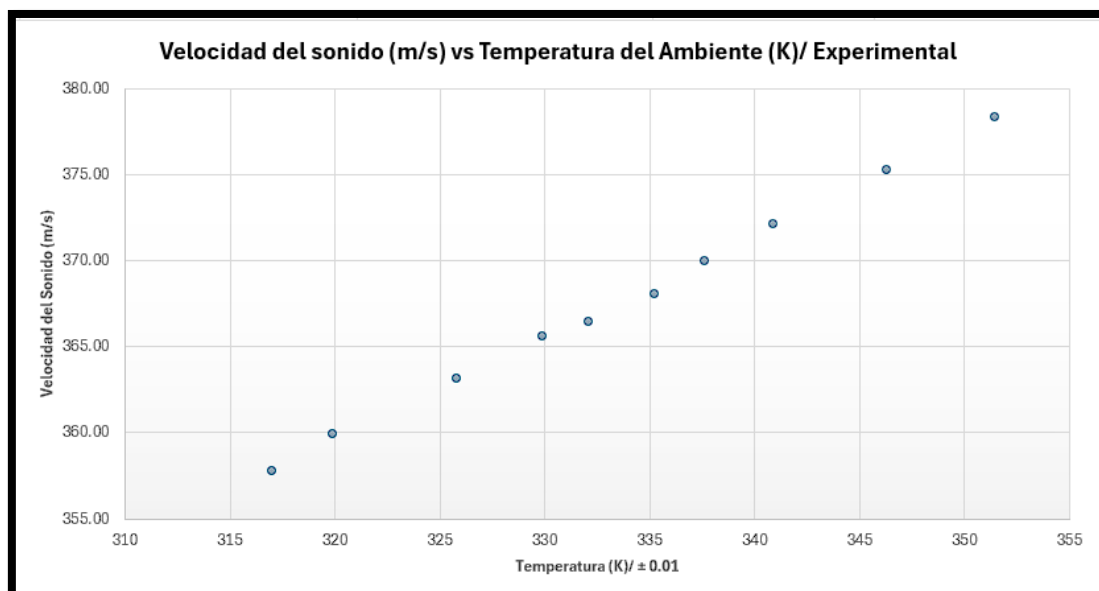
Muestras de la Velocidad del Sonido y las temperaturas del ambiente expresadas en °C y K (experimental)

Velocidad del Sonido (C)	Temperatura C° ± 0.01	Temperatura en K ± 0.01	ΔC v ΔVelocidad del Sonido
357.70	43.9	317.05	3.98
359.91	46.8	319.95	4.01
363.08	52.7	325.85	4.04
365.60	56.8	329.95	4.06
366.44	59.0	332.15	4.07
368.00	62.1	335.25	4.09
369.98	64.5	337.65	4.11
372.08	67.8	340.95	4.14
375.24	73.2	346.35	4.17
378.29	78.3	351.45	4.20

El cual al graficar en el eje X las temperaturas en kelvin y la velocidad del sonido (C) en el eje Y, nos da el siguiente diagrama de puntos:

Figura 9

Diagrama de puntos referente al comportamiento de la Velocidad del Sonido y la temperatura del ambiente en Kelvin.



Por lo que para que se una representación más precisa de hará el uso de las barras de error y además se va a linealizar la gráfica para hallar el valor de la pendiente y validar la relación que tienen estas dos variables lo más certero posible.

Figura 10

Máxima y Mínima pendiente.

Máxima pendiente	
$x_1 + \Delta x_1$	$y_1 - \Delta y_1$
$x_9 - \Delta x_9$	$y_9 + \Delta y_9$
Mínima pendiente	
$x_1 - \Delta x_1$	$y_1 + \Delta y_1$
$x_9 + \Delta x_9$	$y_9 - \Delta y_9$

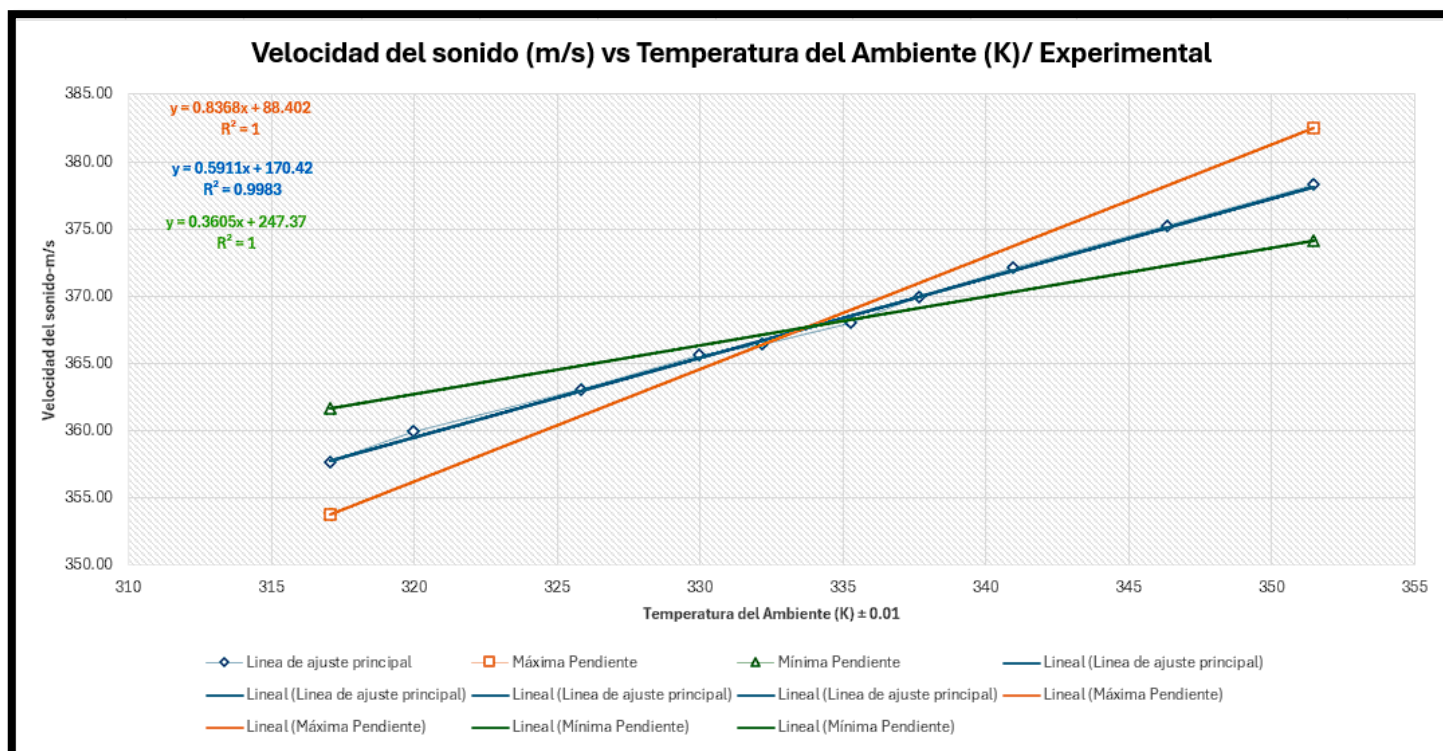
Figura 11

Máxima y Mínima pendiente.

Máxima pendiente		Mínima pendiente	
317.06	353.73	317.04	361.68
351.44	382.50	351.46	374.09

Figura 12

Gráfica referente al comportamiento de la Velocidad del Sonido y la temperatura del ambiente en Kelvin.



En dicha gráfica podemos observar una tendencia lineal de aumento de la velocidad del sonido conforme incrementa la temperatura. Esto coincide con la teoría, ya que la velocidad del sonido en un gas aumenta con la temperatura debido a que las moléculas del aire se mueven más rápido y transmiten las ondas de sonido más rápidamente. Además, a pesar de la consistencia general, es importante notar las pequeñas variaciones y considerar posibles fuentes de error. Por ejemplo, las mediciones de temperatura con una precisión de ± 0.01 K pueden tener pequeñas inexactitudes que afectan los valores de velocidad del sonido, sin embargo, la incertidumbre de la velocidad del sonido llega a tener un mayor grado de inconsistencia, las barras de error son relativamente medianas en comparación con la variación total de la velocidad del sonido en el rango de temperaturas estudiadas. Esto sugiere que los datos no son seguros y que la incertidumbre afecta significativamente a la interpretación de la tendencia lineal.

A pesar de ello, para poder confirmar este resultado debemos recurrir a la explicación teórica, por lo que primero se utilizara la formula:

$$C = (331 + 0.6 \cdot T) \text{ m/s}$$

Ejemplo de planteamiento:

$$C = (331 + 0.6 \cdot 43.9)$$

$$C = (331 + 26.34)$$

$$C = 357.34 \text{ m s}^{-1}$$

En vista a ello se realiza una gráfica referente al comportamiento de la velocidad del sonido y la temperatura según el modelo de Giancoli (2008):

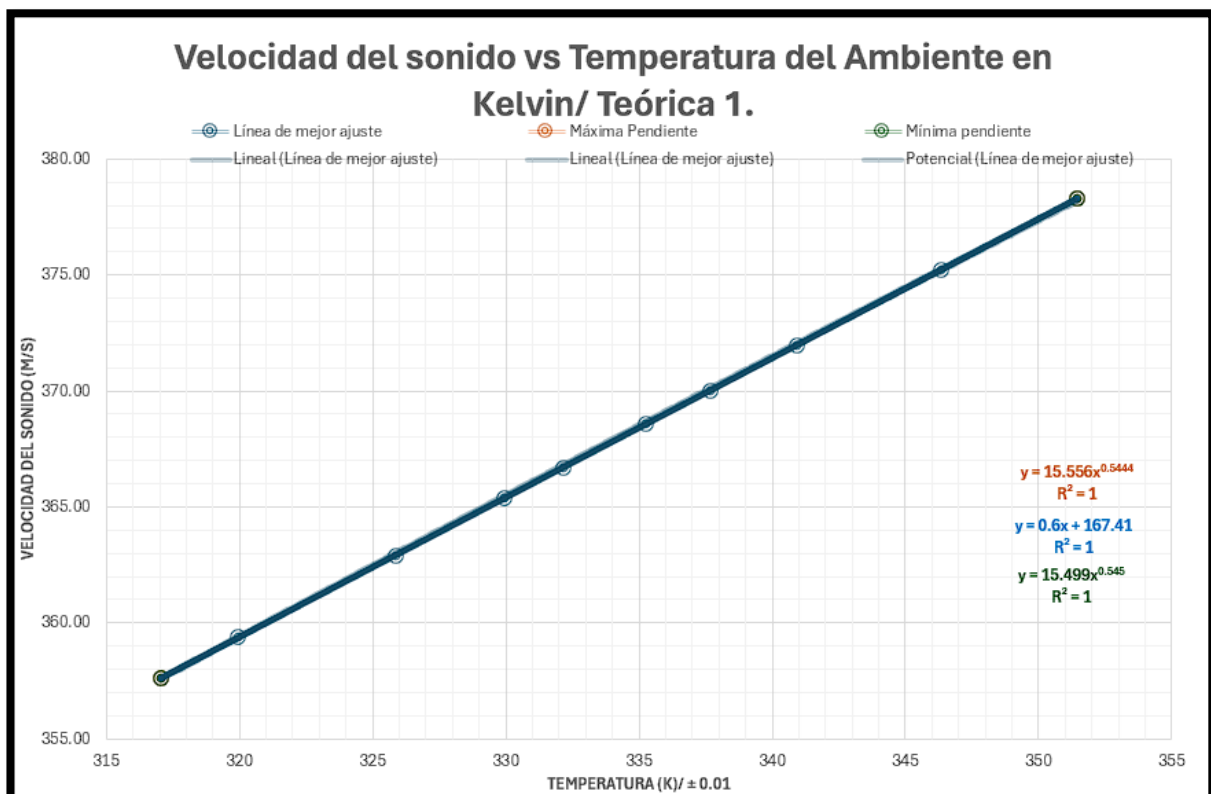
Tabla 7

Muestras de la Velocidad del Sonido y las temperaturas del ambiente expresadas en °C y K (Teórico 1)

Velocidad del Sonido (C)	Temperatura C° ± 0.01	Temperatura en K ± 0.01
357.34	43.9	317.05
359.08	46.8	319.95
362.62	52.7	325.85
365.08	56.8	329.95
366.40	59.0	332.15
368.26	62.1	335.25
369.70	64.5	337.65
371.68	67.8	340.95
374.92	73.2	346.35
377.98	78.3	351.45

Figura 13

Gráfica referente al comportamiento de la Velocidad del Sonido y la temperatura del ambiente en Kelvin.



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

$$C = \sqrt{\frac{(1.40) \cdot (8.314) \cdot T}{28.8E - 3}}$$

Ejemplo de Planteamiento:

$$C = \sqrt{\frac{(1.40) \cdot (8.314) \cdot 43.9}{28.8E - 3}}$$

$$C = 357.96 \text{ ms}^{-1}$$

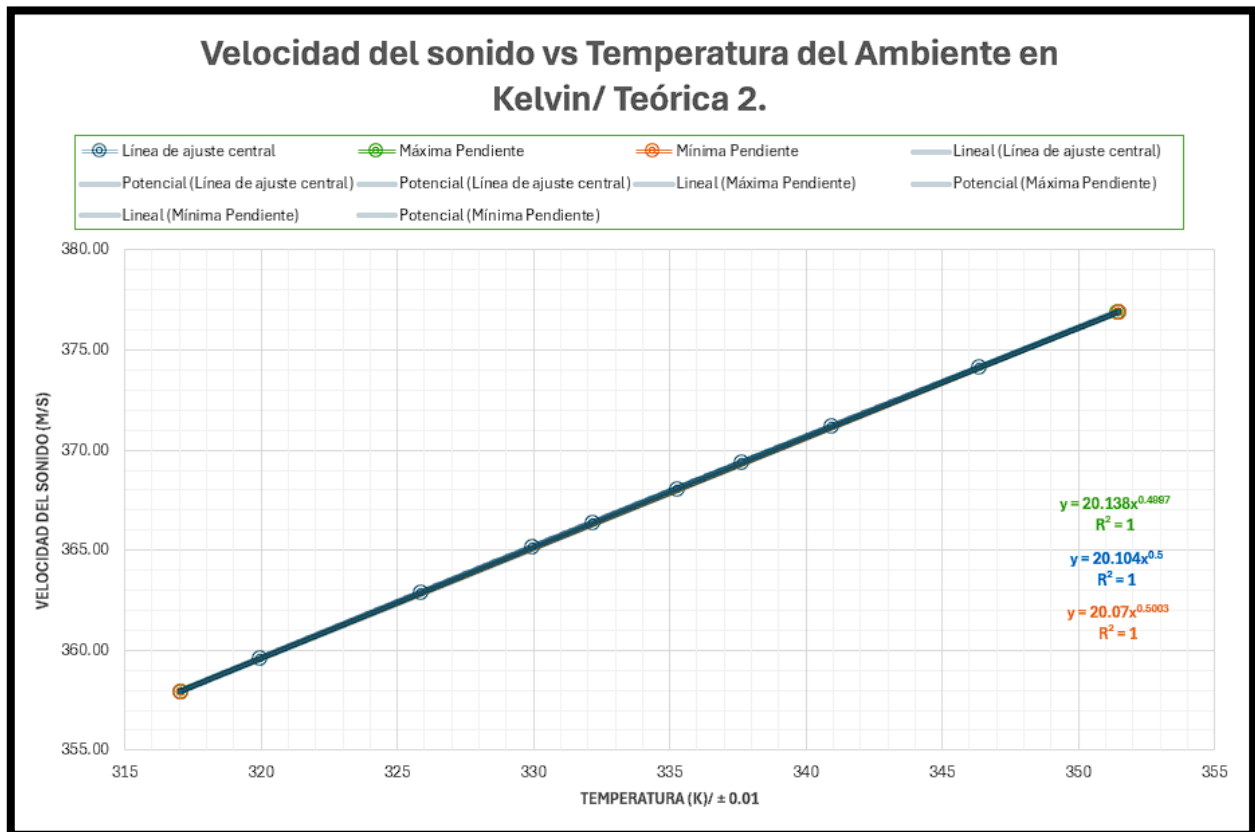
Tabla 8

Muestras de la Velocidad del Sonido y las temperaturas del ambiente expresadas en °C y K (Teórico 2)

Velocidad del Sonido (C)	Temperatura C° ± 0.01	Temperatura en K ± 0.01
357.96	43.9	317.05
359.60	46.8	319.95
362.90	52.7	325.85
365.17	56.8	329.95
366.39	59.0	332.15
368.09	62.1	335.25
369.41	64.5	337.65
371.21	67.8	340.95
374.14	73.2	346.35
376.88	78.3	351.45

Figura 14

Gráfica referente al comportamiento de la Velocidad del Sonido y la temperatura del ambiente en Kelvin.

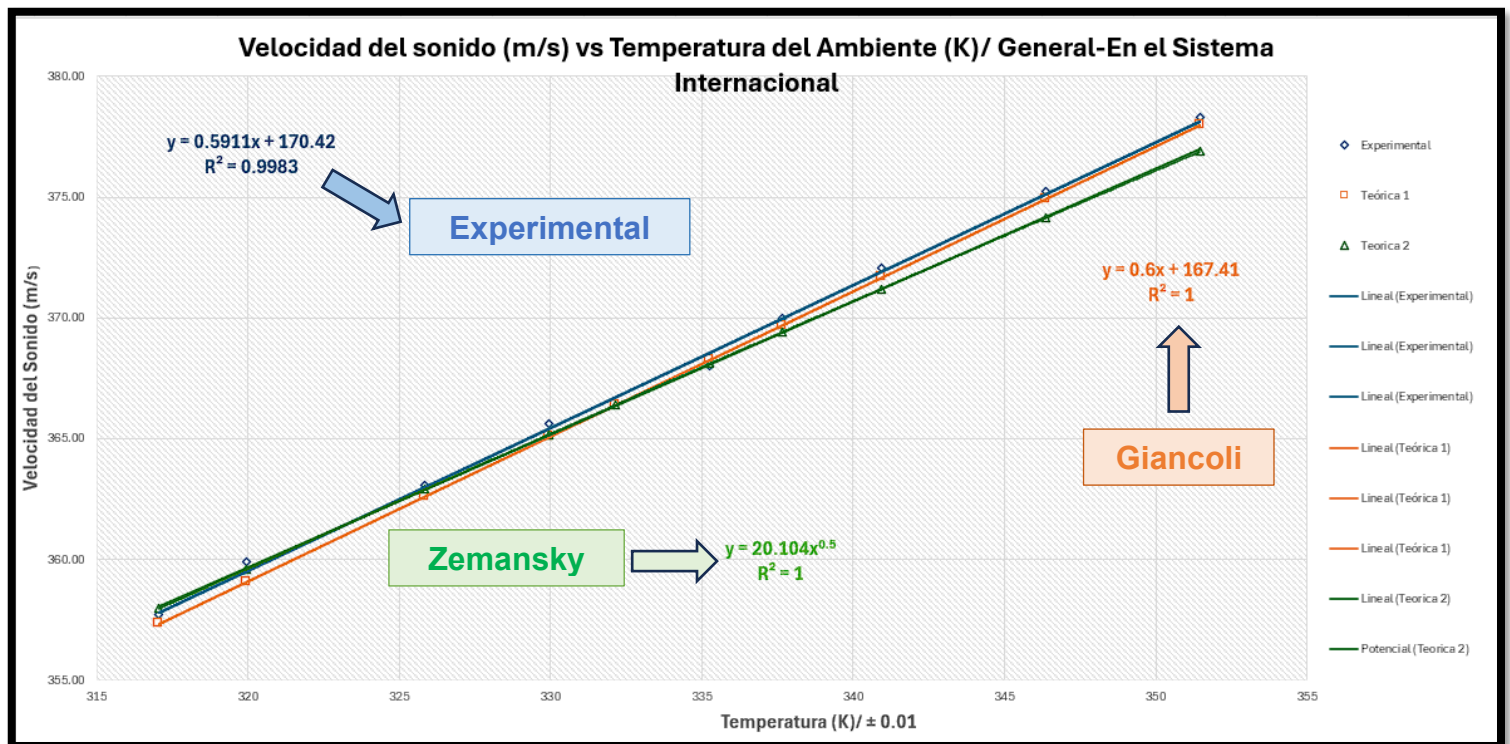


En las dos gráficas teóricas solo se consideró la incertidumbre de la temperatura del ambiente de ± 0.01 K pero no la de la velocidad del sonido, esto se debe a que la temperatura es la única variable medida experimentalmente, que influye directamente en el cálculo de la velocidad del sonido. Dentro de las fórmulas de (C), se presentan constantes conocidas con valores establecidos y sin incertidumbre significativa, por lo que los resultados de las velocidades se consideran exactos dentro del contexto de la teoría aplicada. Ejemplo de ello es la relación en la fórmula de Zemansky, si nos damos cuenta, C es proporcional a \sqrt{T} . Por lo tanto, la única fuente de incertidumbre relevante proviene de la medición de la temperatura, justificando así la inclusión de su incertidumbre en las gráficas.

En base a los tres modelos que demuestran el comportamiento de la velocidad del sonido cuando es expuesta a variaciones de temperatura se nos presenta la siguiente figura:

Figura 15

Comportamiento de la Velocidad del Sonido y las variaciones de Temperatura.



Según las tres gráficas presentadas y analizadas, se ha encontrado una tendencia clara de aumento en la velocidad del sonido a medida que la temperatura del ambiente incrementa. Este comportamiento es consistente con la teoría cuando descomponemos la fórmula de Zemansky:

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

Si tomamos en cuenta que en la fórmula se presentan valores constantes (γ, R, M), estos se omiten y se establece la relación entre (C) y (T):

$$C \propto \sqrt{T}$$

Donde sí trabajamos con la propagación de las incertidumbres asociadas a las variables nos plantea:

$$\Delta C = \left| \frac{dC}{dT} \right| \Delta T$$

Primero, encontramos la derivada de C respecto a T :

$$\frac{dC}{dT} = \frac{d}{dT} \left(\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \right)$$

Entonces la incertidumbre de C es:

$$\Delta C = \frac{C}{2T} \Delta T$$

Esta relación muestra que la incertidumbre de (C) es proporcional a la incertidumbre de (T), ajustada por un factor que depende de la temperatura absoluta y la velocidad del sonido en ese punto.

Aunque se reconocen pequeñas variaciones y posibles fuentes de error en las mediciones de temperatura, las comparaciones teóricas confirman esta relación proporcional entre la velocidad del sonido y la temperatura.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIÓN.

Por medio de la medición de datos, procesamiento y análisis, se ha logrado confirmar y profundizar la hipótesis de investigación. En Arequipa, la velocidad del sonido varía de manera directamente proporcional con la temperatura, en particular, cuando la temperatura del aire en el sistema incrementa, la velocidad del sonido también lo hace.

Asimismo, se demostró, bajo un análisis comparativo en las gráficas, que la relación entre (C) y (T) es lineal y potencial, confirmando la validez del modelo teórico utilizado, se observó una consistencia notable entre los datos recolectados y las predicciones teóricas, debido a que también se evaluó la precisión y las barras de error de las mediciones. Igualmente, se logró construir y utilizar un prototipo experimental que facilitó el proceso de experimentación y la recolección de datos relevantes; se investigó la influencia de la temperatura en una variable dependiente, relacionada directamente con la relación del comportamiento de la velocidad del sonido.

Finalmente, estos resultados no solo contribuyen al conocimiento sobre la acústica en condiciones específicas, sino que también proporcionan datos y conclusiones con posibles implicaciones importantes para entender cómo el sonido se propaga en entornos con características térmicas particulares, como las que se encuentran en Arequipa.

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN.

1.1 Limitaciones:

Tabla 9

Limitaciones encontradas en la Investigación.

Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Factores como la presión atmosférica, humedad y corrientes de aire pueden afectar en el cálculo de la velocidad del sonido. • Pequeñas variaciones en la longitud efectiva del tubo (debido a imperfecciones o deformaciones del material) pueden afectar la relación entre la longitud de onda y la frecuencia. • La precisión y calibración de los instrumentos utilizados para medir la frecuencia y la longitud de onda pueden introducir errores sistemáticos o aleatorios en los datos. • La conversión de unidades (por ejemplo, de kg/kmol a kg/mol) puede introducir errores adicionales. • La Temperatura del ambiente, definió la velocidad del sonido en el aire y el punto inicial de las mediciones. Y aunque no se controlaron directamente las variaciones de temperatura, cada medición fue independiente de la otra, por lo que se integraron en la incertidumbre variable de la velocidad del sonido para cada variación, generando así una propagación de errores.

1.2 Propuestas para investigaciones Futuras.

La presente investigación utilizó como principal variable controlada la temperatura; sin embargo, sería interesante estudiar la influencia de variaciones controladas de otros factores, como la densidad del medio y la composición del gas, en la velocidad del sonido. Asimismo, para una comparación más robusta entre la relación de la velocidad del sonido y la temperatura, se podrían tomar

más datos (debido a que en la investigación se emplearon 10, en un futuro se podrían comparar 20 datos), así como la repetición del experimento.

Por otra parte, sería importante investigar el comportamiento de la velocidad del sonido en otros gases y su relación con estas variables de investigación, e incluso bajo diferentes condiciones ambientales y de presión. También el uso de instrumentos de medición más precisos y calibrados, tanto para la temperatura como para la frecuencia y longitud de onda, lo que reduciría significativamente el grado de incertidumbre en las variables.

Además, un análisis comparativo utilizando tubos de diferentes materiales podría ofrecer una visión más completa de cómo la estructura del medio influye en la propagación del sonido. Se espera que estas propuestas sean de interés para los investigadores y fomenten una mayor exploración sobre la relación entre la temperatura y la velocidad del sonido, lo cual puede ser de gran utilidad en aplicaciones prácticas y teóricas.

CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Colque, J., (2018). *Evaluación de los niveles de presión sonora a través de la elaboración de mapas de ruido en el hospital Goyeneche* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Gamarra, R., (2008). *Caracterización y Valoración Económica de la Contaminación Acústica Vehicular en el Distrito de Iquitos*, Perú 2007-2008. Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales, Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, Iquitos.

García, M., (2016). *Evaluación de la contaminación acústica de la zona comercial e industrial de la Ciudad de Tacna* [Tesis de Bachiller]. Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

García, S., y Garrido, F. (2003), *La Contaminación Acústica en Nuestras Ciudades*. Barcelona: Fundación La Caixa, 254pp.

Giancoli, C. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería*. (4ª ed.). España: Pearson.

Harris, C. (1995). *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido*, Madrid: Interamericana de España.

PUCP [@pucp]. (2015, octubre 16). PUCP - Física 2: *Determinación de la velocidad del sonido en el aire*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=ZeaNpvl0PNQ>

Velp Scientifica™ Agitador con placa calefactora cerámica digital AREC.X -. (s/f). Fishersci.es. Recuperado el 6 de junio de 2024, de <https://www.fishersci.es/shop/products/arec-x-digital-ceramic-hot-plate-stirrer-4/17244083>

Zemansky, S. (2009). *Física Universitaria* (12ª ed.) vol.1. México: Addison-Wesley.

ANEXOS.

Figura 16

Construcción del prototipo.

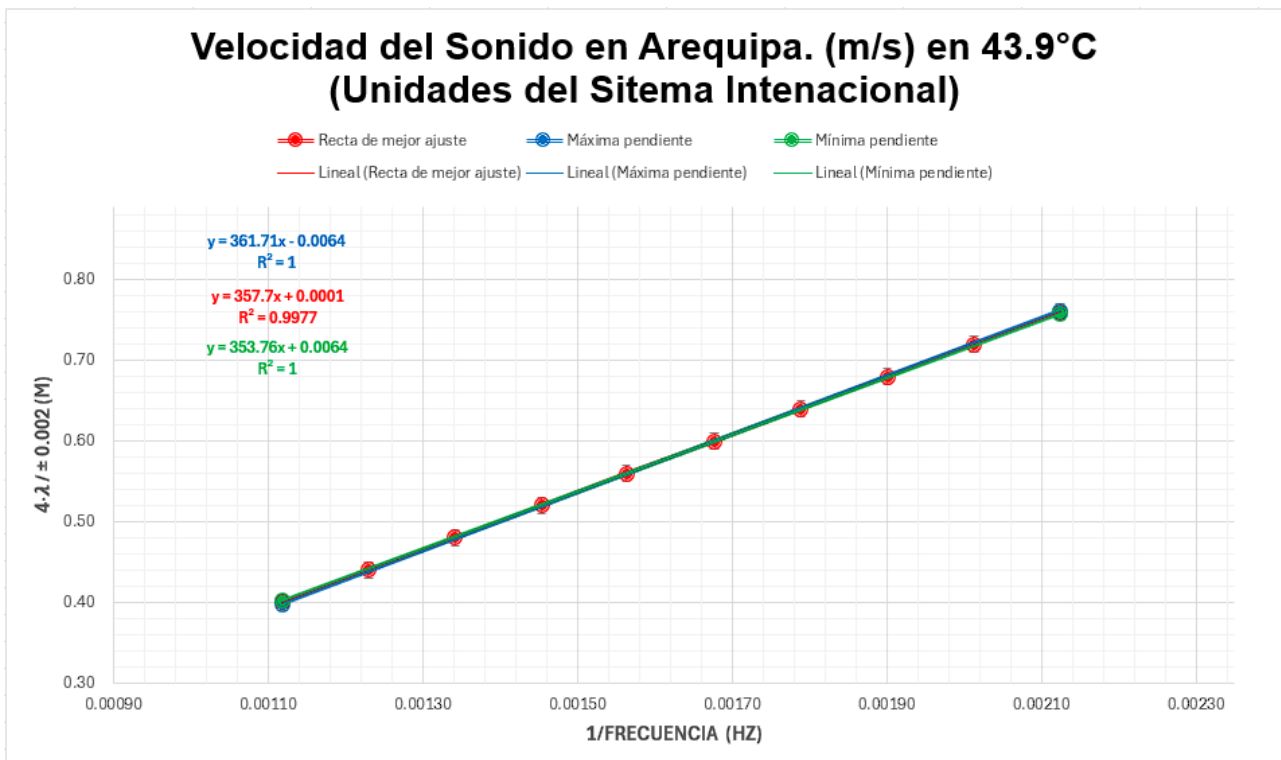


Figura 17*Toma de muestras de agua.***Tabla 10***Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura ($43.9\text{ C}^\circ \pm 0.01$)*

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f$ v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
894.35	0.10	0.40	0.00112	0.0000000125
813.05	0.11	0.44	0.00123	0.0000000151
745.29	0.12	0.48	0.00134	0.0000000180
687.96	0.13	0.52	0.00145	0.0000000211
639.60	0.14	0.56	0.00156	0.0000000244
596.23	0.15	0.60	0.00168	0.0000000281
558.97	0.16	0.64	0.00179	0.0000000320
526.09	0.17	0.68	0.00190	0.0000000361
496.86	0.18	0.72	0.00201	0.0000000405
470.71	0.19	0.76	0.00212	0.0000000451

Figura 18

Velocidad del Sonido en una temperatura de 43.9 °C.

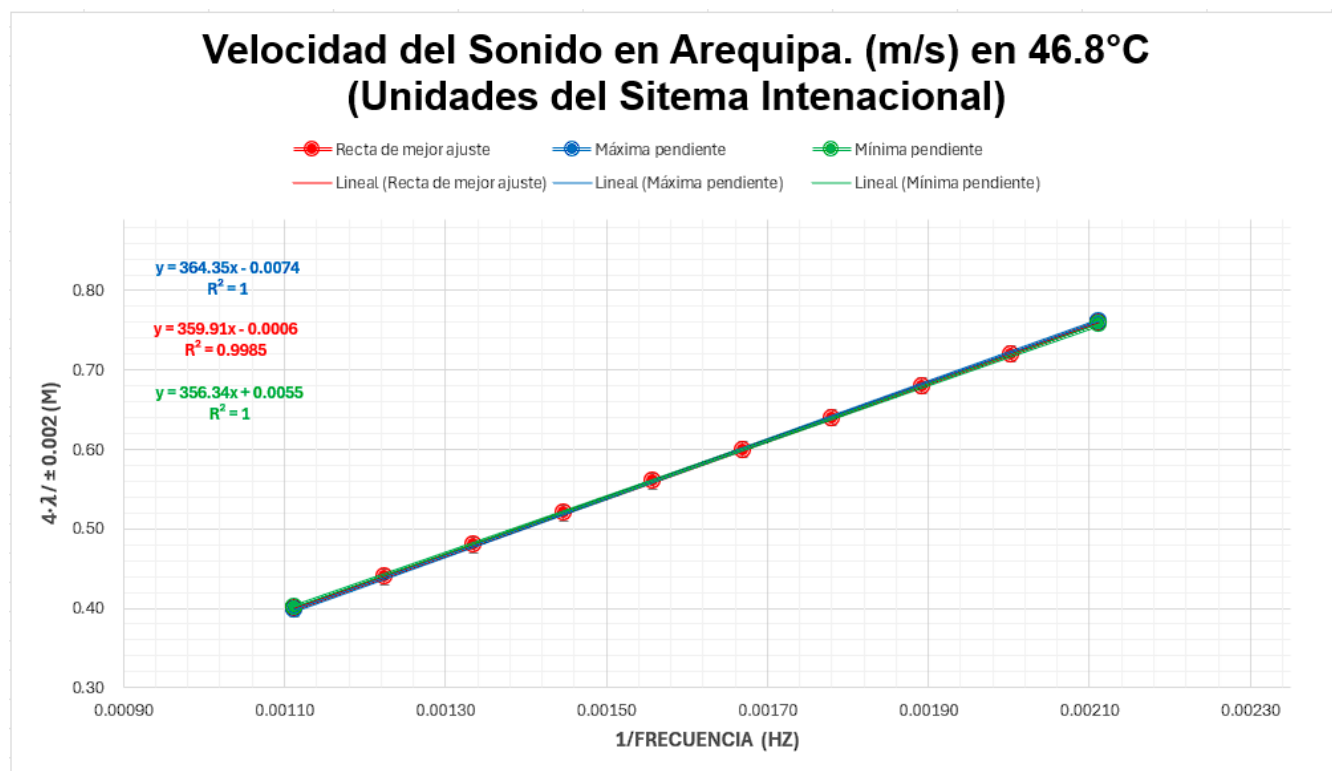
**Tabla 11**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (46.8 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f$ v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
898.70	0.10	0.40	0.00111	0.0000000124
817.00	0.11	0.44	0.00122	0.0000000150
748.92	0.12	0.48	0.00134	0.0000000178
691.31	0.13	0.52	0.00145	0.0000000209
641.93	0.14	0.56	0.00156	0.0000000243
599.13	0.15	0.60	0.00167	0.0000000279
561.69	0.16	0.64	0.00178	0.0000000317
528.65	0.17	0.68	0.00189	0.0000000358
499.28	0.18	0.72	0.00200	0.0000000401
473.54	0.19	0.76	0.00211	0.0000000446

Figura 19

Velocidad del Sonido una temperatura de 46.8 °C.

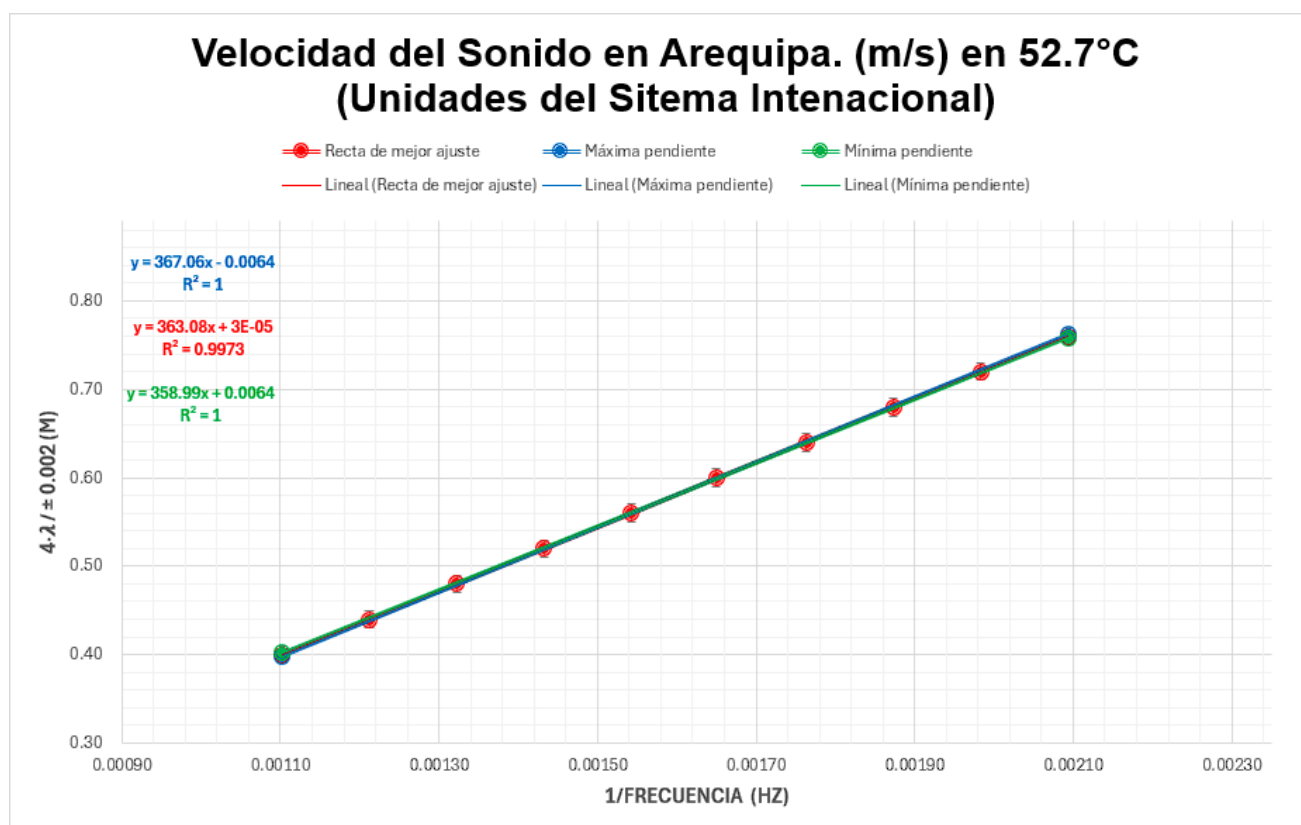
**Tabla 12**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (52.7 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f$ v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
907.55	0.10	0.40	0.00110	0.0000000121
825.05	0.11	0.44	0.00121	0.0000000147
756.29	0.12	0.48	0.00132	0.0000000175
698.12	0.13	0.52	0.00143	0.0000000205
648.25	0.14	0.56	0.00154	0.0000000238
606.30	0.15	0.60	0.00165	0.0000000272
567.21	0.16	0.64	0.00176	0.0000000311
533.85	0.17	0.68	0.00187	0.0000000351
504.19	0.18	0.72	0.00198	0.0000000393
477.66	0.19	0.76	0.00209	0.0000000438

Figura 20

Velocidad del Sonido una temperatura de 52.7 °C.

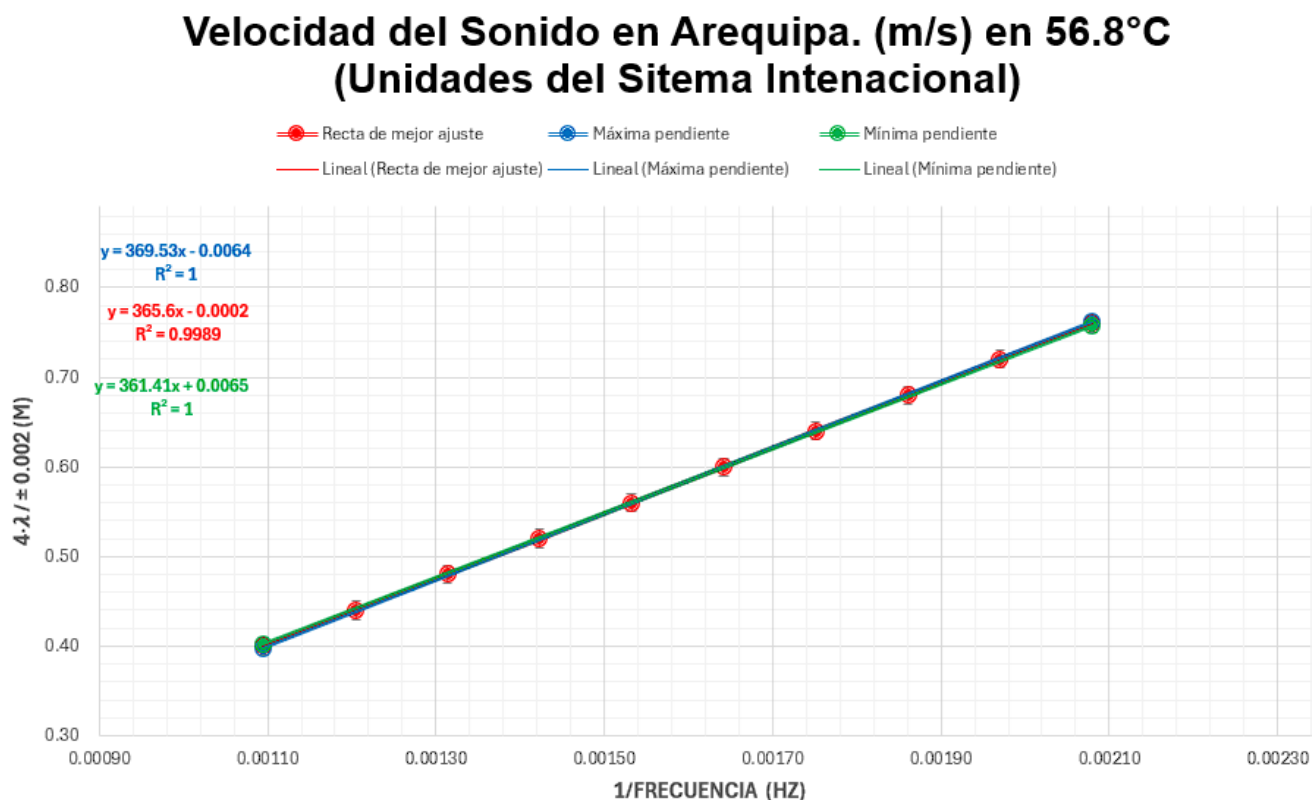
**Tabla 13**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (56.8 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	1/f v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
913.70	0.10	0.40	0.00109	0.0000000120
830.00	0.11	0.44	0.00120	0.0000000145
761.42	0.12	0.48	0.00131	0.0000000172
702.85	0.13	0.52	0.00142	0.0000000202
652.64	0.14	0.56	0.00153	0.0000000235
609.13	0.15	0.60	0.00164	0.0000000270
571.06	0.16	0.64	0.00175	0.0000000307
537.47	0.17	0.68	0.00186	0.0000000346
507.61	0.18	0.72	0.00197	0.0000000388
480.89	0.19	0.76	0.00208	0.0000000432

Figura 21

Velocidad del Sonido una temperatura de 56.8 °C.

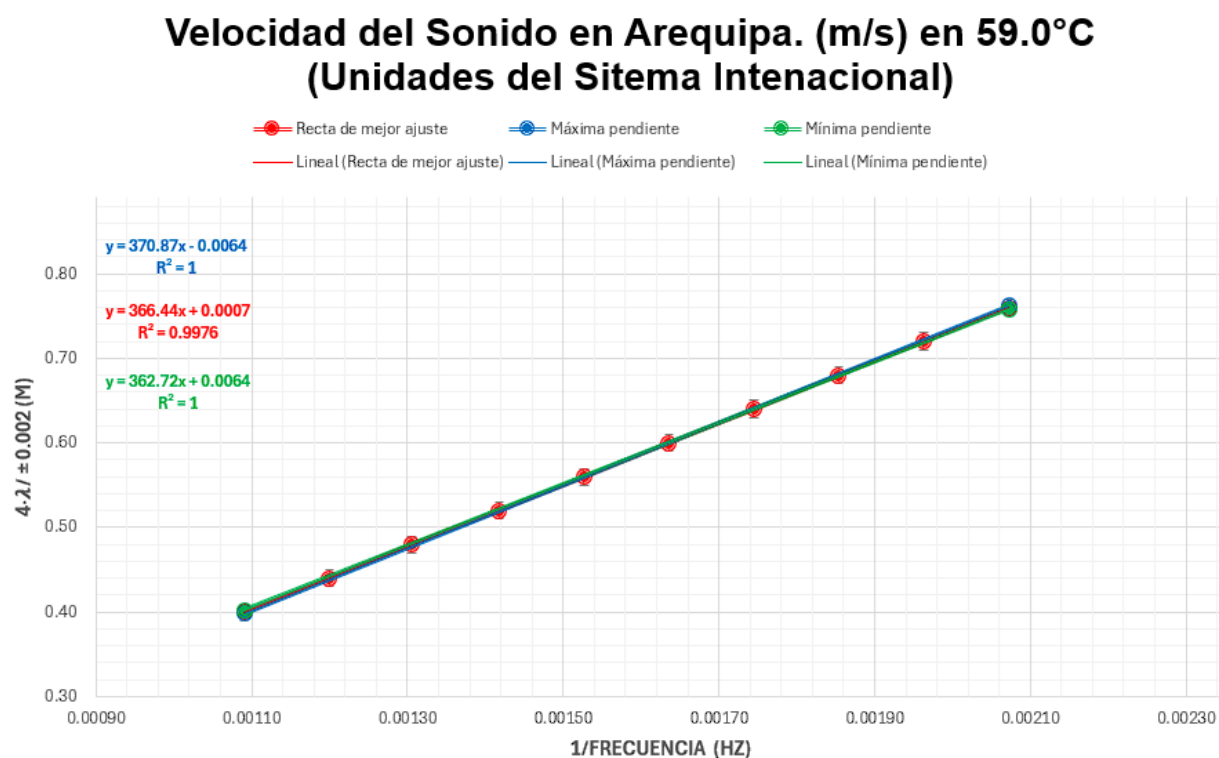
**Tabla 14**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (59.0 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	1/f v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
917.00	0.10	0.40	0.00109	0.0000000119
833.64	0.11	0.44	0.00120	0.0000000144
766.17	0.12	0.48	0.00131	0.0000000170
705.38	0.13	0.52	0.00142	0.0000000201
655.00	0.14	0.56	0.00153	0.0000000233
611.33	0.15	0.60	0.00164	0.0000000268
573.13	0.16	0.64	0.00174	0.0000000304
539.41	0.17	0.68	0.00185	0.0000000344
509.44	0.18	0.72	0.00196	0.0000000385
482.63	0.19	0.76	0.00207	0.0000000429

Figura 22

Velocidad del Sonido una temperatura de 59.0 °C.

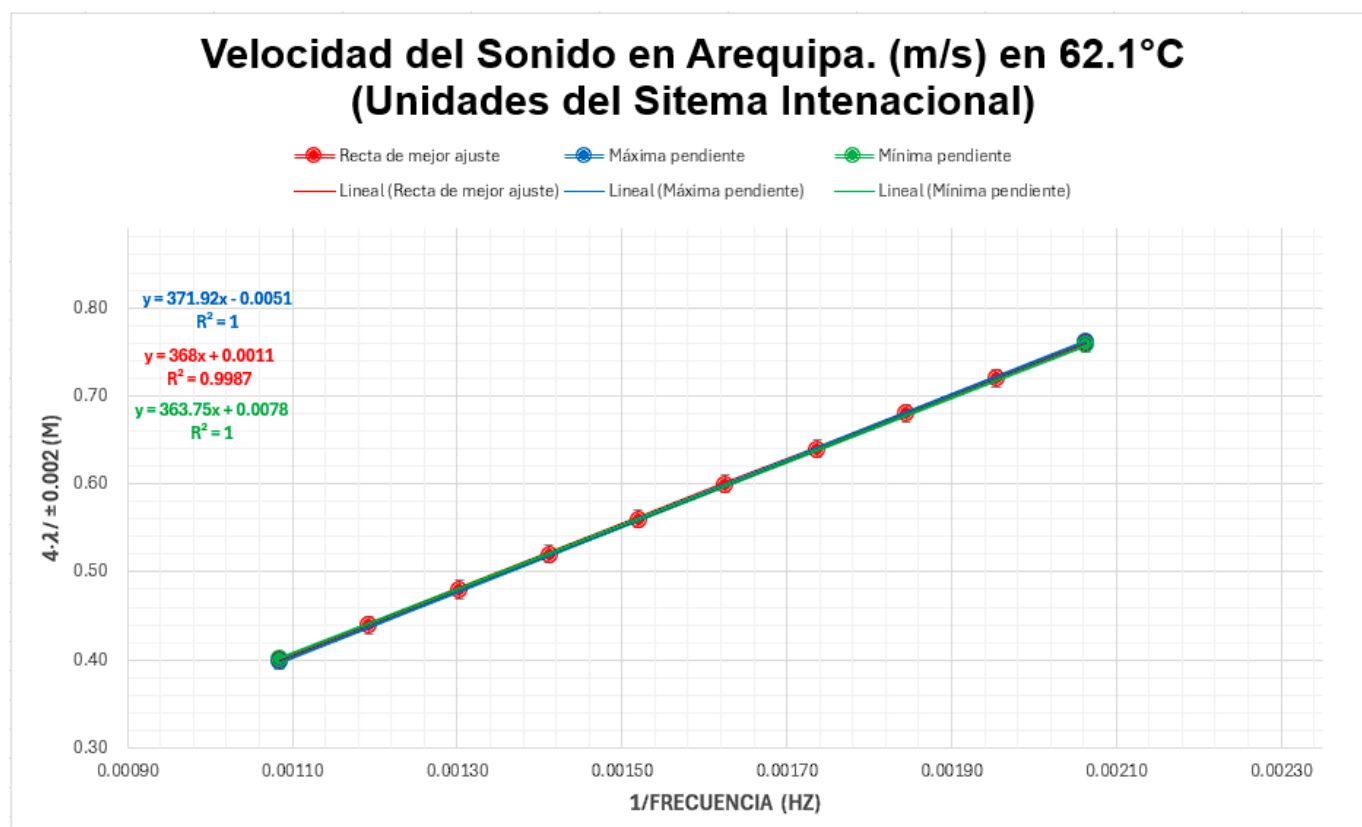
**Tabla 15**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (62.1 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f$ v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
922.65	0.10	0.40	0.00108	0.0000000117
838.77	0.11	0.44	0.00119	0.0000000142
767.67	0.12	0.48	0.00130	0.0000000170
708.62	0.13	0.52	0.00141	0.0000000199
658.32	0.14	0.56	0.00152	0.0000000231
615.43	0.15	0.60	0.00162	0.0000000264
575.75	0.16	0.64	0.00174	0.0000000302
542.04	0.17	0.68	0.00184	0.0000000340
511.78	0.18	0.72	0.00195	0.0000000382
484.84	0.19	0.76	0.00206	0.0000000425

Figura 23

Velocidad del Sonido una temperatura de 62.1 °C.

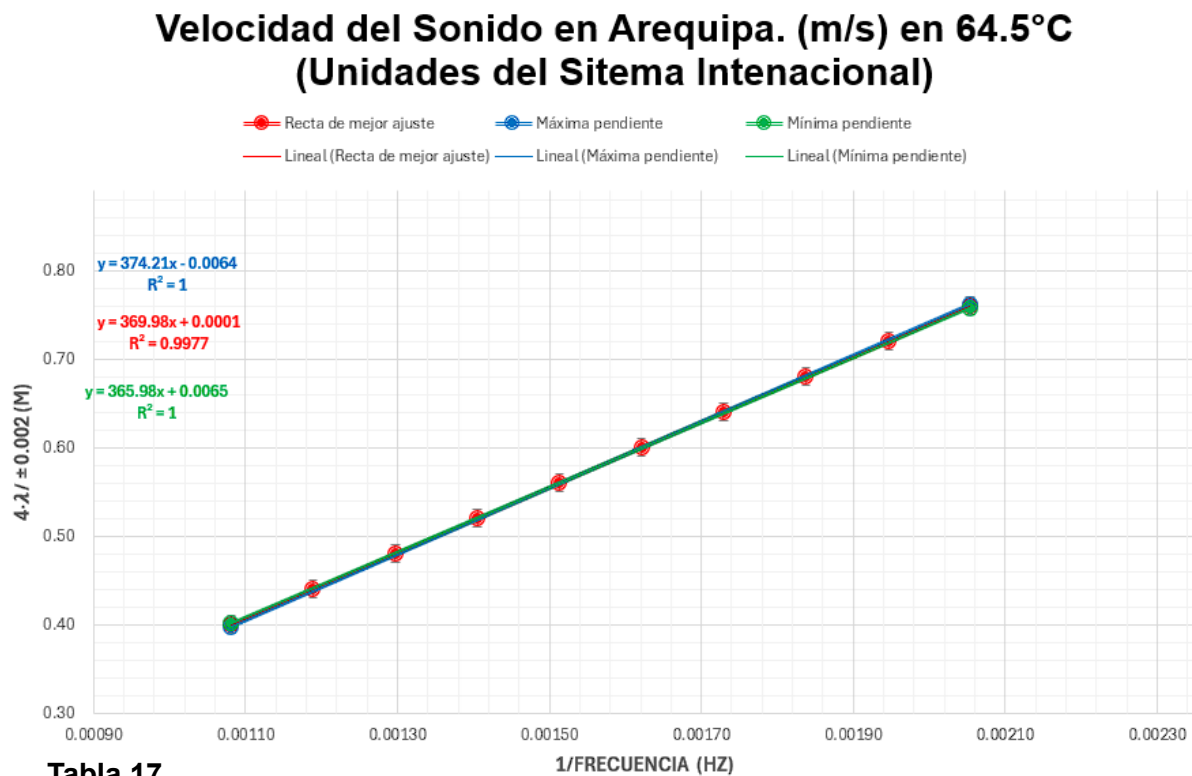
**Tabla 16**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (64.5 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	1/f v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
925.25	0.10	0.40	0.00108	0.0000000117
841.14	0.11	0.44	0.00119	0.0000000141
770.83	0.12	0.48	0.00130	0.0000000168
711.73	0.13	0.52	0.00141	0.0000000197
660.89	0.14	0.56	0.00151	0.0000000229
616.83	0.15	0.60	0.00162	0.0000000263
578.28	0.16	0.64	0.00173	0.0000000299
544.26	0.17	0.68	0.00184	0.0000000338
513.75	0.18	0.72	0.00195	0.0000000379
486.97	0.19	0.76	0.00205	0.0000000422

Figura 24

Velocidad del Sonido una temperatura de 64.5 °C.

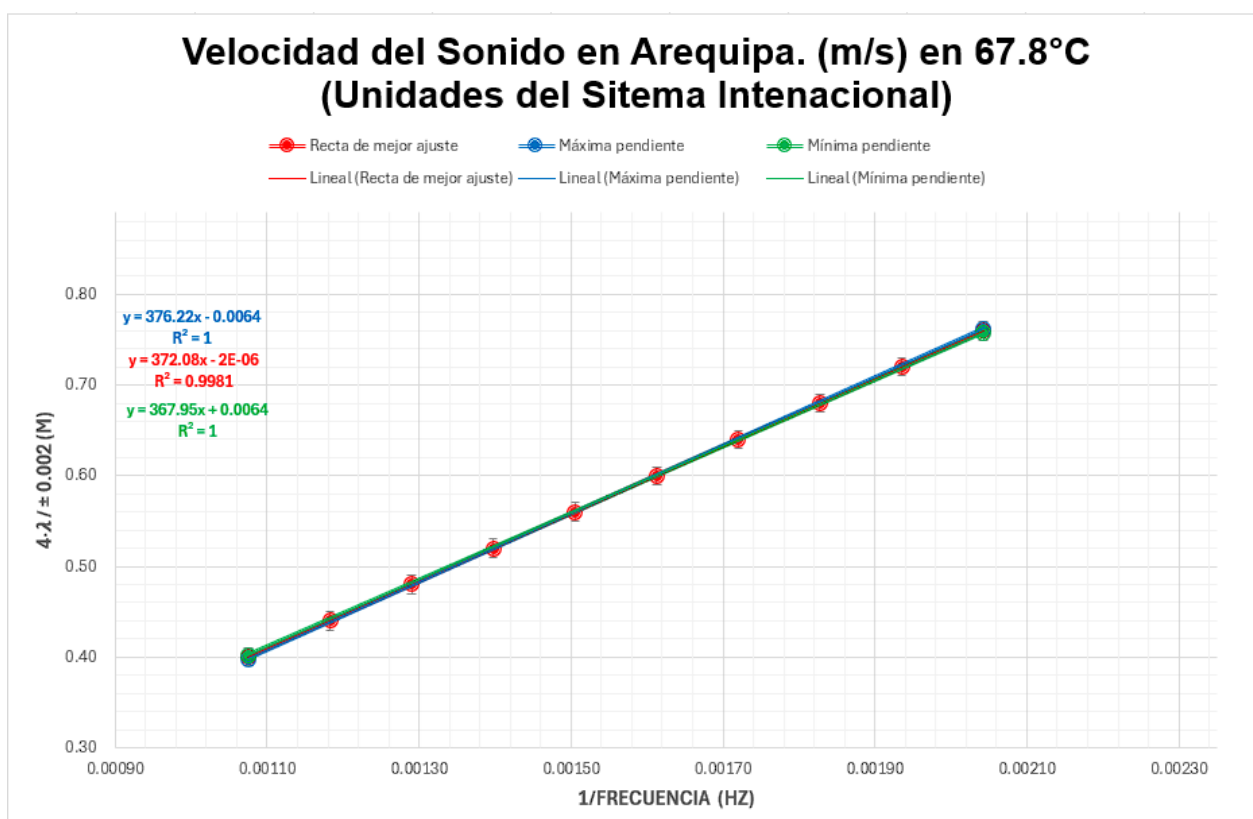
**Tabla 17**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (67.8 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f$ v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
930.20	0.10	0.40	0.00108	0.0000000116
845.64	0.11	0.44	0.00118	0.0000000140
775.17	0.12	0.48	0.00129	0.0000000166
715.54	0.13	0.52	0.00140	0.0000000195
664.43	0.14	0.56	0.00151	0.0000000227
620.13	0.15	0.60	0.00161	0.0000000260
581.38	0.16	0.64	0.00172	0.0000000296
547.18	0.17	0.68	0.00183	0.0000000334
516.78	0.18	0.72	0.00194	0.0000000374
489.58	0.19	0.76	0.00204	0.0000000417

Figura 25

Velocidad del Sonido una temperatura de 67.8 °C.

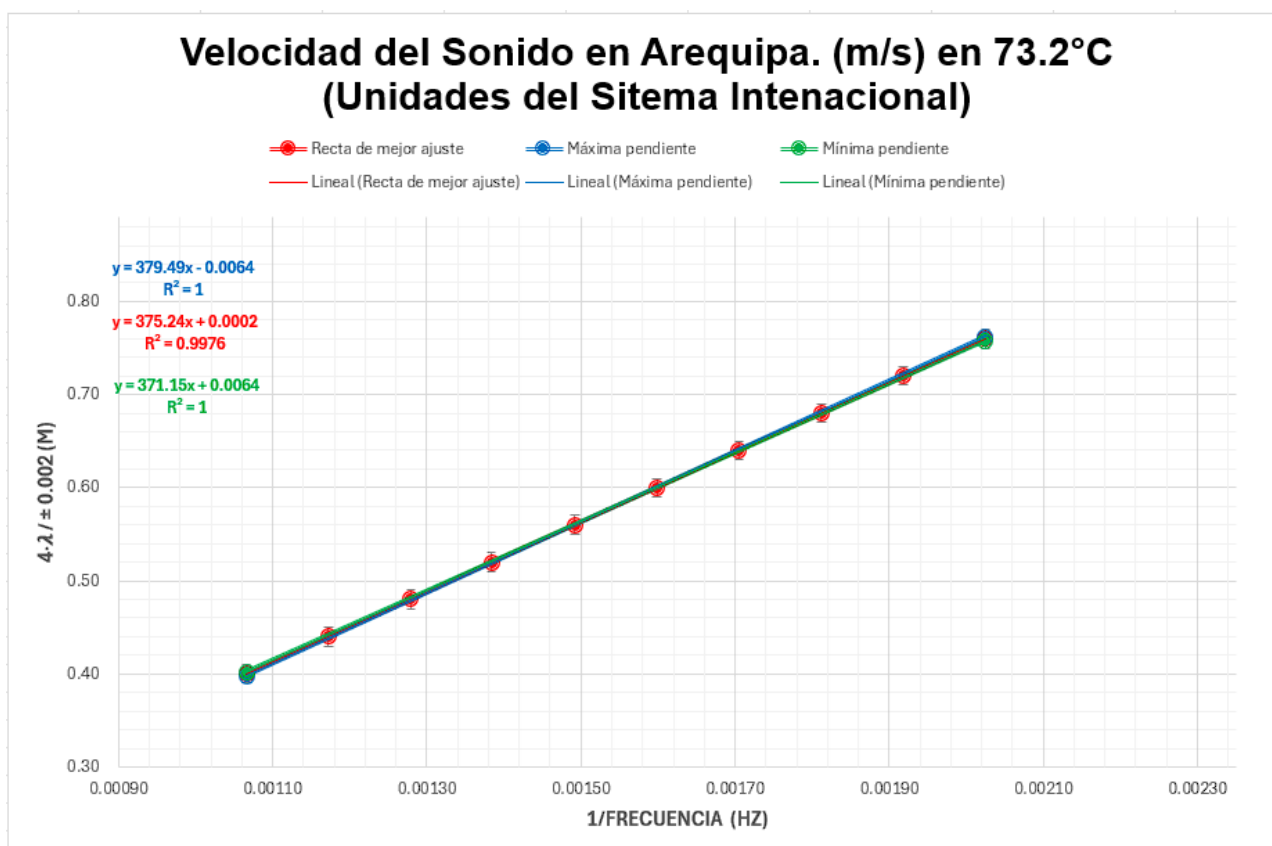
**Tabla 18**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (73.2 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	1/f v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
938.30	0.10	0.40	0.00107	0.0000000114
853.00	0.11	0.44	0.00117	0.0000000137
781.90	0.12	0.48	0.00128	0.0000000164
722.50	0.13	0.52	0.00138	0.0000000192
670.20	0.14	0.56	0.00149	0.0000000223
625.53	0.15	0.60	0.00160	0.0000000256
586.44	0.16	0.64	0.00171	0.0000000291
551.94	0.17	0.68	0.00181	0.0000000328
521.29	0.18	0.72	0.00192	0.0000000368
493.84	0.19	0.76	0.00202	0.0000000410

Figura 26

Velocidad del Sonido una temperatura de 73.2°C.

**Tabla 19**

Frecuencia y Longitud de la onda contenida en una temperatura (78.3 C° ± 0.01)

Frecuencia (Hz)/ ± 0.01	Longitud (m)/ ± 0.0005	4λ (m)/ ± 0.002	$1/f$ v T (Hz)	ΔT v $\Delta 1/f$
945.95	0.10	0.40	0.00106	0.0000000112
860.41	0.11	0.44	0.00116	0.0000000135
788.29	0.12	0.48	0.00127	0.0000000161
727.65	0.13	0.52	0.00137	0.0000000189
675.68	0.14	0.56	0.00148	0.0000000219
630.63	0.15	0.60	0.00159	0.0000000251
591.22	0.16	0.64	0.00169	0.0000000286
556.44	0.17	0.68	0.00180	0.0000000323
525.53	0.18	0.72	0.00190	0.0000000362
497.87	0.19	0.76	0.00201	0.0000000403

Figura 27

Velocidad del Sonido una temperatura de 78.3°C.

