



Tecnológico de Monterrey

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Procesamiento de Imágenes Médicas para el Diagnóstico (Grupo 101)

**Reporte de Laboratorio:
Práctica 2. Ultrasonido Básico**

Profesor

Dr. José Gerardo Tamez Peña

Equipo CT:

Diego De La Barrera Martínez	A01197739
Alexa María de León Durán	A01382990
Juan Luis Flores Sánchez	A01383088
Azul Sofía Moctezuma Enriquez	A01562585

2 de marzo de 2023

Reporte de Laboratorio número 2: Ultrasonido Básico

1. NOMBRE DE INTEGRANTES DE EQUIPO, % DE PARTICIPACIÓN Y ROL EN LA PRÁCTICA.

En la Tabla 1, se adjuntan los integrantes del equipo, estableciendo su participación porcentual, así como, el rol que desempeñaron.

<i>Tabla 1. Integrantes, Participación y Roles en la Práctica</i>		
<i>Integrante</i>	<i>Participación</i>	<i>Rol en la Práctica</i>
Diego de la Barreda	25%	Marco Teórico
Alexa de León	25%	Elaboración del Fantoma, Discusión.
Juan Luis Flores	25%	Objetivo General, Materiales y Métodos, Programación del Equipo de Ultrasonido
Sofía Moctezuma	25%	Introducción, Resultados, Conclusión.

2. INTRODUCCIÓN

El ultrasonido es una técnica que comúnmente se utiliza para el diagnóstico por imágenes en tiempo real, ya que es seguro y no invasivo debido a que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia. Durante esta práctica fue posible observar la función de ultrasonido de forma básica, consistente en tres experimentaciones que se basan en la medición de distancias entre un equipo de ultrasonido y objetos sólidos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Teoría de Propagación de Tejidos con Ultrasonido

Cuando la energía del sonido interactúa con el tejido corporal, las moléculas del tejido se estimulan y la energía se transfiere de una molécula a otra molécula adyacente. La energía acústica viaja a través del tejido en forma de ondas

longitudinales y las moléculas del medio de transporte oscilan en la misma dirección. Estas ondas sonoras corresponden esencialmente a la disminución de densidad y compresión periódica del medio en el que viajan. La distancia de una compresión a la siguiente (la distancia entre los picos de la onda sinusoidal) es la longitud de onda (λ), que se obtiene dividiendo la velocidad de propagación por la frecuencia. El número de veces que se comprime la molécula es la frecuencia (f), expresada en ciclos por segundo o Hertz.

A medida que el ultrasonido pasa a través del tejido, ocurren una serie de eventos, entre ellos, el reflejo o rebote del haz de ultrasonido hacia el transductor, conocido como "eco". La reflexión ocurre en un límite o interfaz entre dos materiales y proporciona evidencia de que un material es diferente del otro. Esta característica se conoce como impedancia acústica y es el producto de la densidad por la velocidad de propagación. El contacto de dos materiales con diferentes impedancias acústicas crea una interfaz entre ellos. Así es como deducimos que la impedancia (Z) es igual al producto de la densidad de un medio (D) y la velocidad del sonido en dicho medio (V)

$$Z = VD$$

Este límite no produce ecos cuando los dos materiales tienen la misma impedancia acústica. Si la diferencia en la impedancia acústica es pequeña, entonces habrá un débil eco. Por otro lado, si la diferencia es grande, se producirán ecos fuertes, y si la diferencia es grande, se reflejará todo el haz de ultrasonido. En los tejidos blandos, la amplitud del eco generado en la interfaz entre dos tejidos es una pequeña fracción de la amplitud incidente. Cuando se utiliza la escala de grises, los reflejos más fuertes o los ecos reflejados se ven en blanco (hiperecoico), los más débiles en varios tonos de gris (hipoecoico) y cuando no hay reflejos en negro (anecoico).

3.2 Propiedades de un Transductor para una Propagación Eficiente del Sonido Dentro de los Tejidos

Las ondas ultrasónicas pueden ser generadas por materiales con efecto piezoeléctrico. El efecto piezoeléctrico es la generación de cargas eléctricas en respuesta a fuerzas mecánicas (compresión o tensión) aplicadas a determinados materiales. En cambio, cuando se aplica un campo eléctrico a este material, se produce una deformación mecánica, también conocida como efecto piezoeléctrico.

Tanto los materiales naturales como los artificiales, incluidos los cristales de cuarzo y los materiales cerámicos, pueden exhibir propiedades piezoeléctricas. Los materiales piezoeléctricos producen pequeñas cantidades de energía, sin embargo al apilar estos elementos en las capas del transductor, este convierte la energía eléctrica en oscilaciones mecánicas de manera eficiente. Estas oscilaciones mecánicas son convertidas en energía eléctrica.

Hay una variedad de aplicaciones que utilizan transductores de ultrasonido enfocados, algunos de los ejemplos más conocidos son la tecnología no destructiva. Uno de los métodos más efectivos de enfoque es utilizar un transductor cuya cerámica sea esférica y cóncava, aunque se pueden utilizar otros métodos para lograr este efecto, como utilizar una cerámica plana unida a una lente cóncava. Actualmente, no existe una teoría que describa con precisión el campo de sonido producido por tales transductores, sin embargo, existen varias aproximaciones como la fórmula de O'Neil.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de un transductor focalizado hecho por un fabricante (ferroperm) donde proporciona un transductor de cerámica de forma cóncava y en la tabla 2 se informa de las propiedades geométricas de la cerámica:

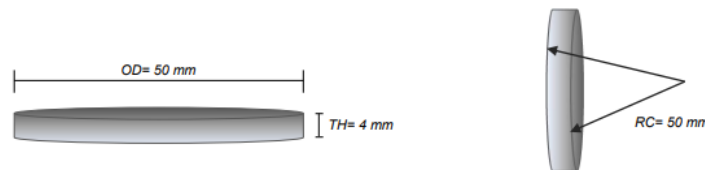


Figura 1. Dimensiones geométricas de cerámica Pz26

Tabla 2. Propiedades geométricas	
Cerámica Pz26	
TH: Espesor (mm)	4
OD: Diámetro (mm)	50
RC: Radio de curvatura (mm)	50

4. OBJETIVO GENERAL

Conocer en forma práctica el funcionamiento de un ultrasonido básico a través de:

- Identificar los componentes de la instrumentación del ultrasonido básico
- Construir un ultrasonido
- Construir un fantoma
- Especificar las propiedades acústicas del medio de interfase
- Hacer mediciones

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales y Equipo Utilizados

- Arduino Uno (pueden utilizarse otras placas de desarrollo)
- Sensor Ultrasónico HC-SR04
- Cables tipo DuPont (*Jumpers*)
- *Protoboard*
- Computadora con Puerto USB
- Arduino IDE Software
- Cinta de Medir
- Plástico Adherente (Cling Wrap)
- Envase Cilíndrico Transparente con una Altura Considerable
- Grenetina en Polvo
- Monedas
- Refrigerador

5.2 Procedimientos

1. Creación de fantoma para calibración del equipo de ultrasonido
 - a. Leer y seguir las instrucciones de preparación de la grenetina
 - b. Preparar la gelatina correspondiente a $\frac{1}{3}$ del envase y vaciar (1a. capa)
 - c. Dejar cuajar en el refrigerador
 - d. Una vez cuajado, sacar el envase del refrigerador y preparar gelatina para la 2a. capa.
 - e. Poner dos monedas sobre la 1a. capa y vaciar la mezcla (2a. capa)
 - f. Dejar cuajar en el refrigerador
 - g. Repetir del paso d al paso f para realizar la 3a. capa
2. Construcción del equipo de ultrasonido
 - a. Realizar las siguientes conexiones del sensor ultrasónico HC-SR04 a la placa de desarrollo Arduino Uno, respectivamente:
 - i. VCC \rightarrow 5V
 - ii. GND \rightarrow GND
 - iii. TRIG \rightarrow Pin 9

- iv. ECHO → Pin 8
 - b. Compilar y subir a la placa de desarrollo el código (Véase Anexo 1) que permite determinar la distancia mediante el sensor.
- 3. Mediciones en Descanso
 - a. Colocar un objeto grande y sólido a las siguientes distancias del equipo de ultrasonido elaborado previamente, siempre conectado a la computadora y al software Arduino IDE:
 - i. 1 metro
 - ii. 50 centímetros
 - iii. 25 centímetros
 - b. En el software Arduino IDE, ir a Herramientas, y dar clic en Serial Monitor
 - c. Conservar evidencia del arreglo equipo de ultrasonido-objeto y del Serial Monitor
- 4. Mediciones en Movimiento
 - a. En el software Arduino IDE, ir a Herramientas, y dar clic en Serial Plotter
 - b. Colocar un objeto grande y sólido en frente del equipo de ultrasonido mientras se realizan movimientos que acerquen o alejen del equipo.
 - c. Calcular la frecuencia y velocidad máxima del objeto que se mueve.
- 5. Medición en Fantoma
 - a. Colocar un plástico que toque la superficie del fantoma (gelatina)
 - b. Colocar el sensor de ultrasonido directamente
 - c. Hacer mediciones utilizando el Serial Plotter

6. RESULTADOS

6.1 Experimento – MEDICIÓN EN DESCANSO

1. ¿Qué tan exactas fueron las mediciones?

Las mediciones realizadas por el sensor ultrasónico, tuvieron un error relativo máximo de 2.87%, lo que en la mayoría de las aplicaciones ingenieriles es bueno. Sin embargo, en cuestiones de imagenología es esperado un error menor al 1%.

2. Si hubo errores, identifica cuál es la fuente del error y como lo pudieras corregir

Durante la práctica se observó un error de 2 cm en la medición de 100 cm, este error se considera mínimo ya que estamos conscientes de que se presentan con facilidad errores tanto humanos como en los dispositivos de medición.

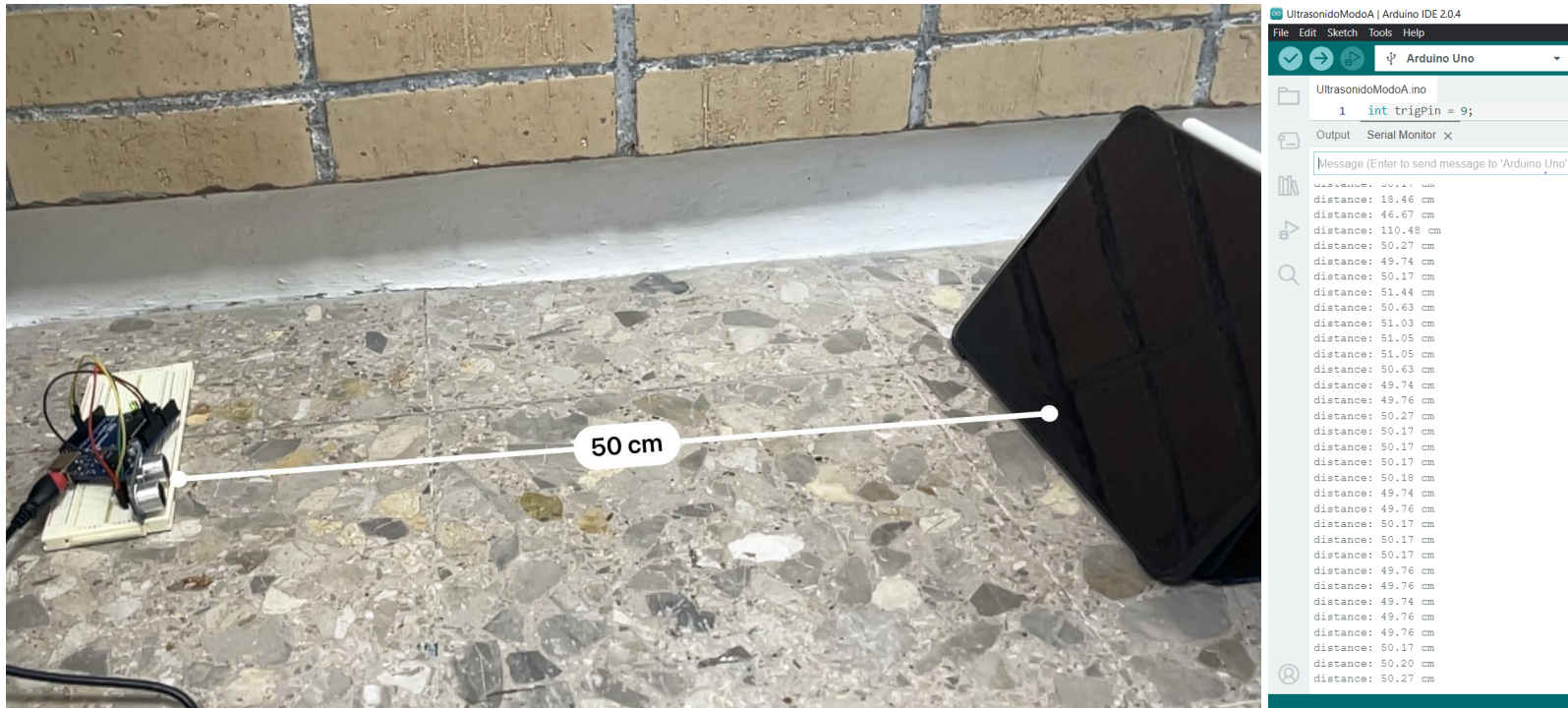
En este caso podemos decir que el error se pudo deber a la técnica de toma de medidas manuales y para poder corregir estos errores es necesario hacer distintas mediciones para poder promediar estos resultados y tener una medida más certera.

MEDICIÓN EN DESCANSO - 100 centímetros



Medición en Descanso	Medición con App	Medición con Equipo de Ultrasonido			Error Relativo
100 cm	102 cm	Mínimo	Máximo	Promedio	2.81%
		99.09 cm	100.40 cm	99.138 cm	

MEDICIÓN EN DESCANSO - 50 centímetros



Medición en Descanso	Medición con App	Medición con Equipo de Ultrasonido			Error Relativo
		Mínimo	Máximo	Promedio	
50 cm	50 cm	49.74 cm	50.27 cm	49.985 cm	0.03%

MEDICIÓN EN DESCANSO - 25 centímetros



Medición en Descanso	Medición con App	Medición con Equipo de Ultrasonido			Error Relativo
25 cm	25 cm	Mínimo	Máximo	Promedio	2.87%
		25.40 cm	26.38 cm	25.717 cm	

6.2 Experimento – MEDICIÓN EN MOVIMIENTO

a) Frecuencia - ¿Cómo compruebas que la frecuencia medida por el ultrasonido es real?

Con la finalidad de comprobar si la frecuencia de la señal emitida por el ultrasonido corresponde a la especificada se debe verificar:

- La frecuencia de oscilación del sensor el cual debe estar entre los 40 kHz.
- La velocidad del sonido en el medio donde se está realizando la medición.
- Realizar mediciones en diferentes condiciones para verificar que la frecuencia medida es constante.
- Comparación con otros medios de medición como un osciloscopio conectado en paralelo al transmisor.

b) Velocidad Máxima

La velocidad máxima experimentada por el objeto al acercarlo y alejarlo del equipo de ultrasonido fue de 8.333 cm/s, como se muestra en las fórmulas (1) y (2) a continuación:

$$v_{m\acute{a}x} = \frac{33\text{ cm} - 8\text{ cm}}{841\text{ s} - 838\text{ s}} = \frac{25\text{ cm}}{3\text{ s}} = 8.333\text{ cm/s} \quad (1)$$

$$v_{m\acute{a}x\text{ [km/h]}} = \frac{8.333\text{ cm}}{1\text{ s}} \cdot \left(\frac{3600\text{ s}}{1\text{ hr}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{ m}}{100\text{ cm}}\right) = 300\text{ km/h} \quad (2)$$

c) ¿Cuál es la máxima frecuencia que puede medir tu equipo?

La máxima frecuencia que puede medir el sensor de ultrasonido HC-SR04 es de 40 kHz (Stereon, 2023).

La gráfica que muestra las variaciones de posición del objeto se observa en la Figura 6.2.1.

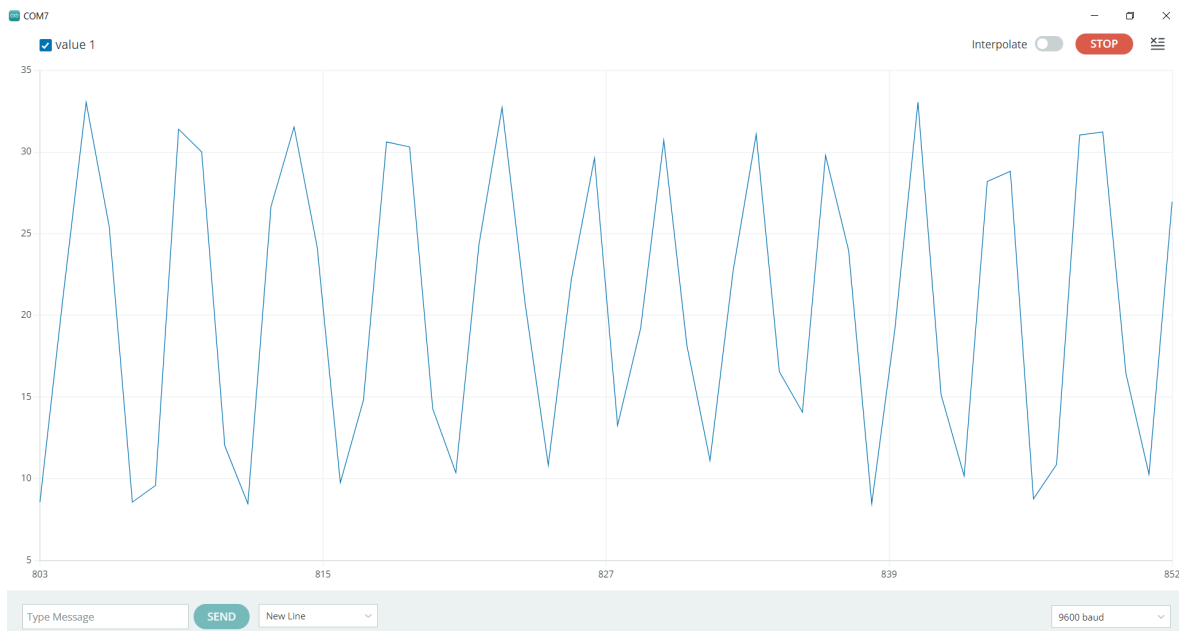


Figura 6.2.1 Gráfica de la Distancia entre el Objeto y el Equipo de Ultrasonido.

6.3 Experimento – MEDICIÓN EN FANTOMA

¿Qué modificaciones o adaptaciones hay que hacer al transductor para poder realizar mediciones más exactas o confiables?

Para realizar las mediciones más exactas y confiables, se tuvo que exponer el transductor ultrasónico, retirando la malla protectora y las guardas tanto del receptor como del emisor (Figura 6.3.1) para tener un contacto más cercano con la gelatina y capturar la distancia con los objetos dentro de ella.

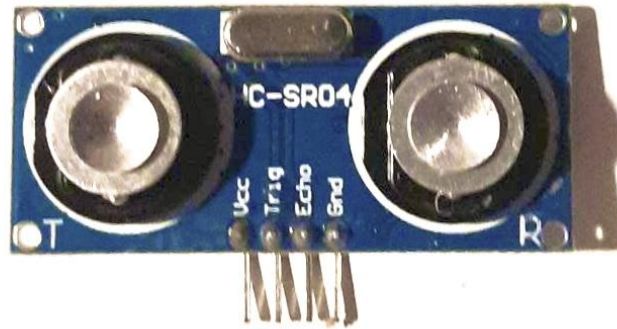


Figura 6.3.1 Sensor Ultrasonico Modificado

Fue posible medir la distancia de la superficie del fantoma a las primeras monedas (Figura 6.3.2) que yacen en la primera fase (de arriba hacia abajo); el equipo de ultrasonido midió una distancia de aproximadamente 7 centímetros (Figura 6.3.3), lo que corresponde a lo medido con la aplicación de Medición.

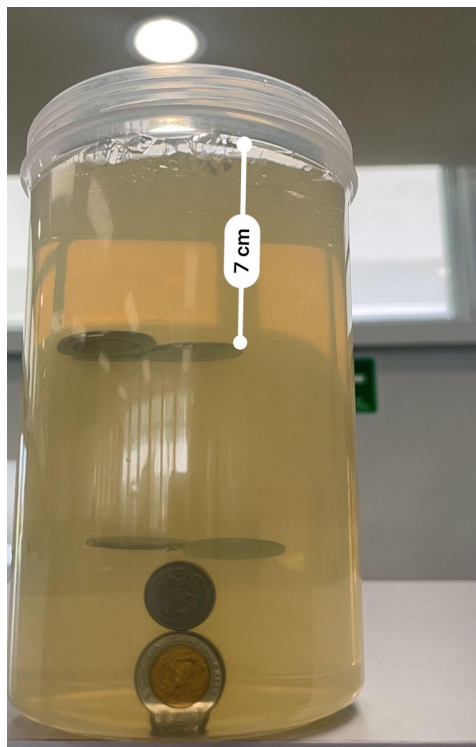


Figura 6.3.2 Fotografía del Fantoma con Medición del Objeto Sensado.

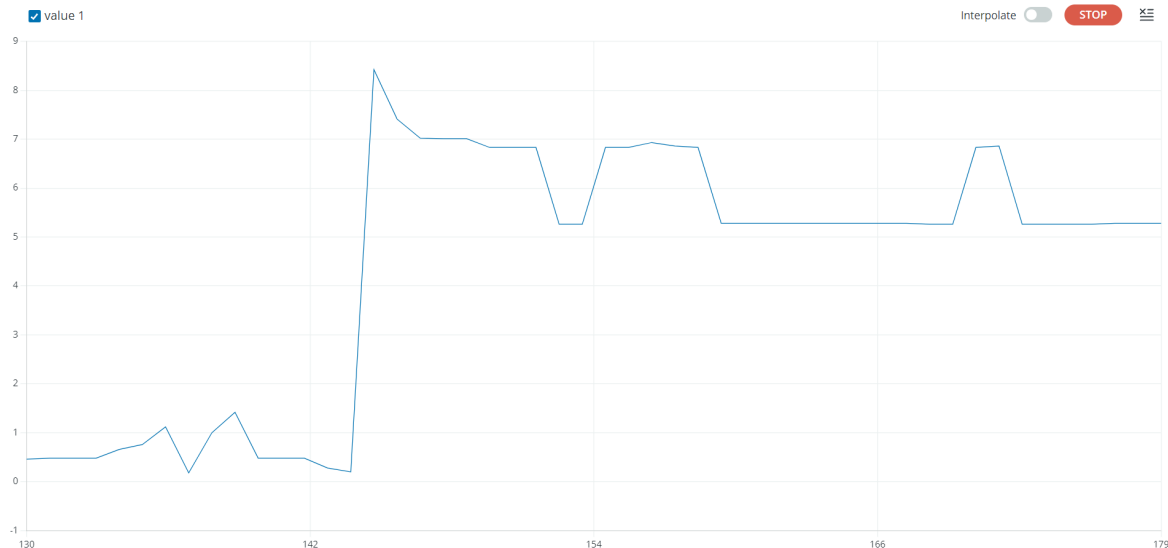


Figura 6.3.3 Gráfica de Distancia Medida con el Equipo Ultrasónico

7. DISCUSIÓN

La discusión se centra en la precisión de las mediciones realizadas con el sensor ultrasónico en relación con la teoría de la propagación de tejidos con ultrasonido. Los resultados muestran que el error relativo máximo de las mediciones fue de 2.87%, sin embargo, se buscaba un error menor del 1% en cuestiones de precisión en imagenología.

El marco teórico explica que el ultrasonido interactúa con el tejido corporal en forma de ondas longitudinales y que la distancia entre las compresiones se llama longitud de onda, que se obtiene dividiendo la velocidad de propagación por la frecuencia. Además, el marco teórico explica que el reflejo del haz de ultrasonido hacia el transductor es conocido como "eco" y se produce en un límite o interfaz entre dos materiales con diferentes impedancias acústicas.

Teniendo en cuenta la teoría de la propagación de tejidos con ultrasonido, la precisión de las mediciones realizadas con el sensor ultrasónico puede verse afectada por la velocidad de propagación del sonido en el medio donde se realiza la medición, la frecuencia de oscilación del sensor y las diferencias en la impedancia acústica entre los materiales.

8. CONCLUSIONES

En esta práctica se demostró que el sensor ultrasónico HC-SR04 puede medir la distancia y movimientos de un objeto en diferentes condiciones, incluyendo los objetos encontrados en una gelatina, estas mediciones se basan en la emisión de ondas ultrasónicas que rebotan en el objeto y son recibidas por el sensor, lo que permite calcular la distancia del objeto. Por otro lado, el Arduino nos permitió la visualización de los datos obtenidos por medio del sensor, estos se observaron de forma clara y sencilla, facilitando las mediciones y los análisis necesarios para determinar los errores relativos por medio del promedio.

En conclusión, el ultrasonido es una herramienta que nos permite obtener imágenes e información en tiempo real, siendo una técnica valiosa para distintos campos, en este caso, nos dimos cuenta que las mediciones pueden llegar a variar en función a la densidad y composición del objeto, en este caso fue necesario realizar distintas mediciones, ya que la precisión llega a variar disminuyendo a medida que la distancia aumenta.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Arduino Get Started. (s.f.). Arduino - Ultrasonic Sensor. Recuperado marzo 1, 2023 de: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-ultrasonic-sensor>
- [2]. Nysora. (2022, May 3). *Física del Ultrasonido*. NYSORA. Retrieved March 2, 2023, from <https://www.nysora.com/es/temas/equipo/f%C3%ADsica-del-ultrasonido/>
- [3]. Pineda, C. Macías, M. Bernal, A. (2012). *Principios físicos básicos del ultrasonido*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34717842/Principios_US-libre.pdf?1410601010=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPrincipios_Fisicos_Basicos_del_Ultrasoni.pdf&Expires=1677693850&Signature=KMHjHDMUkgn~1IKpCUpwDRitrUz5AMfmDq9T0-tRTmzBai2F7MD8F0xOKIxrWUJm80N8MEKsmiH42ThNTviyX1YvTx7K~H0sy8~C10GwUzQwvdPdGZX8yIU6bTJo-c-WTjR5p8EexHcpWTKmsRJpEbrjGn0AsG-e5eeUGOEPhc0lrir~hoTmat1L0VqNmmMpzHrJRPoku5TuhODM8xir~gnmYQfoN95INX8z61aFSv4DGKi0vs eHdN3PZdt9CAYgzUHSXrVRnih3sCjBv8lpba~cqHFECqrlgEUL6SFEZSwCcLJ-LEk3ijjKxE m4M0~0D3aLKQ64klrJQCJ4Ssh5pg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [4]. Peña, M. (2014). *“Diseño, construcción y caracterización de un transductor ultrasónico focalizado”*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47271/Memoria%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5]. Steren. (2023). Sensor ultrasónico. Recuperado marzo 2, 2023 de: <https://www.steren.com.mx/sensor-ultrasonico.html>

10. ANEXOS

ANEXO 1. Código del Equipo de Ultrasonido

```
int trigPin = 9;    // TRIG pin
int echoPin = 8;    // ECHO pin

float duration_us, distance_cm;

void setup() {
    // begin serial port
    Serial.begin (9600);

    // configure the trigger pin to output mode
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
```

```
// configure the echo pin to input mode
pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop() {
  // generate 10-microsecond pulse to TRIG pin
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  // measure duration of pulse from ECHO pin
  duration_us = pulseIn(echoPin, HIGH);

  // calculate the distance
  distance_cm = 0.017 * duration_us;

  // print the value to Serial Monitor
  Serial.print("distance: ");
  Serial.print(distance_cm);
  Serial.println(" cm");

  delay(500);
}
```

Recuperado de: [Arduino Get Started](#)