

Implementación del método no-invasivo de palpación electrónica mediante fotopleletismografía para la medición de presión arterial por medio de un MEMS

1Ing. Irving Giovanni Larruz Castillo
ilarruzc1700@alumno.ipn.mx
1Dra. Yesenia Eleonor González Navarro
ygonzalezn@ipn.mx
2Dr. Norberto Hernández Como
nohernandezc@ipn.mx

1Unidad Profesional Interdisciplinaria en
Ingeniería y Tecnologías Avanzadas-IPN. Ciudad de
México
2Centro de Nanociencias y Micro y
Nanotecnologías-IPN. Ciudad de México

Resumen

El presente trabajo implementa el uso de un sistema micro electro-mecánico (MEMS) como sensor de presión arterial de un usuario mediante un método no invasivo, auxiliado de un fotopleletismógrafo. Se describe la caracterización de señales obtenidas por el sensor de presión, su adecuación mediante circuitos electrónicos y la transmisión inalámbrica de la información por medio de la tecnología Bluetooth. El prototipo presenta los datos que se obtienen del MEMS en un dispositivo móvil con sistema Android, con el fin de realizar una aplicación de alerta con alarma sonora para el monitoreo continuo de la presión arterial, la cual puede ser consultada por el usuario.

Palabras Clave: MEMS, Fotopleletismógrafo, Presión arterial, Método no invasivo, Bluetooth, Android.

Introducción

La presión arterial elevada generalmente es asintomática, aunque es un factor determinante para sufrir derrames cerebrales, enfermedades del corazón, problemas de la vista y de riñones, es por estos motivos que es denominada como "el asesino silencioso" [1].

Lo que es alarmante es que según datos de la (Organización Panamericana de la Salud) OPS, 1 de cada 3 adultos sufre hipertensión, 1 de cada 3 personas que padece hipertensión no puede controlarla y 1 de cada 3 desconoce que padece esta enfermedad [2].

Se sabe que existen diferentes métodos para medirla: el método invasivo consiste en medir la presión por medio de una aguja introducida en la vena y por otro lado el método no invasivo se implementa sin introducir ningún aparato o artefacto que "invada" el cuerpo humano, tal es el caso del esfigmomanómetro o baumanómetro [3].

De acuerdo al estudio realizado en [4] los métodos invasivos son más exactos, pero son más complejos de operar e inconvenientes. Plantea que ambos métodos arrojan resultados en la misma dirección, pero con diferencias mínimas. Por último, menciona que estas diferencias se deben al tipo de protocolo que se usa para la creación de los baumanómetros.

La premisa del prototipo presentado en [5], el cual se reporta en este documento, es la de ofrecer un dispositivo para la medición de presión arterial que sea auxiliar a un baumanómetro, que sea portátil,

de fácil manejo, que cuente con historial de las lecturas para ofrecer un mejor control de la presión al paciente y que además facilite al usuario la comprensión de los datos.

Desarrollo

Para el diseño del prototipo de medición de presión arterial aquí presentado, se propuso la utilización de un Sistema Micro Electro-Mecánico (MEMS) y se planteó el método no invasivo de palpación electrónica por medio de fotopleletismografía [6]. La señal del MEMS se adecúa para ser procesada e introducida, al igual que la señal del fotopleletismógrafo, a un Arduino Nano. El Arduino Nano se conecta al módulo Bluetooth y envía los datos obtenidos previamente. Al final, un dispositivo móvil con sistema operativo Android los almacena en un archivo XML. La Figura 1 muestra la arquitectura general del sistema.

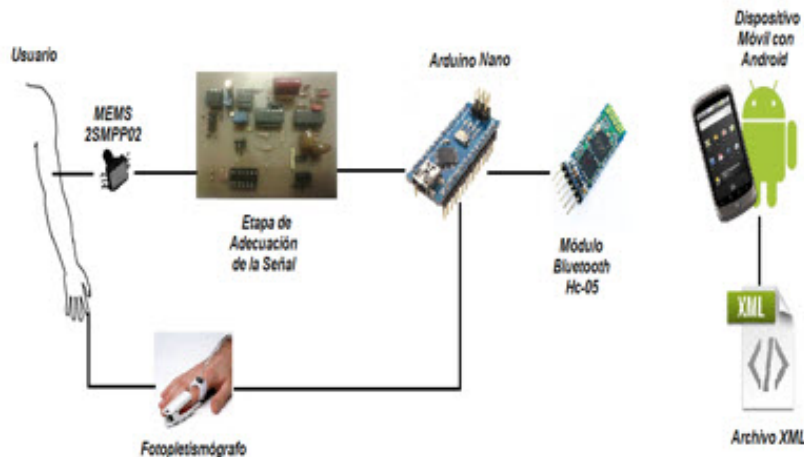


Figura 1: Diagrama general del sistema. El sistema por medio de un sensor de presión MEMS 2SMPP02 mide la presión arterial de un usuario utilizando fotopleletismografía, un Arduino Nano y un módulo bluetooth para su envío a un dispositivo móvil con sistema operativo Android para la gestión de datos.

A continuación, se describen los elementos que integran el prototipo (de acuerdo con la Figura 1):

- MEMS 2SMPP02: Es el sensor micro-electromecánico el cual se encarga de transformar en voltaje la presión que ejerce el brazalete al brazo.
- Etapa de adecuación de la señal: Es la etapa que se encarga de amplificar la señal de voltaje del MEMS, eliminar el offset (voltaje de desplazamiento) y filtrar la señal para una correcta lectura en el ADC (convertidor analógico-digital).
- Fotopleletismógrafo: Parte del dispositivo que se encarga de detectar los pulsos cardiacos del usuario.
- Arduino Nano: Es el microcontrolador, el cual se encarga de realizar la conversión analógica a digital (ADC) del voltaje recibido de la etapa de adecuación. Detecta los pulsos provenientes del fotopleletismógrafo y determina cuando la vena es ocluida (valor de presión sistólica) y cuando es liberada (valor de presión diastólica). Indica al usuario por medio de diodos emisores de luz (LED) cuándo aplicar presión al brazalete y cuándo liberarla. Por último, se encarga de enviar los datos obtenidos de la lectura de presión arterial al dispositivo móvil por medio del Bluetooth.
- Módulo Bluetooth HC-05: Es la vía por el cual el Arduino Nano puede enviar los valores de presión al dispositivo móvil.
- Dispositivo móvil con Android: Se encarga por medio de una aplicación de recibir, mostrar, guardar, actualizar y compartir las lecturas recibidas. Si los datos recibidos de presión son valores altos se encargará de notificar al usuario (de manera visual y sonora).

Para operar el prototipo, el usuario debe sentarse adecuadamente, colocarse el brazalete encargado de la oclusión de la vena, extender el brazo donde se encuentra situado el brazalete (incluido en el

dispositivo) y colocar un dedo (preferentemente el índice) en el fotopleto-
 pletismógrafo. Luego, deberá ir aplicando presión (con la otra mano utilizando la válvula incluida en el dispositivo) al brazalete hasta que por medio de los LED indicadores se lo señale para después liberar poco a poco la presión.

Al final, se abrirá la aplicación, se recibirá la lectura en el dispositivo móvil y se gestionarán los datos de la lectura.

Implementación

A. Medición de presión arterial por medio del MEMS

Para lograr la medición adecuada de presión por medio del MEMS SMPP02 (OMRON) se consultó en la hoja de especificaciones su comportamiento, descubriendo así que para energizarlo es necesario la implementación de una fuente de corriente, la cual debe mantenerse constante en el rango de 100 μ A - 130 μ A. Para su caracterización, una vez energizado el sensor de manera adecuada, por medio de una cámara de vacío se fue reduciendo la presión en el puerto del sensor y los valores de voltaje obtenidos fueron registrados. Con la información recabada del sensor, se extrapolaron los valores y se obtuvo su función característica, luego por medio del programa GetData Graph Digitizer se estimaron los valores de presión reportados en la hoja de especificaciones. La Figura 2 muestra una comparativa de los valores caracterizados y según la hoja de especificaciones.

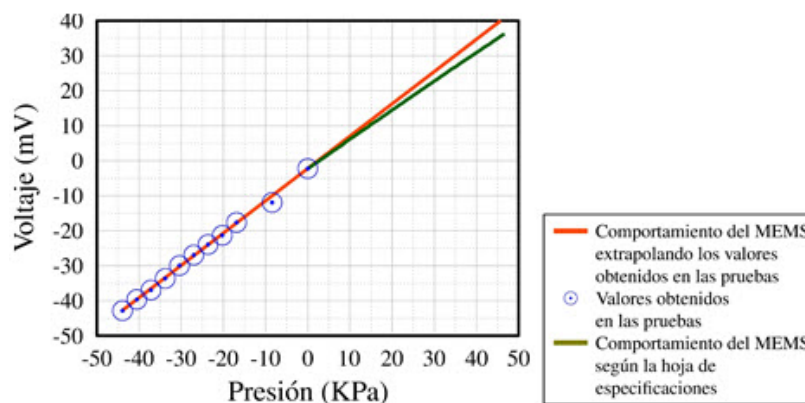


Figura 2: Datos obtenidos después de haber aplicado vacío al sensor. La gráfica muestra el comportamiento del sensor según los datos obtenidos y según su hoja de especificaciones.

B. Detección de pulsos (fotopleto- pletismografía)

Para verificar la funcionalidad del fotopleto-
 pletismógrafo diseñado se le hicieron pruebas a cada dedo de ambas manos concluyendo que sin importar el dedo (o la mano) el fotopleto-
 pletismógrafo sería capaz de arrojar un voltaje relacionado con el pulso detectado, siendo el pico más alto la sístole y el más bajo la diástole.

Tomando la detección de los ruidos de Korotkoff como el principio base de la palpación electrónica (solo en algunos casos, como éste), se propone la implementación de umbrales de voltaje los cuales detecten estos sonidos, en otras palabras, cuando la vena se ocluya (presión sistólica) y cuando se libere (presión diastólica).

Los promedios de voltajes obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Caso	Voltaje Promedio (V)
Nada colocado	0.166
Dedo colocado	0.266
Vena ocluida	0.188

[h!] el fotopleto-
 pletismógrafo.

Valores de voltaje obtenidos en

Utilizando los datos de la Tabla 1 y los voltajes que se muestran en la gráfica de la Figura 3, los valores candidatos a umbral son 0.4 Volts cuando se ocluye la vena y 0.49 Volts cuando se libera, esto con el fin de brindarle un mayor margen de detección al Arduino cuando ocurren estos cambios de estados en la vena.

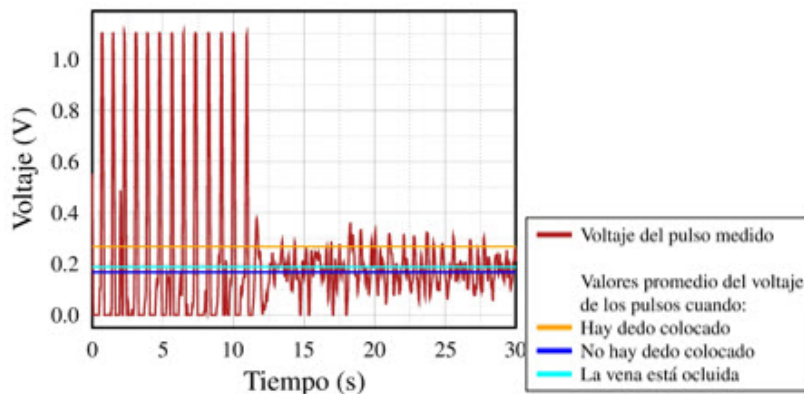


Figura 3: Datos del voltaje obtenido por el fotopleletismógrafo al ir ocluyendo la vena y una comparativa entre diferentes promedios de voltaje adquiridos por el mismo fotopleletismógrafo al colocar un dedo.

C. Aplicación móvil

Para el correcto funcionamiento de la aplicación se necesitan tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Se debe de haber energizado correctamente el sistema que contiene el MEMS y realizado los pasos necesarios para que éste envíe una lectura.
- Se necesita que el dispositivo móvil receptor de los datos cuente con S.O. Android 4.3 (JellyBean) o posterior, además de un espacio en el dispositivo móvil de 3.4 MB para instalar la aplicación.
- Se necesita contar con el protocolo de comunicación Bluetooth en el dispositivo móvil.

La aplicación diseñada mostrará la lectura de presión arterial y si fuese necesario notificará al usuario cambiando de color y sonando si este tuviese presión alta, además del almacenamiento de las lecturas.

D. Prueba general al sistema

Se realizaron en total 106 lecturas de presión a diferentes personas (4 personas) utilizando el sistema propuesto, y para determinar el porcentaje de error en la lectura se efectuó una segunda toma de presión después de 5 minutos con un monitor de presión de la marca OMRON® modelo HEM-742 INT. Las Figuras 4.1a y 4.1b muestran el porcentaje de lecturas con errores menores a 5 mmHg, 10 mmHg, 15 mmHg y mayores a 15 mmHg para presión sistólica y diastólica.

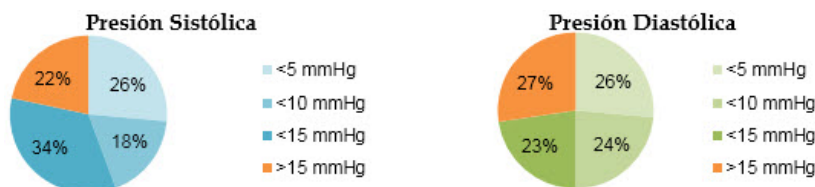


Figura 4: a) Gráfica de pastel de las lecturas para la presión sistólica. b) Gráfica de pastel de las lecturas para la presión diastólica.

Con los resultados obtenidos del análisis de las lecturas, este primer prototipo se puede clasificar como "D" según el protocolo de la BHS [7], sin embargo, se demostró la operatividad del sistema.

Referencias

1. [1] Instituto Nacional Sobre el Envejecimiento, «NIA,» [En línea]. Available: <http://www.nia.nih.gov/espanol/publicaciones/presion-arterial-alta>. [Último acceso: junio 2019].
2. [2] PAHO, «PAHO.Org,» [En línea]. Available: <http://www.paho.org/hipertension/>. [Último acceso: junio 2019].
3. [3] J. Enderle, S. Blanchard y J. Bronzino (1999) *Introduction to biomedical engineering*, London: Elsevier Academic Press
4. [4] C. Solís (2011) «Correlación entre cifras de presión arterial,» *Enfermería en Cardiología*, vol. XVIII, n° 53, pp. 45-47
5. [5] Larruz-Castillo I., et. al. (2019) *Interfaz de lectura de un sistema micro electro-mecánico (MEMS) usado para medir la presión arterial en una persona*. UPIITA-IPN. México.
6. [6] J. Allen,(2007) «Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement,» *physiological measurement*, vol. 28, n° 3, pp. R1-R39
7. [7] H. Sorvoja y R. Myllylä (2006) , «Non-invasive blood pressure measurement methods,» *Molecular and Quantum Acoustics*, vol. 27, pp. 239-264