



Sistema inteligente de monitorización de pacientes basado en LoRa

AP Murdan, JS Ramphul
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Universidad de Mauricio
Reduit, Mauricio
a.murdan@uom.ac.mu

Información del artículo	Abstracto
<p>Historial del artículo: Recibido el 9 de diciembre de 2022 Revisado el 11 de enero de 2023 Aceptado el 17 de enero de 2023</p>	<p>Los avances en las tecnologías móviles, Internet, la computación en la nube, las plataformas digitales y las redes sociales han contribuido significativamente a conectar a las personas después de la pandemia de COVID-19. A medida que las personas se vuelven mucho más conscientes de su salud, existe una demanda creciente de formas innovadoras de monitorear la salud y el bienestar. Este proyecto tiene como objetivo implementar dispositivos de Internet de las cosas (IoT) para medir parámetros médicos vitales de los pacientes y transmitir de forma segura los datos a los cuidadores o cualquier persona autorizada para tomar decisiones oportunas. Básicamente, nuestro sistema propuesto permite a los pacientes moverse libremente dentro de un radio determinado, mientras usan un kit de IoT, que consta de varios sensores y módulos de comunicación. El proyecto consta de tres partes principales: transmisión, recepción y sistemas de alerta y detección de caídas de cuerpos. La sección de transmisión registra datos a través de sensores y los envía a la sección de recepción, que luego carga los datos en la nube. El sistema de 'caída del cuerpo'</p>
<p>Términos del índice: internet de las cosas Indicación de intensidad de la señal recibida Relación señal-ruido Telemetría de colas de mensajes Transporte</p>	<p>detecta cambios de orientación y aceleración, alertando al cuidador, en caso de que el paciente se caiga. La implementación y las pruebas se realizaron con éxito y se presentaron datos en vivo a los cuidadores a través de la tecnología LoRa y plataformas de IoT como Blynk y Cayenne.</p>

I. INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 ha ejercido una enorme presión sobre los sistemas sanitarios de todo el mundo, exponiendo la vulnerabilidad de toda la industria.

En respuesta, los gobiernos están reevaluando sus planes de atención sanitaria para promover la resiliencia, la sostenibilidad, y fortaleciendo así el sector. La pandemia ha puesto de relieve la necesidad urgente de políticas para mejorar la preparación que aborden cuestiones como la contratación y retención del personal de salud, la gestión de la capacidad, la productividad, la mejora de las instalaciones y la ampliación de

Servicios de telemedicina y atención domiciliar para pacientes.

La telemedicina implica el uso de tecnologías digitales de información y comunicación para acceder a los servicios de atención médica de forma remota [1]. Los dispositivos incluyen computadoras, tabletas o teléfonos inteligentes. Su objetivo es brindar acceso a la atención médica a personas con movilidad, tiempo o transporte limitados, aumentando así el acceso general a la atención médica.

La telemedicina, un subconjunto de la telemedicina, se introdujo formalmente a principios de la década de 1950, con importantes fondos federales para proyectos de investigación y desarrollo en Arizona y Alaska durante las décadas de 1960 y 1970 [2]. Estos proyectos demostraron que tecnologías de comunicación robustas y seguras podrían servir como alternativas para obtener atención médica y atención especializada en situaciones de emergencia. Hoy en día se utilizan términos como e-health, mobile-health y mHealth.

sinónimo de telemedicina, que abarca una amplia gama de tecnologías de la comunicación, incluida Internet.

Durante la pandemia de COVID-19, la salud electrónica ganó prominencia ya que la atención primaria presencial se vio gravemente afectada, lo que provocó un aumento en la adopción de la telemedicina [3]. En EE. UU., las reclamaciones médicas relacionadas con la telemedicina aumentaron de forma asombrosa

4,347% entre marzo de 2019 a marzo de 2020, lo que refleja un expansión sin precedentes de los servicios de telemedicina [4]. Sin embargo, a pesar de que la telemedicina presenta numerosos beneficios, también existen muchas barreras para la adopción de la telemedicina, como se describe en [5].

La llegada del Internet de las cosas (IoT), la conectividad ubicua a Internet, los sensores robustos, la infraestructura de computación en la nube y en la niebla, los algoritmos de aprendizaje automático (ML), así como las plataformas de IoT, han impulsado la telemedicina a nuevas alturas. Abunda la literatura sobre sistemas de salud basados en IoT que abordan diversas enfermedades. Se han desarrollado numerosos marcos de monitoreo remoto de pacientes (RPM), monitoreo inteligente de atención médica (SHM), así como sistemas inteligentes de conocimiento de salud, basados principalmente en ML [6].

[11]. Además, los investigadores han utilizado microcontroladores, sensores y actuadores de bajo costo, y plataformas de IoT para demostrar sistemas de prueba de concepto que pueden ampliarse fácilmente para uso doméstico y pequeñas y medianas empresas. En [12] se utilizó una placa Arduino y un sensor cardíaco para monitorear y clasificar la salud de los individuos con respecto a enfermedades cardíacas, empleando el algoritmo K-Nearest Neighbor (k-NN) para clasificación y validación.

En este proyecto, presentamos el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de pacientes basado en IoT que aprovecha la tecnología de comunicación LoRa. Este completo

El sistema no solo proporciona detección de caídas del paciente, sino que también mide, muestra y transmite parámetros de salud vitales, incluida la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, el electrocardiograma y los niveles de oxígeno en sangre. La implementación y prueba exitosa de este sistema demuestra su efectividad en el monitoreo de pacientes en tiempo real. Al utilizar la tecnología LoRa y las plataformas IoT, como Blynk y Cayenne, el sistema garantiza que en vivo

Los datos de salud son fácilmente accesibles para los cuidadores, lo que mejora la atención al paciente y permite una intervención oportuna cuando sea necesario.

II. METODOLOGÍA

A. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema con el transmisor y el Los bloques receptores se muestran en la Figura 1.

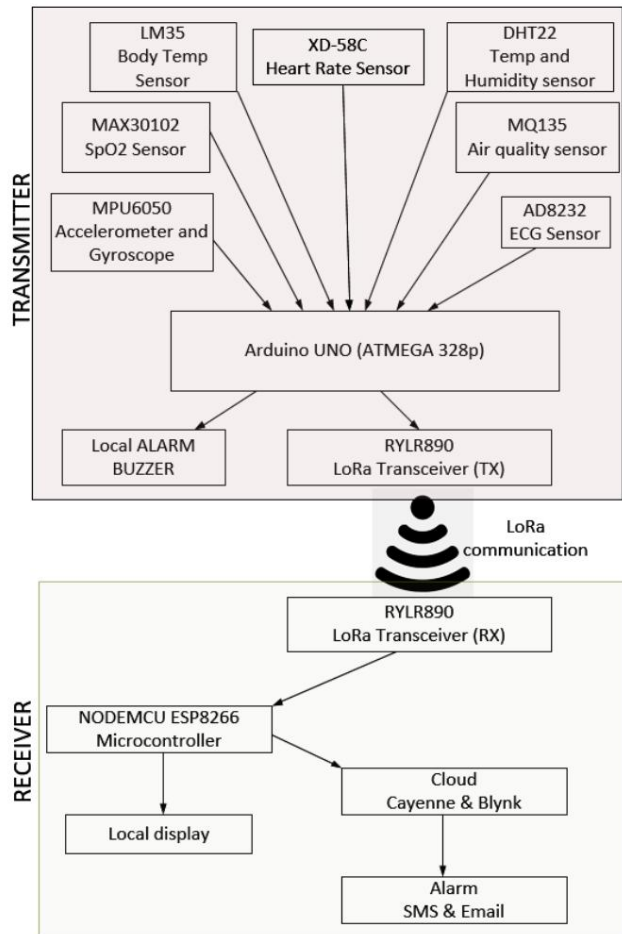


Figura 1. Arquitectura del sistema: transmisor y receptor

Los diferentes sensores empleados en este sistema están conectados al microcontrolador Arduino Uno, que envía los datos recogidos al transceptor LoRa, configurado como transmisor. Un zumbador de alarma local está diseñado para señalar una la caída del cuerpo del paciente, pero los datos de la caída del cuerpo también se transmiten al módulo LoRa para su monitoreo remoto. En condiciones de línea de visión, el alcance de comunicación entre los dos módulos LoRa puede alcanzar hasta 10 km. Se llevaron a cabo varias pruebas para evaluar el rendimiento del sistema en condiciones del mundo real. Se descubrió que incluso en zonas densamente pobladas con muchos edificios de gran altura, la señal LoRa se transmitía eficazmente a una distancia de 3,6 km.

B. Componentes

1) Sensor XD-58C

El XD-58C se utiliza para medir la frecuencia cardíaca a través del el dedo o el lóbulo de la oreja del paciente. El sensor de frecuencia cardíaca funciona mediante una técnica llamada fotoplethysmograma[13] que se utiliza para determinar los cambios en el volumen sanguíneo en la circulación periférica. Se dirige una luz verde de una longitud de onda de aproximadamente 550 nm al dedo y un fotosensor detecta la luz reflejada resultante. La luz recibida es entonces

convertido en una señal de voltaje. Un arreglo RC filtra Elimina el ruido y la señal se amplifica mediante un amplificador operacional integrado. [14].

2) Sensor de temperatura LM-35

El control de la temperatura corporal del paciente es otro parámetro crucial. Por ejemplo, el primer signo de una persona infectada por COVID-19 suele estar relacionado con una temperatura corporal elevada. El LM35 es un dispositivo de medición de temperatura. que produce un voltaje de salida analógico proporcional a la temperatura [15]. Al amplificar este cambio de voltaje, se genera una señal directamente proporcional a la temperatura.

3) Sensor de oxímetro de pulso MAX 30102

El objetivo principal de una oximetría de pulso es determinar el nivel de oxigenación de la sangre del paciente. El sensor de oxímetro mide el nivel de moléculas de hemoglobina en la sangre que se bombea. Hemoglobina oxigenada y desoxigenada. presentan diferentes características de absorción de luz, dependiendo de la longitud de onda de la luz aplicada. La hemoglobina desoxigenada es una sustancia de color rojo oscuro intenso, mientras que la hemoglobina oxigenada es una sustancia de color rojo brillante. El sensor contiene un par de LED que emiten luz roja monocromática con una longitud de onda de 660 nm y luz infrarroja con una longitud de onda de 940 nm. Los dos tipos de hemoglobina tienen propiedades de absorción significativamente diferentes en las longitudes de onda especificadas. Esta diferencia permite el cálculo de la hemoglobina oxigenada y su contraparte. El par de detectores de luz integrados detecta la cantidad de cada longitud de onda que se ha reflejado con éxito y la traduce en voltaje [16].

4) Sensor de ECG AD 8232

Un médico puede analizar los patrones de actividad eléctrica para diagnosticar problemas relacionados con el corazón, como ataques cardíacos e insuficiencias cardíacas. La señal recibida de los electrodos se transmite al pin de salida del módulo y luego se envía al pin de entrada analógica del Arduino para el procesamiento de datos. El La señal se puede ver a través del monitor serie. La representación gráfica que produce puede examinarse mediante evaluar los diversos componentes de la forma de onda, que tienen cierta importancia biológica [17].

5) Sensor de temperatura y humedad DHT 22

El componente DHT 22 tiene dos sensores integrados: a termistor y un sensor de humedad capacitivo. El sensor de humedad tiene dos electrodos que intercalan una capa absorbente de humedad. Cuando se absorbe agua, la conductividad aumenta. Este aumento de conductividad, que corresponde a un cambio de resistencia, es directamente proporcional a la humedad. La alta humedad disminuye la resistencia y viceversa. El termistor (NTC) actúa como una resistencia variable, ya que su resistencia varía con la temperatura. Un aumento de temperatura produce una disminución de la resistencia. Este sensor se utiliza principalmente para controlar la temperatura y la humedad en el entorno del paciente.

6) Sensor de calidad del aire

El MQ-135 fue elegido específicamente por su adaptabilidad para medir la calidad del aire. El Índice de Calidad del Aire (ICA) es el estándar que se utiliza habitualmente para evaluar la calidad del aire. La Autoridad de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) introdujo este índice para informar al público sobre los riesgos potenciales para la salud asociados con la calidad del aire no regulada [18]. La Tabla 1 muestra la correlación entre el ICA y los niveles de salud.

Tabla 1
Índice ICA [19]

Rango del índice de calidad del aire	Nivel de preocupación por la salud
0-50	Bien
51-100	Moderado
101-150	Insalubre para grupos sensibles
151-200	Malsano
201-300	muy poco saludable
301-500	Peligroso

7) Arduino UNO

El Arduino UNO [20] sirve como transmisor, enviando datos al receptor a través del protocolo LoRa. El microcontrolador se basa en el chip Atmega 328p de 8 bits. Tiene una velocidad de reloj de 16MHz, memoria de programa de 32kB, EEPROM de 1kB y RAM de 2kB.

8) Reyax LoRa (RYLR896)

El módulo transceptor elegido es el RYLR890 [21], que se construyó sobre el motor Semtech SX1276 e incorpora tecnología LoRa (Long Range). El módulo incluye un amplificador de potencia altamente eficiente y funciona con baja corriente en comparación con otras tecnologías. Opera en la banda de frecuencia sub-GHz sin licencia. La comunicación entre el procesador integrado y el microcontrolador se produce a través de pines UART. En particular, el módulo transceptor admite la transmisión de datos full-duplex, lo que permite la comunicación simultánea en ambas direcciones a través de una portadora de señal. A diferencia de la comunicación paralela, donde se pueden transmitir varios bits a la vez, la comunicación en serie envía datos bit a bit, lo que requiere menos líneas de entrada y salida. El módulo LoRa funciona a 3,3 V; por lo tanto, se utiliza una red divisora de voltaje para reducir los 5 V a 3,4 V.

9) NodeMCU ESP8266

El NodeMCU [22] está diseñado específicamente para aplicaciones de IoT como una puerta de enlace conveniente debido a su módulo Wi-Fi integrado. En este proyecto, el módulo Reyax LoRa recibe datos transmitidos y los pasa al NodeMCU. El NodeMCU cuenta con memoria flash de 4 MB y 128 kB de RAM, con una velocidad de reloj de hasta 160 MHz. Puede funcionar con batería o conectarse a una PC a través de USB.

10) Acelerómetro y giroscopio de 3 ejes MPU 6050

Este componente alberga un acelerómetro y un giroscopio de 3 ejes en un chip integrado. Funciona a 3,3 V, pero también admite 5 V gracias a su regulador de voltaje. Además, consta de tres ADC de 16 bits, que muestrean los 3 ejes de movimiento simultáneamente [23]. El acelerómetro de 3 ejes en chip está equipado con tecnología MEM, lo que permite

Medición de aceleración lineal. También puede medir el ángulo de inclinación a lo largo de los 3 ejes. El sistema de caída del cuerpo pasa por dos ciclos antes de activar el timbre. El sensor lee los valores de aceleración en los tres ejes. Mientras está en reposo (sobre una mesa o sostenido en la mano), el componente de aceleración del eje z es aproximadamente +1 g, ya que el sensor detecta una fuerza hacia arriba que resiste su caída. Sin embargo, el sensor percibe que g en reposo es aproximadamente 7,8 ms-2 debido a errores. Teóricamente, cuando una persona cae, la aceleración detectada será en dos ejes (xz o yz), pero en la práctica seguirá habiendo una componente a lo largo del eje descartado. Por lo tanto, se eligió un umbral de 3 g para la magnitud de la aceleración, teniendo en cuenta los errores del sensor y la aceleración de los ejes relevantes. El movimiento de la tierra fue

No considerado en la programación. Así, el sistema activa un zumbador al detectar un cambio angular superior a 90°.

III. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

Todos los sensores utilizados fueron probados individualmente de acuerdo con las pruebas recomendadas en sus respectivas hojas de datos. La siguiente sección describe las pruebas de los componentes principales.

A. Prueba del sensor de

ECG Los tres electrodos del sensor se colocaron en el pecho de un paciente sano, siguiendo [24], mientras la placa AD8232 estaba conectada al Arduino como se muestra en la Tabla 2.

Los resultados en el monitor en serie se muestran en la Figura 2. Un ECG normalmente mide algunos parámetros importantes del corazón. Como se puede observar en la Figura 2, la señal del ECG consta de diferentes formas de onda que los médicos pueden utilizar para diagnosticar enfermedades e irregularidades cardíacas. Un estudio en profundidad del ECG está más allá del alcance de este artículo, pero los lectores interesados en obtener más información sobre el ECG pueden consultar [25].

La forma de onda de la Figura 2 es similar a un gráfico de ECG estándar de un dispositivo de ECG médico. El valor del punto medio que se muestra en el trazador en serie es de alrededor de 338. En general, el voltaje de referencia predeterminado de Arduino para la entrada analógica es de 5 V. El sensor de ECG funciona a 3,3 V. Por lo tanto, la salida no excederá los 3,3 V. El punto medio es 3,3/2=1,65 V. El ADC de 10 bits incorporado en la placa Arduino decodifica los 1,65 V a 338, como se muestra en la Ecuación 1.

$$\frac{1023}{5} = \frac{\quad}{1,65} \quad (1)$$
$$\quad = 338$$

Tabla 2 Interfaz del sensor de ECG AD8232 con Arduino Uno [26]		
Etiqueta del tablero	Función de pasador	ArduinoUno Conexión
Tierra	suelo	Tierra
3,3 V	Entrada de alimentación de 3,3 V	3V3
PRODUCCIÓN	Salida analógica del sensor A0	
LO-	Detección de cables apagados	D8
BAJO+	Detección de cables desconectados+	D9
	Cerrar	Opcional

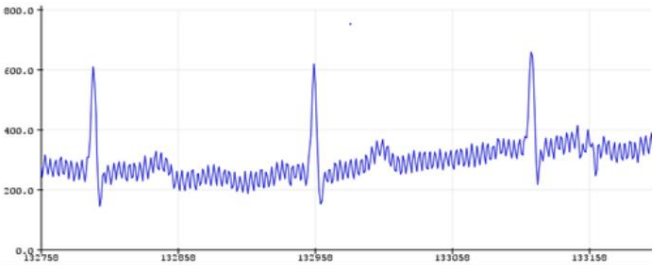


Figura 2. Resultados del sensor de ECG

B. Prueba del sensor de temperatura corporal

Muchos dispensadores automáticos de desinfectante para manos utilizan un sensor de temperatura LM-35. En este proyecto, el sensor se utilizó para medir la temperatura corporal del paciente. Factores como la edad del individuo, el nivel de actividad y la hora del día pueden provocar ligeras variaciones en la temperatura corporal normal. Generalmente, se considera que una temperatura corporal normal es 98,6°F (37°C). El rango "normal" de temperatura corporal está entre 97°F (36,1°C) y 99°F (37,2°C). La Figura 3 muestra los resultados obtenidos en el monitor serial.

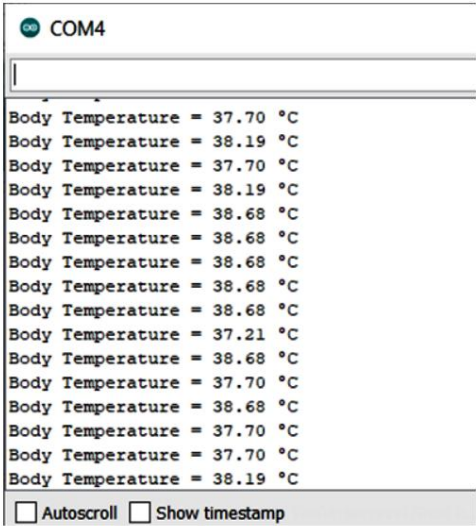


Figura 3. Temperatura corporal del paciente.

C. Prueba del sensor de frecuencia cardíaca

El sensor de pulso se colocó cuidadosamente en un dedo para medir y mostrar la frecuencia cardíaca en el monitor de serie. La conexión adecuada garantizó que el sensor no captara ruido del entorno. La frecuencia cardíaca en reposo de una persona normal suele oscilar entre 60 y 100 latidos por minuto (BPM). Esto puede aumentar a 130-150 BPM durante el ejercicio. Una persona que hace ejercicio con regularidad y goza de buena salud puede tener una frecuencia cardíaca en reposo de 60 BPM, lo que no se considera lento. Sin embargo, para alguien con colesterol u otros problemas de salud, que no es un atleta, una frecuencia cardíaca en reposo de 60 BPM puede considerarse lenta. La Figura 4 muestra las lecturas de frecuencia cardíaca del paciente.

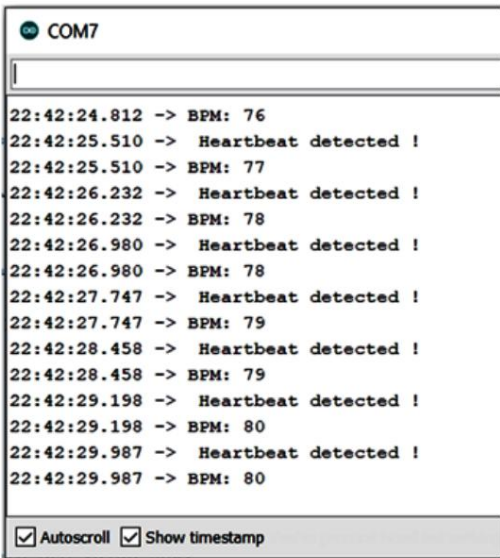


Figura 4. Lecturas de frecuencia cardíaca

D. Prueba del sensor de oxímetro

La cantidad de oxígeno inhalado y la cantidad que fluye exitosamente a través de los glóbulos rojos pueden diferir. El nivel de saturación sanguínea, también conocido como nivel de SpO2 para una persona sana, suele oscilar entre el 95 y el 100% [27]. Generalmente, los niveles inferiores al 95% se consideran anormales, excepto en personas mayores. Figura 5 muestra los resultados del sensor del oxímetro de pulso

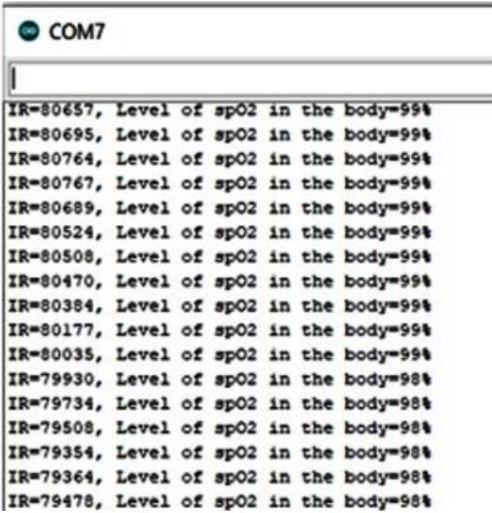


Figura 5. Prueba del sensor de oxímetro

E. Prueba Reyax LoRa (RYLR896)

El conjunto de comandos AT se utilizó para enviar algunos comandos al monitor serie para obtener respuestas que demuestren el funcionamiento adecuado del módulo Reyax LoRa:

1. La primera línea indica que el módulo puede responder a comandos.
2. El +IPR indica la velocidad en baudios, que en este caso es 115200 (predeterminado). Ambos módulos Reyax deben tener una velocidad de baudios coincidente para una comunicación exitosa.
3. El +PARÁMETRO indica el factor de ensanchamiento, el ancho de banda, la velocidad de codificación y el preámbulo programado, respectivamente. • Un factor de dispersión mayor da como resultado una mejor sensibilidad, pero aumenta negativamente el tiempo de transmisión. • Para lograr una velocidad de codificación más rápida, el valor se establece en 1. • Un código de preámbulo más grande reduce la probabilidad de pérdida de datos.
4. La +BANDA indica la frecuencia de RF a la que se comunica el módulo LoRa. En este caso se fijó en 915 MHz tanto el receptor como el transmisor. Los módulos Reyax LoRa deben tener la misma frecuencia para una comunicación exitosa.
5. +DIRECCIÓN representa el ID de dirección del módulo.
6. +NETWORKID muestra la ID de la red.
7. +ENVIAR muestra los datos enviados a la dirección especificada. dirección, que es 50 en este caso, a través del modo Comando.

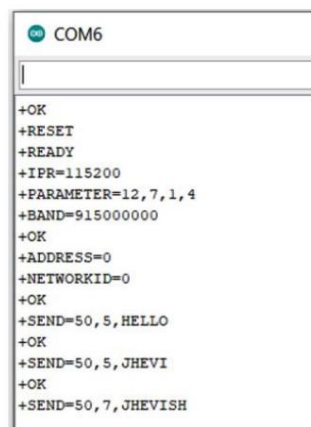


Figura 6. Prueba Reyax

F. Prueba de distancia de transmisión LoRa

El sistema se probó en varios lugares para analizar cómo el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI) y la relación señal-ruido (SNR) variaban con la distancia. En el primer escenario, la capacidad del dispositivo para recibir datos en las cuatro direcciones fue evaluado. El sistema estaba conectado a un punto de acceso móvil y situado aproximadamente a 560 metros de distancia. Los datos se recopilaban, como se muestra en la Figura 7, con soporte de ubicación en vivo y verificación de Google Map. Se llevaron a cabo los mismos pasos para diferentes distancias para evaluar mejor el rendimiento del sistema.

```

+RCV=0,32,51.30%29.40%37%31%213%739%2922%0,-138,-89

Hum:51.30
Temp:29.40
HB:37
BT:31
Gas:213
ECG:739
iR:2922
Spo2:0

```

Figura 7. Datos recopilados a una distancia de 560 m.

Se llevaron a cabo pruebas similares a distancias de 1700 m y 3650 m. Se descubrió que el módulo Reyax LoRa transmitía todos los parámetros sin errores. Inicialmente, planeamos tomar mediciones a 0,5 km, 1,5 y 3,5 km. Sin embargo, debido a la presencia de edificios residenciales privados a estas distancias, optamos por aumentar ligeramente la distancia. Los resultados obtenidos fueron muy concluyentes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Diseño final

Se diseñó un prototipo del sistema utilizando Tinkercad 3D [28]. La caja se dibujó con dimensiones mayores que la versión original para mejorar la visibilidad. La batería estaba conectada para alimentar el microcontrolador. Fue diseñado para usarse alrededor de la muñeca (similar a un reloj), usando correas de cuero. Este diseño permite a los pacientes deambular libremente y al mismo tiempo proporciona parámetros de salud a los cuidadores. La Figura 8 muestra el diseño final del prototipo.

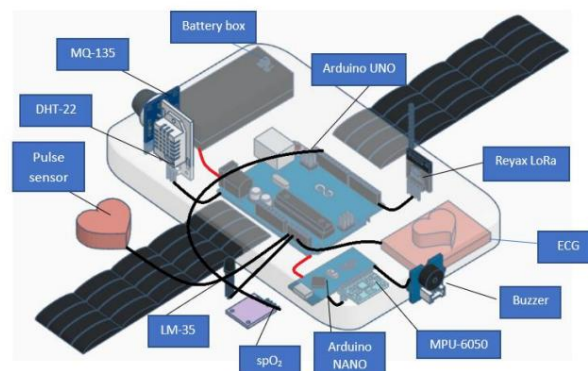


Figura 8. Diseño final del lado del transmisor y detección de caídas.

B. Monitoreo de datos en plataformas IoT

Se probaron dos plataformas de IoT, Cayenne [29] y Blynk [30], y se enviaron datos simultáneamente a ambas. Según su sitio web, Cayenne es "el primer creador de proyectos de IoT del mundo que permite a los desarrolladores, diseñadores e ingenieros crear prototipos y compartir rápidamente sus proyectos de dispositivos conectados. Cayenne fue diseñado para ayudar a los usuarios a crear prototipos de Internet de las cosas y luego llevarlos a producción". Por el contrario, Blynk se comercializa a sí mismo como "un conjunto completo de software necesario para crear prototipos, implementar y gestionar de forma remota dispositivos electrónicos conectados a cualquier escala: desde proyectos personales de IoT hasta millones de productos comerciales conectados". Ambas plataformas de IoT ofrecen pruebas gratuitas para exploración y creación temprana de prototipos. Para este proyecto se han probado ambas plataformas. Proporcionaron una amplia gama de funciones, un panel intuitivo y un rendimiento similar. La Figura 9 muestra el tablero del Cayenne, mientras que la Figura 10 muestra el tablero del Blynk.

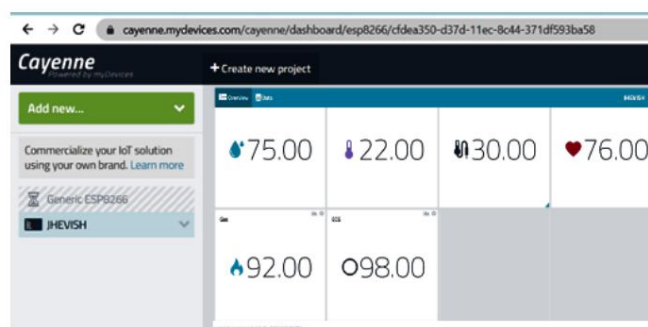


Figura 9. Pantalla del tablero Cayenne

Las primeras cuatro lecturas en el tablero de la Figura 9 son valores en tiempo real de porcentaje de humedad ambiental, temperatura ambiente y temperatura corporal periférica y frecuencia del pulso. En la segunda fila, las lecturas representan el índice de calidad del aire en partes por millón y el nivel de saturación de sangre.

Se muestran valores similares en el panel de Blynk en la Figura 10.

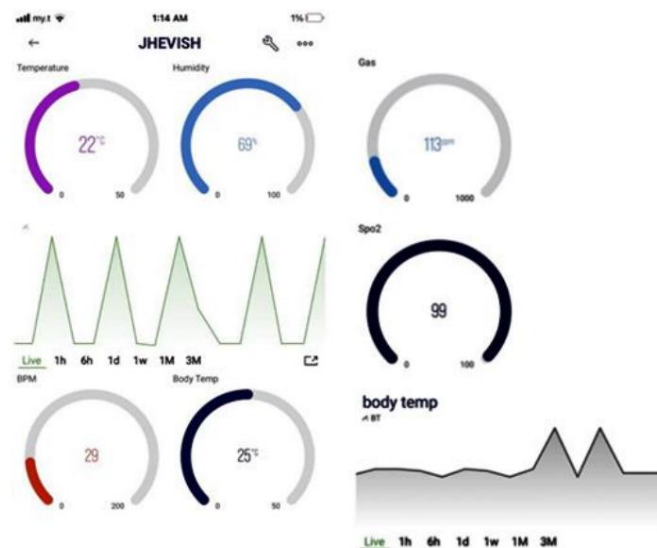


Figura 10 Pantalla del panel de Blynk

C. Fuente de alimentación para el lado del transmisor

La corriente extraída del lado del transmisor se midió usando un multímetro. Se descubrió que el circuito requería 140 mA para funcionar. La capacidad de la batería utilizada era de 2700 mAh. La vida útil de la batería conectada al sistema se calculó utilizando la Ecuación (2).

$$\text{Duración de la batería en horas} = \frac{\text{(Carga de la batería)}}{\text{Corriente consumida del lado del transmisor}} \quad (2)$$

$$= 19,3$$

D. Detección de caídas

El sistema se probó simulando una caída sobre una mesa, lo que activó el timbre durante un período de tiempo.

V. DISCUSIÓN

En este proyecto, se conectaron siete sensores, un actuador (zumbador) y un transmisor LoRa a un Arduino UNO. Cada uno de estos componentes se probó inicialmente individualmente antes de la implementación final. En el extremo receptor, se conectó un receptor LoRa a un microcontrolador NODEMCU, que envió los datos del sensor a las plataformas en la nube. Conectar todos estos componentes para crear el sistema fue una tarea desafiante. Sin embargo, después de varias iteraciones de hardware y revisiones de códigos para los microcontroladores, el sistema fue construido y probado gradualmente. Las pruebas fueron concluyentes y todos los componentes funcionaron según lo esperado. Dado que una persona sana probó el sistema, todos sus parámetros médicos fueron normales, como se muestra en la Figura 9 y la Figura 10, y esto fue confirmado por un médico.

VI. CONCLUSIÓN

Este documento presentó el diseño, implementación y prueba de un sistema basado en IoT que utiliza tecnología de comunicación LoRa para transmitir parámetros médicos cruciales de los pacientes a los cuidadores autorizados. Se probaron dos plataformas de IoT, Cayenne y Blynk, y ambas ofrecieron un rendimiento muy satisfactorio. Los sensores corporales se probaron exhaustivamente y sus resultados se validaron con equipos médicos operados por personal médico calificado. Después de la implementación, se realizaron pruebas integradas. Varios

Se realizaron actualizaciones y mejoras basadas en los comentarios de los pacientes y el personal médico involucrado en el proyecto. Las pruebas de alcance confirmaron que el dispositivo, equipado con un módulo Reyax LoRa, transmitió con éxito una serie de paquetes de datos, sin errores, hasta una distancia de 3,6 km en una región densamente poblada con edificios de gran altura. Para seguir trabajando, se podría considerar un escenario con múltiples transmisores y un único receptor, utilizando un enfoque de tiempo compartido. Se podrían incorporar funciones adicionales al dispositivo y los datos recibidos podrían almacenarse para investigaciones más detalladas. Las técnicas de aprendizaje automático también podrían utilizarse para detectar posibles problemas de salud ocultos.

RECONOCIMIENTO

También nos gustaría agradecer al Laboratorio de Controles y Microprocesadores de la Universidad de Mauricio por proporcionar los componentes de hardware necesarios utilizados en este estudio. Su apoyo nos permitió realizar los experimentos y obtener los resultados presentados en este artículo.

No hubo apoyo financiero externo para esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] "¿Qué es la telemedicina? ¿En qué se diferencia la telemedicina de la telemedicina?" SaludIT.gov." <https://www.healthit.gov/faq/what-telehealth-how-telehealth-diferente-telemedicine> (consultado el 24 de noviembre de 2022).
- [2] KM Zundel, "Telemedicina: historia, aplicaciones e impacto en la bibliotecología", Boletín de la Asociación de Bibliotecas Médicas, vol. 84, núm. 1. 1996.
- [3] S. Basu, R. S. Phillips, R. Phillips, L. E. Peterson y B. E. Landon, "Finanzas de la práctica de atención primaria en los Estados Unidos en medio de la pandemia de COVID-19", Health Aff (Millwood), vol. 39, núm. 9, págs. 1605-1614, septiembre. 2020, doi: 10.1377/HLTHAFF.2020.00794.
- [4] "COVID-19 y la transformación de la telemedicina". <https://www.usnews.com/news/healthiest-communities/articles/2020-06-02/covid-19-and-the-transformation-of-telehealth> (consultado el 24 de noviembre de 2022).
- [5] PA Solari-Twadell et al., "El impacto de la pandemia de COVID-19 en el futuro de la telemedicina en la atención primaria", Nurs Outlook, vol. 70, núm. 2, págs. 315-322, marzo de 2022, doi: 10.1016/J.OUTLOOK.2021.09.004.
- [6] T. Davenport y R. Kalakota, "El potencial de la inteligencia artificial en la atención sanitaria", Future Healthc J, vol. 6, núm. 2 de septiembre de 2019, doi: 10.7861/futurehosp.6-2-94.
- [7] MS Mahdavinejad, M. Rezvan, M. Barekatain, P. Adibi, P. Barnaghi y AP Sheth, "Aprendizaje automático para el análisis de datos de Internet de las cosas: una encuesta", Comunicaciones y redes digitales, vol. 4, núm. 3. 2018. doi: 10.1016/j.dcan.2017.10.002.
- [8] R. Li, X. Wang, K. Lawler, S. Garg, Q. Bai y J. Alty, "Aplicaciones de la inteligencia artificial para ayudar a la detección temprana de la demencia: una revisión del alcance de las capacidades actuales y direcciones futuras," Revista de Informática Biomédica, vol. 127. 2022. doi: 10.1016/j.jbi.2022.104030.
- [9] TJ Carney y AY Kong, "Aprovechamiento de la informática sanitaria para fomentar una respuesta de sistemas inteligentes a las disparidades sanitarias y los desafíos de la equidad sanitaria", Journal of Biomedical Informatics, vol. 68. 2017. doi: 10.1016/j.jbi.2017.02.011.
- [10] A. Motwani, P. K. Shukla y M. Pawar, "Marcos de monitoreo de atención médica ubicuos e inteligentes basados en el aprendizaje automático: una revisión integral", Artif Intell Med, vol. 134, pág. 102431, diciembre de 2022, doi: 10.1016/J.ARTMED.2022.102431.
- [11] MK Hassan, Al el Desouky, SM Elghamrawy y AM Sarhan, "Modelo híbrido inteligente de monitoreo remoto de pacientes con marco basado en la nube para el descubrimiento de conocimientos", Computadoras e ingeniería eléctrica, vol. 70, págs. 1034-1048, agosto. 2018, doi: 10.1016/J.COMPELECENG.2018.02.032.
- [12] E. Moghadas, J. Rezazadeh y R. Farahbakhsh, "Un monitoreo de pacientes de IoT basado en computación de niebla y minería de datos: caso de uso de arritmia cardíaca", Internet de las cosas, vol. 11, pág. 100251, septiembre. 2020, doi: 10.1016/J.IOT.2020.100251.
- [13] PA Kyriacou, "Introducción a la fotoplethysmografía", Fotoplethysmografía, págs. Del 1 al 16 de enero de 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-823374-0.00001-3.

- [14] "Módulo de sensor de pulso Ks0171 keyestudio XD-58C - Keyestudio Wiki". https://wiki.keyestudio.com/Ks0171_keyestudio_XD-58C_Pulse_Sensor_Module (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [15] "Ficha técnica del LM35, información del producto y soporte | TI.com." <https://www.ti.com/product/LM35> (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [16] "Interconexión del oxímetro de pulso y sensor de frecuencia cardíaca MAX30102 con Arduino". <https://lastminuteengineers.com/max30102-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/> (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [17] "Sensor de ECG AD8232: configuración de pines, características y sus aplicaciones". <https://www.elprocus.com/ad8232-ecg-sensor-working-and-its-applications/> (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [18] "Datos de información aérea Básico | EPA de EE. UU." <https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/air-data-basic-information> (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [19] "Exposición del paciente y el índice de calidad del aire | EPA de EE. UU." <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/patient-exposure-and-air-quality-index> (consultado el 10 de enero de 2023).
- [20] "Arduino Uno Rev3 - Oficial de Arduino Almacén." <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> (consultado el 10 de enero de 2023).
- [21] "RYLR890REYAX <https://www.reyax.com/products/RYLR890> TECNOLOGÍA." (consultado el 10 de enero de 2023).
- [22] "Especificaciones, descripción general y configuración de NodeMCU ESP8266". <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/> (consultado el 10 de enero de 2023).
- [23] "En profundidad: interfaz MPU6050 acelerómetro y sensor giroscópico con Arduino". <https://lastminuteengineers.com/mpu6050-accel-gyro-arduino-tutorial/> (consultado el 10 de enero de 2023).
- [24] "Posicionamiento de cables de ECG • LITFL • Conceptos básicos de la biblioteca de ECG". <https://litfl.com/ecg-lead-positioning/> (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [25] G. N. Levine, "Secretos de cardiología: cuarta edición", Secretos de cardiología: cuarta edición, págs. 1–478, 2013, doi: 10.1016/B978-1-4557-4815-0.01001-1.
- [26] "Guía de conexión del monitor de frecuencia cardíaca AD8232 - SparkFun Learn". <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ad8232-heart-rate-monitor-hookup-guide/all> (consultado el 10 de enero de 2023).
- [27] "Niveles de oxígeno en sangre: ¿Qué es un nivel normal?" <https://www.healthline.com/health/normal-blood-oxygen-level#tools-for-measurement> (consultado el 26 de noviembre de 2022).
- [28] "Tinkercad | Cree diseños digitales 3D con CAD en línea | Tinkercad". <https://www.tinkercad.com/> (consultado el 10 de enero de 2023).
- [29] "Cayenne The Things <https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/cayenne/> Red." (consultado el 10 de enero de 2023).
- [30] "Plataforma Blynk IoT: para empresas y desarrolladores". <https://blynk.io/> (consultado el 10 de enero de 2023).