

Análisis exploratorio del uso de técnicas de Energy Harvesting con piezoelectricos para la alimentación de medidores de CO₂ con técnicas de bajo consumo

Victor Caverro, Valeria Arias, Jesus Zegarra
Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC

Resumen — Debido a las altas emisiones de CO₂ que se generan actualmente en el Perú y el mundo, se plantea desarrollar un medidor de dicho gas cuya autonomía pueda ser extendida con una retroalimentación a partir de piezoelectricos, que transforman la energía sonora del ambiente en energía eléctrica. El presente trabajo tiene como fin explorar la viabilidad del sistema propuesto realizando pruebas de consumo y obtención de energía eléctrica a partir de elementos piezoelectricos.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la industria en los últimos años ha generado un aumento considerable de las emisiones de CO₂ a nivel mundial [1]. Un caso particular es Perú, cuya capital genera una alta emisión de dicho gas debido a su sobrepoblación automotriz [2]. Frente a la ausencia de datos actuales y precisos sobre la emisión de CO₂, se propone la implementación de un sistema de bajo consumo para la medición del mismo. Debido a que la autonomía de este tipo de medidores es fundamental para su implementación, se propone utilizar técnicas de Energy Harvesting o colectores de energía para cargar las baterías del sistema. Estas técnicas se encargan del aprovechamiento de cualquier tipo de energía circundante en el ambiente. Por este motivo, esta investigación busca aprovechar la contaminación sonora generada en la ciudad de Lima para la producción de electricidad a través del uso de elementos piezoelectricos en un sistema colector de energía, a la par se buscar reducir el consumo energético del medidor de CO₂ para que el sistema de E.H pueda ser óptimo para la implementación.

En la sección II se detallarán el estado del arte tanto de los sistemas de medición de CO₂ de bajo consumo como los de Energy Harvesting con elementos piezoelectricos. Luego, en la sección III, se detallará la metodología realizada para las pruebas de ambas partes

del sistema propuesto. Seguidamente, en la sección IV, se explicarán los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas y observaciones. Finalmente, se encuentran las conclusiones en la sección V.

II. ESTADO DEL ARTE

En el mercado existen varias alternativas de medidores de CO₂, como por ejemplo los medidores industriales y certificados. Sin embargo, estos en su mayoría son de precios elevados y de un alto consumo energético.

Por otro lado, entre los sensores de CO₂ comerciales y de bajo consumo para aplicaciones embebidas, se tienen los sensores MHZ19B y COZIR-W. En la Tabla 1. se observa el consumo promedio y consumo pico de los sensores mencionados, así como el tiempo de calentamiento necesario para empezar las mediciones. Dichos datos fueron extraídos de sus respectivas fichas técnicas. [3][4][5]

Tabla 1. Consumo de los sensores de CO₂

Sensor	Consumo promedio	Consumo pico	Tiempo de calentamiento
MHZ19B	<60mA	150mA	3 minutos
COZIR-W	<1.5mA	33mA	10 segundos

Una alternativa para alimentar dispositivos electrónicos como estos sensores de CO₂ es a través de las técnicas de Energy Harvesting. Estos sistemas encargados de la reutilización de la energía se pueden clasificar a partir del tipo de fuente de energía no biológica [6]. Dentro de esta clasificación, se puede distinguir el grupo mecánico, basado en materiales cerámicos, poliméricos y piezo-compuestos [7]. Dichos elementos transforman la energía generada por presión, cinética y vibraciones a partir de transductores como generadores DC/AC o

elementos piezoeléctricos en energía para el aprovechamiento de pequeños sistemas electrónicos. De esta manera, la transformación de la energía por medio de elementos piezoeléctricos se da debido a que presentan una polarización eléctrica al generarle una deformación mecánica (sensor) y viceversa (actuador). En el presente estudio, se dispuso del piezo-compuesto MFC P2. A partir de especificaciones técnicas del componente, tales como la frecuencia de operación máxima ($<1\text{MHz}$) y la capacitancias (25 nF a 200 nF) [8], se considera este material como idóneo para la obtención de energía eléctrica en ambientes vibrantes a altas y bajas frecuencias. En términos generales, este estudio busca que el piezo-compuesto seleccionado funcione como extensómetro sensible, esto es, cambiar el valor nominal de su resistencia debido a vibraciones, para después recolectar energía de estas últimas. Para hacer efectivo de técnicas de Energy Harvesting con elementos piezoeléctricos, es necesario procesar la corriente alterna para alimentar baterías u otros dispositivos electrónicos. De este modo, se vio como la mejor alternativa el uso del módulo ADP5090, también conocido como regulador de impulso integrado. Este componente carga dispositivos electrónicos tales como baterías recargables de iones de litio y supercondensadores, del mismo modo que enciende pequeños dispositivos electrónicos y sistemas sin baterías. [9]

III. METODOLOGÍA

El proyecto propuesto se representa en el diagrama de bloques de la Fig.1, en donde la entrada es un parlante que emite las frecuencias para las pruebas, luego ingresa al piezoeléctrico, que genera la energía eléctrica que ingresa al módulo Energy Harvesting. Dicho módulo entrega la retroalimentación a las baterías y alimenta al medidor de CO_2 . El medidor de CO_2 se alimenta por las baterías principalmente y finalmente se conectara a una computadora para visualizar los datos del medidor.

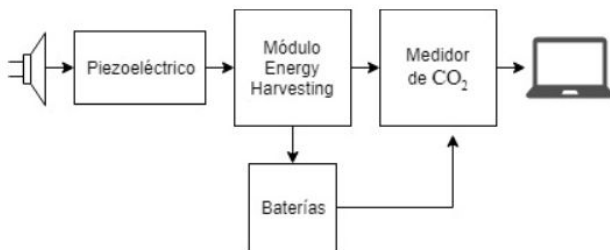


Fig. 1 Diagrama de bloques del sistema

La metodología se encuentra dividida en dos puntos, técnicas de Energy Harvesting y medidor de CO_2 :

Metodología aplicada a Energy Harvesting:

Se utilizaron dos compuestos de macro fibra (MFC) conectados en serie, en vista de que el armado de los MFC en serie aumenta la diferencia de potencial en comparación a la conexión en paralelo [11].

Para llevar a cabo cada prueba, se utiliza un mismo sistema principal compuesto dos piezoeléctricos, un sonómetro TENMA 72-935, un multímetro con el que se tomarán datos durante 15s en cada ensayo y un parlante JBL LSR 305, para generar variaciones de frecuencia en el rango de 100-800 Hz.

Para la determinación del rango de frecuencias óptimo para el funcionamiento de los elementos piezoeléctricos, se tomarán en cuenta tres parámetros: nivel de presión sonora en dB, frecuencia en Hertz y voltaje en Voltios. En primer lugar, se toma la presión sonora como una variable dependiente de la frecuencia en cada prueba. De este modo, se procede a hacer mediciones con el sonómetro para observar la relación entre los parámetros previamente mencionados, a partir de esta relación se obtendrá la frecuencias pico en los distintos casos. En segundo lugar, para determinar el rango de frecuencias en el cual se trabajaría (100-800 Hz), espectro de referencia normalizado del ruido [14]. El voltaje producido por el arreglo piezoeléctrico será conectado al regulador de impulso integrado ADP5090. Se debe tener en cuenta que el circuito cold-start de este dispositivo se activa con 380 mV, no obstante, el conjunto puede trabajar con 80 mV. Las conexiones de muestran en la Figura 2.

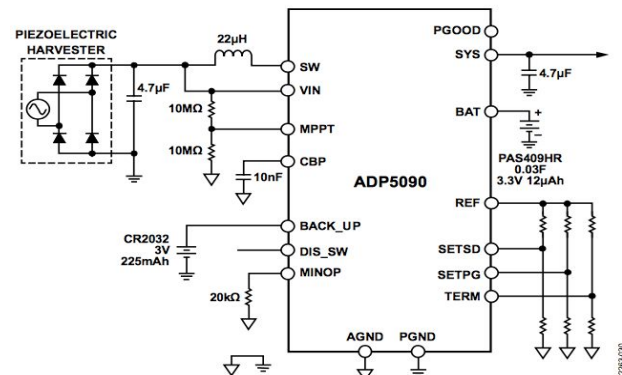


Fig. 2 Esquemático del piezoeléctrico con el Energy Harvesting obtenido de la hoja de datos.

Finalmente, con el fin de optimizar el proceso de transformación de energía, se experimentó con elementos piezoeléctricos dentro de dos resonadores

semiesféricos de materiales diferentes: cerámica y polímero. Estos materiales aislantes y acústicos, los cuales son capaces de reflejar los sonidos que llegan del ambiente, y apoyado también por la forma de sus estructura, ayudaron a redireccionar el sonido hacia el piezoeléctrico.

Tabla 2. Dimensiones de los resonadores de cerámica y polímero.

Resonador	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)
Cerámico	18.2	10.6
Polímero	20.1	11.3

Teniendo en cuenta los parámetros previamente mencionados, se elaboró un plan de pruebas mostrado en la Figura 3.

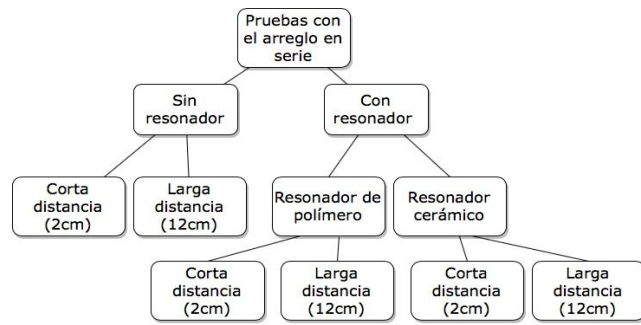


Fig. 3 Esquema de pruebas realizadas al arreglo en serie de piezoeléctricos.

Medidor de CO₂:

Se busca obtener un medidor de bajo consumo cuyas baterías puedan ser cargadas aplicando técnicas de energy harvesting a base de elementos piezoeléctricos. Para la implementación se utilizó el microcontrolador ATmega328P y se eligió el sensor de CO₂ COZIR-W. De acuerdo a la Tabla 1. se puede identificar que el sensor resulta óptimo para la implementación debido a sus niveles de consumo. El sensor también cuenta con tres modos internos configurables, entre ellos está el modo 0 que es el modo de bajo consumo, en el cual el sensor se encuentra sin hacer mediciones. En el modo 1, el sensor se encuentra haciendo dos mediciones por segundo, sin solicitarlo y enviar el valor sensado. Por último, en el modo 2, el sensor solo envía el dato al solicitarlo, sin embargo sigue realizando mediciones constantemente, como el modo 1.

El microcontrolador cuenta con la opción de aplicarle técnicas de bajo consumo. Además, se procedió a deshabilitar los bloques de ADC, Timer0/1 e I2C para ahorrar mayor energía en el medidor, ya que no están siendo utilizados. Dicho microcontrolador opera a 3.3 voltios y a una frecuencia de 1MHz.

A continuación, se visualiza en la Fig. 2 el diagrama esquemático que se utilizó para realizar las pruebas del medidor de CO₂. En él se encuentra el microcontrolador ATmega328P conectado por el pin TX del protocolo UART al sensor de CO₂, el cual cuenta con una resistencia pull-up, y el pin TX del sensor se conecta hacia el pin RX del módulo UART/USB para la visualización de los datos. Todo el sistema es alimentado por un voltaje de 3.3V, el cual puede interpretarse como un bloque cuyas entradas son Vin, Gnd y como salida USB. Dichas entradas se conectarán al sistema de Energy Harvesting y batería previamente mencionada.

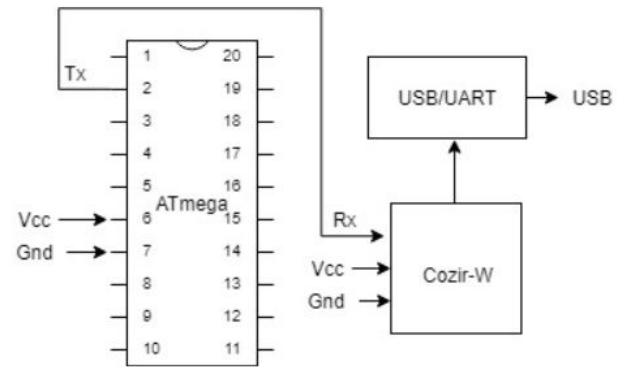


Fig.2 Diagrama esquemático del medidor de CO₂

Se realizaron tres pruebas de consumo con el medidor de CO₂, siendo la primera con el sistema en modo activo, es decir, sin ninguna técnica de ahorro de energía. Luego, aplicando la desactivación de los bloques internos no utilizados. Finalmente, aplicando el sleep mode al microcontrolador. En dichas pruebas se consideró la corriente del precalentamiento del sensor, la corriente promedio del sistema y los valores máximos y mínimos obtenidos después del precalentamiento, que es cuando el sistema se estabiliza. Se utilizó una resistencia Shunt de 1,36 Ohms para realizar las mediciones de consumo del sistema.

IV. RESULTADOS

Medidor de CO₂:

Después de aplicar técnicas de bajo consumo para el microcontrolador, así como apagar los bloques del microcontrolador que no están siendo utilizados, se obtuvieron los resultados en la Tabla 3, donde se visualiza la comparación de los modos en consumo activo, con bloques desactivados y con técnicas de bajo consumo aplicadas.

Tabla 3. Resultados de técnicas de ahorro de energía

Modo	Corriente precalent.	Promedio	Máximo	Mínimo
Activo	6.78mA	1.06mA	1.93mA	0.64mA
Bloques desactivados	6.12mA	0.95mA	1.78mA	0.51mA
Ahorro de energía	5.46mA	0.51mA	1.67mA	0.47mA

Tabla 4. Medición de voltaje en dos puntos del ADP5090

Voltaje de salida al sistema	5-8 mV
Voltaje de salida batería (BATT)	18.69 mV

Análisis del elemento piezoeléctrico :

Después de realizar distintas pruebas variando frecuencias (Hz), distancias (cm) y resonadores de diferentes materiales obtenemos las siguientes gráficas:

Gráficas sobre la señal de entrada

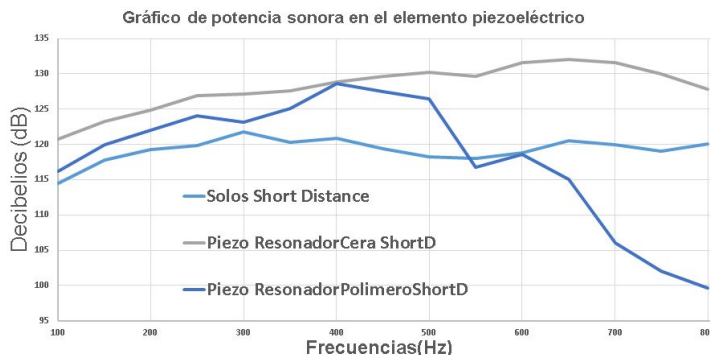


Fig.3 Gráfico de potencia sonora en elemento piezoeléctrico a corta distancia (2 cm)

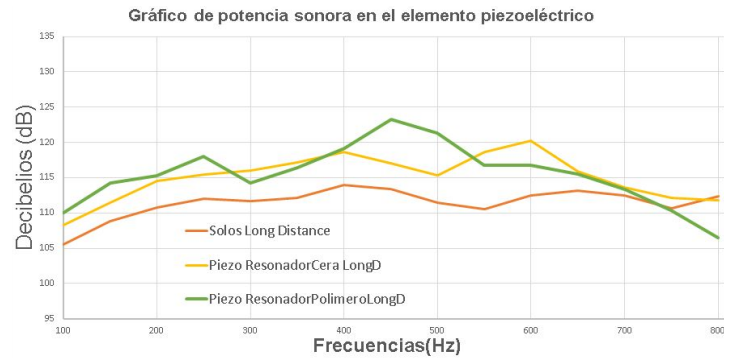


Fig.4 Gráfico de potencia sonora en elemento piezoeléctrico a larga distancia (12 cm)

Gráficas sobre la señal de salida

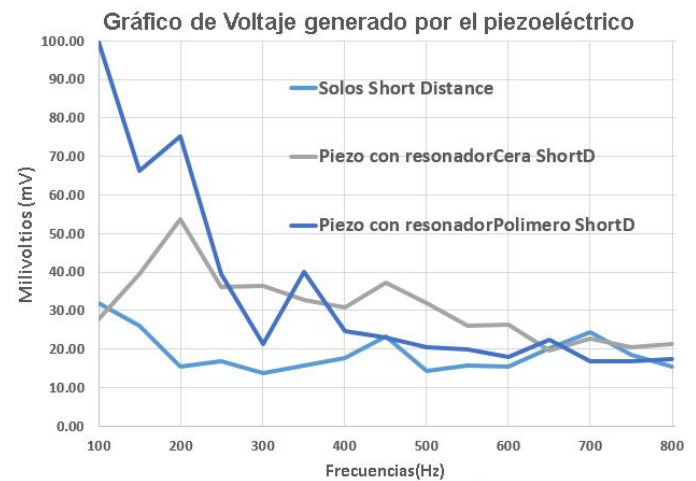


Fig.5 Gráfico de voltaje generado por elemento piezoeléctrico a corta distancia (2 cm)

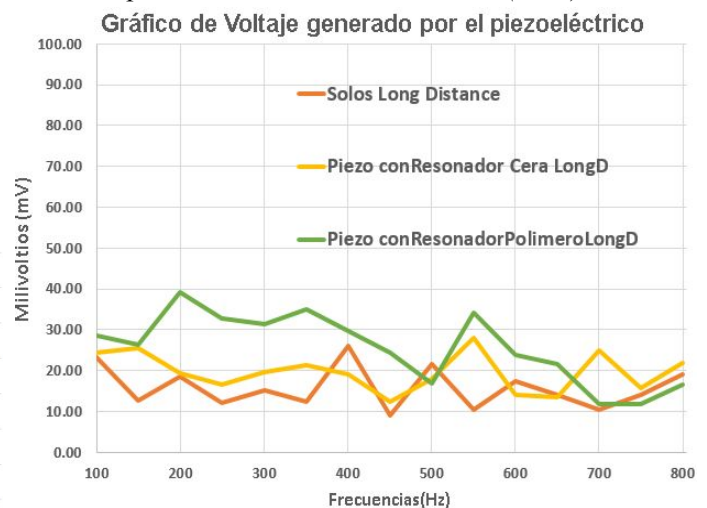


Fig.6 Gráfico de voltaje generado por elemento piezoeléctrico a larga distancia (12 cm)

V. CONCLUSIONES

Al realizar la comparación del sistema en modo activo y al aplicarle las técnicas de bajo consumo, se puede

observar que en el caso de los bloques desactivados mencionados anteriormente, se redujo ligeramente el consumo del sistema a comparación con un modo de consumo activo. En el caso de la técnica de ahorro de energía con Sleep Mode del microcontrolador, se utilizó el modo Power Down, con el cual se redujo un 50% del consumo el sistema.

Sobre la señal de entrada: Según los resultados en las gráficas de potencia sonora se obtuvo que, debido a la influencia del resonador de cerámico representa una ventaja a corta distancia (2cm), entre las frecuencias 100 Hz y 650 Hz tiene una potencia creciente hasta llegar a su punto máximo con 132.1 dB, luego de eso tiene un decaimiento. El resonador de polímero representa una ventaja a una larga distancia (12cm), a una frecuencia de 450 Hz, donde genera la mejor potencia de 123.3 dB. Finalmente se comprueba que la ausencia del resonador lleva a un menor nivel de potencia sonora en ambas distancias, de acuerdo a las gráficas de potencia sonora en elemento piezoeléctrico a corta distancia (2 cm) y a larga distancia (12 cm).

Sobre la señal de salida: Según los resultados en las gráficas de voltaje se obtuvo que, las pruebas con el resonador de cerámico representa un valor pico de voltaje de 53.72 mV a una frecuencia de 200Hz, y a una corta distancia (2cm). El resonador de polímero representa una ventaja en ambas distancias 2 cm y 12cm, la cual representa valores pico de 99.72 mV a una frecuencia de 100Hz y 39.10 mV a una frecuencia de 200Hz, respectivamente. Finalmente se comprueba que la ausencia del resonador lleva a un menor nivel de voltaje en ambas distancias teniendo como valor pico 32.02 mV a una frecuencia de 100Hz a una corta distancia, de acuerdo a las gráficas de voltaje en elemento piezoeléctrico a corta distancia (2 cm) y a larga distancia (12 cm). Según esto, se puede concluir que a bajas frecuencias es donde mejor se transduce.

Del mismo modo sucede sometiendo el sistema (armado piezoeléctrico-resonador), los componentes piezoeléctricos generan mayor voltaje en la configuración con el resonador de polímero. A partir del análisis de las señales de entrada y salida, se concluye que la producción de voltaje en los MFC no guarda una relación de dependencia con la presión sonora del ambiente.

Trabajo a futuro

Finalmente, cabe señalar que si bien se logró disminuir

considerablemente el consumo del sensor de CO₂ Cozir-W, no se procedió a ensamblar el sistema planteado inicialmente debido al insuficiente voltaje generado por el armado de elementos piezoeléctricos (>380 mV). No obstante, se propone en próximas investigaciones, el análisis de un arreglo con una mayor cantidad de elementos piezoeléctricos, así como la evaluación de su conexión en serie y paralelo.

VI. REFERENCIAS

- [1] "Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita) | Data", *Datos.bancomundial.org*. Available: https://datos.bancomundial.org/indicador/en.atm.co2e.p.c?most_recent_year_desc=false
- [2] "Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana". *Senamhi.gob.pe*, 2014. [Online]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-6.pd>
- [3] Datasheet Cozir-W. <https://www.airtest.com/support/datasheet/COZIR-W.pd>
- [4] Datasheet Cozir-W interface serial. <https://www.airtest.com/support/datasheet/COZIRSerialInterface.pdf>
- [5] Datasheet MH-Z19B. https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf
- [6] M. T. Penella y M. Gasulla, «A Review of Commercial Energy Harvesters for Autonomous Sensors», en IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2007. IMTC 2007, 2007, pp. 1-5.
- [7] Sepúlveda, E. (2014). *Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar*. [online] Bdigital.unal.edu.co. Available at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/47308/1/1128267719.2015.pdf> [Accessed 12 Aug. 2019].
- [8] Datasheet MFC. <https://www.smart-material.com/MFC-product-main.html>
- [9] Datasheet ADP5090. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP5090.pdf>
- [10] Research gate. (2019). *Increasing voltage and current by connecting MFCs in series and parallel..* [online] Available at:

https://www.researchgate.net/publication/298653816_Increasing_voltage_and_current_by_connecting_MFCs_in_series_and_parallel [Accessed 11 Aug. 2019].

[11] Noh, H. (2018). *Acoustic energy harvesting using piezoelectric generator for railway environmental noise*. [online] Research Gate. Available at: https://www.researchgate.net/publication/326555843_Acoustic_energy_harvesting_using_piezoelectric_generator_for_railway_environmental_noise [Accessed 12 Aug. 2019].

[12] Miyara, F. (n.d.). *Vidrio hoy: una barrera contra el ruido*. [online] Fceia.unr.edu.ar. Available at: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/vidriohoy.pdf> [Accessed 12 Aug. 2019].

[13] Esteban, A. (2005). *NUEVAS SOLUCIONES CERÁMICAS DE ALTAS PRESTACIONES ACÚSTICAS*. [online] Sea-acustica.es. Available at: http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/Terrassa05_AED020.pdf [Accessed 11 Aug. 2019].

[14] Engineering 360. (2017). *Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance*. [online] Available at: <https://standards.globalspec.com/std/10202529/EN%201793-1> [Accessed 12 Aug. 2019].