

# MONITOREO DE PARÁMETROS RESPIRATORIOS BAJO EL AGUA EMPLEANDO SONIDOS RESPIRATORIOS ADQUIRIDOS CON SMARTPHONES

Propuesta de Tesis de Maestría  
Posgrado en Ingeniería Electrónica  
Dr. Bersaín Alexander Reyes, Dr. Aldo Rodrigo Mejía Rodríguez

## Motivación

El análisis de la respuesta respiratoria durante la inmersión no es de interés puramente académico o recreativo, dada la gran cantidad de ahogamientos que ocurren a nivel mundial [1], con un estimado anual de 500,000 casos mortales [2]. La situación es particularmente seria en niños, donde la mayoría de los ahogamientos ocurre en piscinas debido al descuido de los cuidadores [3]. El escenario submarino impone diversos riesgos, como bajas temperaturas y cambios de presión, que pudieran ocasionar disfunciones del sistema nervioso y cardiorrespiratorio [4]. En consecuencia, resulta relevante detectar oportunamente complicaciones, como hipotermia, que pudieran provocar secuelas y problemas a largo plazo [1]. Aunado a ello, un mayor entendimiento de la respuesta respiratoria durante la inmersión podría ayudar a mejorar las cifras de accidentes debido a ahogamiento.

Tradicionalmente, el monitoreo de parámetros biomédicos se realiza empleando dispositivos médicos especializados, tales como el electrocardiógrafo o el espirómetro, los cuales no son fácilmente trasladables fuera de ambientes de investigación y clínicas especializadas debido, por ejemplo, a sus costos no fácilmente costeados y a su limitada movilidad. Existen diversas técnicas de monitoreo de parámetros respiratorios [5], siendo la fonoespirometría una de las de más reciente introducción y que emplea sonidos respiratorios para estimar no-invasivamente dichos parámetros mediante el análisis lineal y no-lineal de señales [6], [7]. Aunque comercialmente han surgido dispositivos para el análisis computarizado de sonidos respiratorios (CORSA), su disponibilidad en nuestro país es limitada, o nula. Como alternativa a tales limitaciones, han surgido diversas aplicaciones de salud móvil (mHealth) para el auto-monitoreo bajo demanda cuyo núcleo es un smartphone [8].

Además de sus capacidades de procesamiento y almacenamiento a un bajo costo, los smartphones actuales poseen las ventajas de ser dispositivos móviles, ubicuos, actualizables en software, y de poseer un gran número de sensores costo-efectivos, e.g., sensores ópticos o acelerómetros. Todo ello ha incrementado el interés en las aplicaciones mHealth tanto entre los usuarios como entre los profesionales de la salud [9]. En particular, nuestro grupo de trabajo se ha involucrado en estudios que emplean smartphones para la adquisición y análisis de sonidos respiratorios en la superficie [10]–[12], así como en la adquisición de señales electrofisiológicas bajo el agua [13], [14].

De acuerdo a nuestro conocimiento, no ha habido esfuerzos por desarrollar sistemas CORSA para la adquisición de sonidos respiratorios bajo el agua, por lo que dichos sonidos no se han empleado para la estimación de parámetros respiratorios bajo el agua, a pesar de la importancia que tal estimación representaría en la detección temprana de eventos adversos durante la inmersión.

## Objetivo

Monitorear parámetros respiratorios de sujetos en condiciones de inmersión, empleando la técnica de fonoespirometría, a partir de algoritmos para el procesamiento de sonidos respiratorios adquiridos con dispositivos móviles inteligentes.



## Referencias

- [1] A. Datta and M. Tipton, "Respiratory responses to cold water immersion: neural pathways, interactions, and clinical consequences awake and asleep," *J. Appl. Physiol.*, vol. 100, no. 6, pp. 2057–2064, 2006.
- [2] M. Peden, K. McGee, and G. Sharma, "The injury chart book: a graphical overview of the global burden of injuries," *Geneva World Health Organ.*, vol. 5, 2002.
- [3] P. Present, "Child drowning study: a report on the epidemiology of drownings in residential pools to children under age five," *Wash. DC US Consum. Prod. Saf. Comm.*, 1987.
- [4] D. R. Pendergast and C. E. G. Lundgren, "The underwater environment: cardiopulmonary, thermal, and energetic demands," *J. Appl. Physiol.*, vol. 106, no. 1, pp. 276–283, Jan. 2009.
- [5] F. Q. Al-Khalidi, R. Saatchi, D. Burke, H. Elphick, and S. Tan, "Respiration rate monitoring methods: A review," *Pediatr. Pulmonol.*, vol. 46, no. 6, pp. 523–529, Jun. 2011.
- [6] C.-L. Que, C. Kolmaga, L.-G. Durand, S. M. Kelly, and P. T. Macklem, "Phonspirometry for noninvasive measurement of ventilation: methodology and preliminary results," *J. Appl. Physiol. Bethesda Md* 1985, vol. 93, no. 4, pp. 1515–1526, Oct. 2002.
- [7] A. Yadollahi and Z. M. K. Moussavi, "A robust method for estimating respiratory flow using tracheal sounds entropy," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 53, no. 4, pp. 662–668, Apr. 2006.
- [8] S. Kumar, W. Nilsen, M. Pavel, and M. Srivastava, "Mobile health: Revolutionizing healthcare through transdisciplinary research," *Computer*, no. 1, pp. 28–35, 2013.
- [9] Statista, Inc., "Physicians' usage of smartphones for professional purposes in the U.S. from 2012 to 2015." [Online]. Available: <http://www.statista.com/statistics/416951/smartphone-use-for-professional-purposes-among-us-physicians/>.
- [10] B. A. Reyes, N. Reljin, and K. H. Chon, "Tracheal Sounds Acquisition Using Smartphones," *Sensors*, vol. 14, no. 8, pp. 13830–13850, Jul. 2014.
- [11] N. Reljin, B. A. Reyes, and K. H. Chon, "Tidal Volume Estimation Using the Blanket Fractal Dimension of the Tracheal Sounds Acquired by Smartphone," *Sensors*, vol. 15, no. 5, pp. 9773–9790, 2015.
- [12] B. A. Reyes, N. Reljin, Y. Kong, Y. Nam, S. Ha, and K. H. Chon, "Towards the Development of a Mobile Phonopneumogram: Automatic Breath-Phase Classification Using Smartphones," *Ann. Biomed. Eng.*, pp. 1–14, Feb. 2016.
- [13] B. Reyes *et al.*, "Novel electrodes for underwater ECG monitoring," *Biomed. Eng. IEEE Trans. On*, vol. 61, no. 6, pp. 1863–1876, 2014.
- [14] Y. Noh *et al.*, "Novel Conductive Carbon Black and Polydimethylsiloxane ECG Electrode: A Comparison with Commercial Electrodes in Fresh, Chlorinated, and Salt Water," *Ann. Biomed. Eng.*, pp. 1–16, Jan. 2016.
- [15] S. S. Kraman, G. R. Wodicka, Y. Oh, and H. Pasterkamp, "Measurement of respiratory acoustic signals : Effect of microphone air cavity width, shape, and venting," *CHEST J.*, vol. 108, no. 4, pp. 1004–1008, Oct. 1995.
- [16] R. L. H. Murphy, S. K. Holford, and W. C. Knowler, "Visual Lung-Sound Characterization by Time-Expanded Wave-Form Analysis," *N. Engl. J. Med.*, vol. 296, no. 17, pp. 968–971, 1977.
- [17] N. Gavriely, M. Nissan, A. H. Rubin, and D. W. Cugell, "Spectral characteristics of chest wall breath sounds in normal subjects.," *Thorax*, vol. 50, no. 12, pp. 1292–1300, Dec. 1995.
- [18] H. Pasterkamp, C. Carson, D. Daien, and Y. Oh, "Digital respirosography. new images of lung sounds.," *CHEST J.*, vol. 96, no. 6, pp. 1405–1412, Dec. 1989.
- [19] N. E. Huang *et al.*, "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," *Proc. R. Soc. Lond. Ser. Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 454, no. 1971, pp. 903–995, Mar. 1998.
- [20] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern Classification*. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 2000.