

Piezoelectricidad en un BUZZER

Piezo-electricity BUZZER

CESAR ALEXANDER CHACÓN

Físico, magíster en Ciencias, candidato a Doctor en Ciencias. Docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Contacto: cachaconc@udistrital.edu.co

JOSÉ DAVID CORTÉS

Tecnólogo en Electricidad. Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: jdcortest@correo.udistrital.edu.co

DIEGO ARMANDO GIRAL

Tecnólogo en Electricidad. Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: dagiralr@correo.udistrital.edu.co

RICARDO ROMERO ROMERO

Tecnólogo en Electricidad. Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Contacto: rromeror@correo.udistrital.edu.co

Fecha de recepción: : 20 de Julio de 2012

Clasificación del artículo: Investigación

Fecha de aceptación: 1 de Octubre de 2012

Grupo de Investigación: CEM

Palabras clave: *buzzer, decibeles, piezoelectricidad, presión*

Key words: *buzzer, decibels, piezoelectricity, pressure*

RESUMEN

En este documento se presentará el análisis de la propiedad piezoeléctrica de un buzzer, el cual está construido con un electroimán y una lámina metálica de acero. Mediante la implementación de un sistema de emisión y recepción con buzzers piezoeléctricos se realizará una prueba de presión, para la cual el agente que generará dicho fenómeno será propagación del sonido. Para esto se alimenta el buzzer emisor con una tensión variable, la cual a su vez genera un sonido que se propaga, y el buzzer receptor captura las ondas de presión y las convierte en tensión.

ABSTRACT

This paper will present the analysis of the piezoelectricity properties in a buzzer which is built with an electromagnet and a steel sheet metal. By implementing a transmission and reception system with piezoelectric buzzer, shall conduct a pressure test, for which the agent that generated the phenomenon will spread the sound. For this, the buzzer is powered transmitter with a variable voltage, which in turn generates a sound that is propagated, and the buzzer receiver captures the pressure waves and converts them into voltage.

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos físicos que involucran propiedades de los materiales han sido de utilidad en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas que son usadas con frecuencia. Uno de estos principios físicos es el efecto piezoeléctrico el cual consiste en manifestaciones eléctricas en forma de campo eléctrico debido a deformaciones físicas, generalmente en cristales (naturales o sintéticos). Dentro de la variedad de aplicaciones tecnológicas se encuentran sensores de efecto piezoeléctrico, micrófonos piezoeléctricos y parlantes, entre otros.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Piezoelectricidad

La propiedad de la piezoelectricidad fue observada por primera vez por Pierre y Jacques Curie en 1881 estudiando la compresión del cuarzo. Cuando una presión es aplicada a un material piezoeléctrico, causa una deformación mecánica y a su vez un desplazamiento de cargas. Estas cargas son directamente proporcionales a la presión aplicada. Ver figura 1.

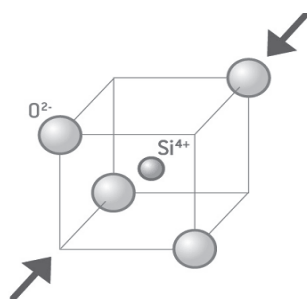


Figura 1. Piezoelectricidad de un cuarzo
Fuente: Tomada de [1]

2.2 Principio de operación

Dependiendo del camino por el cual el material piezoeléctrico es deformado, se pueden distinguir tres formas (figura 2).

- Transversal.
- Longitudinal.
- Cizalladura.

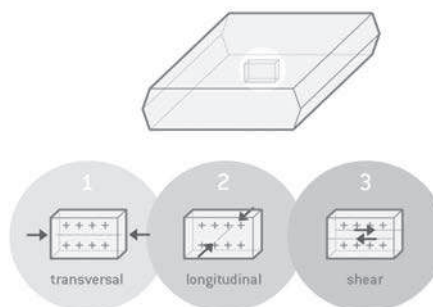


Figura 2. Cristal de Galio.
Fuente: Tomada de[1]

Si se ejerce una presión en los extremos del eje polar, se produce polarización: un flujo de electrones va hacia un extremo y produce en él una carga negativa, mientras que en el extremo opuesto se induce una carga positiva. Una aplicación importante de la piezoelectricidad es la que resulta por cumplirse la propiedad inversa. Si sometemos la placa de material piezoeléctrico a una tensión variable, se comprime y se relaja oscilando a los impulsos de una señal eléctrica. Si esta placa está en contacto con un fluido le transmite sus vibraciones y produce ultrasonidos.

La primera aplicación práctica de la piezoelectricidad, que surge de la cualidad de transformar una señal mecánica (la presión) en una señal eléctrica (corriente eléctrica), es la del sonar. Al final de la primera guerra mundial se descubrió que las ondas sonoras producidas por los submarinos podían ser detectadas por un trozo de cuarzo sumergido en el agua, en el que se medían las corrientes generadas pudiéndose detectar de qué dirección venía el sonido [2].

2.3 Buzzer o zumbador

El corazón de los buzzer piezoeléctricos es un sim-

ple disco piezo (figura 3), que consiste de una placa cerámica con una capa metálica. Si el disco es controlado por un circuito oscilante externo se habla de un transductor piezoeléctrico. Si el circuito oscilador está incluido en la carcasa se lo denomina zumbador piezoeléctrico.

La ventaja de este montaje sencillo es su robustez y su fabricación económica. Los generadores de sonidos piezoeléctricos son aptos para el diseño de alarmas y controles acústicos de estrecho rango de frecuencia, por ejemplo en aparatos domésticos y de medicina [3].

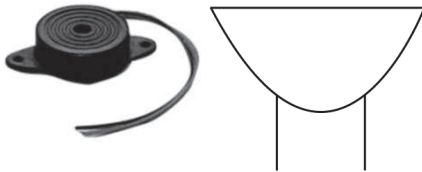


Figura 3. Buzzer de disco.
Fuente: Tomada de [4]

Los fabricantes de estos dispositivos facilitan las curvas características, en la figura 4 se encuentran las curvas de descripción para un buzzer tipo HYDZ, la curva P describe la variación de tensión con respecto a la presión, mientras que la curva I describe la variación de tensión con respecto a la corriente [4].

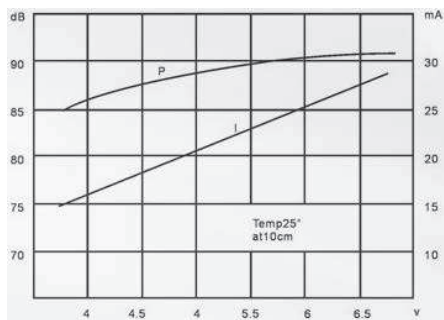


Figura 4. Curva característica de un buzzer tipo HYDZ.
Fuente: Tomada de [5]

2.4 Decibelios

El decibel es una unidad que expresa la diferencia en nivel de sonido, para indicar la razón o proporción entre dos señales eléctricas que representan niveles de potencia en vatios, siendo ésta una unidad adimensional[5].

Para el cálculo a partir de las unidades físicas medibles de una fuente sonora ecuación (1), se define como el nivel de potencia, L_w , en decibelios.

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W_1}{W_0 (10^{-12})} \right) [dB] \quad (1)$$

$W_{1,p}$: potencia a estudiar [w]

W_0 : valor de referencia, igual a 10^{-12} [w].

Las ondas de sonido producen un aumento de presión en el aire, luego otra manera de medir físicamente el sonido es en unidades de presión (pascales), y puede definirse el *nivel de presión*, L_p , que también se mide en decibelios mediante la ecuación (2).

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) [dB] \quad (2)$$

2.5 Valores RMS

El valor RMS de una señal AC es el valor de la tensión DC que se debe aplicar a una carga resistiva para que produzca la misma disipación de energía que si se conecta esa misma carga a una señal AC. El valor RMS no debe interpretarse como un valor promedio AC y su cálculo depende de la forma con que dicha señal varía en el tiempo [6], [7].

Dada una variable discreta x , que toma los k valores $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_k$, con frecuencias absolutas $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$, siendo $n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k = N$, se define el valor RMS a partir de la ecuación (3).

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}} \quad (3)$$

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

Para variables continuas el limite de la sumatoria de Riemman cuando tiende a infinito se transforma en la definicion de integral, como se muestra en la ecuación (4).

$$x(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{x_0}^{x_n} f^2(t) dt} \quad (4)$$

3. METODOLOGÍA

3.1 Selección del material piezoeléctrico

Se escogió el Buzzer debido a su costo y a la facilidad de adquisición en el mercado nacional, además la ficha técnica es de fácil acceso en la página del fabricante, los buzzer seleccionados fueron:

- HDYZ

Se escogió el HDYZ (figura 5) como buzzer emisor debido a que con una tensión menor generaba una mayor intensidad de sonido, en comparación con el buzzer LS 3527.



Figura 5. Buzzer emisor.
Fuente: Tomada de [5]

- LS 3527

El buzzer LS 3527 (figura 6) se seleccionó como receptor debido a que su área es más grande lo que

permite una mejor recepción de señales.

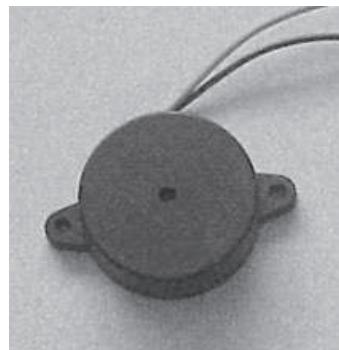


Figura 6. Buzzer receptor.
Fuente: Tomada de [6]

3.2 Montaje de los buzzer

Como el experimento consiste en propagar el sonido emitido de un buzzer a otro, se hace necesario minimizar el ruido generado por el exterior, esto se consigue adecuando los buzzer en un espacio recubierto por material aislante de sonido como el ICOPOR.

3.3 Diseño de circuito electrónico

Para realizar el acondicionamiento de la señal recibida por el buzzer receptor y eliminar el ruido que se genera a la salida por interferencias externas, se implementa un amplificador de instrumentación. La figura 7 muestra el circuito diseñado para el acondicionamiento.

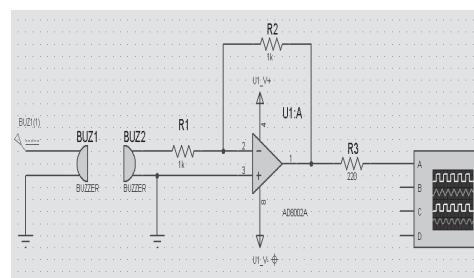


Figura 7. Circuito acondicionamiento señal.
Fuente: Elaboración Propia mediante software Proteus®

El circuito implementado para el experimento se divide en 4 partes.

Emisión

Para la emisión de sonido se alimenta el buzzer emisor con una fuente variable de 2 a 9 [V] y corriente de 3[A].

Recepción

El buzzer receptor se acondiciona con una carga resistiva para mejorar su respuesta ante distorsiones externas que interfieran la señal del buzzer emisor.

Amplificación

Después de eliminar ruido, se acondiciona un amplificador de instrumentación para amplificar la señal recibida.

Filtrado

A la salida del amplificador se coloca un condensador para eliminar efectos parásitos de ruido electromagnético generado por ondas externas al experimento.

3.4 Acoplamiento de los sistemas de medida

Para la medición de tensión se implementó el osciloscopio FLUKE 105i a la salida del amplificador operacional.

4. RESULTADOS

Cuando se varía la tensión de entrada del buzzer emisor se genera una variación en la intensidad del sonido, con este patrón se puede determinar la intensidad del sonido transmitida hacia el buzzer receptor y establecer la relación entre presión e intensidad de sonido y a su vez la tensión en los terminales del buzzer receptor. Se realiza la medición de temperatura ambiente con el multímetro FLUKE 179.

En la figura 8 se muestra la relación entre tensión aplicada e intensidad de sonido del buzzer emisor, además muestra el procedimiento utilizado para determinar el comportamiento estimado de la curva que el fabricante entrega sobre el material. Se seleccionaron algunos puntos importantes para generar la tabla 1.

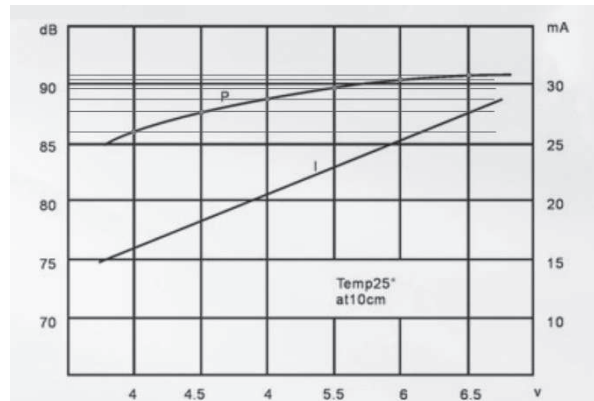


Figura 8. Selección de puntos para determinar el comportamiento estimado mediante estadística.
Fuente: Tomada de [5]

Tabla 1. Tabulación datos fabricante.

Tensión [V]	Intensidad de sonido [dB]
4	86
4,5	87,5
5	88,5
5,5	89,5
6	90,5
6,5	91

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la tabla 1 se obtiene la relación entre tensión e intensidad del sonido (figura 9).

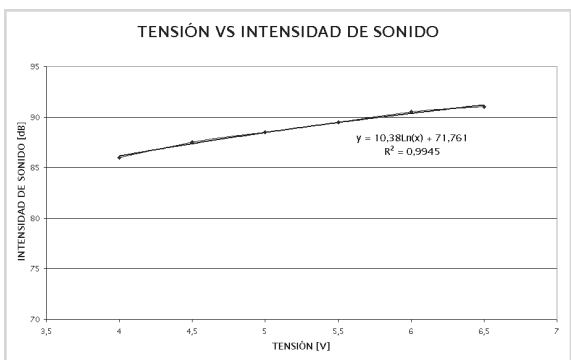


Figura 9. Datos de tensión vs intensidad de sonido.
Fuente: Elaboración Propia mediante Microsoft® Excel

Para el buzzer emisor se utiliza un rango de 2 a 9 [V]. La ecuación (5) se utiliza para calcular los datos que no se estipulan en el data-sheet del fabricante y se obtiene a partir de la regresión hecha mediante los datos de la tabla 1.

$$dB(V) = 10,3 \cdot \ln(V) + 71,761 \quad (5)$$

Los valores obtenidos mediante la ecuación (5) se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Tabulación datos teóricos.

Tensión [V]	Intensidad de sonido [dB]
2	78,90
2,5	81,20
3	83,08
3,5	84,66
4	86,04
4,5	87,25
5	88,34
5,5	89,32
6	90,22
6,5	91,04
7	91,80
7,5	95,21
8	93,18
8,5	93,80
9	94,39

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la tabla 2 se obtiene la re-

lación entre tensión e intensidad del sonido (figura 10).

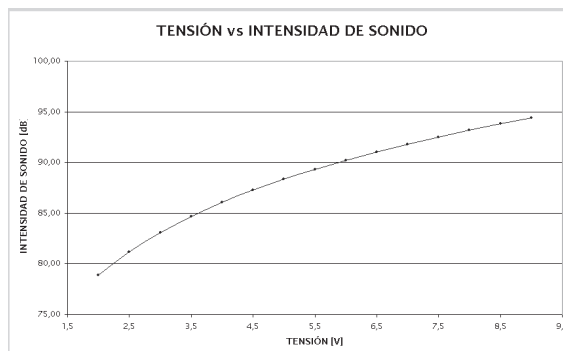


Figura 10. Datos de tensión vs intensidad de sonido con la función calculada.
Fuente: Elaboración Propia mediante Microsoft® Excel

Como las ondas de sonido son ondas de presión, la relación que existe entre intensidad de sonido y presión esta expresado mediante la ecuación (6).

$$dB = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{20[\mu Pa]} \right) \quad (6)$$

Se calcula la presión en función de la intensidad de sonido a partir de la ecuación (7).

$$P = 20\mu \left(10^{\frac{dB}{20}} \right) \quad (7)$$

Los datos que se obtienen por esta relación se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Relación datos entre intensidad de sonido y presión.

Tensión [V]	Intensidad de sonido [dB]	Presión [Pa]
2	78,90	0,176
2,5	81,20	0,230
3	83,08	0,285
3,5	84,66	0,342
4	86,04	0,401
4,5	87,25	0,461
5	88,34	0,522
5,5	89,32	0,585

Tensión [V]	Intensidad de sonido [dB]	Presión [Pa]
6	90,22	0,648
6,5	91,04	0,713
7	91,80	0,778
7,5	95,21	0,845
8	93,18	0,912
8,5	93,80	0,980
9	94,39	1,049

Fuente: Elaboración Propia

Con este análisis se pretende encontrar una relación entre la intensidad del sonido del emisor y el receptor. Para esto se realiza la medición de la diferencia de potencial entre los terminales del buzzer receptor, la medición obtenida arroja una señal tipo senoidal.

En las figuras 11, 12, 13 se muestran las señales obtenidas para una tensión de entrada en el buzzer emisor de 2, 5 y 9 [V] respectivamente, la cantidad total de imágenes fueron de 15, una por cada tensión de entrada.

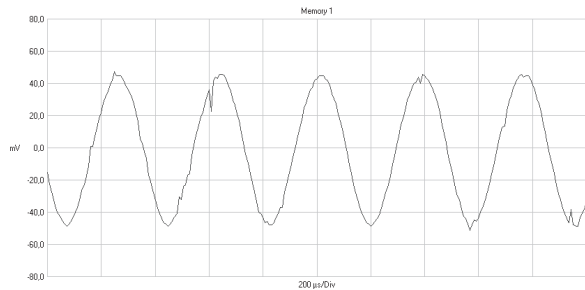


Figura 11. Señal de salida para una tensión de entrada de 2[V] en el buzzer emisor.

Fuente: Elaboración Propia Fluke® 741i

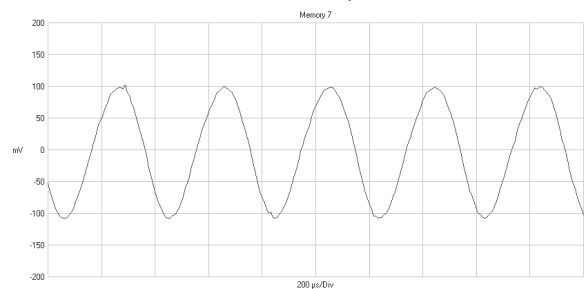


Figura 12. Señal de salida para una tensión de entrada de 5[V] en el buzzer emisor.

Fuente: Elaboración Propia Fluke® 741i

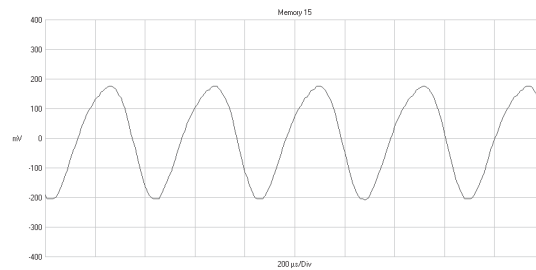


Figura 13. Señal de salida para una tensión de entrada de 9[V] en el buzzer emisor.

Fuente: Elaboración Propia Fluke® 741i

Para cada una de las señales se obtuvo la media cuadrática o valor RMS de la tensión de salida del buzzer receptor en función de la presión aplicada por las ondas sonoras emitidas por el buzzer emisor, los resultados obtenidos se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Relación de entre la presión aplicada y el valor de tensión RMS.

Presión [Pa]	Tensión buzzer receptor [Vrms]
0,176	0,033
0,230	0,039
0,285	0,045
0,342	0,051
0,401	0,058
0,461	0,065
0,522	0,073
0,585	0,080
0,648	0,089
0,713	0,095
0,778	0,103
0,845	0,109
0,912	0,117
0,980	0,126
1,049	0,135

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos de presión y tensión RMS de salida del buzzer receptor, se construye la gráfica obteniendo una relación lineal en dicho intervalo de presión tal como muestra la figura 14.

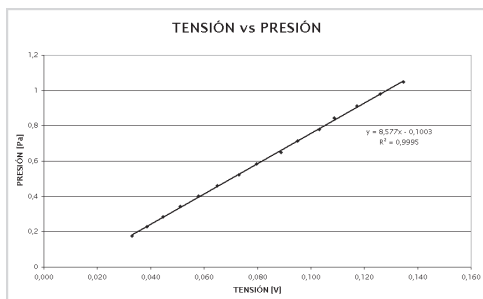


Figura 14. Gráfica tensión vs presión.

Fuente: Elaboración Propia mediante Microsoft® Excel

Finalmente se obtiene la ecuación (8) que describe el comportamiento de la tensión RMS en el buzzer receptor en función de la presión aplicada en pascales por el buzzer emisor.

$$V_{rms}(P) = 0,117P + 0,012[V] \quad (8)$$

A partir de la ecuación (8) se determina la sensibilidad del material piezoeléctrico utilizado en el experimento.

De la figura 15 a la figura 18 se muestran capturas del desarrollo del experimento.

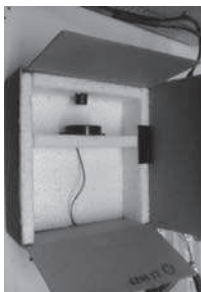


Figura 15. Adecuación de la emisión recepción.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 16. Acondicionamiento de la señal.

Fuente: Elaboración Propia

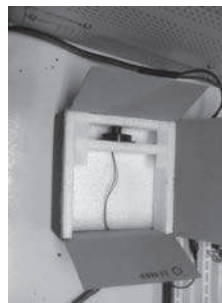


Figura 17. Disposición de la prueba.

Fuente: Elaboración Propia

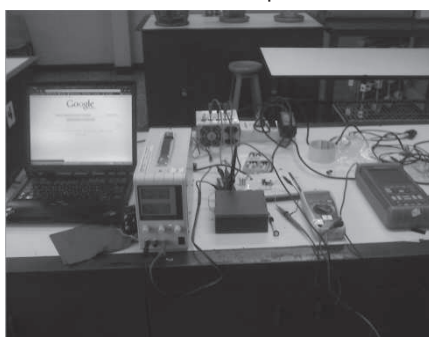


Figura 18. Esquema global del experimento.

Fuente: Elaboración Propia

4.1 Sensibilidad

Por definición la sensibilidad es la razón de cambio de la variable dependiente en función de la independiente, la sensibilidad del material piezoeléctrico se expresa mediante la ecuación (9).

$$\frac{dV_{rms}}{dP} = 0,117 \left[\frac{V_{rms}}{Pa} \right] \quad (9)$$

4.2 Temperatura

Los parámetros que se pueden determinar a partir de las curvas características deben cumplir con ciertos factores atmosféricos establecidos, el fabricante garantiza una curva a una temperatura de prueba de 25[°C], la medición inicial de temperatura se realiza con el instrumento FLUKE 179 True RMS con adaptación de termocupla tipo J. El resultado de esta medición fue de 22.8 [°C].

5. CONCLUSIONES

Se observó un comportamiento senoidal (parte positiva y parte negativa) en la tensión de salida del buzzer receptor, debido a las vibraciones por la compresión y atracción del material piezoeléctrico causados por la presión ejercida en forma de ondas sonoras del buzzer emisor.

Se comprobó una relación lineal entre la presión aplicada en forma de ondas sonoras y la tensión RMS de salida del material piezoeléctrico.

La sensibilidad del sistema indica que por cada Pascal de presión o 97[dB] se genera un aumento de $0,117[V_{RMS}]$.

Cuando aumenta la tensión del buzzer emisor aumenta la intensidad de sonido, por lo tanto, su presión aumenta. Esta medida de incremento de presión realiza a su vez un aumento en la frecuencia de oscilación de la señal de tensión que entrega el buzzer receptor. Este aumento de frecuencia realiza una disminución de periodo.

Se intentó buscar una relación entre la curva del fabricante del buzzer emisor y la curva obtenida en la prueba de laboratorio y no fue posible debido a que la tensión del buzzer emisor es una señal de corriente continua, mientras que la señal de tensión obtenido por el osciloscopio FLUKE fueron valores variantes en el tiempo, por lo cual solo se pudo realizar una medida aproximada con el método estadístico de RMS (Root Media Square) del valor que entregaba la señal.

El fabricante garantiza una curva a una temperatura de prueba de 25 [°C]; la temperatura ambiente en el momento de la prueba fue de 22.8 [°C]. Esta diferencia en la variación de temperatura puede alterar los factores físicos del dispositivo de prueba.

Para evitar interferencias de ruidos externos se diseñó una pared aislante, construida en ICOPOR esto con el objetivo de minimizar el ruido ambiental para que no causara mediciones erróneas, pero el resultado no fue totalmente satisfactorio porque no se logró minimizar totalmente estos agentes de interferencia.

REFERENCIAS

- [1]. Piezocryst advanced sensorics, “Piezoelectric sensors”. [En línea]. Disponible http://www.piezocryst.com/piezoelectric_sensors.php, 2008
- [2]. Piezoelectricidad, “Aplicaciones del Efecto piezoeléctrico”. [En línea]. Disponible: http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Piezoelectricidad/Piezoelectricidad.htm, 2009
- [3]. Endrich components of life, “Zumbadores piezoeléctricos con o sin oscilador”. [En línea]. Disponible: <http://www.endrich.com/es/55515/zumbadores+piezoel%C3%A9ctricos+conosin+oscilador>, 2005
- [4]. <http://www.hiwte.com/products/piezo-buzzer-459017-1795.htm>
- [5]. Ficha técnica buzzer dzsc, “HYDZ buzzer”. [En línea]. Disponible: <http://www.dzsc.com/product/information/327986/4277720100806142527395.html>
- [6]. <http://psx-scene.com/forums/content/buzzer-player-fun-homebrew-app-1857/>
- [7]. R. Boylestad, L. Nashelsky, “Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos”, respuesta en frecuencia, México, pp. 573, 2003.
- [8]. R. Serway, “Física para ciencias e ingeniería”, circuitos de corriente alterna y ondas electromagnéticas, Tomo 2, México, pp. 686, 2002.
- [9]. A.Vargas, “Estadística Descriptiva e Inferencial”, España, pp. 72, 1998.