

# ESTUDIO DE LA AMPLITUD DE LA SEÑAL EN DENSIDADES VARIABLES: UNA APORTACIÓN EN EL DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES DE LA PIEL

N. Montalvo-Montalvo, J. A. Dávila-Pintle, L. C. Gómez-Pavón, Y. E. Bravo-García  
E. Reynoso-Lara

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Electrónica, Pue. Puebla, [gonzalez@inaoep.mx](mailto:gonzalez@inaoep.mx), [nancy.montalvo@alumno.buap.mx](mailto:nancy.montalvo@alumno.buap.mx), [jpintle@ece.buap.mx](mailto:jpintle@ece.buap.mx), [luz.gomez@correo.buap.mx](mailto:luz.gomez@correo.buap.mx), [yolanda.bravog@correo.buap.mx](mailto:yolanda.bravog@correo.buap.mx) y [edmundoreynoso@correo.buap.mx](mailto:edmundoreynoso@correo.buap.mx)

## RESUMEN

El estudio de las densidades en enfermedades de alto riesgo como el de algunos tumores cercanos a la piel, puede resultar útil a la hora de conjeturar sobre algún diagnóstico que ayude al tratamiento adecuado del paciente. Algunas enfermedades como los melanomas o carcinomas son de los tipos más comunes de cáncer de piel, estos comienzan en las capas basales y escamosas de la piel y se pueden tratar si son diagnosticadas a tiempo. Este trabajo presenta un estudio sobre los efectos de la fase de la señal de ultrasonido cuando ésta atraviesa medios sintéticos con densidades similares a las de la dermis. Con ayuda de un sensor ultrasónico se establece una relación entre la variación de la fase de la señal de ultrasonido y la densidad del medio sintético por el que se propaga. Esta relación se consigue midiendo los cambios en la fase de la señal del sensor mediante el uso de un amplificador Lock-in.

**Palabras claves:** Densidad, fase, amplificador Lock-in

## ABSTRACT

The study of densities in high-risk diseases, such as some tumors close to the skin, can be useful when conjecturing a diagnosis that will help in the appropriate treatment of the patient. Some diseases such as melanomas or carcinomas are the most common types of skin cancer. These begin in the basal and scaly layers of the skin and can be treated if diagnosed early. This work presents a study on the effects of the phase of the ultrasound signal when it passes through synthetic media with densities similar to those of the dermis. With the help of an ultrasonic sensor, a relationship is established between the variation in the phase of the ultrasound signal and the density of the synthetic medium through which it propagates. This relationship is achieved by measuring changes in the phase of the sensor signal through the use of a Lock-in amplifier.

**Key words:** Density, phase, Lock-in amplifier

## 1. INTRODUCCIÓN

El sonido consiste en una vibración mecánica capaz de modificar la presión existente en un medio elástico (el aire), y que se transmite desde su punto de origen hasta el oído. El sonido, por tanto, no puede propagarse en el vacío.

La propagación del sonido se efectúa siempre en un medio elástico a una velocidad determinada, siendo el medio que más nos interesa el aéreo. La velocidad de propagación del sonido en el aire es de unos 340 metros por segundo, si bien puede variar dependiendo de la temperatura y la humedad del aire. En otros medios la velocidad es diferente (S. A. López-Haro, 2010); por citar algún ejemplo, en el agua es de unos 1200 m/s (ej. sonidos de las ballenas) y en el acero de unos 5.100 m/s.

## 2. TEORÍA

### 2.1 Las ondas sonoras

Según William Moebs et al, define que "*el sonido es una alteración de la materia*", que se envía desde el origen a un destino externo (W. Moebs, 2021). Desde un punto de vista más estricto las ondas sonoras son producidas cuando el aire es perturbado y este viaja a través de un espacio en tres dimensiones en forma de senoides progresivas con comportamiento longitudinal (Seto, 1977).

La velocidad con la que se propaga el sonido depende de las características del medio. Tal y como lo menciona Aldrich J. en [4], la densidad y la compresibilidad, que se refieren a la cantidad y distancia de las moléculas, son los factores que determinan la velocidad del sonido a través de una sustancia: La velocidad es inversamente proporcional a la compresibilidad, es decir, las moléculas en los tejidos más compresibles están muy separadas y transmiten el sonido más lentamente. Por lo tanto, los materiales con mayor densidad y menor compresibilidad transmitirán el sonido a una mayor velocidad. Cada tejido tiene su propia velocidad de propagación; por ejemplo, las ondas sonoras se mueven lentamente en la grasa, mientras que el aire tiene una velocidad de propagación tan lenta que las estructuras que lo contienen no pueden ser evaluadas por ultrasonido (Villaseñor, 2012).

La velocidad del sonido depende del medio por el cuál éste se desplaza, la velocidad, entonces asociada al medio depende de la rapidez de la energía vibratoria pueda atravesar el medio, en otras palabras, la velocidad puede obtenerse determinando el tiempo que las ondas invierten cuando se desplazan desde el punto inicial hasta el punto final (distancia conocida) (Tippens, 2001). La velocidad del sonido cuando el aire se encuentra a una temperatura de 0 °C es de 331 m/s [5].

Existen también tipos de ondas que no son audibles como las ondas ultrasónicas e infrasónicas que se encuentran en frecuencias que están más allá de los límites audibles, tal y como se puede apreciar en la Figura 1.

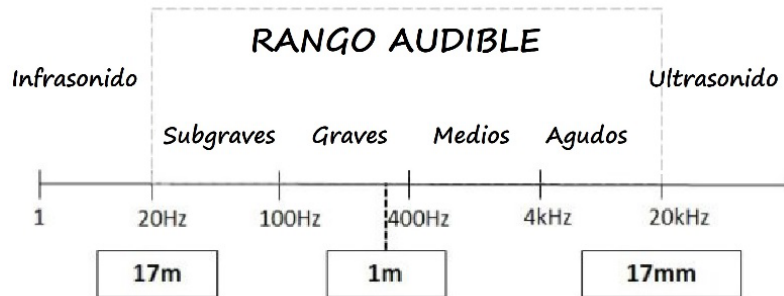


Figura 1. Rango de ultrasonido

El sonido ultrasónico se puede describir como una sucesión de ondas mecánicas, típicamente de naturaleza longitudinal, que se generan mediante la vibración de un material elástico, como un cristal piezoeléctrico, y se propagan a través de un medio material. Una característica distintiva del sonido en el rango ultrasónico es su frecuencia, la cual supera el límite de percepción auditiva humana de 20,000 ciclos por segundo o 20 KHz [4].

## 2.2 Pulsos de sonido ultracortos

Existen dispositivos electrónicos, cuyos sensores de sonido en las bandas del ultrasonido, por ejemplo, los módulos HC-SR04, que operan por encima de las frecuencias audibles para el ser humano, usando el principio de ecolocalización.

Estos sensores emiten pulsos ultracortos de sonido ultrasónico a una frecuencia específica (generalmente alrededor de 40 kHz) y luego miden el tiempo que tarda en recibir el eco de esos pulsos después de rebotar en un objeto. Basándose en el tiempo transcurrido y la velocidad del sonido en el aire, pueden calcular la distancia entre el sensor y el objeto con una precisión, véase la Figura 2.

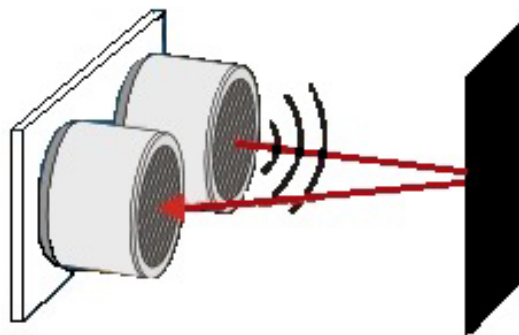


Figura 2. Diagrama que muestra el principio de funcionamiento del sensor

Su principio de funcionamiento se basa en el tiempo que tarda en caer el pulso en el pin **eco**, véase la Figura 3; este parámetro depende del tiempo que le toma a la señal regresar, es decir la relación entre la distancia es directamente proporcional al tamaño del pulso, teniendo:

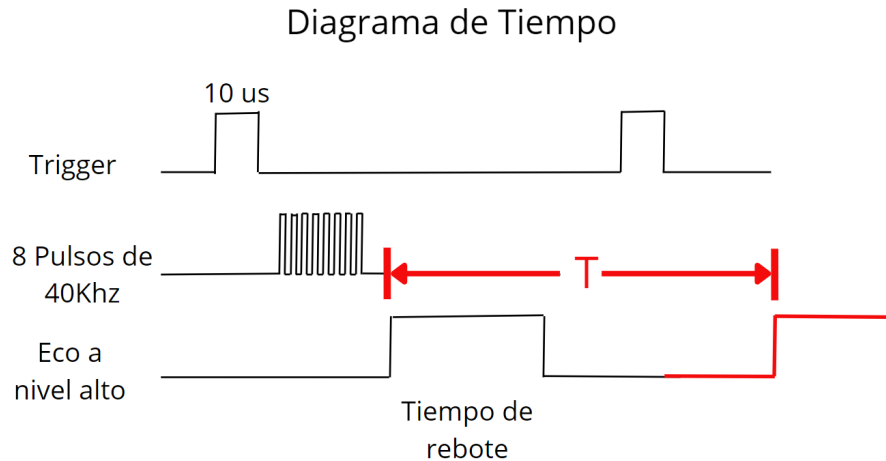


Figura 3. Diagrama de tiempo sobre el funcionamiento de las señales del sensor HC-04

### 2.3 Relación de la velocidad del sonido contra la densidad

"La velocidad del sonido se puede medir directamente determinando el tiempo que tardan las ondas en moverse a través de una distancia conocida" [5].

Cuando las ondas acústicas viajan a través de medios se generan ondas reflejadas y transmitidas (Kinsle, 1995), véase la figura 4.

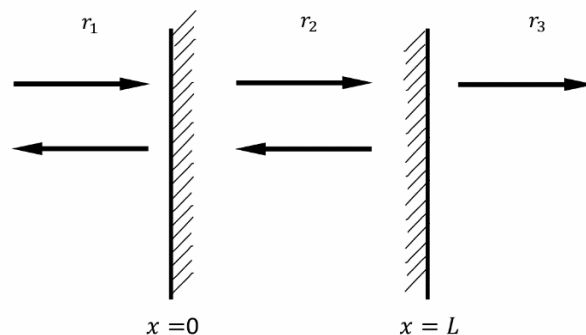


Figura 4. Reflexión y transmisión de ondas

La velocidad del sonido es mayor cuanto más denso es el medio donde se propaga. Por lo tanto, el sonido viaja más rápido a través de medios con mayor elasticidad. La densidad de un medio representa la masa por unidad de volumen. Así mientras más denso es un material, mayor será la masa de las moléculas, si se considera un mismo volumen, lo que implica que el sonido se trasmite más lentamente y dada esta premisa, esto indica que se puede encontrar una relación entre estas variaciones para poder saber si un medio varía en densidad.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

El arreglo experimental que se muestra en la Figura 5, describe la propuesta para analizar el comportamiento del desfase de la señal del sonido, cuando esta, a traviesa una densidad diferente.

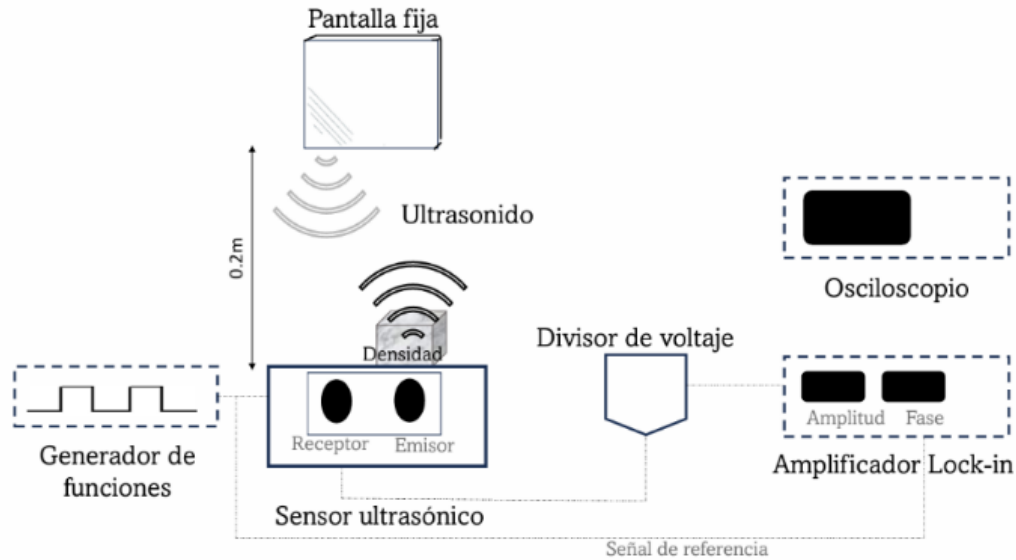


Figura 5. Arreglo experimental

### 3.1 Medición y resultados

Se trabaja con tirajes de muestras a distintas densidades, pensando en una sustancia que tenga la capacidad de variar la densidad de su concentración para formar sólidos a distintas densidades, se decide trabajar con la grenetina "Sustancia sólida, incolora, translúcida, quebradiza y casi insípida que se obtiene a partir del colágeno procedente del tejido conectivo de despojos animales hervidos con agua" (Quimica.es, s.f.), siendo uno de los polímeros más usados en varias áreas de estudio por sus propiedades para solidificarse y formar geles transparentes y gomosos (Normand, 2000). Se usa una marca comercial "Douche", presentación en polvo con el grado más alto de Bloom, este parámetro está relacionado con la elasticidad mecánica del gel y se emplea para clasificarla en tres tipos: bajo ( $>120g$ ), medio ( $120g \leq 200g$ ) y alto ( $<200g$ ).

Se realiza un muestrario preparado con grenetina, en un molde para hielos con 5 muestras, cada muestra varía su concentración en gramos de sustancia sobre la misma cantidad de agua (15 mililitros); cada muestra es pesada con una báscula de precisión y variando la densidad de la muestra cómo se observa a continuación, véase la Tabla 1.

Tabla 1. Variación de la fase de la señal ante las variaciones de las densidades

Muestra	Grenetina (g)	Volumen (ml)	Densidad ( $kg/m^3$ )	Ciclo de trabajo	Amplitud	Fase
1	2	15	133.33	35.8	1.66	65.3
2	4	15	266.66	37.7	1.30	76.7
3	6	15	400.00	37.8	0.48	107.1
4	8	15	533.33	36.3	0.10	145.8
5	9	15	600.00	35.8	0.14	164.4

En la Tabla 1, se observan los valores resultantes al someter un emisor de pulsos ultracortos de ultrasonido (40 KHz), a distintas muestras cuyas densidades varían, véase la figura 6, cuyo

destino es una pantalla fija que se encuentra a 0.2 m de distancia, en cada caso, se analiza el valor de la fase de la señal, que proviene de un amplificador Lock-in.

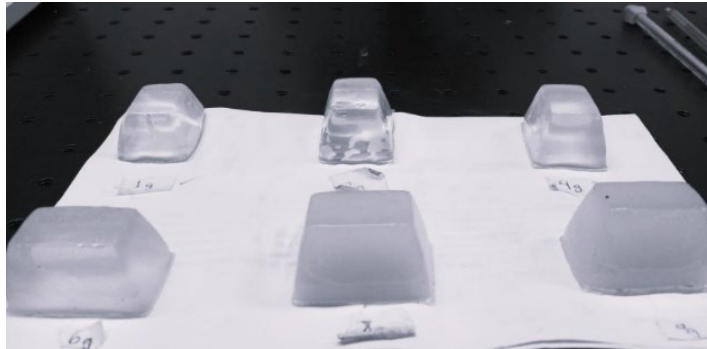


Figura 6: Muestras de grenetina

El comportamiento de las variaciones de las fases con respecto a la variación de las muestras a distintas densidades se puede apreciar en la siguiente Figura 7.

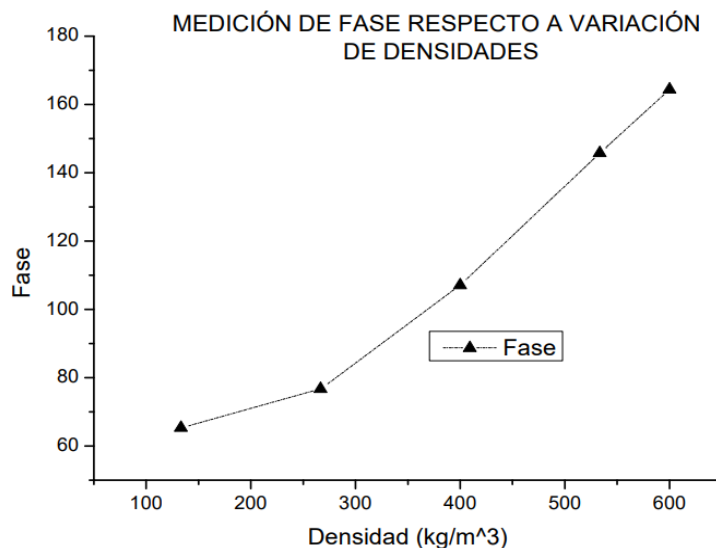


Figura 7. Fase de la señal contra la variación de densidades

En la gráfica siguiente (Figura 8) se puede apreciar como la señal echo se afecta en el parámetro de periodo, debido al retraso de la señal, y como esta se afecta en cada cambio de densidad, en color negro se aprecia la señal de ultrasonido cuando ésta viaja desde el emisor del sensor hasta la pantalla fija, teniendo como único medio de transporte el medio y la densidad del aire.

En los colores subsecuentes se muestran las señales del pin echo que es afectada por distintos medios interpuestos entre el emisor del sensor y la pantalla fija, cuyas densidades varían desde:  $133.33 \text{ kg/m}^3$  hasta  $600 \text{ kg/m}^3$ , notese que el periodo de la señal echo al ser atravesada por una densidad de menor densidad ( $133.33 \text{ kg/m}^3$ ), se produce una respuesta con periodo mayor (señal mostrada en color azul rey); adyacente a las señales de color verde agua, cuya señal es el resultado de haber sido sometida a una muestra cuya densidad de  $266.66$

$kg/m^3$ , seguida de la señal en color fucsia con un aumento de densidad equivalente a  $400 kg/m^3$ , para finalizar con las señales en color verde y negro puntado, sometidas a densidades de  $533.33kg/m^3$  y  $600kg/m^3$  respectivamente.

Resultando entonces una relación entre los periodos y las densidades con una proporcionalidad inversa, es decir, a menor densidad mayor periodo de la señal.

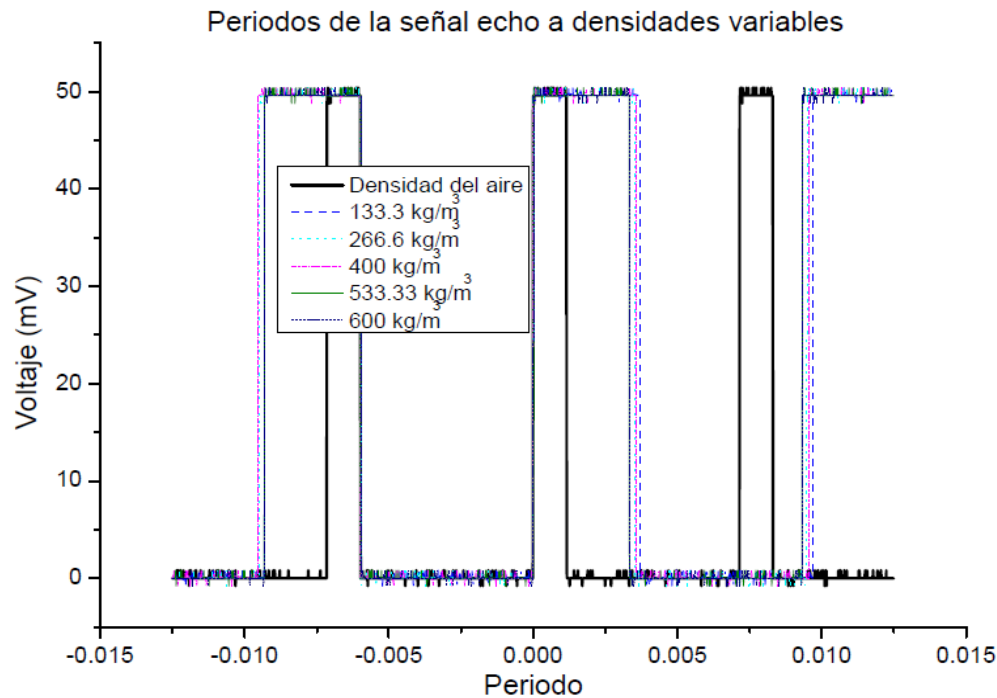


Figura 8. Señales obtenidas del osciloscopio

El estudio de las densidades puede aportar a futuro en el diagnóstico de enfermedades de la piel, como melanomas, ya que la evaluación de la densidad de las células en una biopsia puede ayudar a identificar patrones anormales. En los melanomas, a menudo se observa un aumento en la densidad celular, lo que puede ser un indicador de malignidad.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados de la velocidad de propagación del ultrasonido cuando se le anteponen medios de distinta densidad, distinta a la densidad del aire, retrasa la señal provocando cambios notables en la magnitud de la fase de la señal detectada.

A medida que el valor de las densidades aumenta, el medio crea un efecto en el que se alenta la señal, hasta llegar a la pantalla fija destino.

Entonces se puede establecer una relación Densidad-Fase, proporcionalmente directa, ya que, a mayor densidad sometida, la fase de la señal ultrasónica se incrementa, en otras palabras, la fase de la señal se ve directamente afectada por la densidad del medio por el cual éste tiene que atravesar para llegar a la pantalla fija.

## 5. REFERENCIAS

- [1]. A. V. a. L. L. S. A. López-Haro, "Medición de la velocidad de propagación del ultrasonido en tejido animal empleando reflectores fijos," *Simposio de Metrología*, pp. 1-7, 2010.
- [2]. S. J. L. a. J. S. W. Moebs, *Física Universitaria*, Prentice Hall, 2021.
- [3]. W. W. Seto, *Teoría y problemas de Acústica*, México: McGraw-Hill, 1977.
- [4]. C. P. a. P. M. M. a. G. A. B. Villaseñor, "Principios físicos básicos del ultrasonido" *Investigación en discapacidad*, vol. 1, pp. 25-34, 2012.
- [5]. P. E. Tippens, *Física, conceptos y aplicaciones*, México D.F.: McGraw-Hill, 2001.
- [6]. L. Kinsle, *Fundamentos de Acústica*, México D.F.: Limusa, 1995.
- [7]. Quimica.es, "Quimica.es, el portal informativo químico, Desde el laboratorio hasta los procesos.," [En línea]. Available: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Grenetina.html>. [Último acceso: 25 septiembre 2023].
- [8]. V. a. M. S. a. R. J. a. P. A. Normand, "Gelation kinetics of gelatin: a master curve and network modelin," *Macromolecules*, vol. 33, pp. 1063-1071, 2000.