

Diseño de sistema wearable de monitoreo de pacientes psiquiátricos para reducción de eventos adversos

Gabriel López, Estudiante Ingeniería Biomédica¹, Juan Forero, Estudiante Ingeniería Biomédica¹, y Jhon A. Gomez, Estudiante Doctorado en Ciencias Aplicadas¹

¹Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, est.gabriel.lopez1@unimilitar.edu.co, est.juan.forero14@unimilitar.edu.co, jhon.gomez@unimilitar.edu.co

Resumen– El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema wearable para el monitoreo de pacientes psiquiátricos con el fin de reducir el número de eventos adversos a nivel hospitalario en servicios de salud mental, debido a la alta carga laboral generada durante la pandemia por el COVID-19. Se diseñó un sistema de monitoreo multivariable basado en IoT a partir de la medición de la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la respuesta galvánica de la piel. El sistema está integrado por un brazalete wearable impreso en 3D utilizando PLA. Los resultados preliminares indican que es posible obtener datos de distintas variables fisiológicas a través de sensores, y que estos pueden ser enviados a través de medios inalámbricos para visualizar parámetros relacionados con la salud de un paciente. Así es posible generar una alarma vía Wi-fi para mejorar los sistemas de monitoreo de pacientes y promover una atención temprana ante lecturas anormales de dichas variables.

Palabras clave– IoT, monitoreo, salud mental, señales fisiológicas.

I. INTRODUCCIÓN

Los servicios de psiquiatría en Colombia han aumentado notoriamente durante la pandemia por el COVID-19. En el año 2018, en Colombia se registraron 1918 servicios de salud mental; no obstante, durante la pandemia se habilitaron 750 nuevos servicios y 1950 se autorizaron transitoriamente, debido al aumento de casos de ansiedad, depresión, pánico, entre otros [1]. El incremento en el flujo de pacientes también representa un impacto para la carga laboral del personal de enfermería en instituciones de salud mental. Debido a la contingencia sanitaria, se ha puntuado la carga laboral del personal de enfermería como media-alta al ser una jornada laboral de aproximadamente 12 horas [2].

La sobrecarga de trabajo ha demostrado tener relación proporcional con la cantidad de eventos adversos en instituciones prestadoras de salud (IPS). En el caso de los centros de salud mental, los eventos e incidentes adversos más notificados se clasifican como accidentes, comportamientos agresivos o disruptivos, autolesiones y fugas, representando aproximadamente un 84% del total de incidentes reportados [3]. Por esa razón, se evidencia la importancia de registrar de manera continua el estado de salud de los pacientes en psiquiatría, para así, identificar estados de riesgo de manera temprana y alertar al personal hospitalario para tomar acciones preventivas y evitar cualquier tipo de evento o incidente adverso, teniendo en cuenta el volumen de trabajo del personal. Para el desarrollo de una estrategia de monitoreo para los pacientes psiquiátricos, se partirá de la aplicación clínica del

Internet de las Cosas (IoT) y su relación con sistemas de monitoreo de signos vitales y otras variables fisiológicas. Por esa razón, se busca identificar las estrategias implementadas para el procesamiento de las señales, los medios de envío y almacenamiento de datos intrahospitalarios, y la generación de alarmas ante situaciones de riesgo potencial.

Durante el monitoreo de pacientes psiquiátricos, es importante analizar el comportamiento de ciertos parámetros fisiológicos con el fin de comprender el estado de salud. Entre los parámetros comúnmente evaluados se encuentran el ECG, la presión sanguínea, la frecuencia respiratoria, la saturación de oxígeno, el nivel de glucosa, la transpiración en la piel, la capnografía, la temperatura corporal y la respuesta galvánica de la piel (GSR) [4].

La medición de estos parámetros ha evolucionado en los últimos años a través de la implementación de IoT. Esta tecnología facilita la adquisición de información del estado del paciente por medio de sensores. Esta información puede ser posteriormente almacenada en la nube a través de comunicación inalámbrica usando tarjetas de desarrollo [5].

El desarrollo de tecnologías biomédicas basadas en IoT se ha clasificado en cuatro categorías: tecnologías de comunicación, de localización, sensores y computación en la nube [6]. Sumado a esto, se ha determinado que, al utilizar tecnologías de detección y monitoreo de enfermedades mentales crónicas, es recomendado analizar señales de comportamiento (como patrones del habla), fisiológicas (como ritmo cardíaco o actividad electrodérmica) y sociales (como el tipo de interacciones sociales), preferiblemente en conjunto [7].

A nivel clínico, la implementación de IoT ha representado una oportunidad debido a que permite la optimización de espacio por medio de tecnologías de tamaño reducido con monitoreos de alta precisión [8]. Adicionalmente, el IoT permite la reducción de costos y facilita la implementación de sensores específicos para casos médicos enfocados en salud mental [9]. Por otro lado, la integración de IoT en prendas y accesorios ha permitido el desarrollo de tecnología wearable, la cual ha evidenciado aplicabilidad en el sector médico [10]. Esto debido a que ha facilitado la detección de variables tanto bioquímicas como electrofisiológicas para análisis del estado del paciente [11].

Entre los dispositivos wearable desarrollados, es posible identificar prendas, bandas, relojes, lentes de contacto, parches, tatuajes, etc. Estos no solo han simplificado los procesos de medición sino que han facilitado la posibilidad de realizar mediciones de múltiples variables simultáneamente [12].

En el caso de las prendas inteligentes, algunas permiten procesar señales de electromiografía para determinar estados de estrés y aplicar masajes a través de actuadores [13]. Del mismo modo, se han desarrollado dispositivos wearable como correas para la detección de ansiedad y depresión en niños utilizando IMU [14].

De acuerdo con lo anterior, en esta investigación se busca desarrollar un sistema wearable que implemente tecnología IoT para monitoreo continuo de pacientes psiquiátricos con el fin de reducir los eventos adversos en IPS con servicios de salud mental. Pese a que múltiples desarrollos han implementado sistemas con IoT para análisis de trastornos mentales, no se le ha dado un enfoque de monitoreo preventivo ante eventos adversos en un contexto hospitalario.

Inicialmente, se propone la metodología utilizada para el desarrollo del sistema, luego se muestran los resultados preliminares obtenidos y finalmente las conclusiones preliminares. En los materiales y métodos utilizados, se utilizaron sensores para medir la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la respuesta galvánica de la piel. Los datos se enviaron vía Wi-Fi desde la tarjeta de desarrollo hacia una interfaz programada en Python en la cual se generaron alarmas si los datos obtenidos mostraban umbrales patológicos. Los datos del paciente se almacenaron en tiempo real en una base de datos de MySQL. Finalmente, para el desarrollo del sistema wearable, se diseñó un brazalete a través de CAD a partir del escáner de un brazo y se imprimió en 3D.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se centró en la medición de tres variables fisiológicas, relacionadas con el estado de salud mental. En este caso actividad electrodérmica, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca. Se desarrolló sobre 2 sujetos sanos con la capacidad de alterar su ritmo cardiaco, frecuencia respiratoria y actividad electrodérmica a través de la generación de una exigencia física.

Para la medición sobre los sujetos se realizó un sistema de adquisición de señales que consta de 3 sensores de bajo costo que permiten obtener señales de voltaje alterno que representan fenómenos de latidos, respiraciones y sudoración, respectivamente. Además, su costo es asequible y al ser de tamaño reducido, se facilita su implementación simultánea. Los sensores fueron adaptados a una tarjeta de desarrollo de IoT ESP32 a través de puertos analógicos. Las magnitudes obtenidas se enviaron vía Wi-Fi para generar una alarma en una interfaz gráfica elaborada en Python, perteneciente a un ordenador conectado a la red local de internet. La arquitectura del sistema desarrollado se muestra en la Fig. 1.

Los sensores se adaptaron a través de un procesamiento digital para generar parámetros comparables a un umbral de condiciones normales. Esta resulta ser un alternativa viable para distinguir de manera inalámbrica un estado de salud normal y anormal, y generar una alarma de auxilio para un paciente que presente un episodio disruptivo. Además, se generó un registro en la nube.

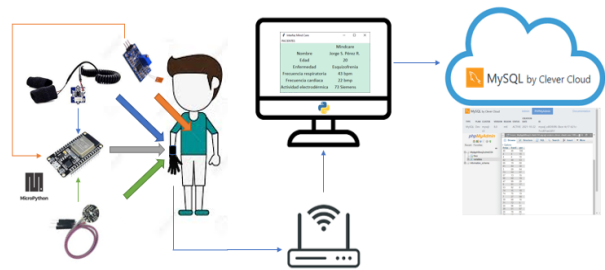


Fig. 1 Diagrama general de funcionamiento.

A. Adquisición de señales

El mecanismo de adquisición de señales consta de mediciones multivariantes de pulso, respiración y sudoración. Para la medición, se utilizaron un sensor óptico de pulso, el sensor de presión FSR 402 y el sensor Grove de GSR/AED. Las conexiones a la tarjeta ESP 32 se muestran en el esquema de la Fig 2.

El sensor de pulso funciona a través de un fotodiodo de luz monocromática de 530 nm, y por medio de un acondicionamiento con amplificación, se obtiene una señal analógica que permite identificar los latidos del corazón. Para el caso de la GSR, se utiliza el sensor de FSR 402, para medir la flexión del diafragma e identificar ciclos de ventilación. Se acondiciona con un puente de Wheatstone integrado en un módulo para variar la sensibilidad de la medición, obteniendo una señal de voltaje. El nivel de sudoración se obtiene a través del sensor Grove de GSR. Este posee dos electrodos para la base del dedo medio y anular, y un acondicionamiento con amplificación diferencial, para obtener una señal analógica. Los 3 sensores permiten leer niveles de voltaje analógico a través de los conversores analógicos digitales de la tarjeta ESP 32.

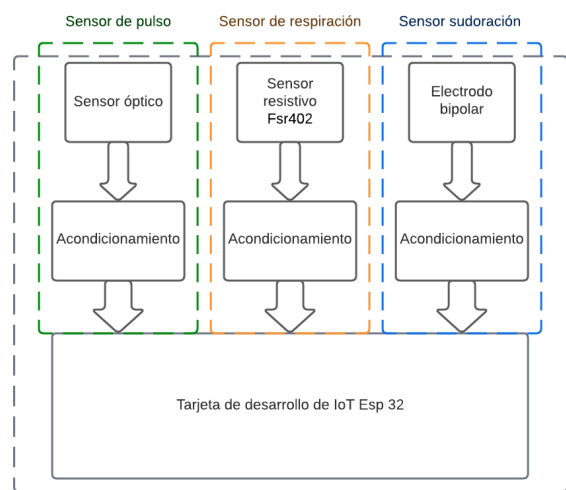


Fig. 2 Diagrama de bloques de configuración electrónica.

B. Procesamiento digital de señales

Debido a que la información obtenida de los sensores no está directamente relacionada con el estado de salud es necesario realizar el cálculo de las variables de interés de frecuencia cardíaca (FC), frecuencia respiratoria (FR) y GSR. Para esto, se utiliza el algoritmo propuesto en la Fig. 3.

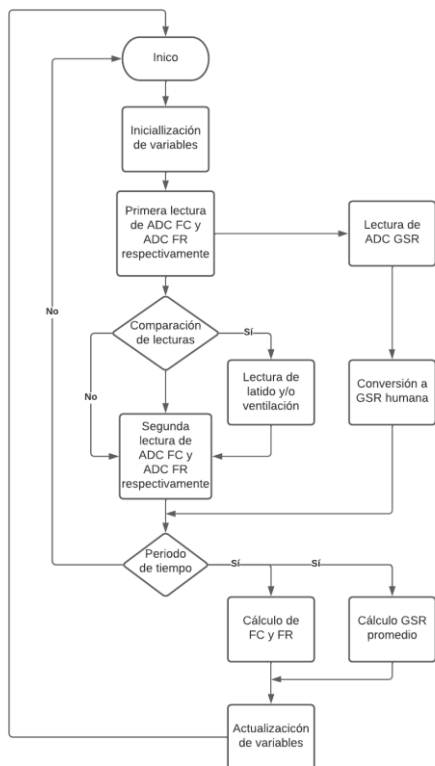


Fig. 3 Diagrama de bloques de programación para cálculo de variables.

En el caso de la FC y FR la programación es similar. En esta, se obtienen pulsos cardiacos y respiratorios, y se almacena el valor anterior de lectura para compararlo con el valor presente de cada ADC. Se utiliza un tiempo específico para realizar el cálculo a partir de los pulsos encontrados. La GSR se calcula a través del promedio de lecturas realizadas en el tiempo estipulado, y se requiere hacer el cálculo de la conversión de bits a GSR humana, teniendo en cuenta el nivel del voltaje capturado.

C. Alarma inalámbrica y registro

La ESP 32 permite realizar procesos según un tiempo continuo estipulado. Se estableció un tiempo específico para el cálculo de la FC, FR, GSR. Este mismo es utilizado para realizar el envío de los datos vía Wi-fi utilizando el protocolo de comunicación TCP/IP como se evidencia en la Fig 4. Se envían de manera inalámbrica los valores de FC, FR, GSR y el valor de la alarma, como 1 o 0, hacia un ordenador central. La alarma se genera a través de un ordenador central donde se inicia un archivo ejecutable. En este, se encuentra programada

una interfaz gráfica desarrollada en Python. En la Fig. 5 se muestran los pasos del algoritmo.

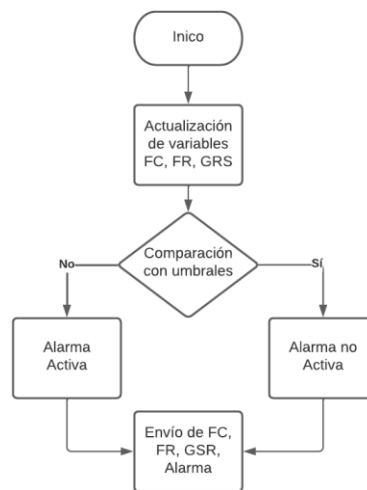


Fig. 4 Diagrama de flujo envío de datos y alarma.

El ordenador central se programa como servidor, ya que recibe y almacena los datos provenientes de la ESP 32, que actúa como cliente, obteniendo, procesando y generando la alarma a partir de los valores de las señales fisiológicas. Inicialmente, el envío de los datos se realiza cada 10 segundos ya que es un tiempo corto, pero suficiente para el cálculo de las frecuencias necesarias y la activación de la alarma. Por otra parte, la interfaz desarrollada permite visualizar los datos de las señales y algunos datos adicionales a manera de simulación de los pacientes. Esta realiza la lectura de los datos cada 5 segundos. La lectura permite generar la alarma visual y sonora, para alertar al personal médico.

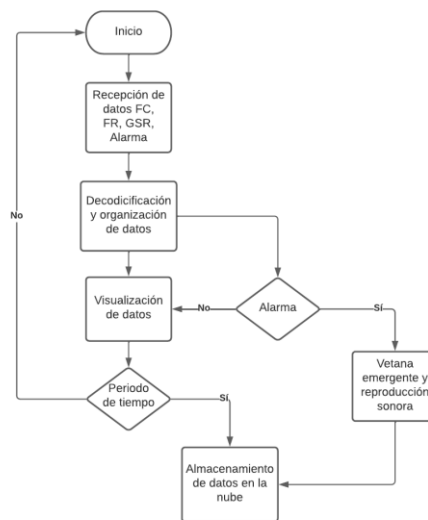


Fig. 5 Diagrama de programación de interfaz de usuario para central de enfermería.

El programa desarrollado se conecta a una base de datos en la nube de MySQL, en donde se almacenan los datos cada cierto período de tiempo. Se utiliza un tiempo de 60 minutos para no ocasionar un alto consumo de memoria. Cuando la alarma se encuentra activada, se realiza el almacenamiento cada 10 segundos para tener un registro del momento de alteración de las facultades del paciente.

D. Diseño wearable

Para la disposición del sistema wearable, se propuso el diseño de un brazalete con anillos. En este, el sensor de FC debe estar en contacto con la zona distal de alguno de los 3 dedos centrales de la mano. Asimismo, el sensor de GSR debe estar en contacto con 2 dedos de la mano en la zona más proximal, y el sensor de FR debe estar en contacto con el tórax. Para el diseño del brazalete, se escaneó el brazo de un sujeto de prueba para utilizarlo como base y se modeló en Meshmixer. Finalmente se realizó la impresión en 3D utilizando PLA. La Fig 6 muestra las partes del diseño. Se debe tener en cuenta que los sensores incluyen sus módulos de acondicionamiento.

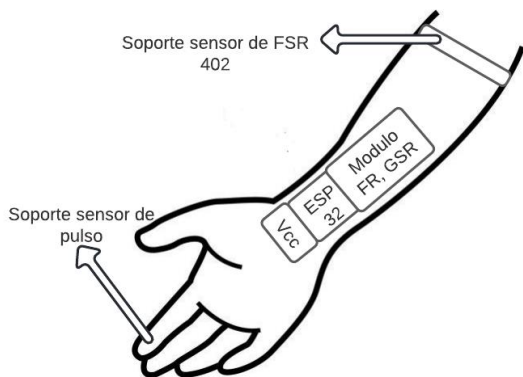


Fig. 6 Diagrama de diseño de brazalete wearable.

El brazalete debe incluir una carcasa central con espacio para almacenar los módulos de acondicionamientos del sensor FSR 402 y del Grove GSR. Además, el sensor FSR 402, debe tener un soporte en el brazo ya que este estará en contacto con el tórax requiriendo cables de la longitud del brazo aproximadamente. Para mayor ergonomía se usará un soporte liviano tipo brazalete, asimismo un soporte tipo anillo para los cables del sensor de FC.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

Inicialmente, se obtuvieron los datos de las señales de frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y GSR. Cada una de estas señales se muestra en la Fig 7.

Mindcare	
Nombre	Jorge S. Pérez R.
Edad	20
Enfermedad	Esquizofrenia
Frecuencia respiratoria	12.0 bpm
Frecuencia cardíaca	90.0 bmp
Actividad electrodérmica	66 Normalizada

Fig 7. Pruebas de interfaz de usuario.

Para el caso de la frecuencia cardíaca, es posible identificar cada uno de los latidos a partir de las fluctuaciones en los flancos de la señal. Sin embargo, el movimiento de mano genera ruidos que pueden ser interpretados como pulsos, por lo que se debe fijar muy bien el sensor al dedo. Del mismo modo, la variación de la señal de deformación del sensor resistivo permite identificar la frecuencia respiratoria a partir de la superación del umbral definido para inspiración y espiración. El sensor debe estar bien fijado al tórax del paciente para que la deformación sea leída correctamente. En el caso de la resistencia galvánica de la piel, se tiene en cuenta el valor normalizado de la señal con el fin de determinar el estado del paciente en un rango de sudoración entre 0 y 100 puntos. Los valores obtenidos del análisis de señales se enviaron hacia la interfaz gráfica. En esta, fue posible la recepción de los datos previamente procesados y enviados por protocolo TCP/IP. Los datos recibidos se mostraron en la interfaz y se almacenaron en la base de datos de MySQL. Esta se completó conforme se enviaban los datos desde el microcontrolador en períodos de tiempo de cinco segundos durante varias pruebas como se muestra en la Fig 8.

id	resistencia	resistencia	resistencia
57	13	15	
73	54	57	
90	65	19	
47	99	29	
9	91	17	
53	92	8	
74	15	10	
74	70	19	
7	27	168	
39	68	16	
18	72	15	
50	96	91	
38	51	57	
20	70	65	
28	86	36	
28	54	42	
72	54	1	
99	34	18	

Fig. 8 Pruebas de registro en la nube.

Para el diseño mecánico, se desarrolló un primer prototipo de brazalete con base en el escáner 3D de un brazo. La impresión realizada se adecuó al sujeto de manera cómoda y portable. No obstante, se requiere aumentar el tamaño de la pieza para ubicar los módulos de los sensores. En la Fig. 9 se muestra el prototipo inicial impreso.



Fig. 9 Primer prototipo de brazalete.

IV. CONCLUSIONES PRELIMINARES

El diseño de un sistema wearable de monitoreo para pacientes psiquiátricos es una alternativa viable para alertar al personal asistencial y reducir los eventos e incidentes adversos en IPS con servicios de salud mental. A través de sensores, se pueden obtener variables como la frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y respuesta galvánica de la piel, cuya alteración se relaciona con estados de agitación, relevantes para el monitoreo y análisis de pacientes psiquiátricos. Sin embargo, obtener las lecturas de dichas señales de manera portátil requiere el diseño de una prenda que limite el mayor ruido por movimiento posible.

Pese a esto, es posible obtener lecturas en tiempo real, para distinguir el estado de salud de una persona, e identificar episodios de ansiedad o estrés. Se deben realizar pruebas sobre sujetos en estado de reposo y de estrés inducido para poder comprobar que la generación de una alarma basada en estas variables resulta efectiva y diferencia un estado de salud normal a uno alterado. Asimismo, estos datos se pueden almacenar en la nube para tener un registro de estados del paciente en el tiempo.

REFERENCIAS

[1] Ministerio de Salud y Protección Social, "Minsalud ratifica su compromiso con la salud mental de los colombianos", 2020.

[2] E. Quinto Ortega y A. Suárez Pire, "Carga mental en enfermeras y trabajadores sociales en una institución psiquiátrica de segundo nivel de complejidad en Bogotá", Pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U. D. C. A., 2020.

[3] J. Escorcia Gómez, G. Gómez de Rubio and M. Guardo Fuentes, "Recarga laboral en enfermería y su relación con eventos adversos", Pregrado, Universidad Simón Bolívar, 2017.

[4] F. Patlar Akbulut, B. Ikitimur and A. Akan, "Wearable sensor-based evaluation of psychosocial stress in patients with metabolic syndrome", *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 104, p. 101824, 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365719311777>.

[5] M. Ríaz, U. Rashid, M. Ali and L. Li, "Internet of Things Based Wireless Patient Body Area Monitoring Network", 2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), 2017. Available: 10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2017.180.

[6] T. Trayush, R. Bathla, S. Saini and V. K. Shukla, "IoT in Healthcare: Challenges, Benefits, Applications, and Opportunities," 2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE), 2021, pp. 107-111, doi: 10.1109/ICACITE51222.2021.9404583.

[7] S. Abdullah and T. Choudhury, "Sensing Technologies for Monitoring Serious Mental Illnesses", *IEEE Multimedia*, vol. 25, no. 1, pp. 61-75, 2018. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8337826>.

[8] O. Manzombi, E. M. Dogo and N. I. Nwulu, "Design and Implementation of a Wireless Patient Health Monitoring System," 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/IDAP.2019.8875986.

[9] I. de la Torre Díez, S. Alonso, S. Hamrioui, E. Cruz, L. Nozalea and M. Franco, "IoT-Based Services and Applications for Mental Health in the Literature", *Journal of Medical Systems*, vol. 43, no. 1, 2018. Available: 10.1007/s10916-018-1130-3.

[10] F. Shabnam, S. M. Azmi Hoque and S. A. Faiyad, "IoT Based Health Monitoring Using Smart Devices for Medical Emergency Services," 2019 IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-intelligence and Internet-of-Things (RAAICON), 2019, pp. 69-72, doi: 10.1109/RAAICON48939.2019.34.

[11] S. Imani et al., "A wearable chemical–electrophysiological hybrid biosensing system for real-time health and fitness monitoring", *Nature Communications*, vol. 7, no. 1, 2016. Available: 10.1038/ncomms11650.

[12] A. Sharma, M. Badea, S. Tiwari and J. Marty, "Wearable Biosensors: An Alternative and Practical Approach in Healthcare and Disease Monitoring", *Molecules*, vol. 26, no. 3, p. 748, 2021. Available: 10.3390/molecules26030748.

[13] K. Sethi, T. Ramya, H. Singh and R. Dutta, "Stress detection and relief using wearable physiological sensors", *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 17, no. 3, 2019. Available: 10.12928/telkomnika.v17i3.9719.

[14] R. S. McGinnis et al., "Wearable sensors and machine learning diagnose anxiety and depression in young children," 2018 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI), 2018, pp. 410-413, doi: 10.1109/BHI.2018.8333455.