

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey



**Tecnológico
de Monterrey**

BI2009B.300 Procesamiento de imágenes médicas para el diagnóstico

Profesor: José Gerardo Tamez Peña

Profesora: Martha Rebeca Canales Fiscal

Ultrasonido Modo A

Marcela Enriquez López | A01570502

Natalia Verónica Flores Del Río | A01570472

Ana Lucía Soria Cardona | A00827565

Mei Li Luisa Cham Pérez | A01139386

Graciela Alejandra Rincón López | A00827270

A 3 de junio del 2022.

Introducción

Los ultrasonidos son herramientas tecnológicas que permiten la visualización de las estructuras internas del cuerpo humano por medio del rebote de las ondas sonoras en las estructuras del cuerpo. El ultrasonido modo A funciona con un transductor y está basado en la técnica de ecos en donde la gráfica que se proporciona es la amplitud de los ecos que se recibieron. Este modo de ultrasonido usualmente se utiliza en electroencefalografía para la detección de la línea media cerebral así como en oftalmología para determinar el tamaño de las estructuras del ojo (Diplomado en Ultrasonografía Médica, 2017).

El objetivo de esta práctica es conocer el funcionamiento de los ultrasonidos por medio de investigación y experimentación en la cual se puede reconocer los diferentes factores que interfieren en las mediciones obtenidas por ultrasonido.

Marco Teórico

La teoría de propagación de tejidos en el ultrasonido, dictamina que el transductor envía un haz de ondas sonoras dentro del cuerpo y estas ondas se reflejan de regreso al transductor debido a los tejidos y produciendo señales eléctricas cuando estos ecos regresan. La velocidad de propagación de las ondas se ve alterada por la composición de los diferentes tejidos del cuerpo, este fenómeno repercute en la

visualización final del ultrasonido permitiendo la diferenciación entre tejidos y huesos dado a la escala de grises. Esta escala de grises se obtiene gracias a la relación que existe entre la velocidad de propagación y la composición de los tejidos; de manera que en los tejidos con un alto contenido graso se disminuya la velocidad de propagación, mientras que en los tejidos con un mayor contenido de agua la velocidad de propagación aumenta (López-Haro, 2010).

Por otro lado las impedancias acústicas juegan un rol clave en la transmisión de energía por parte del material piezoeléctrico; esto se debe a que la impedancia acústica es la multiplicación de la densidad del medio por la velocidad a la cual el ultrasonido atraviesa este. Entre más diferencia se tenga entre impedancias de los medios involucrados, se tendrá una intensidad mayor en el eco que se puede visualizar. En el cuerpo humano, los componentes con menores impedancias acústicas con el aire y agua mientras que el músculo y hueso tienen mayor impedancia (Díaz-Rodríguez, 2007).

Los transductores son la pieza clave para la propagación eficiente de las ondas ultrasónicas que atraviesan los tejidos y permiten la obtención de imágenes. Su funcionamiento gira en torno a las propiedades de los materiales que se usan, en este caso siendo fundamental el material piezoeléctrico. De este material dependerá la capacidad de transformar la energía recibida en

sonido y electricidad, permitiendo la emisión y receptor por el mismo transductor. Es importante considerar que los transductores deben de poder generar y operar ondas sonoras con frecuencias mayores a 20 kHz, ya que estas se encuentran dentro de las frecuencias a las cuales se puede observar los tejidos por medio del eco (Diplomado en Ultrasonografía Médica, 2017).

Una característica de los transductores es su tamaño y dimensiones, los transductores son comúnmente conformado por 6 piezas básicas: el conector, encapsulamiento, cables eléctricos, la capa de retaguardia, el material piezoeléctrico y la capa de adaptación. El conector, encapsulamiento y la capa de adaptación son las secciones del transductor que se ven expuestas, mientras que los cables eléctricos, la capa de retaguardia y material piezoeléctrico se encuentran dentro del encapsulamiento. Para el funcionamiento óptimo y la protección del transductor y subsecuentemente el ultrasonido, es crucial que se encuentren encapsulados el material piezoeléctrico y la capa de retaguardia (Morales, 2012).

El funcionamiento del ultrasonido es caracterizado por múltiples ecuaciones, dentro de las cuales destaca la ecuación de frecuencia que se observa a continuación. Con f representado frecuencia y t representando el tiempo en el cual se tienen los ciclos o repeticiones.

$$f = \frac{t}{\text{ciclos}}$$

Metodología

Los materiales que se utilizaron para realizar el equipo de ultrasonido fueron los siguientes: arduino UNO, jumpers, protoboard y sensor ultrasónico. Por otra parte, los materiales que se utilizaron para el fantoma fueron un molde, grenetina y monedas.

Para el procedimiento, primero se comenzó con la fabricación del fantoma. Se hicieron 3 capas de gelatina con el uso de la grenetina, cada capa se dejó cuajar y se colocaron dos monedas antes de colocar la capa posterior de grenetina. De esta forma se tuvieron 3 capas con monedas.

Posteriormente, se empezó con la construcción del ultrasonido siguiendo las instrucciones de *Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino Tutorial* para llevar a cabo la conexión del sensor ultrasónico con el arduino.

Para generar el ultrasonido, se configuró el trigger pin en un high state por 10 μ s. Esto envía un estallido sónico de 8 ciclos que viaja a la velocidad del sonido y es recibida en el Echo Pin, pero es emitida por este en microsegundos.

A continuación se llevó a cabo la programación del ultrasonido con el código que se encuentra anexado.

Finalmente se procedió a realizar las mediciones. Primero, se llevaron a cabo mediciones en descanso utilizando un objeto grande y sólido a 1 metro, 50 cm y 25 cm y se comprobó esta

distancia con el serial monitor del software de Arduino.

Después se llevaron a cabo las mediciones con el uso del fantoma que fue fabricado. Para esto se colocó un plástico en la parte superior del fantoma y encima se colocó el ultrasonido y se procedió a reportar las mediciones utilizando plotter.

Resultados

Una vez que se contaba con el sensor de ultrasonido construido se llevaron a cabo tres sets de mediciones en las cuales se probó la efectividad de este sensor. En el primer set de mediciones se llevó a cabo la medición de un objeto fijo a tres distancias diferentes: 1 metro, 50 cm, y 25 cm.

La figura 1 muestra la respuesta de la medición del objeto fijo a 1 metro de distancia. Se puede observar que se tienen múltiples valores dentro de un rango de tiempo corto; así mismo se encontró que si bien no se mantenía un valor constante por segundo, si se tenían valores dentro de un mismo rango que se acercaba a los 100 centímetros o 1 metro.



Figura 1 Medición fija 1 m.

En la figura 2 se puede observar la respuesta de la medición del objeto fijo a 50 centímetros de distancia. Si bien se repitió la misma situación que con la medición previa, en este caso los valores se encontraban dentro de un rango de valores que se acercaba a los 50 centímetros.

```

13:09:18.200 -> Distance: 49 cm
13:09:18.246 -> Distance: 48 cm
13:09:18.246 -> Distance: 49 cm
13:09:18.246 -> Distance: 49 cm
13:09:18.294 -> Distance: 49 cm
13:09:18.294 -> Distance: 38 cm
13:09:18.294 -> Distance: 21 cm
13:09:18.341 -> Distance: 49 cm
13:09:18.341 -> Distance: 49 cm
13:09:18.388 -> Distance: 40 cm
13:09:18.388 -> Distance: 49 cm
13:09:18.388 -> Distance: 40 cm
13:09:18.433 -> Distance: 49 cm
13:09:18.433 -> Distance: 43 cm
13:09:18.479 -> Distance: 40 cm
13:09:18.479 -> Distance: 49 cm
13:09:18.479 -> Distance: 49 cm
13:09:18.524 -> Distance: 48 cm
13:09:18.524 -> Distance: 49 cm
13:09:18.524 -> Distance: 48 cm
13:09:18.571 -> Distance: 37 cm
13:09:18.571 -> Distance: 49 cm
13:09:18.618 -> Distance: 32 cm
13:09:18.618 -> Distance: 48 cm
13:09:18.618 -> Distance: 48 cm
13:09:18.665 -> Distance: 49 cm
13:09:18.665 -> Distance: 47 cm
13:09:18.665 -> Distance: 46 cm
13:09:18.712 -> Distance: 40 cm
13:09:18.712 -> Distance: 45 cm
13:09:18.759 -> Distance: 35 cm
13:09:18.759 -> Distance: 48 cm
13:09:18.759 -> Distance: 49 cm

```

Figura 2 Medición fija 50 cm.

La respuesta del sensor ante la medición del objeto fijo a 25 centímetros se puede encontrar en la figura 3. Al igual que en las mediciones anteriores los valores obtenidos se encontraban dentro de un rango cercano a los 25 centímetros y estos iban variando por uno o dos valores más o menos.

```

13:11:08.988 -> Distance: 24 cm
13:11:08.988 -> Distance: 26 cm
13:11:08.988 -> Distance: 25 cm
13:11:09.034 -> Distance: 17 cm
13:11:09.034 -> Distance: 25 cm
13:11:09.034 -> Distance: 24 cm
13:11:09.081 -> Distance: 25 cm
13:11:09.081 -> Distance: 25 cm
13:11:09.127 -> Distance: 24 cm
13:11:09.127 -> Distance: 25 cm
13:11:09.127 -> Distance: 25 cm
13:11:09.172 -> Distance: 24 cm
13:11:09.172 -> Distance: 7 cm

```

Figura 3 Medición fija 25 cm.

Por otro lado, al realizar la medición del objeto en movimiento se pueden observar los diferentes ciclos. En estos ciclos se podía visualizar cuando el objeto era movido de un lado al otro, completando así un ciclo de movimiento. En la figura 4, 5 y 6 se puede observar la medición en movimiento de las diferentes distancias en las

cuales se había realizado las mediciones previamente.

Se puede observar en estas los picos y los ciclos de movimiento de estos. Sin embargo, estos ciclos se comportan de manera irregular y no son constantes. Esto se debe a que el movimiento del objeto durante la medición no fue constante.

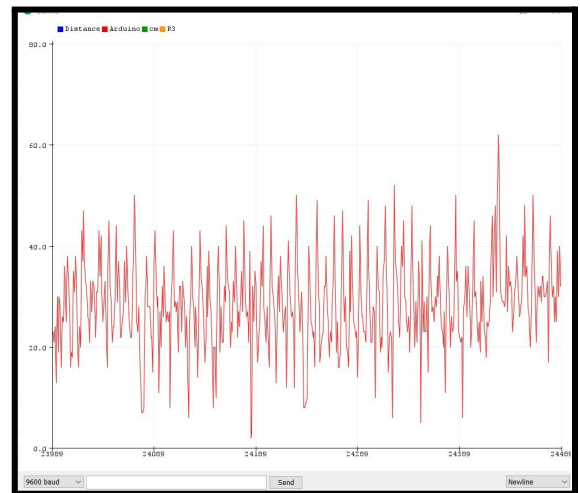


Figura 4 Medición en movimiento 1 m.

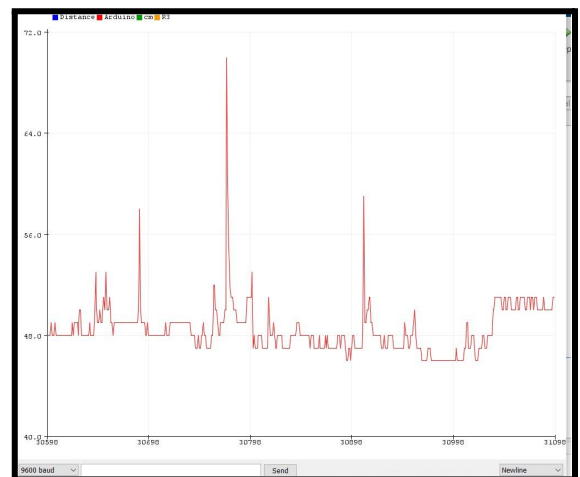


Figura 5 Medición en movimiento 50 cm.

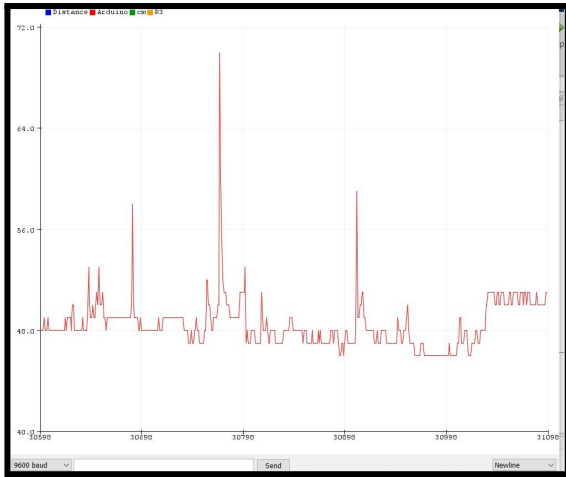


Figura 6 Medición en movimiento 25 cm.

Por ello se realizó una segunda medición con movimientos más constantes la visualización de los resultados de esta se encuentran en la figura 7. Se puede observar que los picos se presentan de una manera más constante y mantienen una amplitud similar a lo largo de la medición.

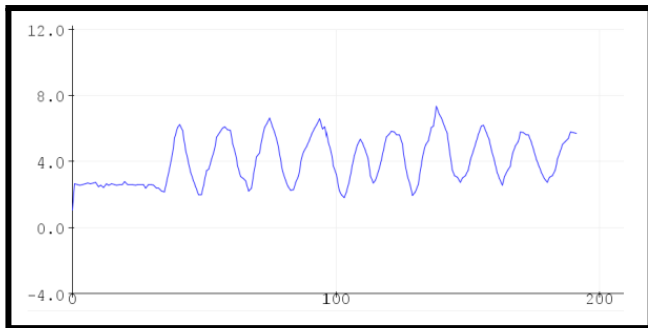


Figura 7 Medición en movimiento

Para poder obtener la frecuencia y velocidad de desplazamiento a la cual se mueve el objeto se debe de aplicar sus respectivas fórmulas. Se obtuvo una frecuencia de desplazamiento de aproximadamente 0.022 Hz. El procedimiento se puede observar a continuación.

$$f = \frac{\text{tiempo}}{\text{ciclos}}$$

$$f = \frac{0.2 \text{ s}}{9}$$

$$f = 0.022 \text{ Hz}$$

Por otro lado, la velocidad de desplazamiento se obtuvo de la siguiente manera, tomando en consideración la distancia y amplitud entre dos picos. Se obtuvo una velocidad de desplazamiento de aproximadamente 1.3 m/s. El procedimiento se puede observar a continuación.

$$v = \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}$$

$$v = \frac{6 \text{ cm} - 2 \text{ cm}}{105 \text{ ms} - 75 \text{ ms}}$$

$$v = \frac{0.06 \text{ m} - 0.02 \text{ m}}{0.105 \text{ s} - 0.075 \text{ s}} = \frac{0.04 \text{ m}}{0.03 \text{ s}}$$

$$v = 1.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fantomas

Los resultados de las mediciones utilizando el fantoma pueden observarse en las figuras 8, 9 y 10. Si bien se pudo observar el registro de las monedas a las diferentes profundidades del fantoma, las distancias a las cuales estas se encontraban no eran lógicas ya que marcaban valores cercanos a 1200 centímetros. Esto fue un error que persiste en los resultados de los tres intentos que fueron realizados.

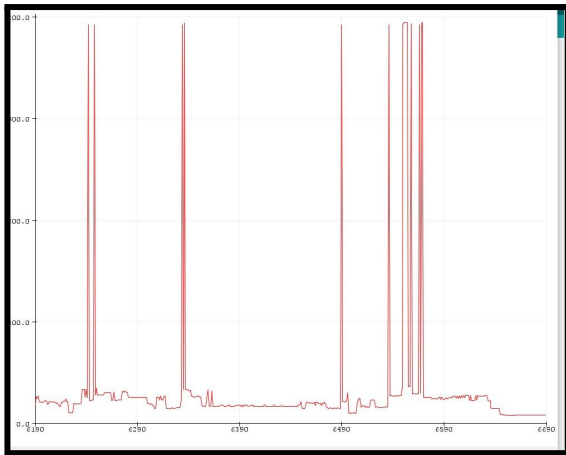


Figura 8 Intento 1 medición con fantasmas.

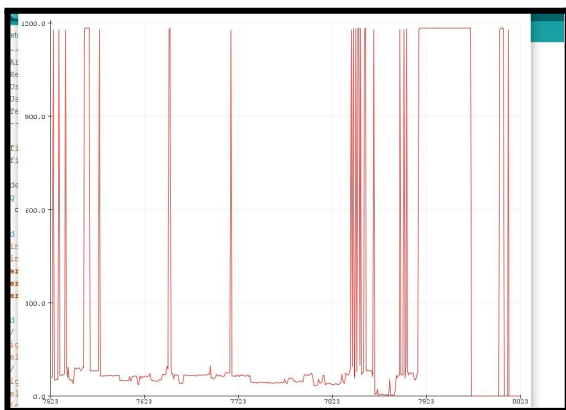


Figura 9 Intento 2 medición con gelatinas.

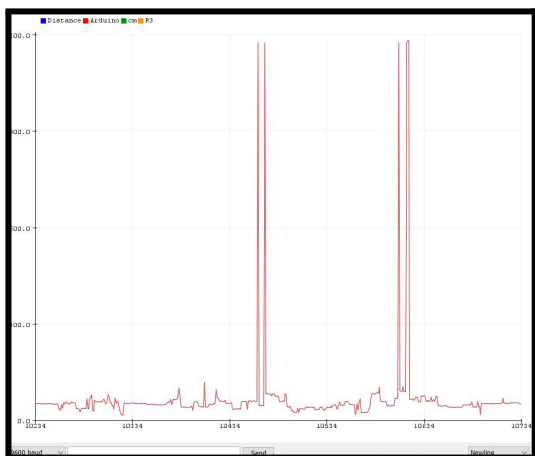


Figura 10 Intento 3 medición con gelatinas.

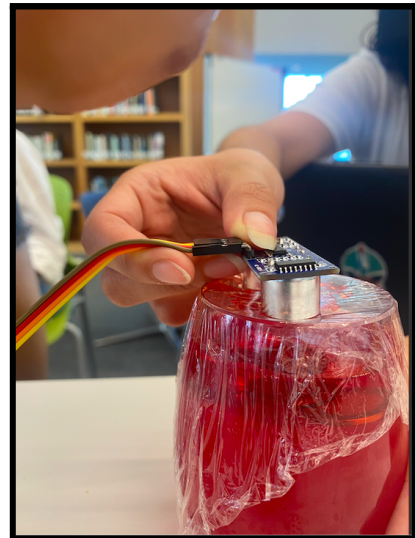


Figura 11 Toma de medición con fantoma.

Discusión & Conclusiones

Durante las mediciones fijas se pudo observar el impacto que la distancia tenía en la exactitud de las mediciones, ya que entre más corta era la distancia su efectividad era mejor. Sin embargo sí se pudieron encontrar errores mínimos en las mediciones, esto se atribuye a los obstáculos que se pudieron encontrar entre el sensor y el objeto que se medía. Así mismo la falta de cercanía causaba que estas mediciones fluctúan dentro de un rango donde variaba por una o dos unidades el valor de la medición.

Estos errores pueden ser corregidos y evitados si se toman en cuenta las siguientes acciones y consideraciones: la medición debe de ser realizada en un espacio cerrado y libre de obstáculos, se debe de mantener estable el sensor de manera que no interfieran movimientos externos en las mediciones, y los objetos deben de resaltar contra el fondo para que puedan ser identificados con mayor facilidad.

Hablando de las mediciones en movimiento para obtener la medida de velocidad máxima se utilizó la siguiente fórmula:

$$velocidad = \frac{distancia}{tiempo}$$

En términos de frecuencia se mide en ciclos por segundo y en el caso de este experimento ya está determinado que esta frecuencia es de 9 ciclos en aproximadamente 200 microsegundos. Si bien se realizaron los cálculos, no se puede comprobar que está sea la frecuencia real, esto se debe a que no se encontraba en las condiciones óptimas para este análisis lo cual interfiere al querer conocer la frecuencia real. Así mismo sucede algo similar al querer comprobar si la velocidad máxima calculada es la velocidad real. Esto se puede atribuir al error humano y la falta de las condiciones óptimas para llevar a cabo las mediciones.

Si bien no se puede comprobar con seguridad que las frecuencias y velocidades calculadas sean las correctas, si se puede tomar como punto de referencia las especificaciones técnicas del sensor utilizado. La frecuencia máxima que el equipo puede medir está alrededor de los 40 kHz, ya que está es la frecuencia en la cual el sensor trabaja. Por otro lado para la distancia, subsecuentemente la velocidad, se puede tomar como punto de referencia los rangos de distancia en los cuales el sensor puede medir: de 2 cm a 400 cm.

La medición en el fantoma se puede mejorar haciendo el experimento en un lugar sin objetos que puedan causar alguna interferencia con el ultrasonido. También hacerlo con un molde más alto para tener mejores resultados ya que esto puede afectar en la medición debido a que afecta el tiempo de medición. Así mismo se deben de considerar factores como el recubrimiento del fantoma, la cantidad de agua en la gelatina e incluso el aire, pueden afectar a la calidad y efectividad de las mediciones.

Además de esto se puede mejorar el sensor para que este asimile de una mejor manera las características de los transductores que se utilizan para los ultrasonidos médicos. Por ejemplo se le podría agregar un encapsulamiento para mejorar la emisión y el rebote de las ondas de sonido.

Finalmente, se debe de recordar el impacto que tiene el factor humano, ya que si se manipula el sensor de forma apresurada o brusca puede que este no registre las medidas de la mejor manera.

Referencias

Kocak, M. (2019, May 8). Ecografía. Manual MSD Versión Para Profesionales; Manuales MSD.
<https://www.msdmanuals.com/es-mx/professiona>

[l/temas-especiales/principios-de-estudios-por-la-i-magen-radiol%C3%B3gicas/ecograf%C3%ADa](http://temas-especiales/principios-de-estudios-por-la-i-magen-radiol%C3%B3gicas/ecograf%C3%ADa)

4. MODOS DE ULTRASONOGRAFÍA. (2022).
Uach.cl.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2002/bmfci918u/xhtml/TH.4.xml>

Ultrasonido. (2022). Nih.gov.
<https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/ultrasonido>

Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino Tutorial. (2019). Arduino Project Hub; Arduino Project Hub.
<https://create.arduino.cc/projecthub/abdularbi17/ultrasonic-sensor-hc-sr04-with-arduino-tutorial-327ff6>

Médica capacitación (2017, June 2). Principios físicos del ultrasonido: El movimiento Ondulatorio -. Diplomadomedico.

López-Haro, S. A., & Vera, A. (2010).
MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL ULTRASONIDO EN TEJIDO ANIMAL EMPLEANDO REFLECTORES FIJOS. 7.

Médica, A. D. en U. (2017, July 4). *Ultrasonido* -. <https://diplomadomedico.com/ultrasonido-2/>

Morales López, E. (2012). Modelado, construcción y caracterización de transductores de ultrasonido para ensayos no destructivos.

HC-SR04 Datasheet. (2013, July 1).

ElectroSchematics.Com.

<https://www.electroschematics.com/hc-sr04-datasheet/>

Díaz-Rodríguez, N., Garrido-Chamorro, R. P., & Castellano-Alarcón, J. (2007). Metodología y técnicas. Ecografía: Principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 33(7), 362–369.

[https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(07\)73916-3](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(07)73916-3)

Anexo

```
/ ----- //  
// Arduino Ultrasoninc Sensor HC-SR04  
// Re-writed by Arbi Abdul Jabbaar  
// Using Arduino IDE 1.8.7  
// Using HC-SR04 Module  
// Tested on 17 September 2019  
// ----- //  
#define echoPin 2 // attach pin D2 Arduino to pin Echo of HC-SR04  
#define trigPin 3 //attach pin D3 Arduino to pin Trig of HC-SR04  
  
// defines variables  
  
long duration; // variable for the duration of sound wave travel  
int distance; // variable for the distance measurement
```

```

void setup() {

  pinMode(trigPin, OUTPUT); // Sets the trigPin as an OUTPUT

  pinMode(echoPin, INPUT); // Sets the echoPin as an INPUT

  Serial.begin(9600); // // Serial Communication is starting with
9600 of baudrate speed

  Serial.println("Ultrasonic Sensor HC-SR04 Test"); // print some
text in Serial Monitor

  Serial.println("with Arduino UNO R3");

}

void loop() {

  // Clears the trigPin condition

  digitalWrite(trigPin, LOW);

  delayMicroseconds(2);

  // Sets the trigPin HIGH (ACTIVE) for 10 microseconds

  digitalWrite(trigPin, HIGH);

  delayMicroseconds(10);

  digitalWrite(trigPin, LOW);

  // Reads the echoPin, returns the sound wave travel time in
microseconds

  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  // Calculating the distance

  distance = duration * 0.034 / 2; // Speed of sound wave divided
by 2 (go and back)

  // Displays the distance on the Serial Monitor

  Serial.print("Distance: ");

  Serial.print(distance);

  Serial.println(" cm");

}

```