

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS E-TEXTILES ORIENTADOS AL
CUIDADO DE LA SALUD DEL ADULTO MAYOR**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA E-TEXTIL ORIENTADO AL
MONITOREO DEL RITMO CARDÍACO DEL ADULTO MAYOR**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN REDES Y TELECOMUNICACIONES**

BRAYAN EDUARDO NASIMBA ANCHAPAXI

DIRECTOR: ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, BRAYAN EDUARDO NASIMBA ANCHAPAXI declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



BRAYAN EDUARDO NASIMBA ANCHAPAXI

brayan.nasimba@epn.edu.ec

brayan961018@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BRAYAN EDUARDO NASIMBA ANCHAPAXI, bajo mi supervisión.



ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO

andres.reyes@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Brayan', is positioned above a horizontal line.

BRAYAN EDUARDO NASIMBA ANCHAPAXI

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y guía a lo largo de mi vida y por ayudarme a alcanzar mis metas académicas.

AGRADECIMIENTO

A la vida, por todas las experiencias, aprendizajes y oportunidades que me ha brindado.

A mis abuelitos, por su amor, sabiduría y por inculcarme los verdaderos valores de la vida desde mi niñez.

A mis padres, por ser mi guía, apoyo incondicional y por su sacrificio. Les amo profundamente.

A mi hija Lizbeth, por ser mi fuente de inspiración diaria, mi alegría y mi verdadero amor.

A mis hermanos, Pablo y Mateo, por su apoyo incondicional, su amistad y por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos.

A la Escuela Politécnica Nacional, por brindarme una formación académica sólida y por ser un lugar donde he encontrado grandes amistades.

A mi director, el MSc. Andrés Reyes, por su valioso tiempo, sabiduría y por guiarme en cada paso de mi tesis.

A mis profesores, por su paciencia, conocimiento y haberme proporcionado una formación excelente.

Por último, gracias a todas las personas que han formado parte de mi vida. Su presencia ha sido fundamental en mi crecimiento personal y en la consecución de mis metas, y estoy profundamente agradecido por ello.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
RESUMEN.....	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance	2
1.4 Marco Teórico	2
Textiles electrónicos (e-textiles).....	2
Ritmo cardíaco	3
Insuficiencia cardíaca.....	4
Fotopletismografía.....	4
Sensor MAX30102	4
Comunicación inalámbrica	4
Redes inalámbricas de área local (WLAN).....	5
<i>Internet of medical things (IoMT)</i>	5
NodeMCU-ESP8266	6
Blynk.....	6
2 METODOLOGÍA.....	7
3 RESULTADOS.....	8
3.1 Establecimiento de los requerimientos.....	9
Prenda textil	9
Tipo de comunicación inalámbrica	9

Mecanismos de alimentación.....	10
Visualización de datos y notificaciones	10
3.2 Definición de componentes de <i>hardware</i> y <i>software</i>	11
Componentes de <i>hardware</i>	11
Placa de procesamiento con módulo Wi-Fi	11
Sensor de ritmo cardíaco	12
Componentes de <i>software</i>	12
3.3 Diseño del prototipo	14
Diseño del circuito electrónico	14
Diseño 3D del prototipo.....	14
Diagrama de pistas	15
Diagrama de flujo	15
3.4 Implementación del prototipo	17
Fabricación de la placa electrónica	17
Bordado del circuito electrónico sobre la prenda textil.....	20
Diseño de la aplicación IoT con Blynk	21
Notificaciones (Alertas)	27
Programación del NodeMCU-ESP8266	28
3.5 Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	31
4 CONCLUSIONES.....	32
5 RECOMENDACIONES	33
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
7 ANEXOS.....	38
ANEXO I: Certificado de Originalidad	i
ANEXO II: Enlaces	ii
ANEXO III: Códigos Fuente	iii

RESUMEN

Los eventos cardíacos son un problema de salud pública, debido a que son una de las principales causas de muerte en todo el mundo, sobre todo en pacientes que padecen enfermedades del corazón y en adultos mayores. Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un sistema e-textil orientado al monitoreo del ritmo cardíaco del adulto mayor. El sistema permite medir la frecuencia cardíaca y enviar notificaciones de alerta en caso de detectar anomalías, con el fin de brindar atención médica temprana y prevenir posibles problemas de salud.

En la primera sección se explica de manera general el prototipo desarrollado para la medición del ritmo cardíaco, así como los objetivos generales y específicos. Además, se lleva a cabo una investigación sobre los temas más relevantes que contribuyeron al cumplimiento de los objetivos planteados.

La segunda sección explica en detalle la metodología utilizada para satisfacer los objetivos del proyecto, describiendo los pasos seguidos y las técnicas usadas para llevar a cabo las actividades y procesos necesarios.

En la tercera sección se incluye un análisis y comparación de los componentes utilizados. Además, se describe con mayor detalle el diseño y la implementación del prototipo y se presentan los resultados de varias pruebas realizadas para verificar tanto el funcionamiento como la precisión de las lecturas del ritmo cardíaco.

En la cuarta sección se presentan las conclusiones obtenidas tras la implementación del sistema, donde se resumen los principales hallazgos y se destacan los resultados alcanzados.

En la quinta sección se incluyen las recomendaciones basadas en la experiencia adquirida, donde se identifican las posibles mejoras para futuras implementaciones.

Finalmente, en las últimas dos secciones se incluyen la bibliografía y los anexos, que ayudan a respaldar el estudio y el desarrollo del trabajo.

PALABRAS CLAVE: sistema e-textil, ritmo cardíaco, notificaciones, adulto mayor.

ABSTRACT

Cardiac events are a public health problem, as they are one of the leading causes of death worldwide, particularly in patients with heart disease and in older adults. In this context, the present work aims to implement an e-textile system oriented to the monitoring of the heart rate of the older adult. The system allows to measure the heart rate and to send alert notifications in case of detecting anomalies, in order to provide early medical attention and prevent possible health problems.

The first section explains in general the prototype developed for the measurement of the heart rate, as well as the general and specific objectives. In addition, a research is carried out on the most relevant topics that contributed to the fulfillment of the proposed objectives.

The second section explains in detail the methodology used to meet the objectives of the project, describing the steps followed and the techniques used to carry out the necessary activities and processes.

The third section includes an analysis and comparison of the components used. In addition, the design and implementation of the prototype are described in more detail and the results of several tests carried out to verify both the functioning and the accuracy of the readings of the heart rate are presented.

The fourth section presents the conclusions obtained after the implementation of the system, where the main findings are summarized and the results achieved are highlighted.

The fifth section includes the recommendations based on the experience acquired, where the possible improvements for future implementations are identified.

Finally, the last two sections include the bibliography and the annexes, which help to support the study and the development of the work.

KEYWORDS: *e-textile system, heart rate, notifications, older adults.*

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Se ha desarrollado un sistema e-textil capaz de monitorear continuamente el ritmo cardíaco del adulto mayor. El prototipo fue diseñado con la ayuda de un microcontrolador, que a su vez cuenta con un módulo inalámbrico, un sensor encargado de las lecturas del ritmo cardíaco y una batería portable. Todo este sistema se integró en una prenda de vestir para monitorear de manera continua al adulto mayor. Asimismo, se desarrolló una interfaz gráfica en la que se puede visualizar en tiempo real los datos obtenidos por el sensor y en caso de presentarse algún evento irregular se envían notificaciones a la aplicación y por correo electrónico, con el fin de brindar una atención médica temprana y prevenir posibles problemas de salud.

La Figura 1.1 representa el funcionamiento del prototipo implementado. Para ello, se ha empleado un sensor MAX30102 que se encarga de obtener las lecturas del ritmo cardíaco del adulto mayor. Los datos obtenidos son procesados por el microcontrolador NodeMCU-ESP8266, que cuenta con conectividad *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) para transmitir los datos a la plataforma *Internet Of Things* (IoT), Blynk. Los datos son visualizados y monitoreados en tiempo real, ya sea desde la aplicación móvil o desde el servidor Blynk. Además, el prototipo cuenta con un mecanismo de alertas que se activa automáticamente en caso de detectar niveles irregulares del ritmo cardíaco.



Figura 1.1 Esquema general de funcionamiento del prototipo

1.1 Objetivo general

Implementar un sistema e-textil orientado al monitoreo del ritmo cardíaco del adulto mayor.

1.2 Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos del prototipo.
- Definir los componentes de *hardware* y *software*.
- Diseñar el prototipo.

- Implementar el prototipo.
- Realizar pruebas de funcionamiento.

1.3 Alcance

Para establecer los requerimientos del sistema que permitan el monitoreo del ritmo cardíaco, es necesario abordar varios factores que garanticen la eficiencia y confiabilidad del sistema. En primer lugar, es necesario seleccionar una prenda textil adecuada que asegure la comodidad y libertad de movimiento del adulto mayor. Además, es importante elegir la tecnología inalámbrica más adecuada para la transmisión de datos. Asimismo, se deben definir mecanismos de alimentación seguros, portátiles y de larga duración. En cuanto a la visualización de datos, es necesario crear una interfaz que permita observar las lecturas de forma clara y en tiempo real. Otro detalle importante que se debe tomar en cuenta es la portabilidad del sistema, por lo que se deben utilizar componentes compactos y eficientes que garanticen la fiabilidad y estética del prototipo.

Una vez definidos los componentes, se procederá al diseño del prototipo. Este diseño incluirá el diagrama de conexiones, una vista en 3D del prototipo, Además, se elaborará el diagrama de flujo correspondiente, que permita entender el funcionamiento del circuito y los diferentes componentes que lo conforman.

En la implementación del prototipo se considera la elaboración de una placa de circuito impreso (PCB), el bordado del circuito con hilo conductor en la prenda textil, con el objetivo de garantizar la mayor estabilidad y estética para el prototipo. También se realizará la programación del microcontrolador.

Finalmente, en las pruebas se verificará el monitoreo del ritmo cardíaco y se enviará una alerta inalámbrica al usuario en caso de detectar irregularidades, lo que posibilitará la adopción de medidas necesarias para proteger la vida del adulto mayor.

1.4 Marco Teórico

Textiles electrónicos (e-textiles)

Los e-textiles, también conocidos como textiles inteligentes, son materiales textiles que tienen la capacidad de integrar dispositivos electrónicos en su estructura mediante el uso de hilos conductores fabricados con metales como cobre, plata o acero inoxidable. [2], [3]. Este componente es clave para transmitir señales eléctricas a través del tejido. Los progresos tecnológicos han posibilitado el desarrollo de sistemas inteligentes que

pueden integrarse en la ropa para monitorear múltiples indicadores de salud, tales como el ritmo cardíaco, la temperatura corporal y la presión arterial, entre otros [4].

Ritmo cardíaco

El ritmo cardíaco se define como el número de latidos o contracciones que produce el corazón en un minuto. En un adulto mayor, se considera que el ritmo cardíaco en estado de reposo es normal si encuentra entre 60 y 100 latidos por minuto (bpm). Sin embargo, este valor puede variar debido a diversos factores, como la actividad física, el estado emocional, el género, la composición corporal, la edad y los factores genéticos. Cualquier desviación significativa fuera de estos límites podría ser una señal de un problema de salud, por ejemplo, si las pulsaciones son menores a 60 (bpm) se considera bradicardia, mientras que si son mayores a 100 (bpm) se le conoce como taquicardia. Por lo tanto, es importante mantener un seguimiento adecuado del ritmo cardíaco y buscar atención médica si se presenta alguna anomalía [5], [6].

La Tabla 1.1 muestra los valores normales del ritmo cardíaco en reposo en diferentes grupos.

Tabla 1.1 Valores normales del ritmo cardíaco en reposo [45]

Población	Latidos por minuto [bpm]
Recién nacidos	100 - 160
Niños de 1 a 10 años	70 - 120
Niños mayores de 10 años, adultos y ancianos	60 - 100
Atletas de alto rendimiento	40 - 60

Además, es importante mencionar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) define a los adultos mayores como personas mayores de 60 años [46]. En consecuencia, la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) se determina utilizando la Ecuación 1.1.

$$FC_{máx} = 222 - \text{Edad}$$

Ecuación 1.1 Frecuencia cardíaca máxima [47]

Donde:

- 220 : (bpm) estimación aproximada de la frecuencia cardíaca máxima teórica de una persona
- Edad : 60 (años) edad
- FC_{máx} : (bpm) frecuencia cardíaca máxima

Al emplear la Ecuación 1.1 se obtiene:

$$FC_{\text{máx}} = 160 \text{ (bpm)}$$

Insuficiencia cardíaca

La insuficiencia cardíaca ocurre cuando el corazón no puede bombear sangre con la fuerza y la frecuencia necesaria para mantener una circulación adecuada en el cuerpo. Algunos de los síntomas comunes incluyen cansancio, debilidad, dificultad para respirar, hinchazón en extremidades, así como latidos cardíacos rápidos o irregulares. Esta enfermedad es particularmente problemática en pacientes mayores de 65 años, ya que suelen presentar otras enfermedades graves que pueden hacer que el diagnóstico y tratamiento sean más complicados [1].

Fotopletismografía

La fotopletismografía es una técnica no invasiva que se utiliza comúnmente para medir el ritmo cardíaco [7]. Para ello, se emplea un sensor que emite luz a través de la piel y los tejidos, y que permite detectar la absorción de luz por parte de la hemoglobina presente en la sangre que transita a través de los vasos sanguíneos del área en la que se ubica. Con cada latido del corazón, la cantidad de sangre en el área cambia, lo que causa cambios en la cantidad de luz absorbida. Estos cambios son detectados por el sensor y se utilizan para calcular el ritmo cardíaco [8].

Sensor MAX30102

El sensor MAX30102 desarrollado por Maxim Integrated, es un dispositivo biomédico que utiliza la técnica de fotopletismografía para medir el ritmo cardíaco de manera no invasiva [9]. El sensor cuenta con dos LEDs (rojo e infrarrojo), un fotodetector, reguladores de 3.3 (V) y 1.8 (V), componentes esenciales para el procesamiento de señales con bajo nivel de ruido y rechazo a la luz ambiental, lo que ayuda a que las mediciones sean más precisas. Además, debido a su bajo consumo de energía y portabilidad, este sensor resulta adecuado para proyectos de IoT. También es compatible con varias placas de desarrollo, lo que lo hace ideal para su uso en diversos proyectos orientados a la salud [10].

Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica permite la conexión y transmisión de información entre dos o más terminales sin la utilización de un medio físico. Esta forma de comunicación ofrece los mismos servicios que las redes cableadas, pero con una serie de ventajas adicionales las cuales incluyen la flexibilidad, escalabilidad, bajo costo, estética y

movilidad. Sin embargo, la comunicación inalámbrica también presenta ciertos desafíos, como la seguridad, la cobertura y las interferencias [13]. Estos factores deben tenerse en cuenta al implementar dicha comunicación, debido a que pueden afectar significativamente la calidad de la información transmitida.

De acuerdo con la Figura 1.2, las redes inalámbricas se clasifican en distintos grupos según el alcance de su cobertura [14].

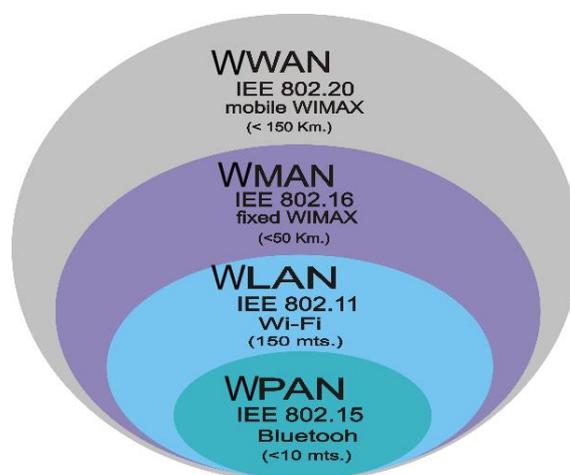


Figura 1.2 Clasificación de redes Inalámbricas [14]

Redes inalámbricas de área local (WLAN)

El estándar 802.11 es la base de las WLAN [15]. Este tipo de redes son ideales para proporcionar conectividad a una gran variedad de entornos, como hogares, edificios, campus universitarios, etc. Además, las WLAN permiten a los usuarios conectarse a Internet, compartir recursos y transferir datos utilizando las frecuencias no licenciadas de 2.4 (GHz) y 5 (GHz). Es importante tener en cuenta que estas redes pueden ser propensas a ataques por lo que se deben implementar medidas de seguridad adecuadas para proteger la red y los datos confidenciales de los usuarios [16].

Internet of medical things (IoMT)

Es una rama del IoT la cual que permite transmitir y analizar datos mediante dispositivos médicos y sensores conectados a Internet. Los dispositivos utilizados en IoMT están conectados a plataformas en la nube donde los datos se pueden almacenar, visualizar y analizar en tiempo real. Un ecosistema de atención médica tradicional generalmente incluye pacientes, médicos, medicamentos y tratamientos. Por otro lado, el ecosistema médico de IoMT incluye datos en la nube, aplicaciones, dispositivos de sensores portátiles y sistemas de seguridad [17]. La Figura 1.3 compara los ecosistemas médicos tradicionales con ecosistemas basados en IoMT más avanzados.

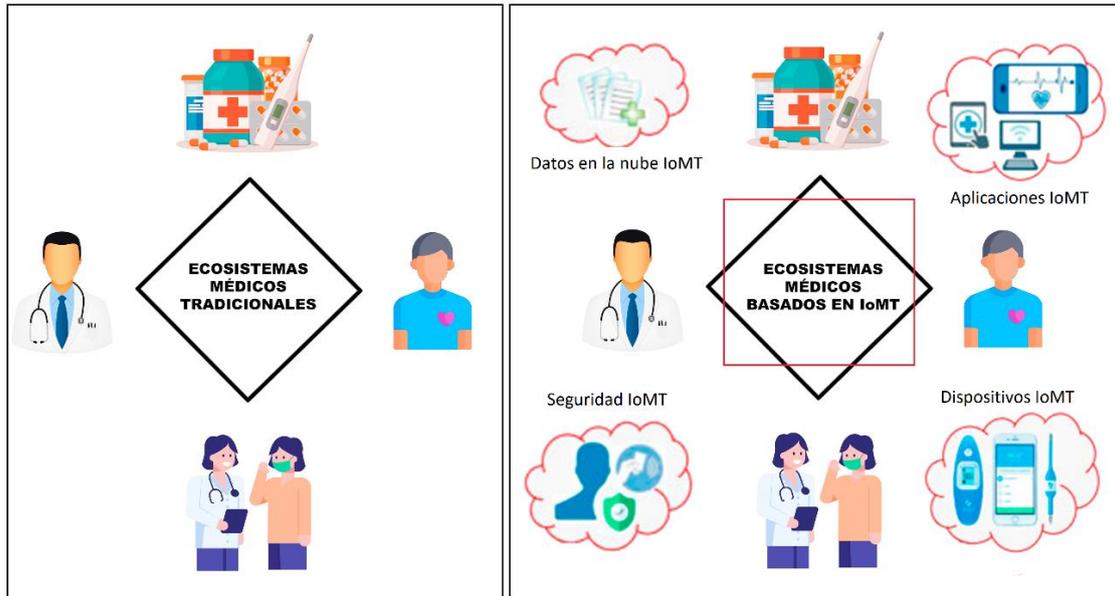


Figura 1.3 Comparación entre ecosistemas médicos [17]

NodeMCU-ESP8266

El NodeMCU-ESP8266 es un microcontrolador de código abierto fabricado por la empresa china *Espressif Systems* [11]. Se usa ampliamente en proyectos de IoT debido a que integra un módulo Wi-Fi, es de bajo consumo de energía y bajo costo [11]. Además, al ser compatible con diversas plataformas y lenguajes de programación, se adapta a una amplia variedad de aplicaciones y usuarios. El dispositivo que se indica en la Figura 1.4 corresponde a la segunda generación de su diseño, la cual integra un convertidor serial CP2102 y un conector micro-USB, los cuales son necesarios para la programación y la comunicación del dispositivo [12].



Figura 1.4 NodeMCU V2 ESP8266 [11]

Blynk

Es una plataforma dedicada al desarrollo de aplicaciones de IoT compatible con múltiples placas de desarrollo [18], [19]. Proporciona varias herramientas para visualización de datos, lo que facilita la creación de aplicaciones personalizadas para monitorear y controlar dispositivos IoT. Es fácil de usar ya que requiere principalmente

de una placa de *hardware*, conexión a Internet, librerías y la aplicación Blynk (disponible para iOS y Android) [18]. La Figura 1.5 ilustra la arquitectura de esta plataforma.

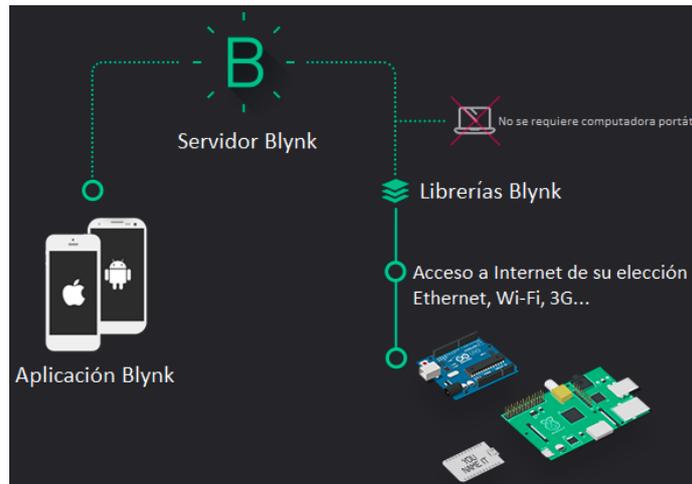


Figura 1.5 Arquitectura Blynk [18]

2 METODOLOGÍA

La metodología aplicada se compone de cinco objetivos clave, los cuales se han definido con el propósito de orientar el proceso de diseño y funcionamiento del sistema. En la Figura 2.1 se puede observar gráficamente cómo se ha seguido un enfoque estructurado para lograr exitosamente cada uno de los objetivos establecidos.



Figura 2.1 Metodología empleada

Se tuvieron en cuenta varios factores clave a la hora de desarrollar el proyecto. En primer lugar, se determinó que el prototipo debía ser portátil, por lo que se optó por utilizar componentes compactos para el sistema. Asimismo, se decidió que la

visualización de los datos se transmitiría de manera inalámbrica a una plataforma para poder monitorearlos de forma constante. En cuanto a la comunicación inalámbrica, se eligió Wi-Fi como la mejor opción debido a las múltiples ventajas que ofrece esta tecnología. Además, se incorporó una función de alerta que se activaría en caso de detectar anomalías en la frecuencia cardíaca del adulto mayor.

Una vez establecidos los requerimientos del prototipo, se llevó a cabo una comparativa de los componentes más relevantes del sistema. Tras evaluar las opciones, se seleccionó el sensor MAX30102 debido a su alta precisión en la lectura de datos, y el microcontrolador NodeMCU-ESP8266 por su módulo Wi-Fi integrado. Para programar el microcontrolador se empleó el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, ya que proporciona una interfaz gráfica sencilla y fácil de comprender. Además, se utilizó la plataforma Blynk para visualizar en tiempo real las lecturas del ritmo cardíaco a través de una aplicación móvil.

Después de determinar los componentes, se creó un diagrama esquemático que permitió visualizar de manera clara y detallada cómo se conectan el microcontrolador y el sensor. Además, se realizó un diseño 3D de los componentes y un diagrama de pistas para su posterior bordado. También se desarrolló un diagrama de flujo que ayudó a comprender mejor el programa utilizado.

Para probar la fiabilidad y confiabilidad del sistema, se realizaron varias pruebas comparativas con un pulsioxímetro de grado médico. Se verificó el porcentaje de error entre las mediciones obtenidas por este dispositivo y las del prototipo para asegurar su precisión. Además, se evaluó la efectividad de la función de alerta. Esta función se activa en caso de detectar anomalías en el ritmo cardíaco del adulto mayor, de esta manera se aseguró la capacidad del prototipo para detectar y notificar cualquier irregularidad en la salud del adulto mayor.

3 RESULTADOS

En esta sección se presentan las mediciones obtenidas de las lecturas del ritmo cardíaco utilizando el sistema implementado. Las lecturas se pueden visualizar en tiempo real mediante la aplicación Blynk. En caso de detectar niveles irregulares, el sistema envía notificaciones a la aplicación y por correo electrónico al usuario o a su acompañante. De esta manera, se puede tener un mayor control sobre la salud del adulto mayor y tomar medidas preventivas en caso de posibles anomalías. Para el desarrollo eficiente del proyecto, es fundamental considerar cinco etapas esenciales.

Primero, se deben definir claramente los requisitos principales del sistema. Luego, se procede a seleccionar cuidadosamente el *hardware* y *software* adecuados para el diseño del prototipo. Con esta base, se inicia la implementación del proyecto y se realizan las pruebas necesarias para garantizar su correcto funcionamiento.

3.1 Establecimiento de los requerimientos

El sistema diseñado para el monitoreo de la salud de adultos mayores debe cumplir con una serie de requisitos importantes. En primer lugar, se debe seleccionar cuidadosamente la prenda textil para el monitoreo, considerando factores como la comodidad y la facilidad de uso para el usuario. Además, es necesario elegir una tecnología inalámbrica adecuada que asegure una transmisión de datos estable y confiable. En cuanto a la alimentación, se deben utilizar baterías recargables y de larga duración que permitan la operación continua del prototipo. Asimismo, el sistema debe ser capaz de notificar al usuario en caso de detectar anomalías en las lecturas del ritmo cardíaco. Una visualización clara y accesible de los datos obtenidos es esencial para una monitorización efectiva, por lo que se requiere una interfaz que permita ver el ritmo cardíaco de manera sencilla. Por último, la portabilidad del dispositivo es un factor clave, por lo que se debe diseñar un sistema compacto y ligero que permita a los usuarios llevarlo consigo en todo momento.

Prenda textil

Para determinar la prenda textil más adecuada para integrar el circuito electrónico, es importante considerar varios factores como la comodidad, facilidad de uso y adaptación a las necesidades físicas de los adultos mayores. Las prendas textiles más adecuadas para este tipo de aplicaciones pueden incluir camisetas con mangas largas o suéteres suaves, que no restrinjan los movimientos y sean cómodos de usar. Además, la prenda debe ser resistente y duradera para soportar el uso continuo y el desgaste diario [20]. Por lo tanto, se ha elegido una camiseta de manga larga de algodón para llevar a cabo el monitoreo constante del ritmo cardíaco, debido a que este material es suave, transpirable y cómodo para llevar sobre la piel. También, es considerado hipoalergénico, lo que lo hace una alternativa adecuada para los adultos mayores que presentan piel delicada o alergias [21].

Tipo de comunicación inalámbrica

Existen diversas alternativas de comunicación inalámbrica que pueden utilizarse para satisfacer las necesidades del sistema. Algunas de las opciones más comunes son Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi, entre otras. Sin embargo, se eligió Wi-Fi debido a que

proporciona velocidades de transmisión más altas y una mayor cobertura geográfica en comparación con otras tecnologías inalámbricas. Otro aspecto importante es que Wi-Fi es muy utilizado en entornos domésticos y médicos para la conectividad inalámbrica [22].

Mecanismos de alimentación

Para determinar el tipo de alimentación más eficiente para el sistema de monitoreo es importante considerar varios factores como el tamaño, la duración, la seguridad y el peso de la batería. La utilización de una batería de polímero de litio (LiPo) es una alternativa viable para este sistema, debido a su eficacia y a su capacidad de minimizar la autodescarga. Por otro lado, su tamaño y peso reducido la hace ideal para su uso en la prenda seleccionada. Otro aspecto importante es que tienen una larga vida útil, lo que significa que no será necesario reemplazarlas con frecuencia. Además, estas baterías son conocidas por su seguridad y estabilidad, lo que es importante cuando se trata de dispositivos que estarán en contacto con la piel [23].

La batería que se utilizará se muestra en la Figura 3.1, y sus características más importantes se presentan en la Tabla 3.1.



Figura 3.1 Batería de LiPo

Tabla 3.1 Características de la Batería de LiPo seleccionada [44]

Características	Batería de LiPo
Voltaje	3.7 (V)
Capacidad nominal	500 (mAh)
Dimensiones	50 x 30 x 4.8 (mm)
Peso	10 (g)
Voltaje de corte	2.4 (V)
Temperatura de operación	-20 - 60 (°C)
Tipo de conector	JST

Visualización de datos y notificaciones

Es importante que el prototipo esté diseñado para permitir la lectura y análisis de los datos del ritmo cardíaco, de forma sencilla e intuitiva. En este sentido, la interfaz de usuario debe ser clara y fácil de usar, de modo que el adulto mayor o la persona que

esté bajo su supervisión pueda comprender los datos y notificaciones que se le presentan. La visualización de los datos debe ser realizada mediante indicadores que permitan una rápida interpretación de la información. Por otra parte, las notificaciones deben ser configuradas de manera adecuada, de modo que sean capaces de alertar al usuario y a sus cuidadores en caso de una anomalía en el ritmo cardíaco.

3.2 Definición de componentes de *hardware* y *software*

Componentes de *hardware*

Durante esta fase del proyecto se identifican los componentes clave del sistema necesarios para garantizar el correcto funcionamiento, tales como la placa de procesamiento y el sensor. Para ello, se llevó a cabo una investigación detallada para comparar y evaluar las opciones disponibles en el mercado, analizando sus características técnicas, desempeño, costo y disponibilidad, entre otros factores relevantes. La elección final de los componentes se justificará en base a los requisitos específicos del sistema y a los resultados de la investigación comparativa, con el objetivo de garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

Placa de procesamiento con módulo Wi-Fi

Para la selección de la placa de procesamiento con módulo Wi-Fi se consideraron 3 opciones para determinar cuál sería la más favorable para el prototipo. La Tabla 3.2 proporciona un cuadro comparativo de estos dispositivos.

Tabla 3.2 Comparación entre las placas de procesamiento con módulo Wi-Fi [24]–[29]

Especificaciones	Arduino MKR1000	NodeMCU-ESP8266	ESP32
Voltaje de alimentación	3.7 - 5.5 (V)	3.3 - 5 (V)	3.3 - 5 (V)
Consumo de corriente	20 - 10 (mA)	70 - 100 (mA)	60 - 200 (mA)
Procesador	SAMD21	Tensilica LX106	Tensilica Xtensa LX6
Memoria flash	256 (KB)	4 (MB)	16 (MB)
Frecuencia de reloj	48 (MHz)	80 (MHz)	240 (MHz)
Comunicación I2C	Si	Si	Si
Protocolos Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth	No	No	Si (v4.2)
Precio	Alto	Bajo	Alto
Dimensiones	255 x 67.64 (mm)	48 x 26 (mm)	25.5 x 18 (mm)
Peso	32 (g)	9 (g)	8 (g)

Teniendo en cuenta los parámetros técnicos anteriores, se seleccionó el NodeMCU-ESP8266 debido a su módulo Wi-Fi integrado, alta potencia de procesamiento, tamaño, peso y costo, así como su bajo consumo de energía y la posibilidad de alimentarlo con una batería de LiPo de 3.7 (V).

Sensor de ritmo cardíaco

Con el fin de seleccionar el sensor adecuado para la detección del ritmo cardíaco, se evaluaron tres dispositivos que cumplen la misma función. Para ello, se elaboró una tabla comparativa con sus características más relevantes, las cuales se visualizan en la Tabla 3.3. De esta manera, se determinará cuál de los sensores es más favorable para el prototipo.

Tabla 3.3 Comparación entre sensores para la medición del ritmo cardíaco [30]–[32]

Especificaciones	MAX30100	MAX30102	Pulse sensor (SEN-11574)
Voltaje de alimentación	3.1 - 5 (V)	3.1 - 5.25 (V)	3 - 5.5 (V)
Consumo de corriente	0.7 - 600 (μ A)	0.7 - 700 (μ A)	3 - 4 (mA)
Temperatura de funcionamiento	-40 - 85 ($^{\circ}$ C)	-40 - 85 ($^{\circ}$ C)	-40 - 85 ($^{\circ}$ C)
Dimensiones	18 x 14 (mm)	18 x 14 (mm)	15.8 (mm)
Salida de datos	I2C	I2C	Analógica
Pines	7	7	3
Ubicación	Dedo, lóbulo, muñeca	Dedo, lóbulo, muñeca	Dedo, lóbulo
Memoria FIFO	16 (bits)	32 (bits)	-
Resolución ADC	14 (bits)	18 (bits)	-
Ancho de pulso del LED	200 - 1600 (μ s)	69 - 114 (μ s)	-

Luego de un minucioso análisis de las características de cada sensor, se eligió el sensor MAX30102 para el prototipo debido a su bajo consumo de energía, portabilidad y compatibilidad con el microcontrolador elegido. También proporciona mayor precisión en la lectura de datos en comparación con los otros dispositivos. Otro aspecto importante es que puede ser colocado en la muñeca del usuario, lo que facilita su integración en la prenda textil.

Componentes de *software*

En lo que respecta al componente de *software*, se requiere la implementación de un código de programación que permita la recopilación y procesamiento de los datos obtenidos por el sensor MAX30102. Para realizar esta tarea, se seleccionó el IDE de

Arduino como herramienta de programación debido a su facilidad de uso y programación, así como su compatibilidad con la placa de desarrollo elegida. Además, cuenta con una amplia variedad de librerías que facilitan el desarrollo del proyecto. Otro aspecto importante de la plataforma es su compatibilidad con múltiples sistemas operativos [33], [34].

Por otro lado, para la visualización de datos y el envío de notificaciones se han evaluado diferentes plataformas, entre las cuales se encuentran: Ubidots, ThingSpeak y Blynk. En este análisis se consideraron diferentes factores, como la facilidad de uso, compatibilidad con la placa de *hardware*, flexibilidad de la plataforma, opciones de conectividad, capacidad de personalización y las opciones que ofrece para el envío de alertas. En la Tabla 3.4 se presenta la comparación entre las diferentes plataformas IoT disponibles.

Tabla 3.4 Comparación entre plataformas IoT [35]–[41]

Características	Ubidots	ThingSpeak	Blynk
Facilidad de uso	Intermedio	Fácil	Fácil
<i>Software</i> libre	Si	Si	Si
Interfaz gráfica	Si	Si	Si
Personalización de <i>widgets</i>	Si	Si	Si
Visualización de datos en tiempo real	Si	Si	Si
Compatibilidad con múltiples placas de desarrollo	Si	Si	Si
Número de dispositivos	3	Ilimitado	2
Notificaciones	Email, SMS, Telegram, llamada de voz y <i>Webhooks</i>	<i>Web</i>	App, Email, SMS
Protocolos de comunicación	HTTP, HTTPS, MQTT, TCP, UDP, Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT, LTE	HTTP, HTTPS, MQTT, UDP, TCP	MQTT, HTTP, TCP/UDP

Considerando las características mencionadas, se eligió la plataforma Blynk. En primer lugar, Blynk es fácil de utilizar y proporciona una amplia variedad de funcionalidades, lo que permite crear interfaces de usuario personalizadas y visualizar datos en tiempo real mediante diversos *widgets*. Otra ventaja, es su compatibilidad con la placa de *hardware* seleccionada anteriormente.

3.3 Diseño del prototipo

Diseño del circuito electrónico

La creación del esquema de conexiones es un paso clave para garantizar la eficacia y la fiabilidad del sistema. En Proteus, se puede diseñar diagramas, generar un modelo 3D y simular su comportamiento antes de construir el prototipo real [42]. El diagrama de conexión para el monitoreo de la frecuencia cardíaca se encuentra en la Figura 3.2.

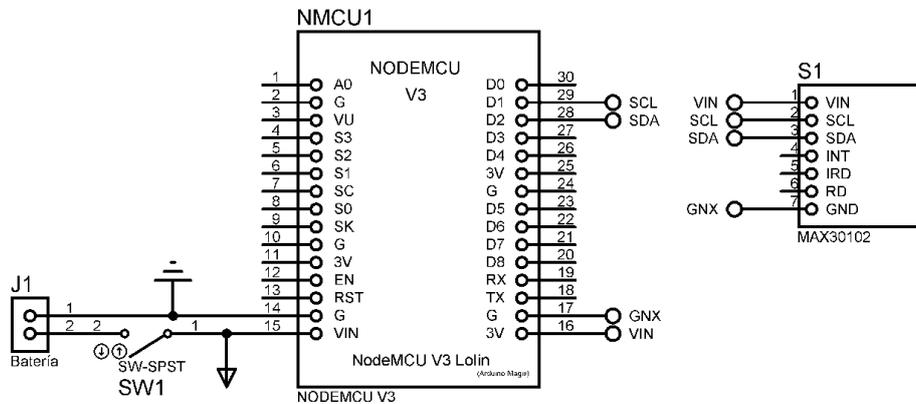


Figura 3.2 Diagrama de Conexiones

Diseño 3D del prototipo

La Figura 3.3 muestra el diseño del prototipo en 3D el cual fue generado con una de las funcionalidades que ofrece Proteus. El diseño en 3D permite visualizar y comprender como los componentes electrónicos se colocan y se integran en la prenda textil. Además, también es útil para visualizar el tamaño y el espacio disponible en el sistema, lo cual permite determinar si los componentes electrónicos seleccionados se ajustan al espacio disponible y si el sistema es adecuado para su uso.

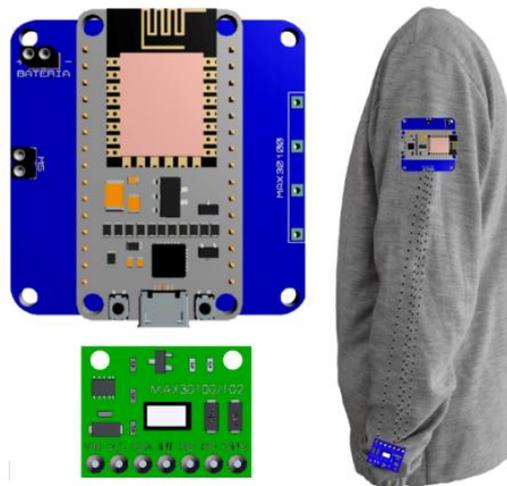


Figura 3.3 Diseño 3D del prototipo

Diagrama de pistas

En la Figura 3.4 se observa el diagrama de las pistas que serán bordadas con hilo conductor sobre la tela. Este proceso es fundamental para garantizar una conexión adecuada entre los componentes del sistema.

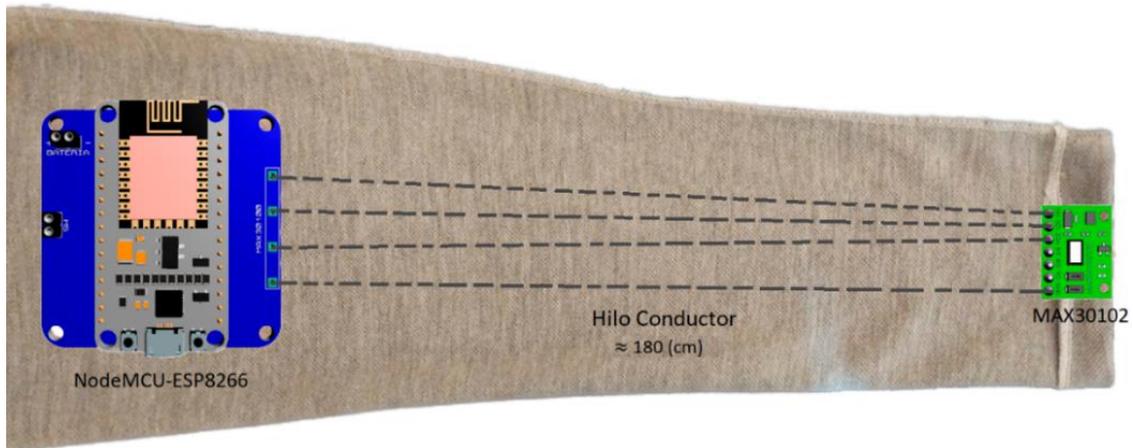


Figura 3.4 Diagrama de pistas a ser bordadas sobre la prenda textil

Diagrama de flujo

La Figura 3.5 muestra el diagrama de flujo utilizado en el prototipo. El programa comienza definiendo tres constantes que se utilizan para conectarse a la aplicación Blynk. Adicionalmente, se incluyen las bibliotecas necesarias para trabajar con el sensor MAX30102 y realizar el cálculo de la frecuencia cardíaca, así como para establecer el enlace con la red Wi-Fi y el sistema.

Al encender el microcontrolador NodeMCU-ESP8266, se inicia el sensor MAX30102 y se establece la comunicación con el servidor Blynk. Si el sensor está conectado correctamente, se configura mediante las funciones correspondientes y se inicia la detección de latidos. Si se detecta un latido, se calcula la frecuencia cardíaca (bpm). Si la frecuencia cardíaca calculada es razonable, se agrega a una matriz, se calcula el promedio de las últimas 4 lecturas y se envía a la aplicación Blynk para su visualización.

Además, se imprime "bpm promedio" en la consola serial después de cada intervalo de tiempo definido por "READ_INTERVAL". Cuando se apaga el sistema o se retira la alimentación, se termina la toma de lecturas y se finaliza el programa.

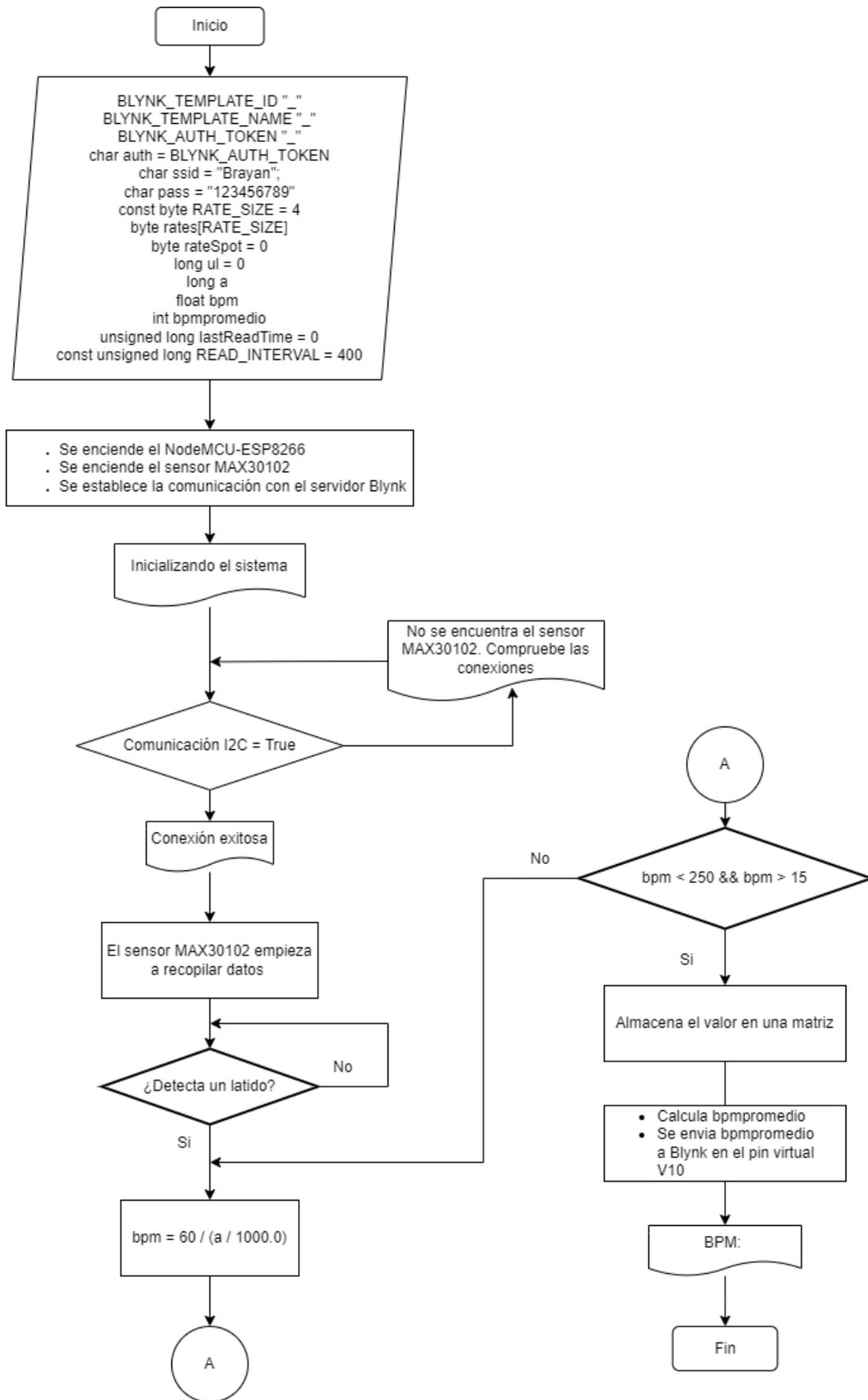


Figura 3.5 Diagrama de flujo del sistema de monitoreo del ritmo cardíaco

3.4 Implementación del prototipo

Fabricación de la placa electrónica

Para elaborar la PCB, se utiliza un *software* especializado de diseño, como ARES. Este programa proporciona una interfaz intuitiva que permite crear diseños profesionales a partir del diagrama de esquemático, definiendo la posición exacta de cada componente y las pistas de conexión que se utilizarán para conectarlos. Además, permite la creación de agujeros de montaje y de las dimensiones de la PCB [43]. La Figura 3.6 indica el diseño de la PCB para posteriormente ser fabricada.

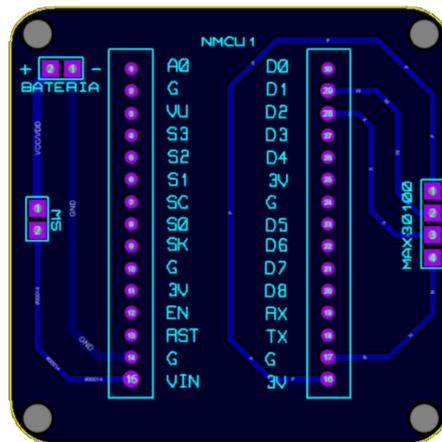


Figura 3.6 Elaboración de la PCB

A continuación, se genera una imagen de la placa para su posterior impresión, como se observa en la Figura 3.7. Para ello, se utiliza una impresora láser y papel fotográfico.

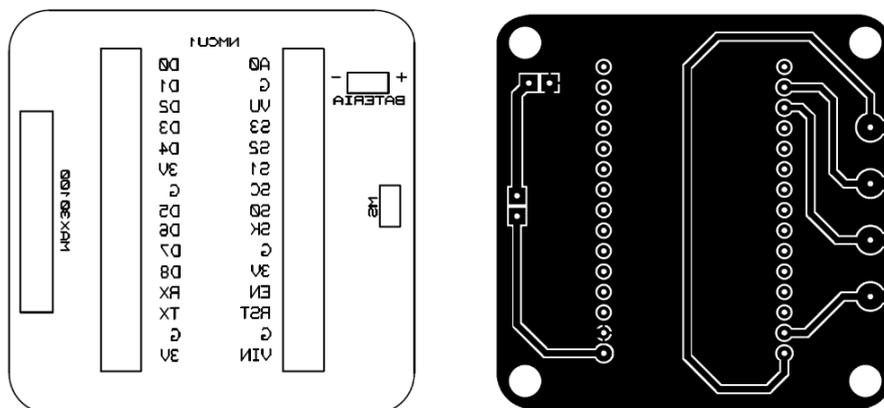


Figura 3.7 Diseño imprimible

Posteriormente, se realiza una limpieza adecuada de la superficie de la baquelita utilizando una lana de acero o una lija fina. Se limpia la superficie suavemente hasta eliminar cualquier tipo de suciedad o grasa, tal como indica la Figura 3.8.



Figura 3.8 Limpieza de la baquelita

Una vez limpia la superficie, se procede a fijar el papel impreso sobre la baquelita con la ayuda un adhesivo, asegurando que el mismo quede ubicado correctamente. Luego, se utiliza una plancha a alta temperatura durante un periodo aproximado de 10 minutos para transferir el tóner a la baquelita. La técnica ilustrada en la Figura 3.9 es conocida como el “método del planchado”



Figura 3.9 Método del planchado

Después, se sumerge la baquelita en agua fría durante 5 o 10 minutos para retirar por completo el papel impreso, como se puede observar en la Figura 3.10.



Figura 3.10 Remover el papel de la baquelita

A continuación, en un recipiente de plástico se mezcla agua caliente con cloruro férrico con el objetivo de eliminar todas las áreas que no están cubiertas por el tóner. Dicho proceso se indica en la Figura 3.11. Luego, se enjuaga y se seca la placa para eliminar cualquier resto químico.



Figura 3.11 Disolución de cloruro férrico en agua caliente

Con la placa ya libre de cloruro férrico, se procede a realizar los agujeros, tal como indica la Figura 3.12.



Figura 3.12 Proceso de perforación

Finalmente, la Figura 3.13 presenta el proceso de soldado de los componentes sobre la baquelita.



Figura 3.13 Proceso de soldado de los componentes

Bordado del circuito electrónico sobre la prenda textil

Para incorporar la placa electrónica y el sensor MAX30102 en la prenda, se llevó a cabo la tarea de unir los componentes mediante costura utilizando hilo de color gris común, tal como se puede observar en la Figura 3.14.

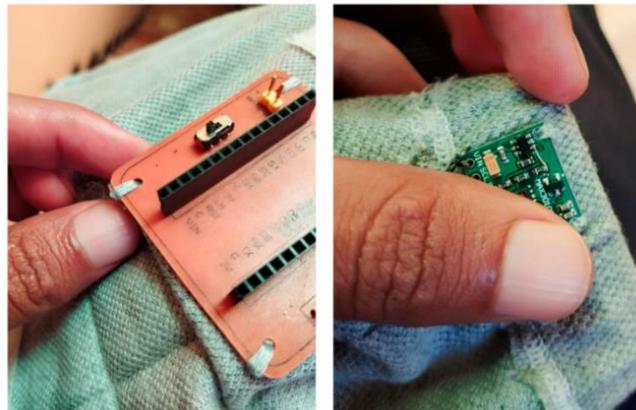


Figura 3.14 Bordado de los componentes en la prenda textil

Luego, se realizó la conexión de los pines del sensor MAX30102 con los pines correspondientes en el NodeMCU-ESP8266 mediante hilos conductores, como se observa en la Figura 3.15 y Figura 3.16. La conexión se llevó a cabo de la siguiente manera:

- VIN del sensor MAX30102 se conecta al pin 3V3 del NodeMCU-ESP8266.
- GND del sensor MAX30102 se conecta al pin GND del NodeMCU-ESP8266.
- SCL del sensor MAX30102 se conecta al pin D1 del NodeMCU-ESP8266.
- SDA del sensor MAX30102 se conecta al pin D2 del NodeMCU-ESP8266.



Figura 3.15 Conexión de dispositivos mediante hilo conductor



Figura 3.16 Conexión de dispositivos finalizada

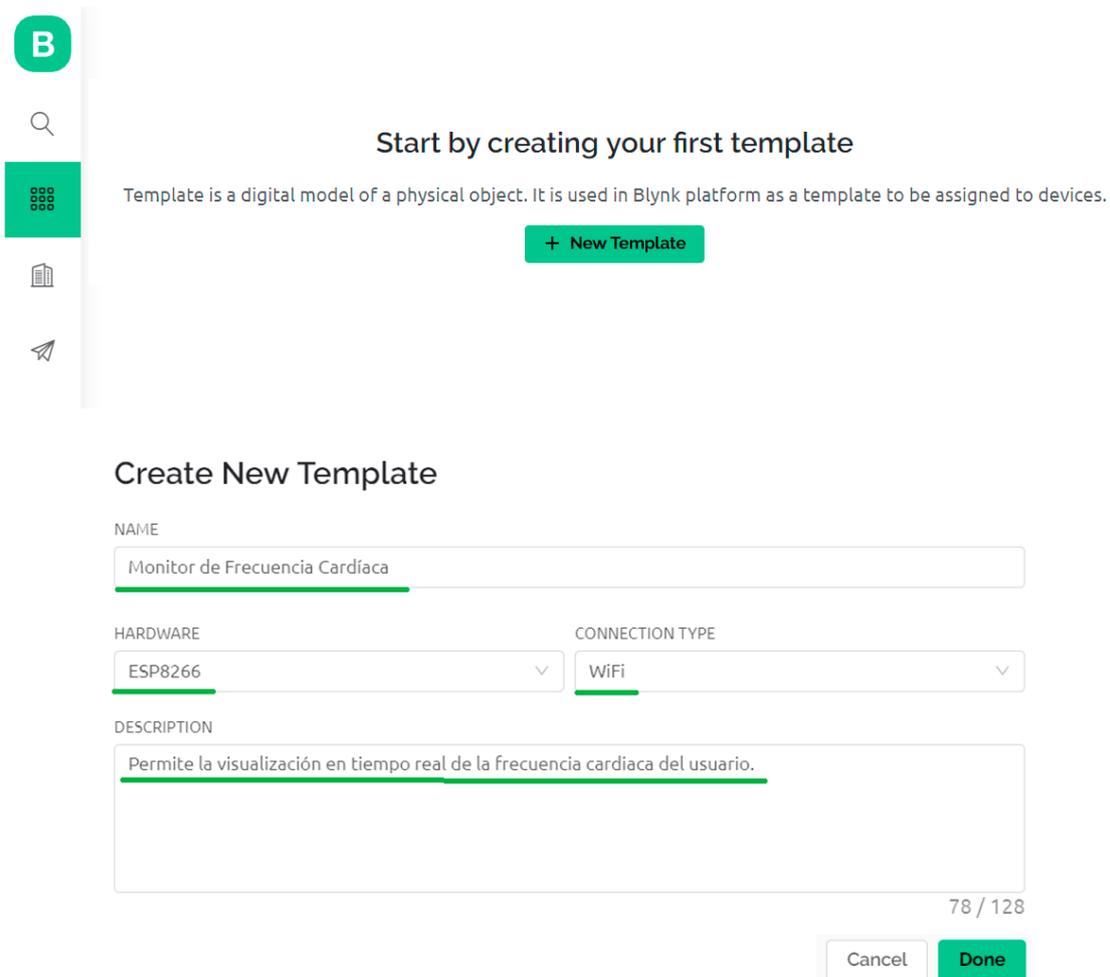
Diseño de la aplicación IoT con Blynk

Se empleó la plataforma Blynk con el fin de presentar de manera gráfica las mediciones obtenidas del ritmo cardíaco. Para hacer uso de esta herramienta, es necesario crear una cuenta en Blynk. La Figura 3.17 indica la creación de la cuenta en la plataforma.

A screenshot of the Blynk Sign Up page. At the top, there is a green circular logo with a white letter 'B'. Below the logo, the text reads "Sign Up". Underneath, it says "Welcome! Fill in your email address and we will send an account activation link." There is an input field for "EMAIL" with the text "sise.textil@gmail.com" entered. Below the input field, there is a checkbox that is checked, with the text "I agree to Terms and Conditions and accept Privacy Policy". At the bottom, there is a green "Sign Up" button and a blue "Back to Login" link.

Figura 3.17 Creación de Cuenta Blynk

Al ingresar a la consola, se procede a crear una nueva plantilla especificando el nombre, la placa de *hardware* que se utilizará y el tipo de conexión. La Figura 3.18 muestra cómo llevar a cabo esta tarea.



The screenshot shows the Blynk console interface. At the top, there is a navigation sidebar with a search icon, a grid icon, a list icon, and a paper plane icon. The main content area displays the heading "Start by creating your first template" and a sub-heading "Template is a digital model of a physical object. It is used in Blynk platform as a template to be assigned to devices." Below this is a green button labeled "+ New Template".

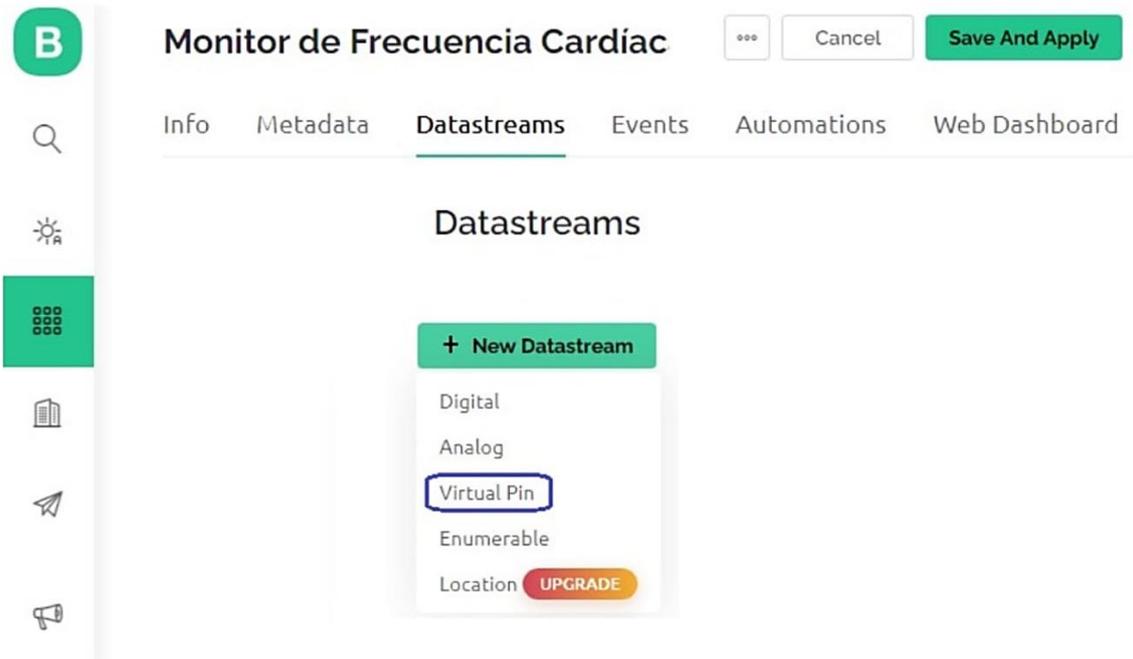
The "Create New Template" form is shown below. It has the following fields:

- NAME:** A text input field containing "Monitor de Frecuencia Cardíaca".
- HARDWARE:** A dropdown menu with "ESP8266" selected.
- CONNECTION TYPE:** A dropdown menu with "WiFi" selected.
- DESCRIPTION:** A text area containing "Permite la visualización en tiempo real de la frecuencia cardiaca del usuario." with a character count of "78 / 128".

At the bottom right of the form are two buttons: "Cancel" and "Done".

Figura 3.18 Creación de la plantilla

Luego, se ingresa en *datastreams*, donde se crea y configura un nuevo pin virtual, que funciona como canal lógico para la transmisión inalámbrica de datos entre la aplicación y la placa de *hardware* seleccionada. Para el presente trabajo, se seleccionó el pin virtual número diez (V10), denominado BPM, y se estableció un rango de valores del ritmo cardíaco de 0 a 160 (bpm). Este rango se definió tomando en cuenta la Ecuación 1.1. vista anteriormente. El proceso se detalla claramente en la Figura 3.19.

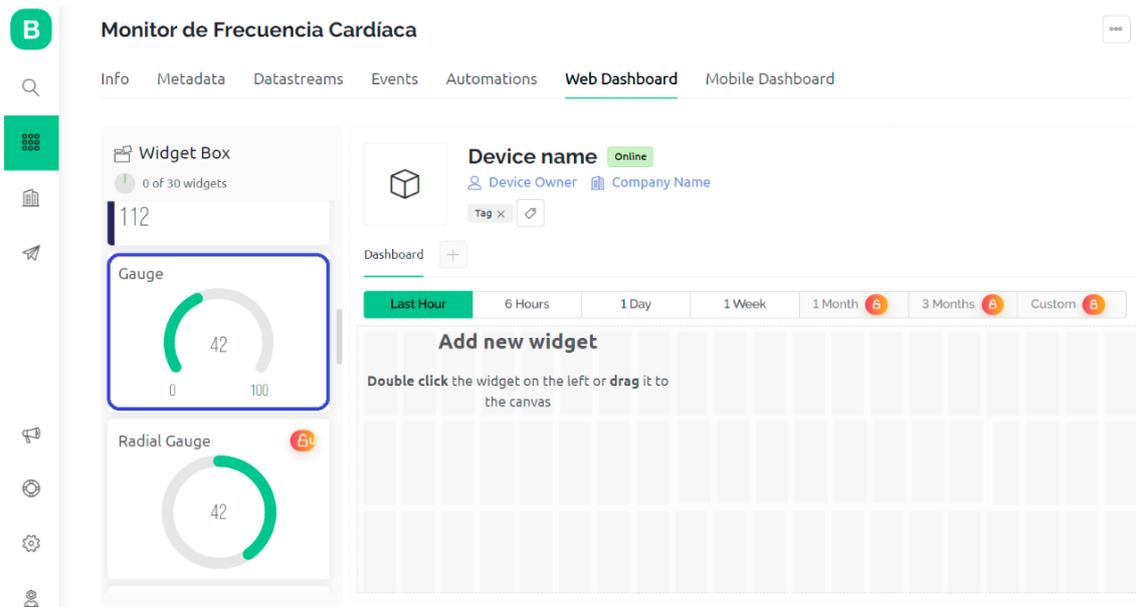


Virtual Pin Datastream

NAME		ALIAS	
	BPM	BPM	
PIN		DATA TYPE	
V10		Double	
UNITS			
None			
MIN	MAX	DECIMALS	DEFAULT VALUE
0	160	###	Default Value
+ ADVANCED SETTINGS			

Figura 3.19 Creación y configuración del pin virtual

La Figura 3.20 detalla la configuración del indicador destinado a la visualización del ritmo cardíaco. Para esto, se utilizó un indicador (*gauge*) que muestra una escala numérica que se actualiza en tiempo real con los datos enviados desde el microcontrolador. El indicador está vinculado a un pin virtual específico que se seleccionó previamente para este propósito.



Gauge Settings

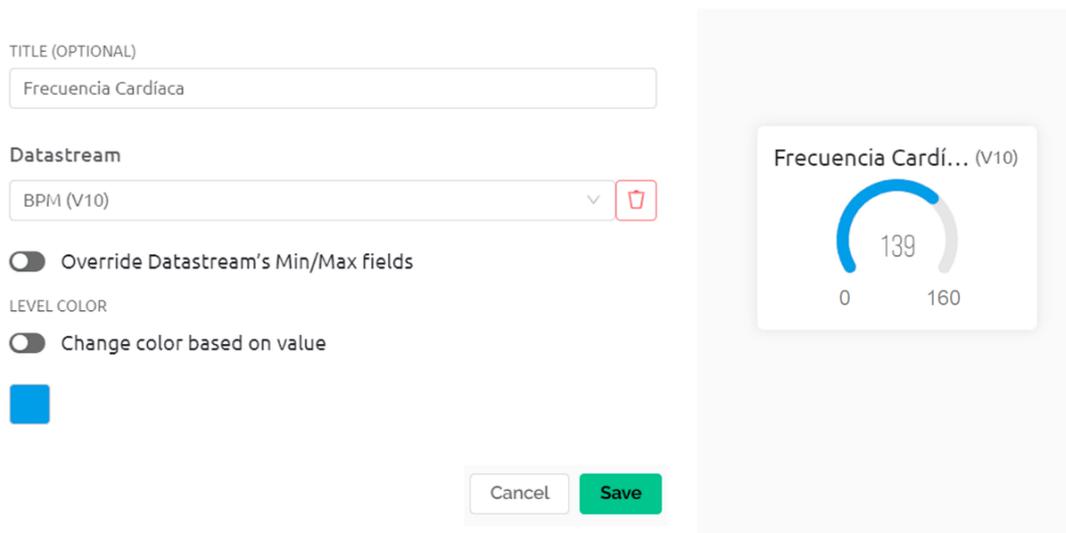


Figura 3.20 Selección y configuración del indicador en el panel *web*

Una vez terminada la plantilla, se procede a crear un nuevo dispositivo en base a la plantilla diseñada previamente, la cual fue nombrada como Monitor de Frecuencia Cardíaca. La creación del nuevo dispositivo se ilustra en la Figura 3.21.

New Device

Choose a way to create new device

From template



Scan QR code



Manual entry



+ Create a device by filling in a simple form

New Device

Create new device by filling in the form below

TEMPLATE

Monitor de Frecuencia Cardíaca ▼

DEVICE NAME

Monitor de Frecuencia Cardíaca

Figura 3.21 Creación de nuevo dispositivo

Al crear el nuevo dispositivo, Blynk genera unas credenciales únicas, tal como se observa en la Figura 3.22. Estas credenciales deben ser copiadas en el código de programación para poder conectar la aplicación con el NodeMCU-ESP8266.

```

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL3ywb2uml"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Monitor de Frecuencia
Cardíaca"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN
"8bpeu651EcEBvABY1v9csB9iQ72VYWPs"
```

Figura 3.22 Credenciales generadas por Blynk

Para crear y configurar la interfaz de usuario en el móvil, se ingresa en la aplicación, se selecciona el modo desarrollador y se escoge la plantilla creada anteriormente. La Figura 3.23 muestra dicho proceso.

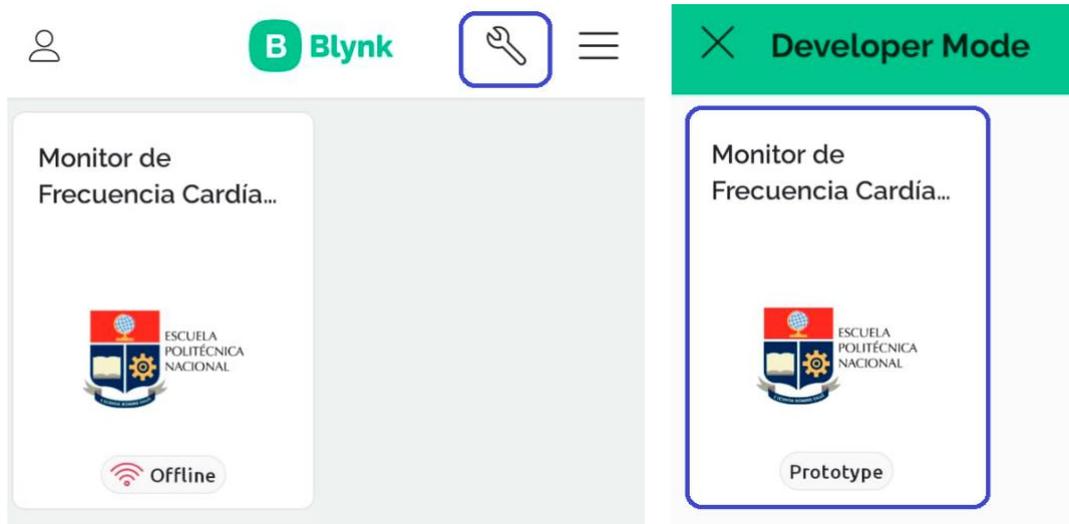


Figura 3.23 Selección de la plantilla creada anteriormente

Por último, se procede a la selección y configuración del indicador, tal como indica la Figura 3.24. Este se encargará de mostrar el ritmo cardíaco del paciente, permitiendo una visualización clara y precisa de los datos recopilados por el dispositivo a través de la plataforma Blynk.

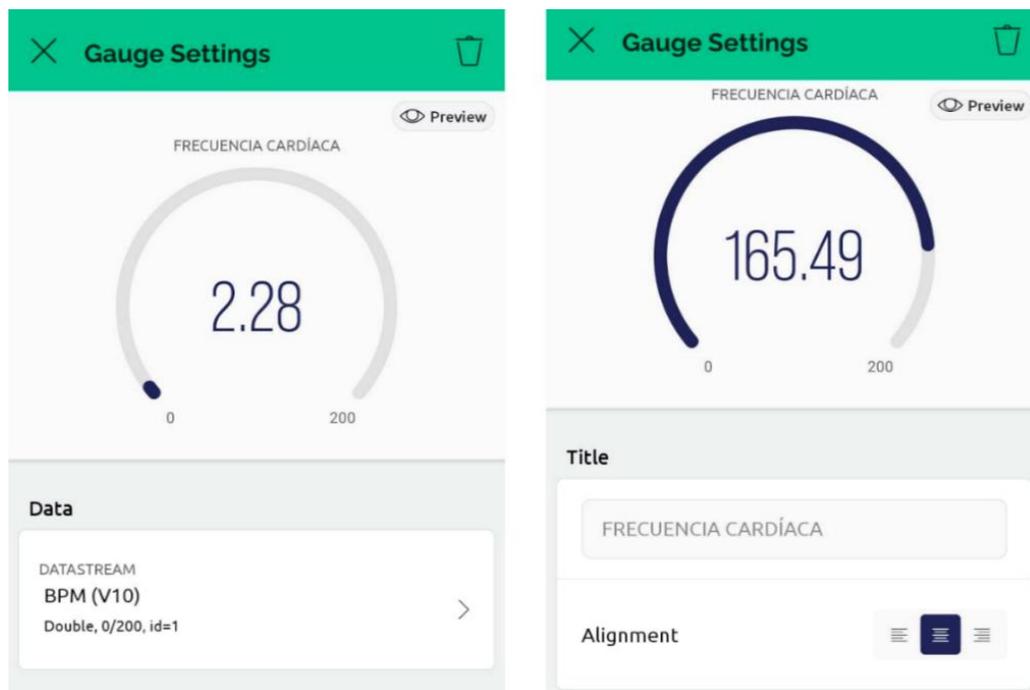


Figura 3.24 Selección y configuración del indicador en el panel móvil

Notificaciones (Alertas)

Para la creación de notificaciones, se ha utilizado la funcionalidad de automatizaciones de Blynk. Esta funcionalidad permite establecer condiciones personalizadas para la generación de notificaciones en función de los valores medidos por el sensor MAX30102. Para activar las automatizaciones, se debe activar las opciones de condición y acción, tal como se indica en la Figura 3.25.

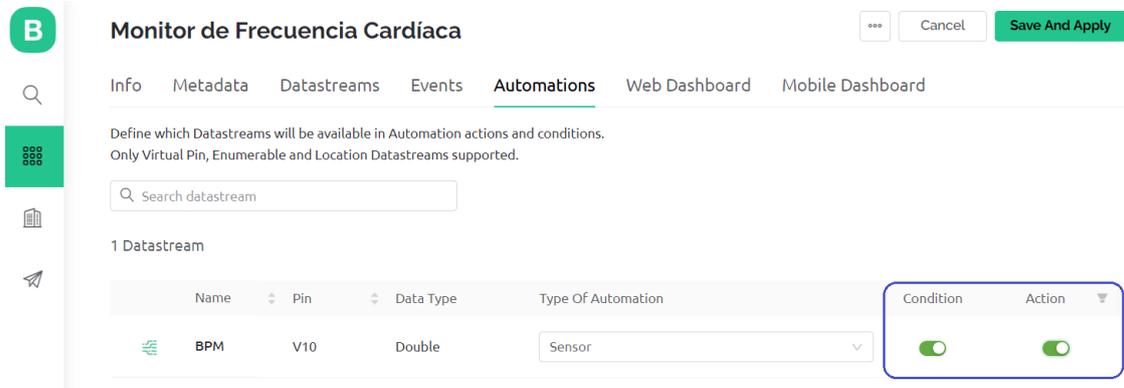


Figura 3.25 Activación de la automatización

La Figura 3.26 muestra la nueva opción que aparece en el menú izquierdo, en la cual se selecciona *Device State* (estado del dispositivo).

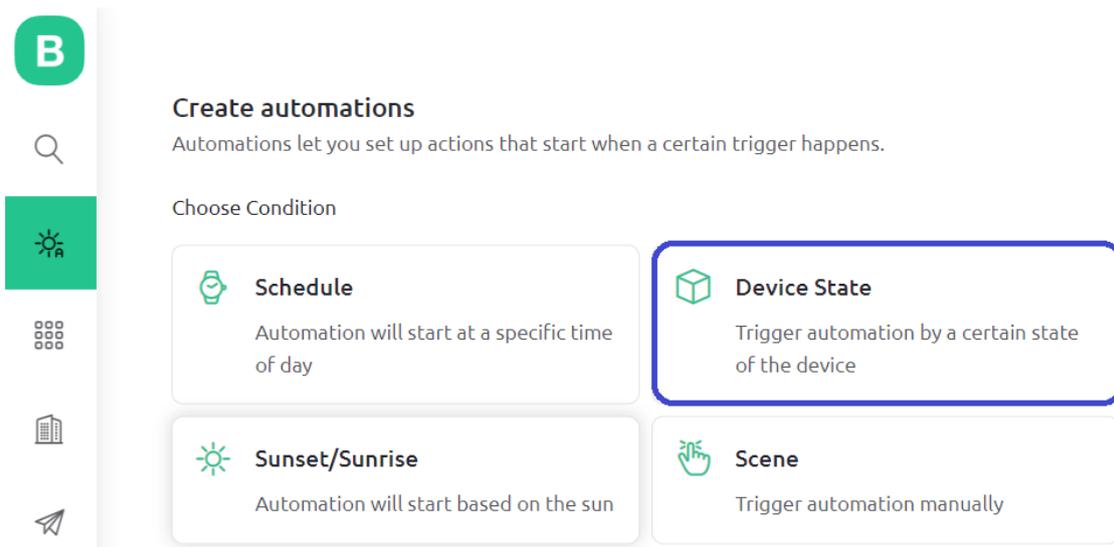


Figura 3.26 Selección del estado del dispositivo

Por último, las notificaciones se activan cuando el ritmo cardíaco se encuentra por debajo de 60 (bpm) y por encima de 100 (bpm), los cuales son valores irregulares en personas adultas mayores en estado de reposo. Las alertas serán enviadas a la

aplicación Blynk y por correo electrónico. En la Figura 3.27 se detallan las condiciones definidas para la activación de las alertas.

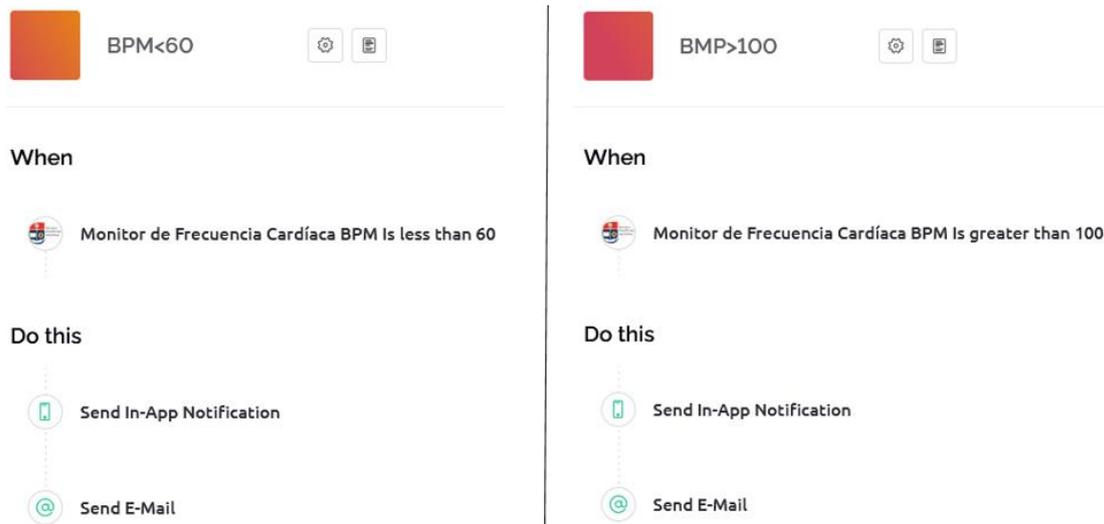


Figura 3.27 Establecimiento de las condiciones para la activación de las notificaciones

Programación del NodeMCU-ESP8266

El programa fue desarrollado y compilado en el IDE de Arduino. En la Figura 3.28 se detalla la primera parte del código, donde se establecieron los parámetros básicos de funcionamiento que permiten la correcta ejecución del código. Esto incluye la definición de variables y constantes que serán utilizadas a lo largo del programa, así como las librerías utilizadas, las cuales son esenciales para el uso de los dispositivos electrónicos requeridos en el proyecto.

```
// Credenciales para conectarse al servidor de Blynk
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL3ywb2uml"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Monitor de Frecuencia Cardíaca"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "8bpeu651EcEBvABY1v9csB9iQ72VYWPs"

#define BLYNK_PRINT Serial // Imprime objetos en el puerto serial

#include <Wire.h> // Para utilizar la comunicación I2C
#include "MAX30105.h" // Para controlar el sensor MAX30102
#include "heartRate.h" // Para calcular la Frecuencia Cardíaca

// Librerías para conectarse a la plataforma Blynk utilizando el módulo ESP8266
#include <Blynk.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
```

Figura 3.28 Definición de variables, funciones y librerías

Luego, en la Figura 3.29 se muestra cómo se utiliza la instancia del objeto *particleSensor* para interactuar con el sensor MAX30102. El sensor toma lecturas cada 4 (ms) y la envía al servidor Blynk a través de una conexión Wi-Fi.

```
MAX30105 particleSensor; // Se crea una instancia del objeto de la clase MAX30105 para comunicarse con el sensor.

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

//Credenciales de la red Wi-Fi
char ssid[] = "Brayan";
char pass[] = "123456789";

const byte RATE_SIZE = 4; // Constante que define el tamaño del array de Frecuencias Cardíacas para promediar las mediciones
byte rates[RATE_SIZE]; // Array que almacena las Frecuencias Cardíacas para promediar las mediciones
byte rateSpot = 0; // Variable que almacena la posición actual en el array de Frecuencias Cardíacas.
long ul = 0; // Tiempo último latido

//Definición de variables
float bpm;
int bpmPromedio;

unsigned long lastReadTime = 0; // Variable que almacena el tiempo en milisegundos
const unsigned long READ_INTERVAL = 400; // Intervalo de lectura en milisegundos
```

Figura 3.29 Credenciales para conectarse a la red Wi-Fi y al servidor Blynk

En la segunda sección del código se encuentra la función *void setup*, donde se realiza la configuración necesaria para garantizar que el sensor MAX30102 funcione correctamente antes de comenzar con la recopilación de datos, tal como se indica en la Figura 3.30. Primero, se inicia la comunicación serial para permitir la comunicación entre el microcontrolador y la computadora. Luego, se establece la conexión con el servidor Blynk y se verifica la conexión con el sensor MAX30102. Si la conexión no se establece, se imprime un mensaje de error en el monitor serial y se detiene el programa. Si la conexión es exitosa, el sensor se inicializa y comienza a recopilar datos, los cuales se envían al servidor Blynk.

```
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  Serial.println("Inicializando el sistema...");

  // Se verifica que se pueda comunicar con el sensor MAX30102 a través de la interfaz I2C
  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) // Usa el puerto I2C predeterminado y la velocidad de 400kHz
  {
    Serial.println("No se encuentra el sensor MAX30102. Compruebe las conexiones");
    while (1);
  }
  Serial.println("Conexión exitosa");

  particleSensor.setup(); // Configura el sensor con los ajustes predeterminados
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A); // Enciende el LED rojo para indicar que el sensor está en funcionamiento
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0); // Apaga el LED verde del sensor

  lastReadTime = millis(); // Inicializa lastReadTime
}
```

Figura 3.30 Función *void setup*

Finalmente, la tercera sección incluye la función *void loop*, que se muestra en la Figura 3.31. En este bloque de código se realiza la lectura del sensor de luz infrarroja y se ejecuta la condición para verificar si se ha detectado un latido. Si se detecta un latido, se calcula la frecuencia cardíaca utilizando el tiempo transcurrido desde el último latido, y se almacena en una matriz. Luego, se calcula la frecuencia cardíaca promedio y se envía al servidor Blynk para su visualización a través del pin virtual (V10). También se especifica un lapso de 4 (ms) para la obtención de datos, y se muestran los resultados de la medición en la pantalla del monitor serial.

```
void loop()
{
    long ledir = particleSensor.getIR(); //Se lee el valor del sensor de luz infrarroja

    Blynk.run();

    if (checkForBeat(ledir) == true) // Se verifica si se detectó un latido
    {
        // ¡Detectamos un latido!
        long a = millis() - ul; // Se calcula el tiempo transcurrido desde el último latido
        ul = millis();
        bpm = 60 / (a / 1000.0); // Se calcula la Frecuencia Cardíaca

        if (bpm < 250 && bpm > 15) // verifica que las lecturas esten en el rango adecuado
        {
            rates[rateSpot++] = (byte)bpm; // Almacena en el arreglo
            rateSpot %= RATE_SIZE; // Envuelve el índice

            // Calcula la Frecuencia Cardíaca promedio
            bpmpromedio = 0;
            for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
            | bpmpromedio += rates[x];
            bpmpromedio /= RATE_SIZE;
            Blynk.virtualWrite(V10, bpmpromedio);
        }
    }

    unsigned long currentTime = millis()
    // Lee los datos cada 4 milisegundos
    if (currentTime - lastReadTime >= READ_INTERVAL)
    {
        lastReadTime = currentTime;
        //Imprime la Frecuencia Cardíaca
        Serial.print("BPM: ");
        Serial.print(bpmpromedio);
        Serial.println();
    }
}
```

Figura 3.31 Función *void loop*

3.5 Pruebas de funcionamiento del prototipo

Para evaluar la confiabilidad del sistema, se efectuaron varias pruebas en diez intervalos de tiempo utilizando un pulsioxímetro comercial, como patrón y el prototipo desarrollado. Los resultados de las mediciones se detallan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resultados de las lecturas obtenidas

No. De Prueba	Horario (desde - hasta)	Pulsioxímetro comercial	Prototipo	Error [%]
1	13:00 - 13:30	78	77	1.28
2	18:30 - 19:00	60	58	3.33
3	10:00 - 10:30	64	66	3.13
4	10:30 - 11:00	81	78	3.7
5	11:00 - 11:30	87	90	3.45
6	11:30 - 12:00	120	120	0
7	14:00 - 14:30	90	92	2.22
8	14:30 - 15:00	59	62	5.08
9	15:00 - 15:30	85	80	5.88
10	15:30 - 16:00	70	67	4.29
Promedio	-	79.4	79	3.24

Las lecturas del ritmo cardíaco obtenidas por el pulsioxímetro comercial se muestran en la Figura 3.32, mientras que las lecturas obtenidas por el prototipo desarrollado se visualizan en la Figura 3.33.



Figura 3.32 Medición del ritmo cardíaco mediante un pulsioxímetro comercial

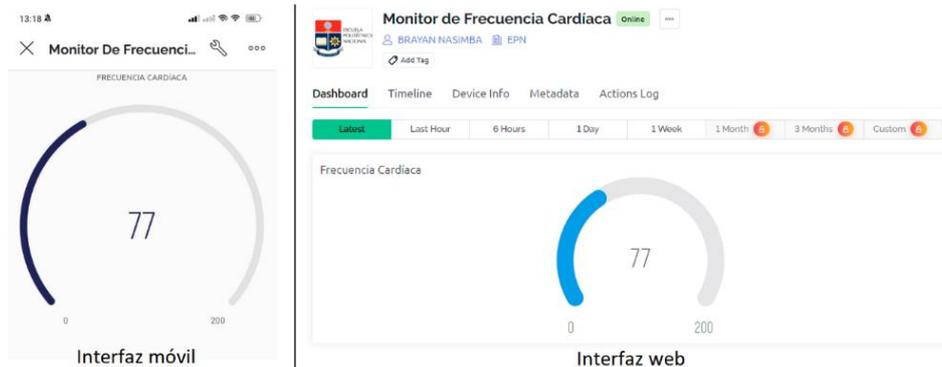


Figura 3.33 Medición del ritmo cardíaco mediante el prototipo desarrollado

La Figura 3.34 muestra la verificación de las notificaciones enviadas a la aplicación Blynk y al correo electrónico cuando se presentan niveles irregulares en el ritmo cardíaco del adulto mayor.



Figura 3.34 Verificación de notificaciones (alertas)

4 CONCLUSIONES

- El prototipo desarrollado para la monitorización del ritmo cardíaco en adultos mayores es una alternativa viable y tiene el potencial de mejorar significativamente la atención médica y la calidad de vida de esta población. Su diseño está centrado en la comodidad del usuario y cuenta con características útiles que lo convierten en una herramienta valiosa para monitorear la salud cardiovascular de los adultos mayores y prevenir enfermedades cardíacas graves.
- Gracias al diseño en 3D del prototipo se ha logrado una integración adecuada de los componentes en la prenda, lo que se traduce en una medición precisa y cómoda para el adulto mayor que lo usa.
- El diseño compacto y ligero de los dispositivos utilizados permite su integración en la prenda textil, lo que posibilita un monitoreo continuo y no invasivo del ritmo cardíaco. La prenda seleccionada es muy cómoda y no restringe las actividades

diarias del usuario, lo que permite que el dispositivo pueda utilizarse durante todo el día sin causar molestias.

- De acuerdo con las pruebas realizadas en 10 intervalos de tiempo, se concluye que el sistema desarrollado es capaz de medir el ritmo cardíaco de forma muy cercana a los valores medidos por un pulsioxímetro comercial utilizado como referencia, con un error máximo del 5.88%.

5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el alcance del sistema e-textil a otros parámetros de salud, como la presión arterial y la saturación de oxígeno en la sangre, para brindar una monitorización integral de la salud de los adultos mayores.
- Se recomienda realizar estudios de factibilidad financiera y de mercado para determinar la viabilidad de la comercialización del sistema e-textil y su posible implementación en otros contextos.
- La capacitación a los adultos mayores y a las personas que estén a cargo de ellos sobre el uso del sistema e-textil permitirá al usuario tomar las medidas necesarias en caso de recibir una alerta de anomalía en el ritmo cardíaco.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Echeverri *et al.*, “Órgano oficial de la COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL / INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE COMITÉ DE ARBITRAJE / REVIEW COMMITTEE EDITORES ASOCIADOS / ASSOCIATE EDITORS,” 2021. [Online]. Available: <http://publisher.rccar.permanyar.com>
- [2] “Construyendo e-textiles para comercialización y escala – AAQCT.” <https://aaqct.org.ar/construyendo-e-textiles-para-comercializacion-y-escala/> (accessed Feb. 24, 2023).
- [3] “Fibras e hilos conductores para textiles inteligentes - Bekaert.com.” <https://www.bekaert.com/es-mx/productos/materiales-basicos/productos-textiles/fibras-e-hilos-conductores-para-textiles-inteligentes> (accessed Feb. 24, 2023).

- [4] “¿Qué son los e-textiles y los wearables? - Campus Tecnológico.”
<https://campustecnologicovirtual.es/blogs/que-son-los-e-textiles-y-los-wearables-12> (accessed Feb. 24, 2023).
- [5] “Palpitaciones cardíacas: MedlinePlus enciclopedia médica.”
<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003081.htm> (accessed Feb. 24, 2023).
- [6] “Frecuencia cardíaca: ¿Qué es una frecuencia cardíaca normal?”
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/291182#frecuencia-cardiaca-normal-en-reposo> (accessed Feb. 24, 2023).
- [7] “¿Qué Es Y Para Qué Sirve La Fotopletismografía? - PulsómetroSinBanda.com.”
<https://www.pulsometrosinbanda.com/que-es-para-que-sirve-la-fotopletismografia/> (accessed Feb. 24, 2023).
- [8] P. Fin De Carrera, “Equation Chapter 1 Section 1.”
- [9] “Pulsímetro y oxímetro con Arduino y MAX30102 – Electrogeek.”
<https://www.electrogeekshop.com/pulsimetro-y-oximetro-con-arduino-y-max30102/> (accessed Feb. 24, 2023).
- [10] “Interfacing MAX30102 Pulse Oximeter and Heart Rate Sensor with Arduino.”
<https://lastminuteengineers.com/max30102-pulse-oximeter-heart-rate-sensor-arduino-tutorial/> (accessed Feb. 24, 2023).
- [11] “NodeMCU, Todo sobre esta Plataforma para IOT de código abierto.”
<https://descubrearduino.com/nodemcu/> (accessed Feb. 24, 2023).
- [12] “NodeMCU v2 ESP8266 WiFi.” <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html> (accessed Feb. 24, 2023).
- [13] “Dialnet-TecnologiasParaRedesLanInalambricas-2967488”.
- [14] “OFIMÁTICA II: LAS REDES INLAMBRICAS.”
<https://ofimaticaiiutb.blogspot.com/2017/11/las-redes-inlambricas.html> (accessed Feb. 21, 2023).
- [15] “Terminología y explicaciones inalámbricas de IEEE 802.11. | Dell Perú.”
<https://www.dell.com/support/kbdoc/es-pe/000150398/terminolog%C3%ADa-y-explicaciones-de-ieee-802-11-wireless> (accessed Feb. 24, 2023).

- [16] J. Salazar, "REDES INALÁMBRICAS." [Online]. Available: <http://www.techpedia.eu>
- [17] A. H. Mohd Aman, W. H. Hassan, S. Sameen, Z. S. Attarbashi, M. Alizadeh, and L. A. Latiff, "IoT amid COVID-19 pandemic: Application, architecture, technology, and security," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 174. Academic Press, Jan. 15, 2021. doi: 10.1016/j.jnca.2020.102886.
- [18] "Blynk, plataforma de internet de las cosas en la red. - Tecnología Humanizada." <https://humanizationoftechnology.com/blynk-plataforma-de-internet-de-las-cosas-en-la-red/revista/2018/volumen-4-2018/11/2018/> (accessed Feb. 24, 2023).
- [19] H. Durani, M. Sheth, M. Vaghasia, and S. Kotech, "Smart Automated Home Application using IoT with Blynk App," in *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2018*, Sep. 2018, pp. 393–397. doi: 10.1109/ICICCT.2018.8473224.
- [20] "Vestuario del adulto mayor: seguridad y comodidad | UPB." <https://www.upb.edu.co/es/noticias/vestuario-adulto-mayor> (accessed Feb. 26, 2023).
- [21] "▷ Qué es mejor Algodón o Poliéster Diferencias Ventajas Desventajas <◁." <https://worko.es/blog/algodon-o-poliester-diferencias-ventajas-desventajas/> (accessed Feb. 26, 2023).
- [22] "¿cómo funciona la tecnología WiFi? Ventajas e Inconvenientes de su uso ~ TecnoBlog | Espacio de Tecnología." <https://www.tecnoblog.guru/2021/07/como-funciona-la-tecnologia-wifi-ventajas-inconvenientes.html> (accessed Feb. 26, 2023).
- [23] "¿Qué diferencias hay entre una Li-Po y una Li-Ion? - 330ohms." <https://blog.330ohms.com/2020/06/22/que-diferencias-hay-entre-una-li-po-y-una-li-ion/> (accessed Feb. 26, 2023).
- [24] "Arduino MKR1000 Wi-Fi Board Pinout, Features & Datasheet." <https://components101.com/microcontrollers/arduino-mkr1000-wi-fi-board> (accessed Feb. 22, 2023).
- [25] "▷ Modelos de placas Arduino. Comparativa, características, comprar." <https://paraarduino.net/modelos-de-placas-arduino> (accessed Feb. 22, 2023).

- [26] "NodeMCU ESP8266 Pinout, Specifications, Features & Datasheet." <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet> (accessed Feb. 22, 2023).
- [27] "ESP8266EX Datasheet," 2015, Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: <http://bbs.espressif.com/>
- [28] "ESP32 DevKitC Pinout, Overview, Features & Datasheet." <https://components101.com/microcontrollers/esp32-devkitc> (accessed Feb. 22, 2023).
- [29] "ESP32 Series Datasheet Including," 2018, Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/ESP32%20Datasheet.pdf
- [30] F. De *et al.*, "UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de Comunicación."
- [31] "Difference between Max30100 and Max30102 Sensor?" <https://www.hnhcart.com/blogs/sensors-modules/a> (accessed Feb. 26, 2023).
- [32] "WORLD FAMOUS ELECTRONICS llc", Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: www.pulsesensor.com
- [33] "IDE Arduino | Aprendiendo Arduino." <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/> (accessed Feb. 26, 2023).
- [34] "Software | Arduino." <https://www.arduino.cc/en/software> (accessed Feb. 26, 2023).
- [35] "Primeros pasos con los dispositivos de IoT DIY simples de Blynk / Bricolaje | ¡Noticias del mundo de la tecnología moderna!" <https://es.ephesossoftware.com/articles/diy/getting-started-with-blynk-simple-diy-iot-devices.html> (accessed Feb. 26, 2023).
- [36] "Get started with Blynk." <https://blynk.io/getting-started> (accessed Feb. 26, 2023).
- [37] "Blynk Community - Join the most popular IoT platform to connect your devices to the cloud, design apps to control them, and manage your deployed products at scale." <https://community.blynk.cc/> (accessed Feb. 26, 2023).

- [38] “Blynk: precios, funciones y opiniones | GetApp España 2023.”
<https://www.getapp.es/software/123247/blynk> (accessed Feb. 26, 2023).
- [39] “Ubidots STEM: precios, funciones y opiniones | GetApp España 2023.”
<https://www.getapp.es/software/2059488/ubidots> (accessed Feb. 26, 2023).
- [40] “ThingSpeak: precios, funciones y opiniones | GetApp España 2023.”
<https://www.getapp.es/software/2035067/thingspeak> (accessed Feb. 26, 2023).
- [41] R. Simbaña, “Implementación de prototipos de sistemas de alerta basados en comunicación inalámbrica : Implementación de un prototipo de sistema de alerta por detección de cambios de temperatura”, Quito : EPN, 2022., 2022.
- [42] “¿Qué es proteus?” <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html> (accessed Feb. 26, 2023).
- [43] “enerxia.net - ELECTRONICA: PROTEUS (ARES e ISIS) simulador digital y analógico.”
https://www.enerxia.net/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=406:electronica-proteus-simulador-digital-y-analogico&catid=61&Itemid=142
 (accessed Feb. 26, 2023).
- [44] “Bateria Lipo Rectangular 3.7v 500mah”, Com.ec. [En línea]. Disponible en:
https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517628025-bateria-lipo-rectangular-37v-500mah-_JM. (accessed Feb. 26, 2023).
- [45] “ESTUDIO DE CALIDAD”, Gob.mx. [Online]. Available:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100443/RC440_Laboratorio_Profeco_Pulsometros.pdf. (accessed Feb. 26, 2023).
- [46] L. F. Varela Pinedo, “Salud y calidad de vida en el adulto mayor”, Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica, vol. 33, núm. 2, p. 199, 2016.
- [47] “Frecuencia cardíaca y ejercicio”, Medlineplus.gov. [Online]. Available:
https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/18138.htm. (accessed Feb. 26, 2023).

7 ANEXOS

La lista de los **Anexos** se muestra a continuación:

ANEXO I. Certificado de originalidad

ANEXO II. Enlaces

ANEXO III. Conjunto de datos extensos

ANEXO I: Certificado de Originalidad

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, D.M. 2 de marzo de 2023

De mi consideración:

Yo, ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA E-TEXTIL ORIENTADO AL MONITOREO DEL RITMO CARDÍACO DEL ADULTO MAYOR elaborado por el estudiante BRAYAN EDUARDO NASIMBA ANCHAPAXI de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN REDES Y TELECOMUNICACIONES, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito completo, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 16%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el link del informe generado por la herramienta Turnitin.

LINK: [TIC_Nasimba Anchapaxi Brayan Eduardo](#)

Atentamente,

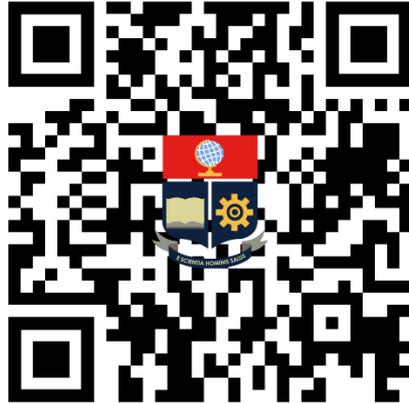


ANDRÉS FERNANDO REYES CASTRO

Docente

Escuela de Formación de Tecnólogos

ANEXO II: Enlaces



Anexo II.I Código QR de la implementación y pruebas de funcionamiento

Enlace para descargar el vídeo:

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/brayan_nasimba_epn_edu_ec/EU7x96OjGKBDri9eDoVUCfkBjSYkh6A0vz_wtC8vxgKprg?e=pncr6j

ANEXO III: Códigos Fuente

```
// Credenciales para conectarse al servidor de Blynk
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL3ywb2uml"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Monitor de Frecuencia Cardíaca"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "8bpeu651EcEBvABY1v9csB9iQ72VYWPs"
#define BLYNK_PRINT Serial // Imprime objetos en el puerto serial

#include <Wire.h> // Para utilizar la comunicación I2C
#include "MAX30105.h" // Para controlar el sensor MAX30102
#include "heartRate.h" // Para calcular la Frecuencia Cardíaca

// Librerías para conectarse a la plataforma Blynk utilizando el módulo ESP8266
#include <Blynk.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

MAX30105 particleSensor; // Se crea una instancia del objeto de la clase MAX30105
para comunicarse con el sensor.

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

//Credenciales de la red Wi-Fi
char ssid[] = "Brayan";
char pass[] = "123456789";

const byte RATE_SIZE = 4; // Constante que define el tamaño del array de Frecuencias
Cardíacas para promediar las mediciones

byte rates[RATE_SIZE]; // Array que almacena las Frecuencias Cardíacas para
promediar las mediciones

byte rateSpot = 0; // Variable que almacena la posición actual en el array de Frecuencias
Cardíacas.

long ul = 0; // Tiempo último latido
```

```

//Definición de variables

float bpm;

int bpmpromedio;

unsigned long lastReadTime = 0; // Variable que almacena el tiempo en milisegundos
const unsigned long READ_INTERVAL = 400; // Intervalo de lectura en milisegundos

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  Serial.println("Inicializando el sistema...");

  // Se verifica que se pueda comunicar con el sensor MAX30102 a través de la interfaz
  I2C

  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) // Usa el puerto I2C
  predeterminado y la velocidad de 400kHz
  {
    Serial.println("No se encuentra el sensor MAX30102. Compruebe las conexiones");
    while (1);
  }
  Serial.println("Conexión exitosa");
  particleSensor.setup(); // Configura el sensor con los ajustes predeterminados
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A); // Enciende el LED rojo para indicar que
  el sensor está en funcionamiento
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0); // Apaga el LED verde del sensor
  lastReadTime = millis(); // Inicializa lastReadTime
}

void loop()
{
  long ledir = particleSensor.getIR(); //Se lee el valor del sensor de luz infrarroja
  Blynk.run();
}

```

```

if (checkForBeat(ledir) == true) // Se verifica si se detectó un latido
{
    // ¡Detectamos un latido!
    long a = millis() - ul; // Se calcula el tiempo transcurrido desde el último latido
    ul = millis();
    bpm = 60 / (a / 1000.0); // Se calcula la Frecuencia Cardíaca
    if (bpm < 250 && bpm > 15) // Verifica que las lecturas estén en el rango adecuado
    {
        rates[rateSpot++] = (byte)bpm; // Almacena en el arreglo
        rateSpot %= RATE_SIZE; // Envuelve el índice

        // Calcula la Frecuencia Cardíaca promedio
        bpmpromedio = 0;
        for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
            bpmpromedio += rates[x];
        bpmpromedio /= RATE_SIZE;
        Blynk.virtualWrite(V10, bpmpromedio);
    }
}

unsigned long currentTime = millis();
// Lee los datos cada 4 milisegundos
if (currentTime - lastReadTime >= READ_INTERVAL)
{
    lastReadTime = currentTime;
    //Imprime la Frecuencia Cardíaca
    Serial.print("BPM: ");
    Serial.print(bpmpromedio);
    Serial.println();
}
}

```