



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

**Implementación de accesorios para una silla de ruedas que permitirán el
monitoreo de signos vitales aplicando redes de sensores.**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

Autor:

Haro Valle, Juan Mauricio

Tutor:

MSc. Jose Luis, Jinez Tapia

Riobamba, Ecuador. 2023

DECLARATORIA DE AUTORIA

Yo, Juan Mauricio Haro Valle, con cédula de ciudadanía 060406059-0, autor del trabajo de investigación titulado: IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIOS PARA UNA SILLA DE RUEDAS QUE PERMITIRÁN EL MONITOREO DE SIGNOS VITALES APLICANDO REDES DE SENSORES, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Así mismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 31 de octubre del 2023.



Juan Mauricio Haro Valle

C.I: 060406059-0



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 17 días del mes de octubre del 2023, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Juan Mauricio Haro Valle** con CC: **0604060590**, de la carrera **Ingeniería en Telecomunicaciones** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIOS PARA UNA SILLA DE RUEDAS QUE PERMITIRÁN EL MONITOREO DE SIGNOS VITALES APLICANDO REDES DE SENSORES"**, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Firmado electrónicamente por:
JOSE LUIS JINEZ
TAPIA

Ing. José Luis Jinez Tapia MSc.
TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Implementación de accesorios para una silla de ruedas que permitirán el monitoreo de signos vitales aplicando redes de sensores**, presentado por **Juan Mauricio Haro Valle**, con cédula de identidad número **0604060590**, bajo la tutoría de **Mg. Jose Luis Jinez Tapia**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 31 de octubre de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. **Ciro Diego Radicelli Garcia**

Firma



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. **Luis Patricio Tello Oquendo**

Firma



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. **Manuel Antonio Meneses Freire**

Firma





CERTIFICACIÓN

Que, **Haro Valle Juan Mauricio** con CC: **0604060590**, estudiante de la Carrera **Ingeniería en Telecomunicaciones**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIOS PARA UNA SILLA DE RUEDAS QUE PERMITIRÁN EL MONITOREO DE SIGNOS VITALES APLICANDO REDES DE SENSORES**", cumple con el **4%** de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 31 de octubre de 2023



Firmado electrónicamente por:
**JOSE LUIS JINEZ
TAPIA**

Mgs. Jose Luis Jinez Tapia
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Dedicada en especial a mi familia Haro Burgos y en especial a mi esposa María Auxiliadora Burgos que siempre estuvo a mi lado compartiendo las experiencias y alentándome a seguir adelante, en especial a mi esposa que a pesar de las circunstancias que se presentan en la vida, ha confiado en mí y he tenido el apoyo en cada momento, siendo mis fortalezas y mi fuerza para poder concluir con una meta más en el campo profesional.

Y a mi familia Haro Valle que con su aliento compartido han hecho que siga con el mismo entusiasmo en el proceso Universitario.

Juan Mauricio Haro Valle

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a la directora de Carrera y sus mentores por haberme brindado la oportunidad de poder pertenecer a la Universidad Nacional de Chimborazo, y permitir formarme en tan distinguida institución, compartiendo los conocimientos necesarios para mi futuro que servirán para afrontar la vida profesional.

A los docentes que se tomaron el tiempo adecuado para compartir sus habilidades profesionales en cada materia impartida, los cuales han hecho que tenga una mejor visión de resultados y soluciones en el campo profesional.

Un agradecimiento especial a mi tutor de Proyecto de Investigación Mgs. Jose Jinez, y a los docentes Revisores PhD. Ciro Radicelli, PhD. Luis Tello y PhD. Antonio Meneses, quienes han sido un pilar fundamental, colaborándome en cada instante del proceso de la etapa de Titulación, guiándome y compartiendo las pautas necesarias para lograr finalizar con excelencia mi Trabajo Final de Titulación.

Juan Mauricio Haro Valle

INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA

ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I	14
1. Introducción	14
1.1 Planteamiento del Problema	15
1.2 Justificación	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 General	17
1.3.2 Específicos	18
CAPÍTULO II.....	18
2. Fundamentación Teórica.....	18
2.1 La Discapacidad del Ser Humano	18
2.2 Los Signos Vitales	19
2.3 Tetraparesia Espástico(a)	20
2.4 Factores de Riesgo en la Salud	20
2.5 Tipos de Signos Vitales Medibles en el Cuerpo Humano	20
2.5.1 Medición de la temperatura corporal	20
2.5.2 Medición de la Frecuencia Cardíaca	21
2.5.3 Saturación de Oxígeno en la Sangre	21
2.6 Internet de las Cosas (IoT)	21
2.7 Wi-fi.....	22
2.8 Red de Área Extendida de Baja Potencia (LPWAN).....	22
2.9 Tecnología LoRa (Long Range)	23
2.10 Protocolo LoRaWAN.....	23
2.10.1 Clases de Dispositivos Finales	24
2.10.2 Tasa de Transferencia.....	25
2.10.3 Seguridad.....	25
2.10.4 Frecuencia de Trabajo	25
2.11 Hardware Heltec Wi-Fi Lora 32 V2	26

2.12	Servidor de Red LoRaWAN	27
CAPÍTULO III		27
3.	Metodología	27
3.1	Tipos y Diseño de la Investigación	27
3.2	Métodos y Técnicas de Investigación	28
3.2.1	Método Investigativo Científico.....	28
3.2.2	Método Investigativo Experimental	28
3.3	Fuentes de Información.....	28
3.4	Instrumentos de la Investigación	29
3.4.1	Observación Directa.....	29
3.4.2	Análisis de Documentos.....	29
3.5	Técnicas de Investigación	29
3.5.1	Prueba y Error	29
3.6	Operacionalización de las Variables Independientes y Dependientes.....	29
3.7	Procedimiento y Análisis	30
3.7.1	Sensor de Temperatura Corporal LMX90614.....	32
3.7.2	Sensor de Oximetría y Ritmo Cardíaco MAX30100	32
3.7.3	Gateway HT-M00 LoRaWAN	33
3.8	Desarrollo de la Propuesta	35
3.8.1	Instalación de Librerías	35
3.8.2	Instalación y configuración del Gateway LoRaWAN HT-M00	40
3.8.3	Conexión y configuración de sensores al nodo Wifi Lora 32 V2	42
3.8.4	Conectividad y envío de datos LoRaWAN del dispositivo final hacia el Servidor de Red The Things Stack (TTS)	46
3.8.5	Interfaz de Usuario Node-Red.....	52
3.8.6	Arquitectura del sistema de comunicación inteligente IoT LoRaWAN	57
CAPÍTULO IV		59
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1	Prueba y resultado del nodo con Modulo Wifi LoRa 32 v2	59
4.1.1	Resultados con el servidor de The Things Stack.....	60
4.1.2	Resultado del monitoreo de signos vitales en la Interfaz de Usuario.....	61
4.2	Resultados Estadísticos	62
4.2.1	Prueba de Normalidad	66
4.2.2	Prueba de Hipótesis	67
CAPÍTULO V.....		71
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1	Conclusiones	71
5.2	Recomendaciones	72
6.	Bibliografía	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Banda de Frecuencias de LoRa licenciadas [18]</i>	23
Tabla 2: <i>Operacionalización de las variables. Fuente: Autor</i>	29
Tabla 3: <i>Arquitecturas de los sistemas IoT utilizados para medir constantes fisiológicas. Fuente: Autor</i>	30
Tabla 4: <i>Rangos de frecuencia de trabajo de la red LoRaWAN</i>	34
Tabla 5: <i>Datos censados del monitoreo de signos vitales en el nodo Wifi LoRa 32 v2 y en el dispositivo médico comercial.</i>	63
Tabla 6: <i>Resultados de la Prueba de Normalidad del monitoreo de signos vitales.</i>	67
Tabla 7: <i>Resultados de la Prueba de Wilcoxon para la Frecuencia Cardíaca y SpO2</i>	68
Tabla 8: <i>Resultados de la Prueba Estadística para la Temperatura Corporal con el ECM</i>	70

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Componentes en un Ecosistema IoT [13].</i>	22
<i>Figura 2: Arquitectura de la Red LoRaWAN [19].</i>	24
<i>Figura 3: Modulo Wifi LoRa 32 v2 con la antena para el Radio LoRa[23].</i>	26
<i>Figura 4: Arquitectura del Sistema IoT[27].</i>	31
<i>Figura 5: Arquitectura del Sistema IoT [28].</i>	31
<i>Figura 6: Diagrama Funcional del Sistema de IoT[29].</i>	31
<i>Figura 7: Sensor Infrarrojo de Temperatura LMX90614 [31].</i>	32
<i>Figura 8: Sensor MAX30100 en comparación con el tamaño de 1 sol[33].</i>	33
<i>Figura 9: Funcionamiento de HbO2 y Hb al colocar el dedo [32].</i>	33
<i>Figura 10: Gateway LoRaWAN de Heltec HT-M00 de doble canal [34].</i>	34
<i>Figura 11: Ventana de Preferencias-Arduino IDE. Fuente: Autor.</i>	35
<i>Figura 12: URL de la librería Heltec ESP32 v0.0.7. Fuente: Autor.</i>	35
<i>Figura 13: Selección de Gestor de Tarjetas en Arduino. IDE Fuente: Autor.</i>	36
<i>Figura 14: Instalación de librería Heltec ESP32. Fuente: Autor.</i>	36
<i>Figura 15: Selección para Administrar Bibliotecas. Fuente: Autor.</i>	36
<i>Figura 16: Instalación de la librería para el sensor MAX30100. Fuente: Autor.</i>	37
<i>Figura 17: Instalación de la librería para el sensor MLX90614. Fuente: Autor.</i>	37
<i>Figura 18: Instalación de la librería U8g2 para pantalla OLED Fuente: Autor.</i>	38
<i>Figura 19: Descarga de la librería ESP32_LoRaWAN. Fuente: Autor.</i>	38
<i>Figura 20: Añadir biblioteca por medio de archivo ZIP. Fuente: Autor.</i>	39
<i>Figura 21: Selección e instalación del archivo ZIP que contiene la librería ESP32_loRaWAN Fuente: Autor.</i>	39
<i>Figura 22: Instalación de la Librería Cayenne. Fuente: Autor.</i>	40
<i>Figura 23: Datos para autenticación del Gateway HT-M00. Fuente: Autor.</i>	40
<i>Figura 24: Parámetros de configuración del gateway LoRaWAN HT-M00 Fuente: Autor.</i>	41
<i>Figura 25: (a) Gateway HT-M00 conectándose al wifi (b) Gateway HT-M00 conectado al wifi (c) Gateway HT-M00 entregando información de Recepción y Envío de Datos. Fuente: Autor.</i>	42
<i>Figura 26: Diagrama de Conexión del Nodo Final con Sensores. Fuente: Autor.</i>	43
<i>Figura 27: Modificación del tiempo de lectura de datos del sensor MAX30100. Fuente: Autor.</i>	44
<i>Figura 28. Creación de Variables Float para sensor max30100. Fuente: Autor.</i>	44
<i>Figura 29: Descifrado de datos del sensor MAX30100. Fuente: Autor.</i>	45
<i>Figura 30: Impresión de los datos de ritmo cardiaco y SpO2. Fuente: Autor</i>	45
<i>Figura 31: Configuración de la pantalla OLED Fuente: Autor</i>	46
<i>Figura 32: Anadir librería y estanciar al sensor MLX90614. Fuente: Autor.</i>	46
<i>Figura 33: Registro del Gateway HT-M00 en la plataforma TTS. Fuente: Autor.</i>	47
<i>Figura 34: Estado del Gateway HT-M00 a espera de alguna conexión. Fuente: Autor. ..</i>	48
<i>Figura 35: Crear aplicación en servidor TTS. Fuente: Autor.</i>	48
<i>Figura 36: Selección del tipo de dispositivo final en el servidor TTS. Fuente: Autor.</i>	49

Figura 37: Generación de DevEUI, AppEUI y AppKey en el servidor TTS para el nodo final. Fuente: Autor.....	49
Figura 38: ChipID del Módulo Wifi LoRa 32 v2. Fuente: Autor.....	50
Figura 39: Licencia de Wifi Lora 32 v2 Fuente: Autor	50
Figura 40: Licencia agregada en Arduino IDE. Fuente: Autor.	50
Figura 41: Frecuencia del Canal-funcionamiento. [45].	51
Figura 42: Configuración de la segunda banda de canales de AU-915 Fuente: Autor	52
Figura 43: Verificación de conexión entre el nodo y el servidor TTS. Fuente: Autor.	52
Figura 44: Envío de datos al servidor TTS mediante la librería CayenneLPP.h. Fuente: Autor.	53
Figura 45: Selección de Cayenne en servidor de Red TTS. Fuente: Autor.	53
Figura 46: API KEY de la aplicación de TTS Fuente: Autor.....	54
Figura 47: Página Oficial de Node-Red Fuente: Autor.....	54
Figura 48: Ejecución y dirección IP del servidor Node-Red Fuente: Autor.....	55
Figura 49: Configuración para conexión de Node-Red con The Things Stack Fuente: Autor.....	55
Figura 50: Configuración del bucle Function en Node-Red Fuente: Autor.....	56
Figura 51: Configuración del bloque Gauge en Node-Red Fuente: Autor.....	57
Figura 52: Topología del sistema de Comunicación IoT LoRaWAN. Fuente: Autor.....	57
Figura 53: Prueba de lectura de datos del nodo Wifi LoRa 32 v2 con sensores. Fuente: Autor.....	59
Figura 54: Lectura y envío de datos a la Interfaz de Usuario con Dispositivo implementado. Fuente: Autor	60
Figura 55: Conexión para recepción y envío de datos en TTS mediante el Gateway Fuente: Autor.....	61
Figura 56: Resultados de datos enviados del nodo hacia el servidor TTS Fuente: Autor	61
Figura 57: Información receptada en Node-Red que fue censada por el nodo Fuente: Autor.....	62
Figura 58: (a)Distribución los datos de frecuencia cardiaca en gráfica de caja (b)Distribución de los datos de SpO2 en grafica de caja. Fuente: Autor.	68
Figura 59: Distribución de los datos de Temperatura Corporal en gráfica de caja. Fuente: Autor.....	70

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general ejecutar la implementación de accesorios para una silla de ruedas que permitirán el monitoreo de signos vitales aplicando redes de sensores. Con el propósito para mejorar los procesos existentes en la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay” en el censado de las fundamentales constantes fisiológicas en la persona que padece con la discapacidad de Tetraparesia Espástica y así, evitar la manipulación, por medio del uso de tecnologías inalámbricas como LoRaWAN, y poder movilizarlo sin ningún problema dentro del área mencionada.

Para lo cual, con una investigación experimental y científica se elabora la topología y direccionamiento adecuada por medio de tecnologías inalámbricas, seleccionando sensores capaces de censar en el cuerpo humano la temperatura, frecuencia cardiaca y nivel de oxigenación en la sangre por medio de un módulo microcontrolador Wifi LoRa 32 v2, y transmitir estos datos usando la tecnología LoRaWAN en la banda de frecuencia de 2.4GHz hacia el internet para visualizarlos en un computador cualquiera dentro de la Unidad Educativa Carlos Garbay.

Con la finalidad de determinar la viabilidad del estudio, se eligió una muestra aleatoria de 5 personas que padecen de tetraparesia espástica, de una población total de 300 personas discapacitadas, registrando 125 datos por persona, en 5 días, por cada 2 horas, para las variables de temperatura, frecuencia cardiaca y nivel de oxigenación en la sangre. Estos datos recompilados se compararon mediante análisis estadísticos, de los dispositivos médicos existentes en el mercado que censan los signos vitales de manera individual y manual con el dispositivo implementado en la presente investigación que censa los signos vitales de manera conjunta y en forma automática cada periodo de tiempo. A su vez, se evaluaron los efectos que tiene la ejecución de la tecnología LoRaWAN en el campo de la salud del ser humano. Evidenciándose resultados efectivos en la comunicación de la red IoT propuesta.

Finalmente, los resultados obtenidos se evidencian que el dispositivo es adecuado para trabajar en el entorno de la medición de constantes fisiológicas en pacientes con Tetraparesia Espástica que se encuentran en silla de ruedas sin perder la comunicación y funcionalidad del dispositivo. Logrando tener un control del estado de la salud del estudiante por el docente tratante y poder registrarlos y observarlos desde cualquier sitio dentro de la Unidad Educativa Especializada Carlos Garbay en la interfaz de usuario creada. Cumpliendo los objetivos propuestos en la investigación.

Palabras claves: IoT, LoRaWAN, Monitoreo de Signos Vitales, Wifi LoRa 32 v2.

ABSTRACT

The main objective of this research study was to implement accessories for a wheelchair that will allow the monitoring of vital signs by applying sensor networks. With the purpose to improve the existing processes in the Unidad Educativa Especializada "Carlos Garbay" in the census of the fundamental physiological constants in the person who suffers from the disability of Spastic Tetraparesis and thus, to avoid manipulation, using the use of wireless technologies as LoRaWAN, and to be able to mobilize it without any problem inside the mentioned area. , with experimental and scientific research, the topology and appropriate addressing using wireless technologies is elaborated, selecting sensors able to census in the human body the temperature, heart rate, and level of oxygenation in the blood using a microcontroller module Wifi LoRa 32 v2, and to transmit these data using the LoRaWAN technology in the frequency band of 2.4GHz towards the internet to visualize them in any computer inside the Unidad Educativa Especializada Carlos Garbay. In order to determine the feasibility of the study, a random sample of 5 people suffering from spastic tetraparesis was chosen from a total population of 300 disabled people, recording 125 data per person, in 5 days, every 2 hours, for the variables of temperature, heart rate, and blood oxygenation level. These recompiled data were compared by statistical analysis of the existing medical devices on the market that census vital signs individually and manually with the device implemented in the present investigation that censuses vital signs jointly and automatically every period. At the same time, the effects of the implementation of LoRaWAN technology in the field of human health were evaluated. Effective results in the communication of the proposed IoT network were demonstrated. Finally, the results obtained show that the device is suitable for working in the environment of measuring physiological constants in patients with Spastic Tetraparesis who are in wheelchairs without losing the communication and functionality of the device. This allows the treating teacher to monitor the state of the student's health and be able to register and observe them from anywhere within the Unidad Educativa Especializada Carlos Garbay in the user interface created. Fulfilling the objectives proposed in the research.

Keywords: IoT, LoRaWAN, Vital Signs Monitoring, Wifi LoRa 32 v2.



Reviewed by:

Mgs. Marco Antonio Aquino

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 1753456134

CAPITULO I

1. Introducción

A lo largo de la historia la discapacidad en el ser humano se ha presentado con diferentes críticas, de tal modo que la sociedad ha ido desarrollando un entorno de posición y criterio más apropiados para poder diferenciarlos. Aunque este proceso se puede ir generando desde varias perspectivas. Desde el maltrato e ignorancia en su presencia hasta el reconocimiento de dignidad en la sociedad, desde el rechazo hasta la correcta participación en el entorno, y así podríamos ir describiendo diferentes críticas. Hasta llegar al punto de ir reconociendo correctamente el tipo de patología o mala salud presentada en el cuerpo de la persona, tomando en cuenta los derechos como un ciudadano más y combinando una dislexia entre el modelo médico y un modelo social. Por tal motivo, las personas con discapacidad son las que carecen de diferencias físicas, mentales, intelectuales, y sensoriales a largo plazo, interactuando con varias barreras en el transcurso del tiempo. Al carecer este tipo de diferencias algunas personas no pueden ser capaces de poder dominar y controlar la función motora de sus extremidades, más conocidas con el nombre de tetraparesia espástica [1] o parálisis cerebral. Para poder transportar a las personas con esta carencia de discapacidad, se necesita de una silla de ruedas. Los científicos en sillas de ruedas han tenido la idea de ir innovando a la SR para una mayor comodidad al usuario (paciente), dando origen a transformaciones globales, en su chasis, modelo y a su vez a la introducción de las tecnologías como la automatización [2]. Entregando un nuevo concepto en cada avance que se va realizando, pero siempre estos avances han sido focalizados para que el usuario (paciente) no se limite con su estado de salud que padece.

En la actualidad el “Internet de las cosas”, se ha convertido en una tendencia para la comunicación y asistencia operativa de maquina a máquina, entregando un resultado al usuario más acogedor [3]. Es decir, que esta tecnología tiene la posibilidad de poder comunicarse y controlar los diferentes dispositivos como temperatura, distancia, humedad, infrarrojos, entre otros. Que trabajan en un área establecida a largas distancias, y por medio de la conexión en la nube permite la recolección de información, ayudando al usuario a tener una mayor eficiencia, solventando ciertas necesidades en sus labores cotidianas que son muy difíciles de realizar debido a factores varios.

La tecnología avanzada como LORAWAN, se basan en protocolos de red inalámbrica (como wifi, bluetooth, entre otras) para su comunicación, administración de dispositivos y sensores, trabajando a una larga distancia con tolerancias altas ante interferencias existentes en el medio[4], esto es muy útil para dispositivos electrónicos incapaces de poder comunicarse entre sí. Además, cuenta con un consumo energético muy bajo por el cual estas tecnologías resultan ser útiles y mucho más sencillas para la movilización de un lugar a otro en grandes distancias sin perder la comunicación de todos los dispositivos y sensores electrónicos que se encuentran en sitios con poca cobertura y energía. La disponibilidad de proveedores de servicios de almacenamiento y análisis de información en la nube, que en tiempos anteriores no existían, hoy en día el desarrollo de aplicaciones IoT ha crecido rápidamente en los últimos años, creando aplicaciones eficientes que almacenan y procesan información

recibida por sensores para llevar a cabo una acción sobre un proceso remotamente y transmitir a aplicaciones web o a un teléfono móvil.

Los signos vitales son indicadores que reflejan el estado fisiológico del ser humano, siendo esta, un área muy amplia de estudios continuos en diversas aplicaciones que permiten al paciente analizar y medir su salud de varios métodos y formas[5], con el objetivo de ser más exactos en la toma de muestras de la persona tratante para poder ir tomando decisiones conforme se vayan generando los resultados. Solventando de forma inmediata los cambios funcionales en el organismo del paciente que de otra manera no podrían ser cuantificados, razón por la cual continuamente se realizan trabajos de investigación y experimentación para optimizar y hacer más eficiente el uso de su funcionalidad y su sistema de comunicación.

El actual proyecto está focalizado en la selección de sensores adecuados para la medición de signos vitales en personas que sufren con discapacidad motora, la creación y desarrollo de la comunicación inalámbrica entre los distintos dispositivos y sensores del sistema que entregaran resultados medidos en forma remota de los signos vitales del paciente(estudiante).

1.1 Planteamiento del Problema

En la medicina la toma de signos vitales es un procedimiento muy importante y uno de los primeros al realizar al paciente ya que permite detectar enfermedades respiratorias, cardiacas, fiebre, entre otras. En el que se tiene que llevar el control del paciente mediante

intervalos de tiempo determinados por el encargado de la salud, implicando el uso de varios equipos especializados tecnológicos de difícil aplicación.

El Instituto Carlos Garbay de la ciudad de Riobamba, tiene aproximadamente 300 estudiantes con discapacidad, por lo que se genera una complejidad en los docentes de la institución llevar a cabo la medición y registro de los signos vitales del estudiante por varios factores (movimientos inoportunos, pérdida de la información, fallo en la comunicación, dispositivos de difícil manejo, equipos muy grandes dificultando el traslado del mismo, entre otros) que presentan, llegando a ser menos precisa la recolección de esta información.

El equipamiento biomédico con el que cuenta el Instituto Carlos Garbay carece de la funcionalidad tecnológica de realizar la medición de los signos vitales al estudiante, mediante dispositivos independientes, registrándolos en un equipo informático de manera manual, que no se encuentra interconectado en la red, limitando el acceso al docente del control y supervisión de la información desde otro sitio dentro del Instituto y disminuyendo la accesibilidad de la información para un mejor servicio a la salud del estudiante. A su vez al estar en otro sitio fuera del área de los dispositivos que censan los signos vitales, dificulta al docente ejercer una toma de muestras al estudiante.

Debido a la falta de funcionalidades, no se puede llevar un control óptimo en el estado y eventos de salud ocurridos en el estudiante, especificando la accesibilidad de los equipos y dispositivos que censan, la comunicación existente, y el acceso a la información dentro del Instituto Carlos Garbay.

1.2 Justificación

Hoy en día la tecnología surge con nuevas técnicas y métodos innovadores capaces de crear diversas aplicaciones para la sociedad, que brindan un mejor servicio de confiabilidad y

accesibilidad al usuario. Todos con la misma finalidad, la necesidad de entregar eficiencia y calidad.

El internet de las cosas (IoT), tiene una creciente cooperación tecnológica en todas las unidades productivas de la sociedad, explotando en forma positiva al internet y todas las tecnologías y servicios que brinda esta infraestructura. Presentando un sistema mucho mejor comunicado, con procesos automatizados con total autonomía en algunos casos, atendiendo la oferta de la demanda en tiempo real.

Es por eso, que nace la gran necesidad de implementar estrategias nuevas, que no solo permitan el uso de nuevas tecnologías como IoT en el sector salud, sino también permitan optimizar el acceso a los datos desde cualquier sitio dentro del Instituto. Por lo tanto, el acceso oportuno de la información censada por los diferentes dispositivos tecnológicos a implementar puede llegar al relevante hecho de supervisar el estado de salud del estudiante. Generando nuevas ideas seguidas de decisiones positivas al responsable tratante, y así, mejorar a futuro el control en su estado de salud al paciente.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Implementación de accesorios para una silla de ruedas que permitan el monitoreo de signos vitales, basado en la tecnología inalámbrica LoRaWAN.

1.3.2 Específicos

- Diseñar el dispositivo inteligente con accesorios para una silla de ruedas que permita el monitoreo de signos vitales aplicando redes de sensores.
- Elaborar la topología y direccionamiento que se utilizara en la red de sensores mediante la tecnología LoRaWAN.
- Analizar el funcionamiento de los accesorios que se colocaran en la silla de ruedas.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación Teórica

2.1 La Discapacidad del Ser Humano

Las personas con discapacidad del Ecuador han sido parte activa de su Desarrollo Social, para lograr este resultado se han desarrollado varias luchas, y así ser considerados sujetos de derechos y no objeto de derechos, durante la historia mundial y local se han dado varias visiones desde diferentes perspectivas para las personas con discapacidad, dictada por el constante cambio social con el objetivo de un desarrollo social integral e inclusivo.

La discapacidad no es una enfermedad, ni una condición médica, “las personas no son discapacitadas porque les falta un miembro o algo no les funciona bien, no; la discapacidad es una condición que resulta de una interacción entre las deficiencias físicas, sensoriales y mentales y las características del medio ambiente en el que viven”[6]. Es decir, las discapacidades son una condición que limita a las personas con deficiencias para realizar las actividades de la vida diaria y les restringe de una participación dentro de la sociedad, la misma que surge cuando la sociedad le ha negado el acceso a la rehabilitación, a la educación, la formación profesional, la inclusión al mercado laboral, a la cultura y al libre ejercicio de sus derechos y obligaciones.

Según el Manual de Buenas Prácticas de Inclusión Laboral para Personas con Discapacidad este tipo se refiere a deficiencias corporales y/o viscerales; las primeras pueden ser evidentes (Ej. amputaciones, paraplejia, hemiparesia, etc.), sin embargo las segundas al implicar el daño y la limitación en la función de órganos internos, en muchas ocasiones pueden ser imperceptibles (Ej. fibrosis quística del pulmón, insuficiencia renal crónica terminal, epilepsia de difícil control, enfermedades cardíacas, etc.), que ocasionan dificultad significativa o imposibilidad para caminar, correr, manipular objetos con las manos, subir o bajar gradas, levantarse, sentarse, mantener el equilibrio, controlar esfínteres, entre otros[7].

2.2 Los Signos Vitales

Los signos vitales son parámetros clínicos que reflejan el estado fisiológico del organismo del ser humano en este caso y esencialmente proporcionan datos que nos permiten evaluar el estado homeostático, para posteriormente deducir el estado de salud del paciente; así como todos los cambios que presente a través un determinado tiempo, ya sean estos buenos o malos. Los signos vitales comprenden: temperatura, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y presión arterial

Así también, el desarrollo de las TICs en la actualidad se ha logrado contribuir al desarrollo de nuevos servicios para la medicina proporcionando herramientas para hacer posible la monitorización de enfermedades, detectar situaciones extrañas en la evolución o en los signos vitales del paciente como es la temperatura, la presión sanguínea, la frecuencia cardíaca entre otras. Dar un aviso de alarma, de esta manera actuar de forma inmediata y brindar la ayuda necesaria al paciente; de aquí surge este proyecto para ayudar de manera más precisa a monitorear a los pacientes[8].

Según la biblioteca nacional de los Estados Unidos en su web de MedlinePlus definen que existe un grupo principal de signos vitales que son fundamentales al momento de evaluar el estado de salud de una persona:

- Temperatura.
- Ritmo cardíaco.
- Presión arterial.

Este tipo de evaluaciones se los realiza frecuentemente antes de que un paciente sea atendido por un especialista de la salud incluso los mismos valores a ser tomados en cuenta al momento de asistir a un centro especializado de salud por una emergencia, es de gran ayuda a la hora de establecer un diagnóstico, con estos valores el medico puede determinar cuál es exactamente el estado de salud del paciente, los valores de los signos vitales denotan como están funcionando los órganos más importantes del cuerpo humano.

2.3 Tetraparesia Espástico(a)

La Tetraparesia espástico(a) es un trastorno que se va observando con la disminución del movimiento de las cuatro extremidades del cuerpo (piernas y brazos), perdiendo de poco en poco el tono postural, activando nuevas áreas como el proceso madurativo del Sistema Nervioso, que van entregando al paciente un cuadro clínico con un falso progreso[9].

Por tal motivo este trastorno va limitando al paciente a una reducción de su actividad física motora, con movimientos involuntarios ocasionados por el sistema nervioso y generando una tetraparesia, afectando a los músculos del cuerpo, ya que en este proceso se van contrayendo o extendiendo excesivamente sin control.

2.4 Factores de Riesgo en la Salud

Es suficiente conocer que la enfermedad tenga un lugar en el cerebro desarrollándose, esta va a producir ciertos factores en la salud del paciente como:

- Tejido cerebral disminuido
- Afecta a la motilidad en la parte de la cara, en especial la boca provocando una cierta dificultad en poder articular correctamente las palabras y así dificultando la comunicación.
- Lesión en el sistema nervioso, provocando lesiones internas en los órganos del cuerpo, estos pueden ser el corazón, los pulmones y los músculos del cuerpo.
- Lesiones en el cuerpo (cicatrices en la piel, moretones involuntarios, mayormente en codos o piernas).

2.5 Tipos de Signos Vitales Medibles en el Cuerpo Humano

2.5.1 Medición de la temperatura corporal

La temperatura corporal es uno de los signos vitales que representa el equilibrio entre el calor producido por el metabolismo, las actividades musculares, los alimentos, el oxígeno

como fuente energética y el calor que se pierde a través de la piel, los pulmones y las secreciones corporales[10].

Las precauciones para poder realizar una medición de forma correcta son; no exponer al paciente a temperaturas extremas antes de la medición, no frotar la región antes de medir, esto provoca calor, verificar el termómetro, situar el termómetro en la región seleccionada de modo que el bulbo quede cubierto de tejido corporal, no colocar el termómetro en regiones lesionadas y limpiar el instrumento adecuadamente al terminar la medición.

Las Regiones habituales para medir la temperatura en el cuerpo son en la parte bucal, axilar, en la flexura del codo, frente, poplítea (detrás de la rodilla), inguinal.

2.5.2 Medición de la Frecuencia Cardíaca

Entre los principales instrumentos o dispositivos que se tiene para medir el ritmo cardíaco tenemos los instrumentos digitales, electrónicos. Esta medición de los instrumentos varía conforme la velocidad de los latidos del corazón demuestre ante respuestas emocionales, sustos, amenazas a la seguridad de la persona, pero estas mediciones son falsos positivos. Por tal motivo la frecuencia cardíaca es la que tiene una persona que esta relajada y/o en reposo.

Para realizar un examen casero para determinar las palpitaciones del corazón se lo puede realizar por las arterias principales que están ubicadas en el cuello, muñeca, sien, parte inferior de la pierna, ingle, donde comúnmente se realiza la toma del ritmo cardíaco[11].

2.5.3 Saturación de Oxígeno en la Sangre

La saturación de oxígeno en la sangre se define como la cantidad de oxígeno que se encuentra en la oxihemoglobina, es decir que cuando el corazón da un bombeo de la sangre, el primer órgano que se encuentra en el paso de la sangre son los pulmones, y en ese momento se produce la combinación de las células rojas de sangre con las moléculas de oxígeno, para poder transportar el oxígeno al resto del organismo. En este proceso de mediciones se evidencia un buen estado de salud en la sangre y en los pulmones.

2.6 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas se cómo menciona en [12], es definido como una red de objetos físicos conectados a través de internet, los cuales logran interactuar vía sistemas embebidos, redes de comunicación, mecanismos de comunicación de respaldo y aplicaciones en la nube. Permitiendo a los objetos comunicarse entre sí, acceder a información de interne, capturar, almacenar y recuperar datos e interactuar con usuarios humano, así como con otros sistemas y aplicaciones, creando ambientes cada vez más conectados e inteligentes.

Para que se origine la red IoT, se deben tener tres componentes que interactúan entre sí, como se observa en la Figura 1.

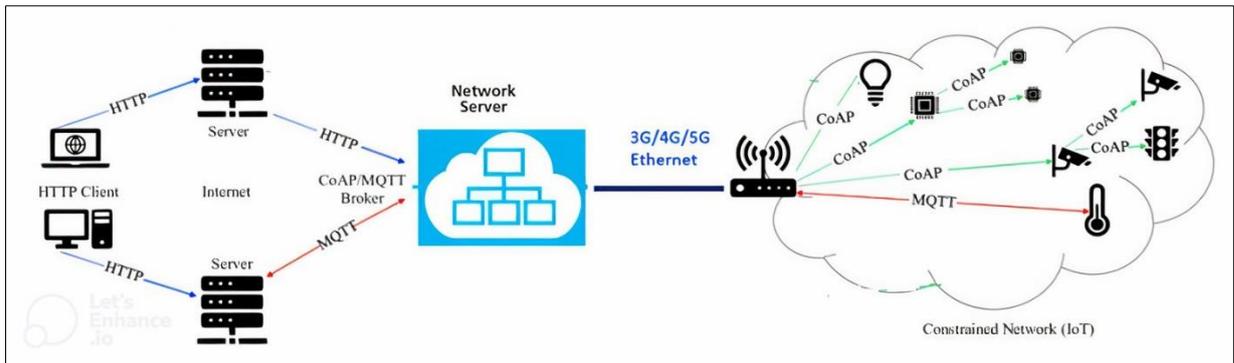


Figura 1: Componentes en un Ecosistema IoT [13].

- El hardware, o dispositivos que se encargan de comunicar y tomar datos explícitos, es decir son los que tienen el control del sistema de comunicación.
- La plataforma en internet da origen a la conexión e intercambio de información entre los varios dispositivos instalados en la topología, facilitando herramientas necesarias para el análisis de la información.
- Una Interfaz, que permita la interpretación de la información y la visualización entendible hacia el usuario.

Con estas características la tecnología IoT, está deseando un cambio positivo en la calidad de vida de las personas en general, ya que está otorgando otra opción de acceso a datos e información, que sean capaces de tener oportunidades en el ámbito de la educación, seguridad, agricultura, medicina, entre otros.

2.7 Wi-fi

Las siglas Wi-fi “Wireless Fidelity”, significa fidelidad inalámbrica. Es decir, es una tecnología que transfiere datos en forma inalámbrica de área local [14] y está apoyada por el estándar 802.11, definido por la IEEE para aplicaciones WLAN y consiste en la conexión entre los diferentes dispositivos electrónicos como la computadora portátil, el teléfono móvil, tabletas, de manera inalámbrica mediante ondas de radio transfiriendo los datos por medio del espacio(aire).

Actualmente el estándar WLAN 802.11 carece de diversas extensiones y en general trabaja con la banda de frecuencia de 2.4GHz con los estándares 802.11.b/g y 5GHz con los estándares 802.11a /h [15].

2.8 Red de Área Extendida de Baja Potencia (LPWAN)

Como menciona en [16], LPWAN (Low Power Wide Área Network) se origina en la evolución de las redes inalámbricas orientados en el IoT, que involucra la conectividad de los sensores o dispositivos a Internet. Creadas especialmente para garantizar escalabilidad, alcance de comunicación a largas distancias y un menor coste de consumo energético. Funcionando en la banda de frecuencia sin licencia ISM (Industrial Cientifical and Medical) que son las bandas de frecuencia reservadas para uso no comercial acuerdo en la región que se opere. Con el diseño y configuración adecuada se puede ofrecer una duración de la batería de hasta 10 años, comunicando a varios kilómetros de distancia y regulando el transporte no constante de las diminutas cantidades de datos que transmiten las redes tradicionales. Por tal motivo entrega un menor coste en infraestructura y hardware.

2.9 Tecnología LoRa (Long Range)

Actualmente no en todos los sitios existe una cobertura a internet, por tal motivo debería existir un dispositivo intermediario (Gateway), que cumpla con las características de poder enlazarse a los dispositivos que no tienen el alcance a internet, y que estos dispositivos le envíen los datos al dispositivo intermediario (Gateway), para que este, pueda comunicar a los dispositivos de manera remota. LoRa se ha convertido en una tecnología muy popular para la creación de aplicaciones basados en IoT, ya que entrega la solución a la problemática mencionada. Como se detalla en [17], esta tecnología de radiofrecuencia permite una comunicación inalámbrica a largas distancias (en magnitud de kilómetros), con un bajo consumo energético. LoRa trabaja con la topología de estrella o punto a punto. Esta tecnología, es un protocolo de capa física con modulación de espectro ensanchado, que utiliza sub-giga Hertz como frecuencias de funcionamiento, con bandas dedicadas según la región, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 1: Banda de Frecuencias de LoRa licenciadas [18].

Región	Banda
Estados Unidos y Américas	De 902 MHz hasta 928 MHz
Europa	De 863 MHz hasta 870 MHz
China	De 779 MHz hasta 787 MHz

2.10 Protocolo LoRaWAN

Como se observó anteriormente LoRa es una tecnología de radio enlace, mientras que LoRaWAN es un protocolo de red definido en el software que usa a LoRa como canal de transmisión, diseñado para comunicarse en forma inalámbrica mediante las redes LPWAN

Las principales características de LoRaWAN siendo un protocolo de capa MAC, es que es un estándar libre/abierto, es bidireccional en su transmisión de datos, con funcionalidades ante colisión de paquetes. Es decir, este protocolo es el encargado de solventar la gestión del medio, así como la congestión de la red, implementando detalles de funcionamiento, escalabilidad, seguridad, configuración de potencia, tal como hace mención en [18].

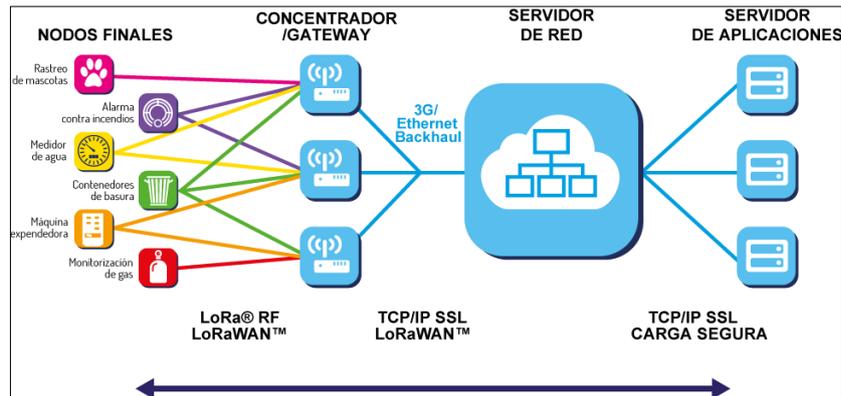


Figura 2: Arquitectura de la Red LoRaWAN [19].

Como se hace mención en [20], la arquitectura de la Red LoRaWAN se compone de:

- **Dispositivos finales:** o mayormente llamados nodos finales que establecen la comunicación con el gateway mediante el protocolo LoRaWAN.
- **Gateway:** se encarga de la transferencia de las tramas desde los nodos hasta el servidor de red o viceversa, mediante una interfaz de retorno (3G/4G, Ethernet, wifi, satelital).
- **Servidor de la red:** encargado de la codificación de los paquetes que se envían por todos los dispositivos, realizando un control de seguridad y tasa de datos adaptables, creando nuevos paquetes para retornar a los dispositivos.
- **Servidor de Aplicación:** se encarga de recibir todos los datos del servidor de red, decodificar los paquetes de seguridad para luego decidir que funcionamiento tendrá la aplicación.

2.10.1 Clases de Dispositivos Finales

LoRaWAN tiene 3 clases de dispositivos finales, como hace mención LoRa Alliance en[21].

- **Clase A:** bidireccionales de menor potencia; esta clase la comunicación siempre la inicia el dispositivo final en forma asíncrona. Cuentan con una ventana que se encarga de la transmisión de enlace ascendente programado y dos ventanas de enlace descendente seguidas brevemente atrás. Esta clase es útil para aplicaciones que realicen tareas intermitentes.
- **Clase B:** bidireccionales con latencia de enlace descendente determinista; estos tienen sincronización con la red mediante balizas periódicas y abren un enlace descendente programado. Baja consumo de energía y baja latencia en la transmisión de mensajes de unicast/multicast.
- **Clase C:** bidireccionales con latencia más baja, además de la estructura de clase a. Esta clase tiene un enlace descendente siempre abierto, para que el servidor de red pueda transmitir un enlace descendente en cualquier momento. Siendo adecuada para aplicaciones de energía continua.

2.10.2 Tasa de Transferencia

A parte del salto de frecuencia, todos los paquetes que se envían/reciben entre los dispositivos finales y los gateway, también incluyen una configuración de velocidad de datos (Data Rate) variable. Se puede configurar una tasa de transferencia desde los 250bps hasta los 50kbps.

2.10.3 Seguridad

Como se detalla en [21], los algoritmos de seguridad AES sirven para proporcionar paquetes al servidor de red y un cifrado de extremo, existiendo dos modos de acceso:

Activation by Personalization (ABP): este método se considera el modo más sencillo para activación y los datos necesarios para autenticación son:

- **Network Session Key:** clave compartida entre el servidor de la red y el nodo.
- **Application Session Key:** clave proporcionada para la encriptación y desencriptación del mensaje.
- **DevAddress:** dirección lógica única por dispositivo que se emplea durante toda la comunicación.

Over-the-Air-Activation (OTAA): es el modo de conexión más seguro hacia la red y los parámetros necesarios para la autenticación son:

- **DevEUI:** esta clave proporcionada de 64 bits hace que, dentro de la red, el dispositivo sea único
- **AppEUI:** esta clave es un identificador de aplicación único de 64 bits, utilizado para determinar a los dispositivos finales a que aplicación pertenece.
- **AppKey:** esta clave es compartida entre el servidor de red y el nodo y es de 128 bits. Haciendo más segura la conexión.

Para que se dé la autenticación del nodo y el servidor de red, el nodo envía un *join request* al servidor de red con los datos de la configuración (ABP o OTAA) abriendo una ventana de recepción que se encarga de recibir la respuesta del gateway. Una vez confirmado por el gateway el *join request*, este envía al servidor de red, en el que se encarga de verificar los datos de seguridad enviados por el nodo. Si la autenticación enviada es correcta se le otorga un inicio de sesión temporal y por medio del gateway, el nodo envía los datos que se observaran en el servidor de red.

2.10.4 Frecuencia de Trabajo

De acuerdo con los investigadores en [22], LoRaWAN ocupa un espectro radioeléctrico sin licencia. Por tal motivo la capacidad de frecuencias según la región presenta restricciones, y

para solucionar la problemática LoRaWAN, propone bandas de frecuencia para cada región, siendo estas las frecuencias de 2.4GHz y de 5Ghz, que teóricamente en ciertas regiones alcanza los 5.8GHz, permitiendo una excelente cobertura para los dispositivos finales y módulos inalámbricos LoRa trabajar en confianza dentro de edificaciones grandes.

2.11 Hardware Heltec Wi-Fi Lora 32 V2

Día a día se puede observar una evolución tecnológica, con los equipos o módulos que son cada vez más asequibles al usuario final. Siguiendo lo mencionado en [23], la placa Wifi lora 32 V2 es una placa diseñada y producida para el entorno del desarrollo en IoT con su fabricante Heltec Automation (TM), siendo una elección más para poder desarrollar cualquier aplicación por aficionados o profesionales en el IoT, por sus características agregadas en el módulo como un chip ESP32 que es uno de los microprocesadores base para tecnologías del IoT, con funciones incluidas de wifi, bluetooth, puertos seriales/digitales, puertos I2C, entre otros periféricos. Además, incluye un chip SX127X el cual sirve como un nodo LoRa o LoRaWAN. Así como a su vez una pantalla OLED de 0.96” para abrir una alta gama de posibilidades de visualización. Se lo puede observar en la Figura 3.

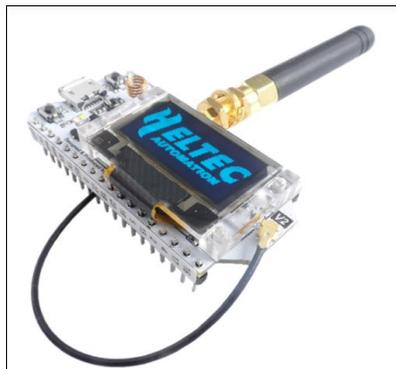


Figura 3: Módulo Wifi LoRa 32 v2 con la antena para el Radio LoRa[23].

Resumiendo, las especificaciones técnicas del módulo Wifi LoRa 32 v2:

- Microprocesador ESP32, ofreciendo conectividad wifi 802.11b/g/n/e/i, bluetooth tradicional y “BLE”, LoRa y LoRaWAN.
- Frecuencia de trabajo de 80MHz hasta 240MHz
- Display OLED de 0.96” de color azul(128x64píxeles)
- Chip SX1276/1278 LoRa con sensibilidad de recepción de -139dBm, frecuencias con el chip SX1278 de 433-510MHz y con el chip SX1276 frecuencias de 868-915-923MHz
- Alcance máximo de cobertura LoRa, LoRaWAN 3km en área abierta.
- Rango de Temperatura de -40° C hasta +80° C.
- Tensión de alimentación de 5v, con opción a conexión con batería.

2.12 Servidor de Red LoRaWAN

El servidor de red para LoRa y LoRaWAN se encuentra en la capa MAC y termina esta red de comunicación para los dispositivos finales en este punto, debido a su tipo de topología de estrella o punto a punto conforme se menciona en [24].

El servidor de red se caracteriza por:

- Carece de un registro y verificación, de dirección de dispositivos finales.
- Dispone de una adaptación de velocidad de datos.
- Autenticación de trama y confirmaciones de contador de trama.
- Entrega una respuesta a todos los requerimientos de capa MAC que se originan de los dispositivos finales.
- Reenvía un payload (carga útil) a los servidores de aplicación que le corresponda con un enlace ascendente.
- Coloca en cola los payload de enlace descendente que proviene del servidor de aplicaciones hacia el dispositivo final.
- Reenvía mensajes de solicitud de unión y de confirmación de unión entre los dispositivos finales y el servidor de red.

Entre algunas opciones de servidores en la red para LoRaWAN de código abierto se tiene ChirpStack, The Things Network, The Things Stack, ThingSpeak, entre otros. Los cuales entregan iniciativas capaces de establecer una red global IoT.

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1 Tipos y Diseño de la Investigación

El presente estudio se basa en el diseño, programación y adecuación de varios dispositivos inteligentes incluyendo sensores, que se implementan en una silla de ruedas para personas discapacitadas con comunicación inalámbrica mediante la tecnología Lora utilizando el protocolo de red LoRaWAN para el monitoreo de signos vitales en las personas con discapacidad, siendo esta una investigación de tipo experimental y aplicada.

3.2 Métodos y Técnicas de Investigación

3.2.1 Método Investigativo Científico

El método investigativo científico se deriva del latín Methodus y según el diccionario de la Real Academia Española es el “procedimiento que se sigue para hallar la verdad y enseñarla”[25]. Dicho de otra manera, para producir este tipo de conocimiento se emplea un método específico. El método que más ha influido en el desarrollo científico tecnológico de la humanidad es el método hipotético deductivo que, es un proceso del pensar que conduce las tareas que cumple el investigador, promovido por su afán de producir nuevos conocimientos y acercarse a la verdad.

Por tal motivo, este método es de gran utilidad para la elaboración de un método hipotético, analizando los datos de las variables a estudiar y entregar una conclusión en base a las observaciones experimentales planteadas.

3.2.2 Método Investigativo Experimental

Murillo [1], menciona que “En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales.”.

En base al concepto anterior, la presente investigación se enfoca en un carácter experimental, porque se busca analizar el efecto que tendrá realizar la medición de signos vitales con los diferentes sensores colocados en la silla de ruedas de los estudiantes con discapacidad pertenecientes al Instituto Carlos Garbay. Para concretar el análisis adecuado de la investigación, la identificación de las variables a trabajar es de vital importancia ya que proporcionan un mejor control para lograr los resultados esperados.

3.3 Fuentes de Información

La presente investigación se realiza mediante la recopilación de información científica y experimental acerca de la implementación de un dispositivo inteligente capaz de medir los signos vitales en las personas con discapacidad utilizando diferentes métodos y tecnologías

que se han desarrollado eficientemente mediante la comunicación de redes inalámbricas, además se realiza una investigación minuciosa para poder implementar y mejorar sistemas de comunicación inalámbricos anteriores, así como a su vez el monitoreo de ciertos signos vitales en las personas discapacitadas.

3.4 Instrumentos de la Investigación

3.4.1 Observación Directa

Consiste en el análisis y selección de información precisa que sustente el desarrollo del proyecto que permita cumplir los objetivos propuestos en la investigación.

3.4.2 Análisis de Documentos

Se analiza en gran parte publicaciones científicas, revistas, papers, manuales de dispositivos y especificaciones generales, con el fin de respaldar la viabilidad del proyecto.

3.5 Técnicas de Investigación

3.5.1 Prueba y Error

Con esta técnica, permite al investigador obtener conocimiento en una alternativa aplicable, verificando el funcionamiento con métodos estadísticos, mediante la recolección de datos o también muestras en intervalos establecidos, para estudiar si tiene solución, o en caso contrario se intenta una alternativa diferente, hasta que el caso sea correcto.

3.6 Operacionalización de las Variables Independientes y Dependientes

Tabla 2: Operacionalización de las variables. Fuente: Autor

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE			
Sensores	Dispositivos que censan magnitudes físicas, con ciertas características que pueden ser interpretadas para numerosos fines.	Se utiliza los datos digitales en forma cuantitativa sobre la información de la temperatura, ritmo cardiaco y nivel de oxigenación en la sangre de la persona discapacitada.	Se utiliza la medición directa en la persona discapacitada con el uso de sensores capaces de censar la temperatura, ritmo cardiaco y nivel de oxigenación en la sangre en la persona discapacitada.

Conectividad	Permite el intercambio de información y recursos entre el nodo final con el servidor de red para establecer un enlace de comunicación en la red.	Se define características específicas de frecuencia, seguridad de conexión, puerta de enlace, conforme necesiten los dispositivos	Se utiliza las herramientas de software y hardware, mediante técnicas de configuración y conectividad en la red.
Monitorización	Limitación y control de datos que se envían desde el dispositivo final hacia el servidor en la nube en un determinado tiempo.	Se define características de programación por medio de ciclos de tiempo, para poder visualizar los datos el usuario final.	Se utiliza el tiempo, por medio de intervalos seleccionados para la recepción y visualización de datos.
DEPENDIENTE			
Signos Vitales de la persona discapacitada	Es la medición de funciones específicas en el cuerpo de la persona discapacitada, actuando como indicadores de la salud.	Son claves para la evaluación clínica de la persona discapacitada, entre estos están la temperatura, ritmo cardíaco y nivel de oxigenación en la sangre (SPo2).	Se utiliza la medición directa mediante el uso de sensores colocados en el cuerpo de la persona discapacitada que censaran los datos, y transmitir al servidor de red

3.7 Procedimiento y Análisis

Mediante el estudio del Estado del Arte [26], se muestran los dispositivos y sistemas que se han desarrollado en el área de la medicina, en especial para medir constantes fisiológicas en el cuerpo humano, analizando y resolviendo las problemáticas que se han planteado anteriormente.

Tabla 3: Arquitecturas de los sistemas IoT utilizados para medir constantes fisiológicas. Fuente: Autor

Arquitectura	Detalles de la Arquitectura
--------------	-----------------------------

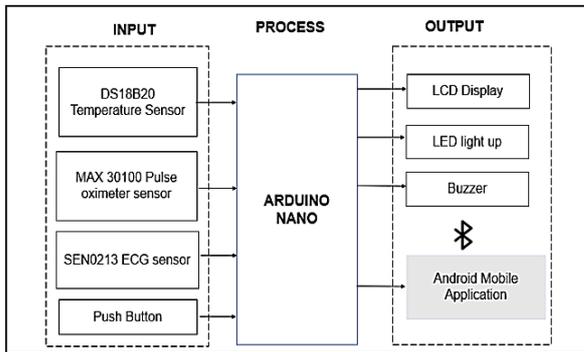


Figura 4: Arquitectura del Sistema IoT[27].

En el artículo [27], se realizó el sistema inalámbrico IoT para medir signos vitales que se visualizan en una aplicación móvil. El primer bloque de entrada se encuentra ubicado los sensores de temperatura DS18B20, sensor de oxigenación de sangre MAX30100, sensor electrocardiógrafo SEN-0213, permitiendo generar los datos, seguido del bloque en donde se encuentra el Arduino nano, que procesa la información y la transmite hacia el tercer bloque que es la salida hacia la aplicación móvil, conectándose a través del módulo bluetooth HC-05.

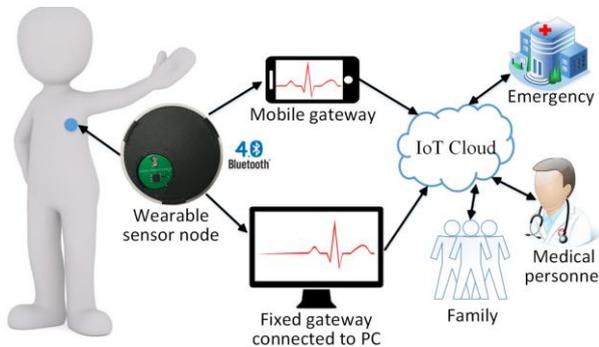


Figura 5: Arquitectura del Sistema IoT [28].

En base al artículo [28], se plantea un sistema IoT para la obtención de signos vitales. Como se observa en la Figura 5, el análisis empieza con la obtención de la temperatura mediante el sensor MAX30205. Las señales pasan a ser procesadas al módulo BLE-RFD77101, el cual envía los datos procesados a través del bluetooth a un móvil y a su vez, por medio del gateway del wifi al ordenador, para posterior compartir estos datos en el servidor de la nube llamado IoT Cloud.

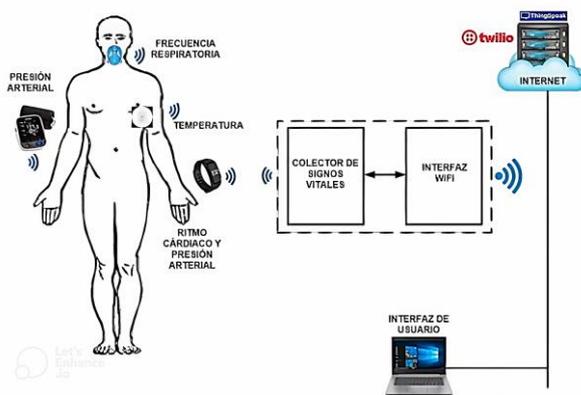


Figura 6: Diagrama Funcional del Sistema de IoT[29].

Como menciona en [29], la arquitectura se divide en 3 módulos. El colector de signos vitales, conformado por el módulo de temperatura CBT15-I, para la presión arterial el módulo Omron BP786, que generan los datos para conectarse por bluetooth con el módulo HM-10 conectado a la tarjeta principal PyBoard PYBV1.0, el cual procesa esta información. Seguido de la interfaz Wi-fi para transmitir la información mediante el dispositivo TinySine Wifi Skin en la tarjeta principal hacia el servidor de red Thinkspeak, con la interfaz de usuario que fue diseñada en MicroPython.

3.7.1 Sensor de Temperatura Corporal LMX90614

En base a lo mencionado por el fabricante en [30], el sensor LMX90614 sirve para medir la temperatura (sin contacto) de un objeto, por medio de dos luces infrarrojas. Tanto el chip detector como el acondicionador de señal están integrados en su modulo, siendo calibrado el sensor de fábrica. El sensor LMX90614 es un chip de silicio con una membrana delgada micro mecanizada, con el objetivo de ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia. Permitiendo un amplio rango de trabajo para objetos que tienen temperatura desde los -70°C hasta los 380°C , con una precisión de 0.5°C , aunque para aplicaciones médicas existe un grado de precisión de 0.2°C .

Este sensor se utiliza para censar datos de temperatura en la persona con discapacidad, la conexión de este sensor es mediante el protocolo de comunicación I2C, admitiendo una fácil integración al módulo microcontrolador, con un voltaje de 3.3V siendo compatible con 5V . Este módulo tiene tecnología piezoresistiva, es decir, alta precisión y linealidad, con duración del material a largo plazo. El sensor MLX90614 se puede visualizar en la Figura 7.



Figura 7: Sensor Infrarrojo de Temperatura LMX90614 [31].

3.7.2 Sensor de Oximetría y Ritmo Cardíaco MAX30100

En base a la información mencionada en [32], el módulo sensor MAX30100 es de multipropósito y múltiples aplicaciones, ya que permite medir el SpO_2 y el ritmo cardíaco en el cuerpo de una persona. Acepta el protocolo de comunicación I2C y su voltaje de operación es de 5V de corriente directa. Sus dimensiones son de $14 \times 17\text{mm}$ y se lo puede visualizar en la Figura 8.

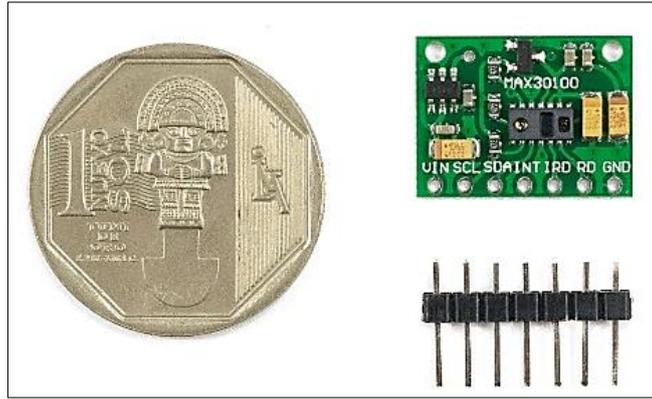


Figura 8: Sensor MAX30100 en comparación con el tamaño de 1 sol[33].

Ya que en su modulo incluye dos diodos emisores de luz, un diodo led rojo y un diodo led infrarrojo con un fotodetector. Permite medir el porcentaje de saturación de oxígeno en la hemoglobina con el led infrarrojo, y con diodo led rojo permite medir el ritmo cardiaco. Para este propósito se emplea un pulsioxímetro que integra los emisores de luz y el sensor que detecta la cantidad de luz reflejada en el dedo del paciente. Es decir, la sangre oxigenada (HbO₂) absorbe mayor cantidad de luz infrarroja, mientras que la sangre sin mucha oxigenación (Hb desoxigenada) absorbe mayor cantidad de luz roja. Como se puede observar en la Figura 9.

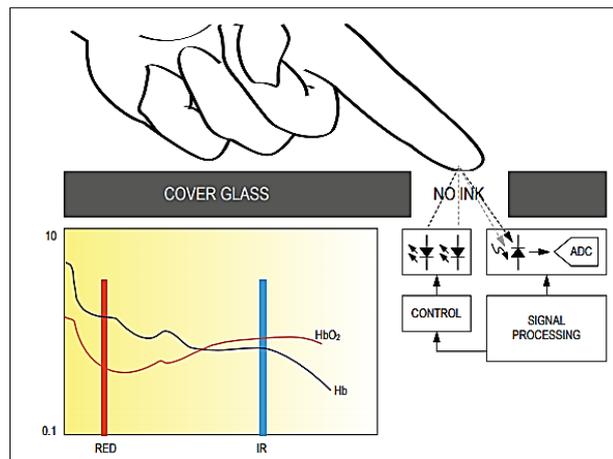


Figura 9: Funcionamiento de HbO₂ y Hb al colocar el dedo [32].

3.7.3 Gateway HT-M00 LoRaWAN

Conforme mencionan los fabricantes en [34], el dispositivo es una puerta de enlace de conexión de doble canal con un tamaño pequeño y económica. Por lo general se utiliza en aplicaciones LoRa de familia inteligente que funcionan con menos de 30 nodos LoRa. El gateway HT-M00 se base en dos chips SX1276 impulsados por ESP32. Se lo puede observar en la Figura 10.



Figura 10: Gateway LoRaWAN de Heltec HT-M00 de doble canal [34].

La función principal de este dispositivo es proporcionar una red LoRaWAN, con distancias grandes de 1500 a 2000 metros cuadrados, compensando los puntos ciegos de la señal en áreas que se vuelve un poco complejo alcanzar las señales. Por tal motivo se utilizó este dispositivo básico en la tecnología de Heltec Automation, para conectar el dispositivo final Wifi Lora 32 v2 al servidor, como un punto de acceso que permite la conexión a internet, logrando el enrutamiento de los paquetes de datos, que van desde los sensores hasta el servidor en la red. Su alimentación del dispositivo es de 5v, con la interfaz de comunicación USB-Tipo C, además soporta protocolos LoRaWAN de Clase A y Clase C. Los rangos de frecuencia de trabajo se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 4: Rangos de frecuencia de trabajo de la red LoRaWAN

Región (Área)	Rango de Frecuencias
Europa	868MHz ISM band (De 863MHz hasta 870MHz)
Europa	433MHz ISM band
Estados Unidos / Australia	915MHz ISM band (De 902MHz hasta 928MHz)
China	470MHz ISM band (De 470MHz hasta 510MHz)

3.8 Desarrollo de la Propuesta

3.8.1 Instalación de Librerías

Se inicia instalando el software de Arduino IDE [35]. Para poder utilizar el dispositivo microcontrolador (wifi lora 32 v2) y sus librerías incluidas de LoRaWAN, se utiliza la guía de instalación proporcionada por Heltec Automation mencionada en [36]. Una vez instalado Arduino IDE, abrir la plataforma, clic en Archivo, seleccionamos Preferencias. Se abrirá una ventana, dentro de esta ventana seleccionamos el recuadro de Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas, como se señala en la Figura 11.

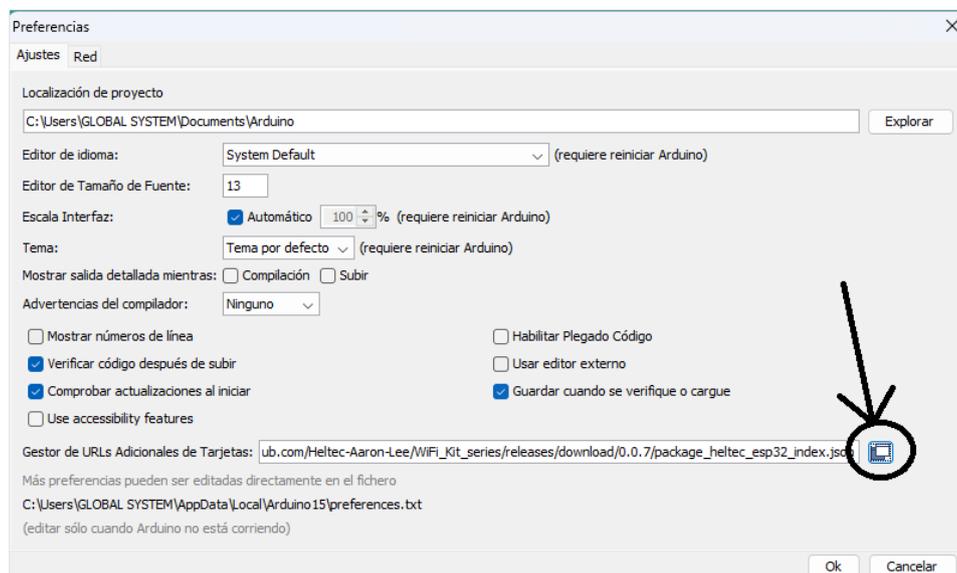


Figura 11: Ventana de Preferencias-Arduino IDE. Fuente: Autor.

Una vez abierta la ventana, se adjunta el último enlace del paquete de la librería ESP32 compartido por Heltec, como se observa en la Figura 12.



Figura 12: URL de la librería Heltec ESP32 v0.0.7. Fuente: Autor.

Seguido en la aplicación de Arduino IDE, me dirijo hacia Herramientas, escojo la opción Placa: "Arduino Uno", y hago clic en Gestor de tarjetas, como se observa en la Figura 13.

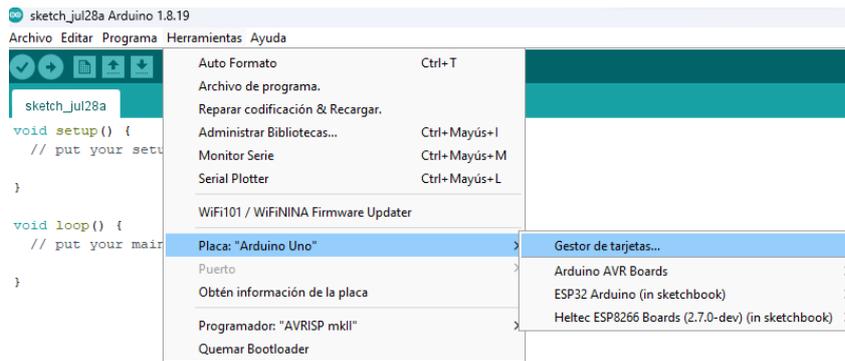


Figura 13: Selección de Gestor de Tarjetas en Arduino. *IDE Fuente: Autor.*

Se abre la ventana de Gestor de Tarjetas, en el recuadro de búsqueda escribimos Heltec ESP32 e instalamos la librería, como se observa en la Figura 14.

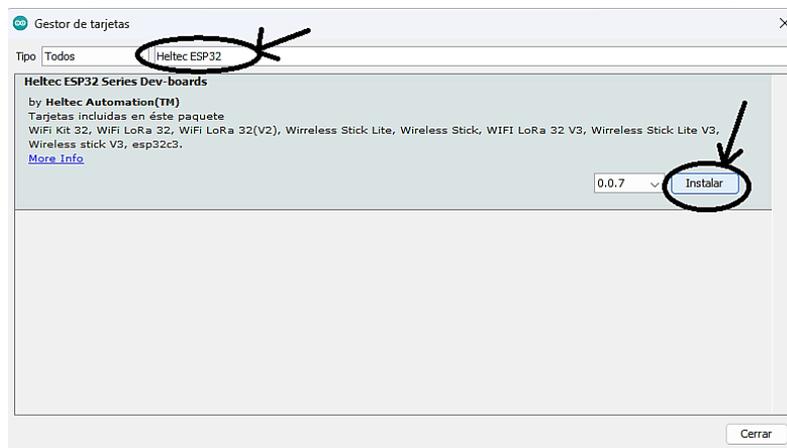


Figura 14: Instalación de librería Heltec ESP32. *Fuente: Autor.*

Así mismo dentro de la aplicación de Arduino IDE, para instalar las librerías de los sensores MAX30100 y MLX90614, me dirijo hacia Programa, Incluir Librería, Administrar Bibliotecas como se observa en la Figura 15.

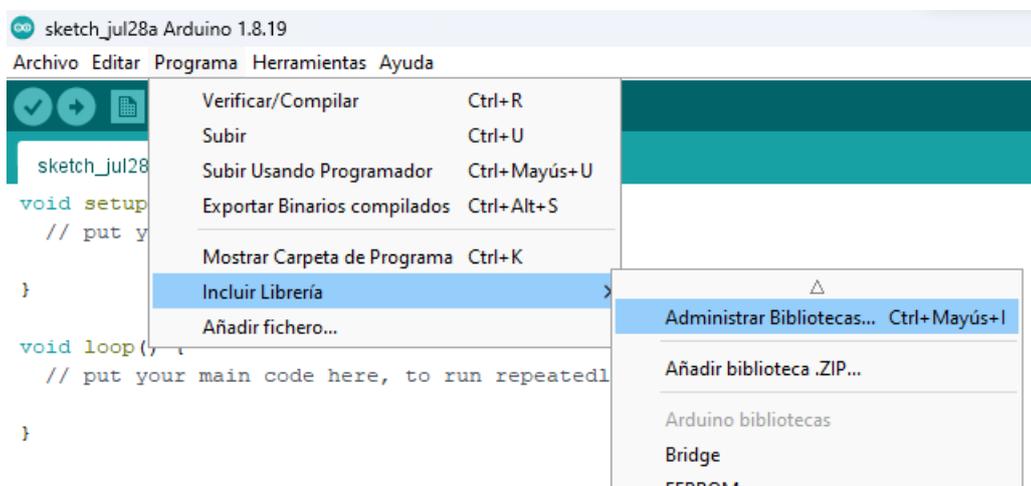


Figura 15: Selección para Administrar Bibliotecas. *Fuente: Autor.*

Se desplegará una ventana de Gestor de Librerías, en el buscador de la ventana para instalar la librería del sensor de ritmo cardiaco y SpO2 MAX30100, escribimos MAX30100lib del autor Oxullo Intersecans, seleccionar la última versión y clic en instalar, como se observa en la Figura 16. Automáticamente se inicia la instalación y se actualizan las librerías.

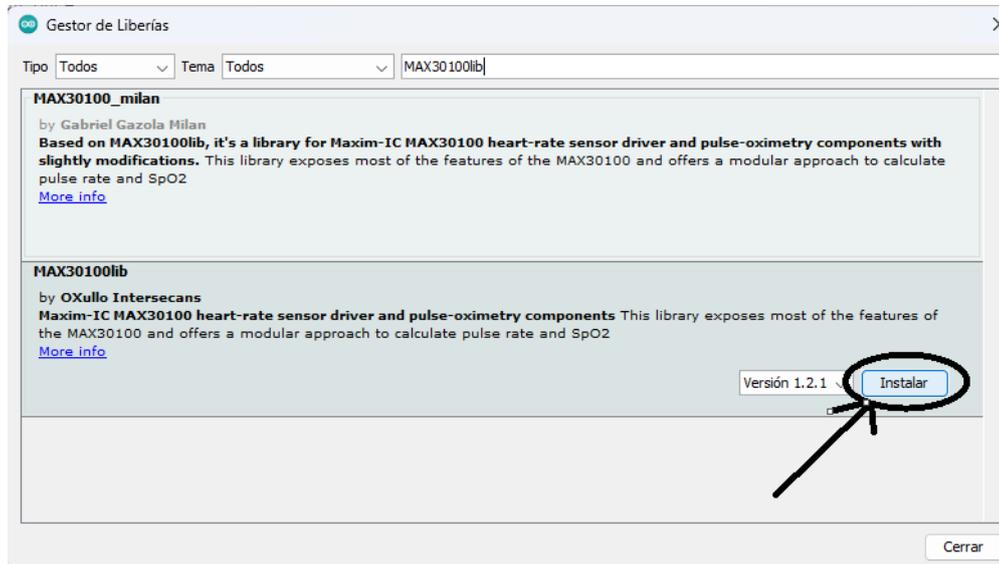


Figura 16: Instalación de la librería para el sensor MAX30100. Fuente: Autor.

En la ventana de Gestor de Librerías, en el buscador escribir Adafruit MLX90614 Library para instalar la librería del sensor de temperatura MLX90614, como se observa en la Figura 17.

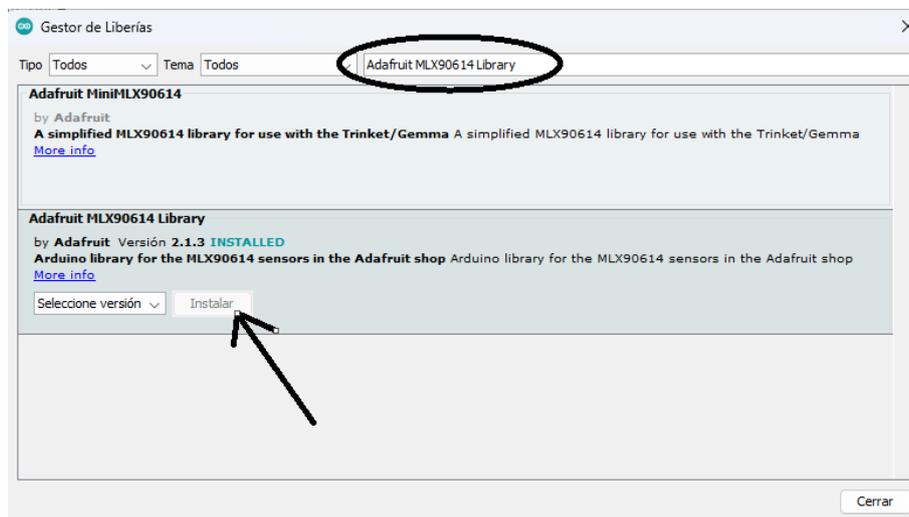


Figura 17: Instalación de la librería para el sensor MLX90614. Fuente: Autor.

Adicional para que funcione de manera correcta la pantalla OLED de 0.96" (128x64px) integrada del módulo wifi lora 32 v2 se instala la librería U8g2. Se la encuentra en el buscador de la ventana de Gestor de Librerías de Arduino IDE, escribiendo U8g2. Hacer clic en instalar y automáticamente se descarga la librería con sus ejemplos como se observa en la Figura 18.

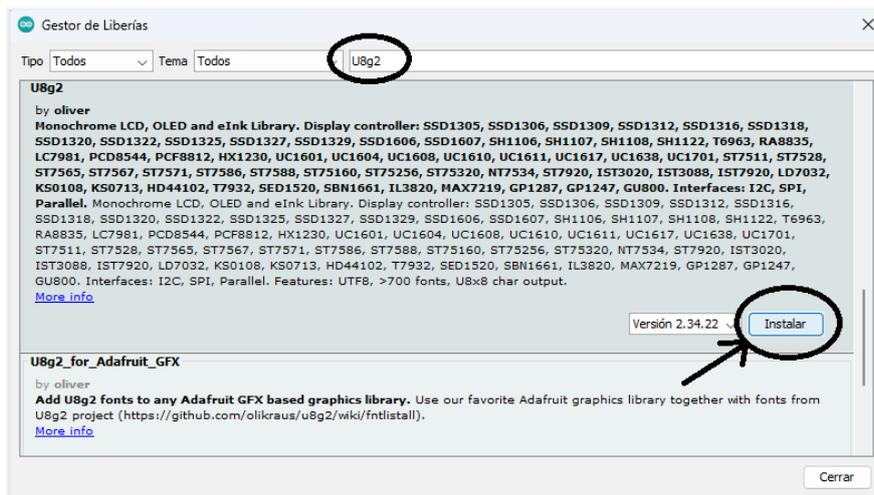


Figura 18: Instalación de la librería U8g2 para pantalla OLED Fuente: Autor

A continuación, conforme menciona Heltec Automation en su guía de activación del protocolo LoRaWAN [37], se necesita descargar la librería ESP32_LoRaWAN desde un navegador, para lo cual hay que dirigirse al enlace proporcionado en la guía y guardar el archivo ZIP, tal como se observa en la Figura 19.

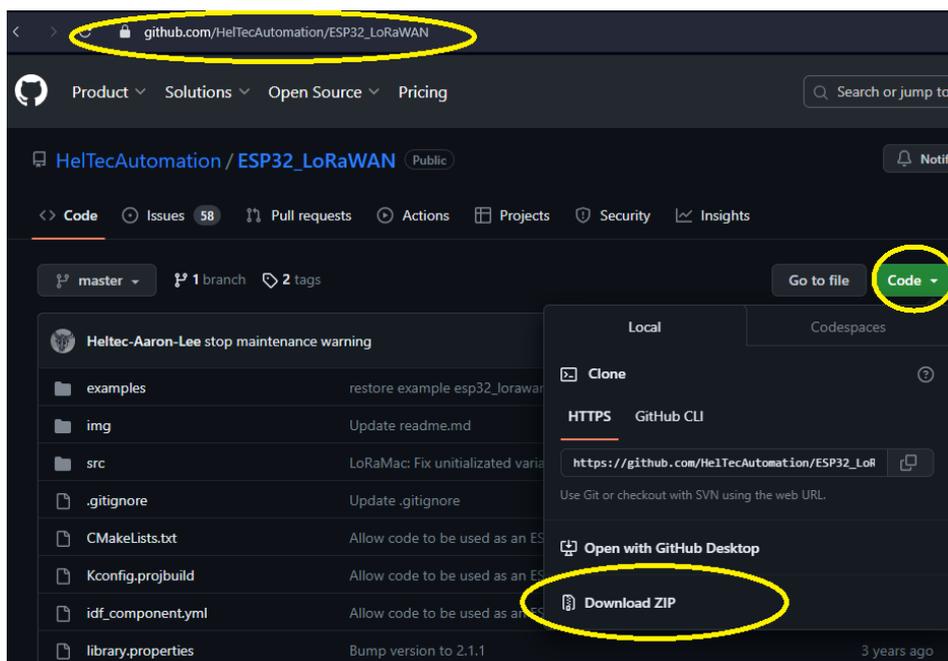


Figura 19: Descarga de la librería ESP32_LoRaWAN. Fuente: Autor.

A continuación, para poder instalar la librería ESP32_LoRaWAN. Abrir la plataforma de Arduino IDE, seleccionar Programa, Incluir Librería, Añadir biblioteca .ZIP ..., como se visualiza en la Figura 20.

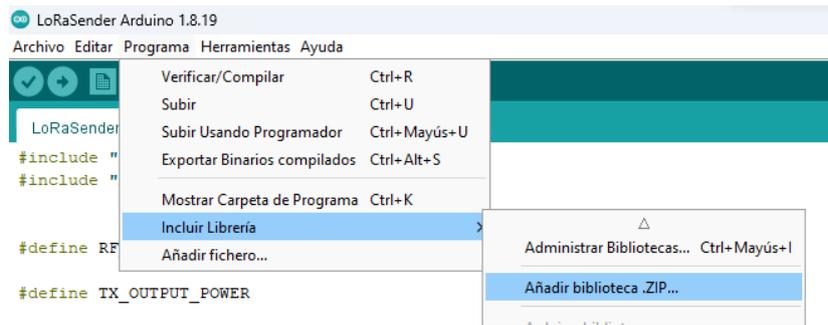


Figura 20: Añadir biblioteca por medio de archivo ZIP. **Fuente:** Autor.

Se abrirá una nueva ventana en la cual va a permitir seleccionar la librería ESP32_LoRaWAN en la ubicación que se haya guardado, en este caso es en descargas, se selecciona el archivo ZIP, clic en abrir y automáticamente se instalara la librería. Como se observa en la Figura 21.

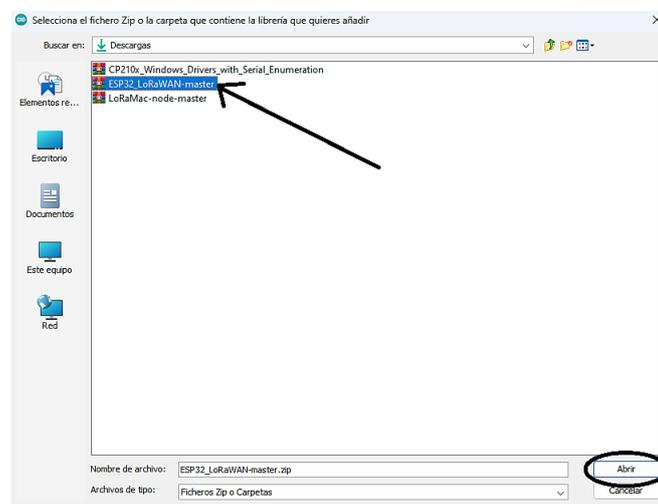


Figura 21: Selección e instalación del archivo ZIP que contiene la librería ESP32_loRaWAN **Fuente:** Autor

Para enviar la información recolectada por el dispositivo final hacia el servidor IoT, y que en la interfaz de usuario se pueda entender y visualizar los datos. Existe una manera de empaquetar la información optimizando recursos para el envío y líneas de programación, siendo convertida los datos hexadecimales en información de números y letras conforme menciona en[38], se utiliza la librería Cayenne, la cual es compatible con Arduino IDE y LoRaWAN. A esta libreria se puede descargar directamente desde el Administrador de Bibliotecas del Arduino IDE. Como se observa en la Figura 22.

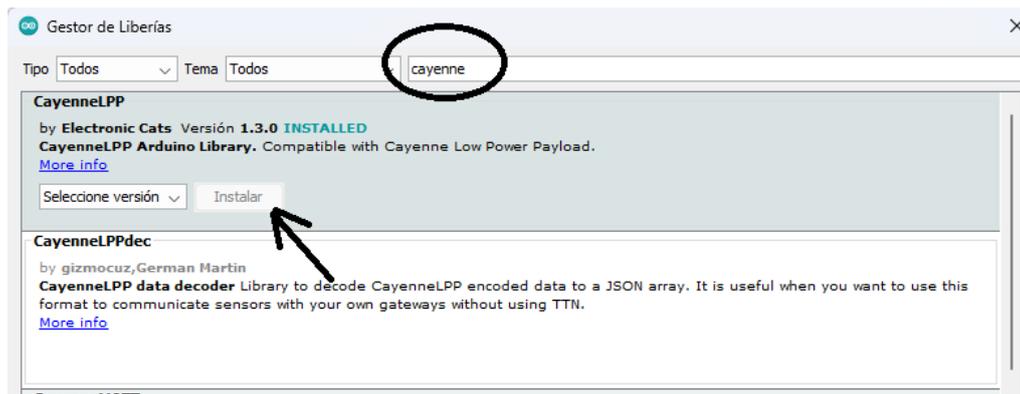


Figura 22: Instalación de la Librería Cayenne. **Fuente:** Autor

3.8.2 Instalación y configuración del Gateway LoRaWAN HT-M00

Con la guía rápida de instalación y configuración del gateway HT-M00 proporcionada por Heltec Automation en [39], se debe tener en cuenta que la puerta de enlace ya tiene descargado su software correspondiente cuando sale de fábrica. Iniciamos encendiendo el gateway mediante su conector tipo USB, a continuación, se debe ingresar a los parámetros de configuración de conexión y red. Para lo cual hay que mantener presionado el botón CFG, seguido sin soltar presionamos el botón RST. Luego soltamos el botón RST y luego de que el gateway ingrese a la interfaz como se observa en la Figura 23 soltamos el botón CFG.



Figura 23: Datos para autenticación del Gateway HT-M00. **Fuente:** Autor.

Ahora una vez el dispositivo encendido las 3 luces led en la parte inferior, se procede a buscar y conectarse mediante un ordenador, al wifi con el nombre que detalla en Config SSID de la Figura 23, con la contraseña “heltec.org”. Ingresamos en el navegador la

dirección IP “192.168.4.1” proporcionada, y automáticamente nos expulsa los parámetros de configuración del gateway HT-M00 como se observa en la Figura 24.

The image shows a web interface for configuring the HT-M00 gateway. It is divided into two main sections. The left section, titled "HT-M00 Config", contains several input fields for configuration parameters, each with a label above it: "WiFi SSID" (value: REDMINOTE11PRO), "WiFi PASS" (value: 1234567890juan), "GatewayID" (value: EC6260FFFFB39AD8), "CH0 FREQ(Hz)" (value: 916800000), "CH1 FREQ(Hz)" (value: 918200000), "MIN SF(7-12)" (value: 7), "MAX SF(MIN SF-12)" (value: 12), and "SERVER_ADDR" (value: lora.heltec.org). There are also two notes: "(Note 1: Only bandwidth 125KHz supported)" and "(Note 2: LoRaWAN node Tx preamble length should be 16 which default is 8)". A "GatewayID Default" button is located below the GatewayID field. The right section contains three more input fields: "SERVER_ADDR" (value: lora.heltec.org), "Server Port Up" (value: 1700), and "Server Port Down" (value: 1700). Below these are "Keep alive intervals(Seconds)" (value: 10) and "TIME ZONE" (value: UTC-5). At the bottom of the right section, there are three large black buttons: "Modify login info", "Submit", and "Firmware Update". The "Firmware Update" button has the text "firmware version : V2.0" below it.

Figura 24: Parámetros de configuración del gateway LoRaWAN HT-M00 **Fuente:** Autor.

Como se visualiza en la Figura 24(a) se configuro el nombre red Wifi con su contraseña, las bandas de frecuencia de uso libre permitidas en el Ecuador mencionadas en [40] de la Resolución No. 12-09-ARCOTEL-2017 emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. En este caso se trabaja las frecuencias de 916.8MHz hasta la 918.2MHz que trabaja el servidor IoT-TTS (The Things Stack) de Heltec, y se agrega la dirección del servidor IoT. Luego de modificar dicha información, hacer clic en Submit para guardar las configuraciones realizadas.

El gateway HT-M00 se reiniciará y al momento de volver a encenderse se conectará de manera automática al Wifi que se ha configurado anteriormente. En caso de que la conexión este fallando, se reiniciara repetidamente hasta que la conexión sea exitosa. Como se observa en la Figura 25 (a) está intentando conectarse a la red Wifi, y en la Figura 25 (b) se puede observar que se conectó exitosamente a la red y en la Figura 25 (c), está esperando alguna conexión, para enviar o receptor paquetes.



Figura 25: (a) Gateway HT-M00 conectándose al wifi (b) Gateway HT-M00 conectado al wifi (c) Gateway HT-M00 entregando información de Recepción y Envío de Datos. **Fuente:** Autor.

3.8.3 Conexión y configuración de sensores al nodo Wifi Lora 32 V2

A continuación, se procede a crear la conexión de los sensores MAX30100, y el sensor MLX90614, hacia la placa Wifi Lora 32 v2, para poder dar lectura de los datos de ritmo cardiaco, SpO2 y temperatura, se define la conexión en el diagrama de la Figura 27, conforme sus pines de salida de los sensores, y los pines de entrada y salida del dispositivo Wifi Lora 32 v2, vistos anteriormente.

Por las características de la librería LoRaWAN con el uso de los puertos I2C que se asemejan a las de la librería MAX30100, dificulta poder conectar el sensor al dispositivo final de manera directa y censar los datos en conjunto con el sensor de temperatura. Por tal motivo, es necesario de una placa básica que contenga en sus características, la lectura de datos mediante el protocolo I2C y pueda enviar dicha información por los puertos “TX” y “RX”. Conforme menciona en [41], la placa Arduino Nano es de un tamaño compacto y dispone de dichas características necesarias, teniendo las capacidades de un Arduino UNO, por su CHIP ATmega328P, esta placa es compatible con el microcontrolador ESP32 que dispone la placa Wifi Lora 32 v2. Con la diferencia de que esta placa trabaja con 5V, que serán alimentados desde la placa principal.

A continuación, se observa en la Figura 26, el diagrama de conexión para la comunicación de los sensores MAX30100 y MLX90614, con el Nodo Final (Wifi Lora 32 v2). Utilizando una batería de litio para su alimentación de todos los dispositivos.

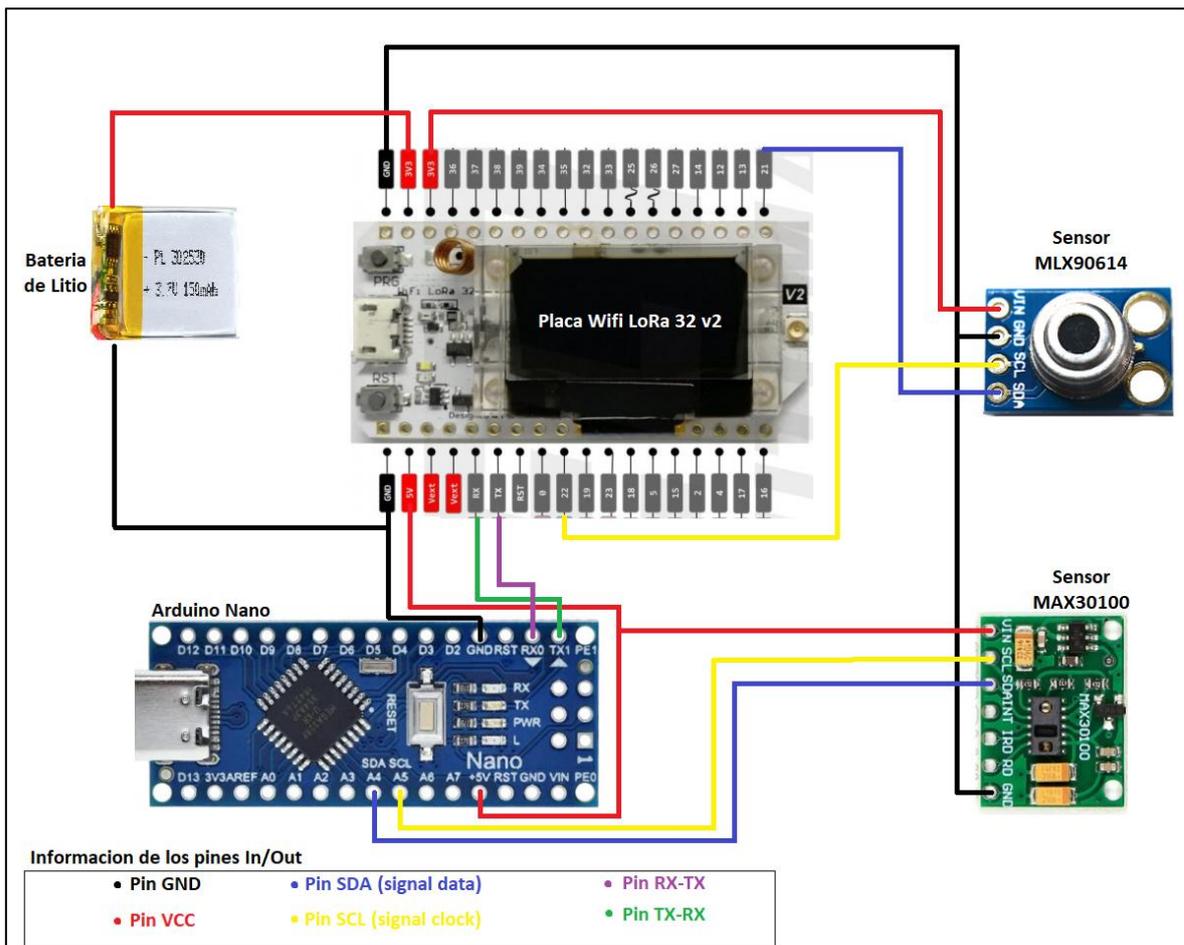


Figura 26: Diagrama de Conexión del Nodo Final con Sensores. **Fuente:** Autor.

Con la conexión de la Figura 26, el funcionamiento del circuito, indica que el sensor MLX90614 se comunican a través del puerto de comunicación I2C (SCL=22, SDA=21) del módulo Wifi LoRa 32v2, y el sensor MAX30100 se comunica por medio del puerto de comunicación I2C (SDA=A4, SCL=A5) de la placa Arduino Nano, para poder ser enviados por medio de los puertos RX-TX los datos censados al Nodo Final.

Para que los sensores, comiencen a censar datos de la persona discapacitada y enviar los datos al servidor en la Nube, es necesario programarlos y configurarlos, mediante la plataforma Arduino IDE. Comenzando por definir las librerías a usar, para la comunicación I2C se necesita de la librería “Wire.h”, para el funcionamiento del sensor max30100, se necesita la librería “MAX30100_PulseOximeter.h”, para el funcionamiento del sensor MLX90614 se necesita de la librería” Adafruit_MLX90614.h”, para usar la pantalla se necesita la librería “U8x8lib.h”.

Para la configuración, se inició programando el módulo de Arduino Nano con el sensor MAX30100. Simplemente para la lectura de datos de ritmo cardiaco y SpO2, se basa en los ejemplos que entregan de forma predeterminada las librerías de los sensores antes instaladas. Es decir, para la configuración y lectura de los datos se usó el ejemplo MAX30100 Minimal, en el cual se va modificando el tiempo de 1000 milisegundos a 100 milisegundos, vista en

la cuarta línea del código ejemplo como se observa en la Figura 27. Con el objetivo de que envíe mayor cantidad de datos, a través del puerto TX-RX para dar una mayor exactitud en los datos que el sensor detecta en el cuerpo de la persona.

```
1 #include <Wire.h>
2 #include "MAX30100_PulseOximeter.h"
3
4 #define REPORTING_PERIOD_MS 100
5
6
7 uint32_t tsLastReport = 0;
8
```

Figura 27: Modificación del tiempo de lectura de datos del sensor MAX30100. **Fuente:** Autor.

Luego, se agrega dentro del código ejemplo, la definición de dos variables de tipo Float [42](sin signo), en la línea de código 28 y 29 observada en la Figura 28. La primera variable es para dar lectura a los datos del ritmo cardiaco, y la segunda es para la lectura del SpO2, permitiendo guardar e imprimir los datos en el monitor serial como se observa en la línea 39 a la 43 del código de la Figura 28, con el objetivo de poder descifrar y observar el funcionamiento correcto del sensor en el Nodo Final.

```
21
22 void loop()
23 {
24     pox.update();
25
26     if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
27         // Leer los valores de frecuencia cardiaca (Heart Rate) y SpO2
28         float heartRate = pox.getHeartRate();
29         float spo2 = pox.getSpO2();
30
31         // Mostrar los datos en el monitor serial
32         Serial.print("Heart rate:");
33         Serial.print(heartRate);
34         Serial.print("bpm / SpO2:");
35         Serial.print(spo2);
36         Serial.println("");
37
38         // Enviar los datos al módulo WiFi LoRa32 v2 a través del puerto serial
39         Serial.print("HR:");
40         Serial.print(heartRate);
41         Serial.print(",");
42         Serial.print("SpO2:");
43         Serial.println(spo2);
44
45         tsLastReport = millis();
46     }
47 }
```

Figura 28. Creación de Variables Float para sensor max30100. **Fuente:** Autor.

Ahora para la placa Wifi LoRa 32 V2, y su funcionamiento de lectura de los sensores MAX30100 y MLX90614, se toma como base el ejemplo “LoRaWAN Licence” de la librería Heltec instalada anteriormente. Abierto este código ejemplo, continuamos con la lectura de los datos enviados del Arduino Nano en los puertos TX-RX. Primero se lee la información de tipo String recibida en el puerto serial RX-TX, y se declara una nueva variable “data” para guardar esta información de tipo String en ella, este proceso se realiza dentro del bucle loop, en la línea de código número 136 del ejemplo. Ya que va a estar constantemente actualizándose el estado del dispositivo dentro de esta función. Para su verificación de funcionamiento se imprime en el puerto serial esta variable de tipo String. Luego se va decodificando la información de la variable data, comenzando por encontrar una coma en ella, ya que esta coma se definió anteriormente, para separar la información del

ritmo cardiaco y spo2. Se aplica una sentencia If, para que siempre que detecte la coma, inicie la separación del ritmo cardiaco y spo2. A continuación para que se vaya descifrando la información, se crea dos variables Strings que van almacenar los datos del ritmo cardiaco y spo2 censados, en las cuales se aplica un método sobre la cadena data, permitiendo devolver una subcadena que comience en el índice 3 para el ritmo cardiaco y en el índice 6 para spo2 justo antes de que termine “SeparatorIndex” y se almacenen en la variable. Para finalizar convirtiendo los datos String en variables de tipo Float, observados en la Figura 29.

```

133 case DEVICE_STATE_SEND:
134 {
135
136 if (Serial.available()) {
137     String data = Serial.readStringUntil('\n'); // Leer los datos enviados desde el Arduino Nano hasta encontrar el carácter de nueva línea ('\n')
138     Serial.print("Datos recibidos: ");
139     Serial.println(data); // Mostrar los datos recibidos en el monitor serial
140
141     // Parsear los datos recibidos como valores de tipo float
142     int separatorIndex = data.indexOf(','); // Encontrar la posición de la coma que separa los valores
143     if (separatorIndex != -1) { // Si se encontró la coma en los datos recibidos
144         String hrString = data.substring(3, separatorIndex); // Extraer la parte de los datos correspondiente a la frecuencia cardiaca (heart rate)
145         String spo2String = data.substring(separatorIndex + 6); // Extraer la parte de los datos correspondiente a SpO2
146
147         // Convertir las cadenas a valores float
148         heart = hrString.toFloat();
149         spo2 = spo2String.toFloat();
150         float objectTemp = mlx.readObjectTempC();
151

```

Figura 29: Descifrado de datos del sensor MAX30100. **Fuente:** Autor.

Para comprobar, se imprime las variables en el puerto serial y en la pantalla OLED, como se observa en la Figura 30. La pantalla OLED, simplemente para que funcione se declara la librería “U8x8lib.h” instalada anteriormente, seguido de la selección de la configuración de la pantalla, como se observa en la Figura 31.

```

150     float objectTemp = mlx.readObjectTempC();
151
152     // Limpiar la pantalla
153     u8x8.clear();
154     u8x8.drawString(0, 2, "Heart rate:");
155     u8x8.setCursor(0, 3);
156     u8x8.print(heart, 1);
157     u8x8.print(" bpm");
158     u8x8.drawString(0, 4, "SpO2:");
159     u8x8.setCursor(0, 5);
160     u8x8.print(spo2, 1);
161     u8x8.print("%");
162     u8x8.drawString(0, 6, "Temp:");
163     u8x8.setCursor(0, 7);
164     u8x8.print(objectTemp, 1);
165     u8x8.print("C");
166
167     // Mostrar los valores de frecuencia cardiaca y SpO2 en el monitor serial
168     Serial.print("Heart rate: ");
169     Serial.print(heart);
170     Serial.print(" bpm / NIVEL DE OXIGENACION: ");
171     Serial.print(spo2);
172     Serial.println("%");
173     Serial.print(" TEMPERATURA: ");
174     Serial.println(objectTemp);
175

```

Figura 30: Impresión de los datos de ritmo cardiaco y SpO2. **Fuente:** Autor

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_MLX90614.h>
3 #include <CayenneLPP.h>
4 #include "LoRaWAN_APP.h"
5 #include <U8x8lib.h>
6
7
8 #define I2C_SDA 21
9 #define I2C_SCL 22
10
11 float heart= 0.0, spo2= 0;
12
13 U8X8_SSD1306_128X64_NONAME_SW_I2C u8x8(/* clock=*/ SCL_OLED, /* data=*/ SDA_OLED, /* reset=*/ RST_OLED); // OLEDs without Reset of the Display
14 Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
15
16 uint32_t license[4]={0x1C40B109, 0x09CA4C4C, 0x30739A56, 0xA1397A83};
17 /* OTAA para*/

```

Figura 31: Configuración de la pantalla OLED *Fuente:* Autor

Para la lectura del sensor MLX90614. Se inicia añadiendo la librería “Adafruit_MLX90614.h” que anteriormente se instaló, y con base al código ejemplo mlxtest incluida en la librería, se inicia definiendo los puertos I2C del Nodo Final. Luego se inicia e instanciar la librería Adafruit, para poder proporcionar las funcionalidades del sensor, observada en la línea 14 de la Figura 32. En el bucle setup se agrega una línea de código para iniciar la comunicación con el sensor mediante el comando `mlx.begin()`.

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_MLX90614.h>
3 #include <CayenneLPP.h>
4 #include "LoRaWAN_APP.h"
5 #include <U8x8lib.h>
6
7
8 #define I2C_SDA 21
9 #define I2C_SCL 22
10
11 float heart= 0.0, spo2= 0;
12
13 U8X8_SSD1306_128X64_NONAME_SW_I2C u8x8(/* clock=*/ SCL_OLED, /* data=*/ SDA_OLED, /* reset=*/ RST_OLED); // OLEDs without Reset of the Display
14 Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
15
16 uint32_t license[4]={0x1C40B109, 0x09CA4C4C, 0x30739A56, 0xA1397A83};
17 /* OTAA para*/

```

Figura 32: Anadir librería y estanciar al sensor MLX90614. *Fuente:* Autor.

En el bucle loop, en el apartado del estado del Dispositivo, así como el sensor max30100 se agrega una variable de tipo Float, que permite almacenar los datos que censa el sensor por la función `mlx.readObjectTempC()`, que está ya establecida en la librería como se observa en la línea 150 del código de la Figura 30. Para verificar los datos censados, se imprime en las líneas 162-165(para pantalla OLED) y 173-174(para puerto Serial) del código de la Figura 30.

3.8.4 Conectividad y envío de datos LoRaWAN del dispositivo final hacia el Servidor de Red The Things Stack (TTS)

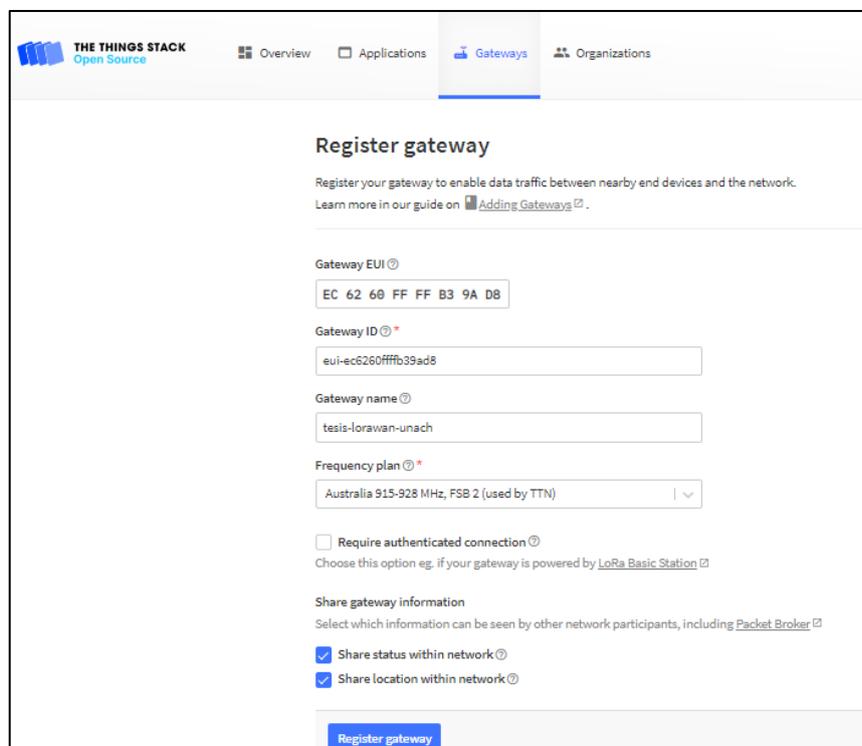
La comunicación LoRaWAN, como bien se mencionó anteriormente trabaja con diferentes tipos de dispositivos finales, en el presente proyecto, el dispositivo es uno de clase A, ya que necesitamos que transmita los datos de los sensores por medio de un enlace ascendente logrando el monitoreo de los signos vitales en un tiempo programado.

3.8.4.1 Conexión a TTS (The Things Stack)

El servidor The Things Stack comúnmente más conocido como TTS, pertenece a Heltec Automation, siendo un servidor de uso gratuito de código abierto, permitiendo la configuración de los parámetros conforme se necesite, y con los dispositivos que se están trabajando en este proyecto de investigación son fabricantes de Heltec, se escogió el servidor de red IoT-TTS.

Con la guía proporcionada en [43], se inicia registrando el gateway, para lo cual en el navegador se busca “The Things Stack console”, ingresamos a la página, nos registramos de manera gratuita, y nos dirigimos al apartado de Gateways, registrar Gateway, llenamos los campos solicitados, y hacemos clic en Register Gateway, como se observa en la Figura 36.

- **Gateway EUI:** se obtiene conectando el gateway HT-M00 imprimiendo a través del puerto serial.
- **Gateway ID:** se obtiene de manera automática, solo con hacer clic.
- **Gateway Name:** se coloca el nombre que se desee.
- **Frecuency Plan:** para la frecuencia de trabajo conforme la Resolución ARCOTEL No. 12-09-ARCOTEL-2017, la frecuencia libre permitida en Ecuador es de 915MHz, por tal motivo se selecciona Australia 915-925MHz, FSB 2 que se usa para el servidor en la nube.



The screenshot shows the 'Register gateway' page in the The Things Stack console. The page has a navigation bar with 'Overview', 'Applications', 'Gateways', and 'Organizations'. The main content area is titled 'Register gateway' and includes a sub-header 'Register your gateway to enable data traffic between nearby end devices and the network.' Below this, there are several input fields: 'Gateway EUI' with the value 'EC 62 60 FF FF B3 9A D8', 'Gateway ID' with the value 'eui-ec6260ffffb39ad8', 'Gateway name' with the value 'tesis-lorawan-unach', and 'Frequency plan' with a dropdown menu showing 'Australia 915-928 MHz, FSB 2 (used by TTN)'. There are also checkboxes for 'Require authenticated connection' and 'Share gateway information'.

Figura 33: Registro del Gateway HT-M00 en la plataforma TTS. Fuente: Autor.

Confirmamos el correcto registro del gateway, como se observa en la Figura 37, da conexión de la última actividad hace un tiempo en segundos y en el Live Data, arroja los resultados de estado del gateway HT-M00 a la espera de alguna conexión.

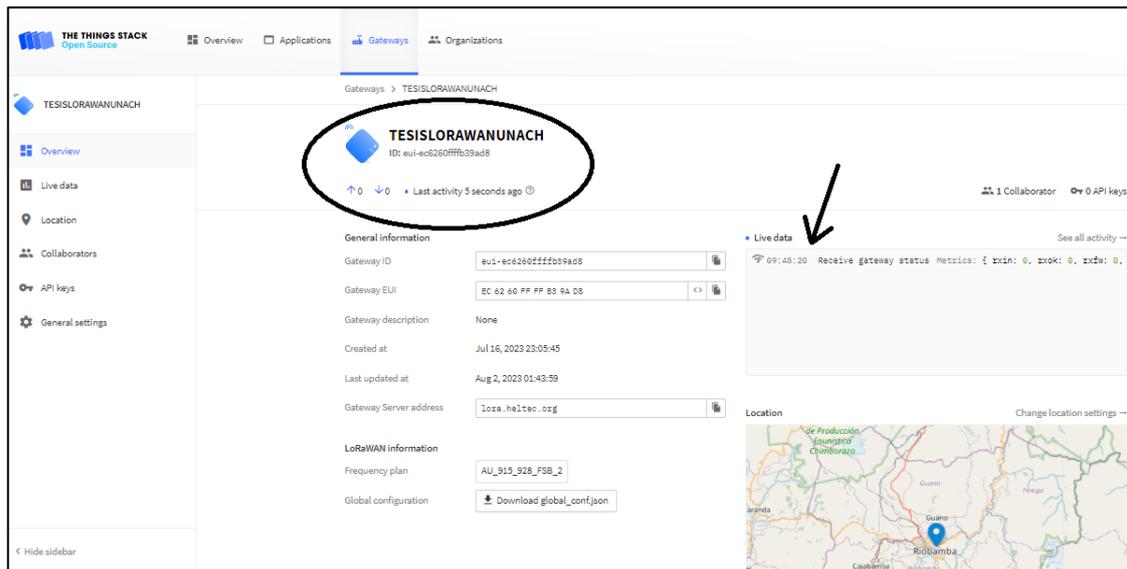


Figura 34: Estado del Gateway HT-M00 a espera de alguna conexión. **Fuente:** Autor.

Para el registro del Nodo Final Wifi LoRa 32 V2, en el servidor TTS, en el menú principal de la Consola, seleccionar Aplicaciones, Crear Aplicación, y se rellenan los campos conforme se desee. Como se observa en la Figura 38. Toda la información es a gusto del usuario.

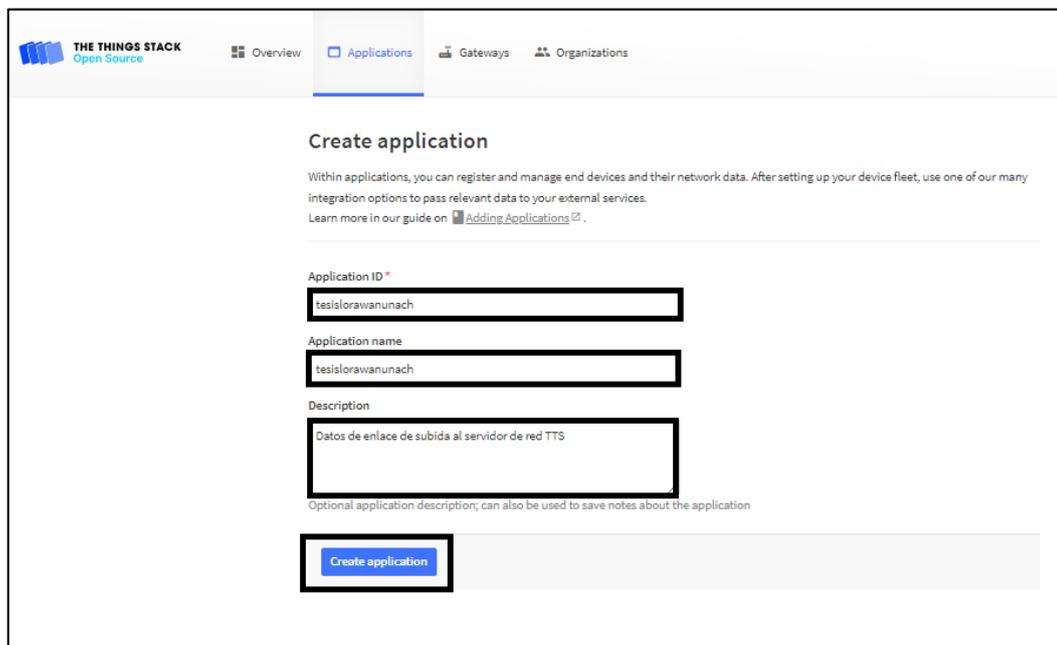


Figura 35: Crear aplicación en servidor TTS. **Fuente:** Autor.

Para registrar dentro de la aplicación, el módulo Wifi LoRa 32 V2, se selecciona Register End Device. Como se visualiza en la Figura 39, se selecciona la marca, el modelo, la versión

de hardware, la versión de firmware y la región correspondiente. El método de activación se seleccionó por OTAA (Activación por Aire), ya que, en este tipo de seguridad en la conexión, no es directa, nos entrega un tipo de solicitud y aceptación de unión en la red. Permitiendo conocer el estado del dispositivo antes de realizar su conexión.

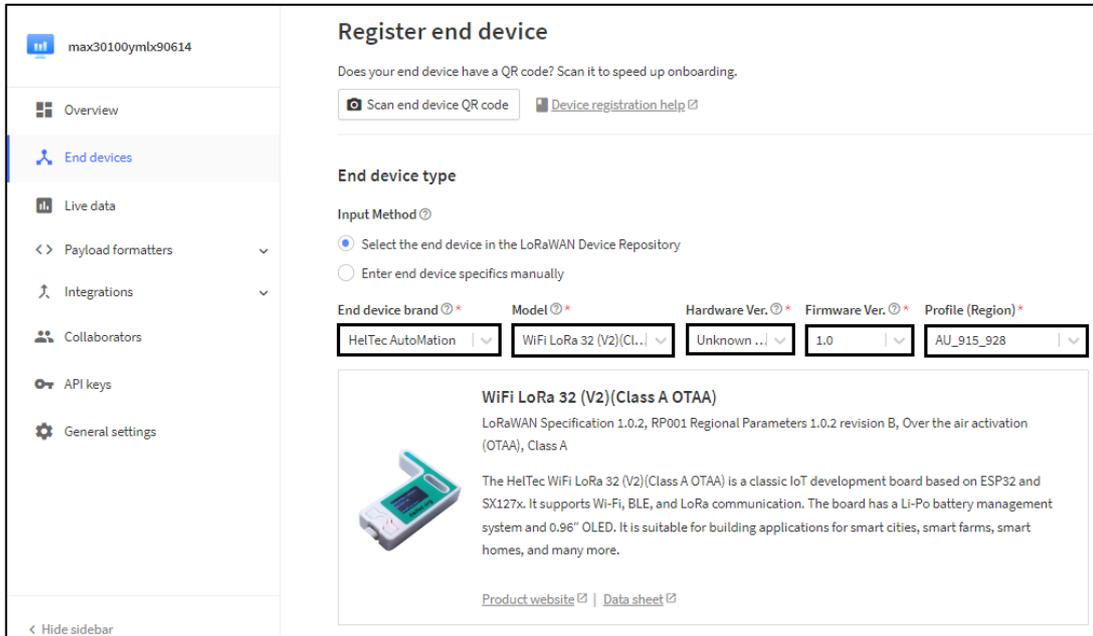


Figura 36: Selección del tipo de dispositivo final en el servidor TTS. **Fuente:** Autor.

En el siguiente literal. El JoinEUI, DevEUI y el AppKey se genera en forma aleatoria en el servidor solo con aplastar Generate. Clic en Register End Device y se finaliza la configuración del Dispositivo Final Wifi LoRa 32 v2, como se visualiza en la Figura 40.

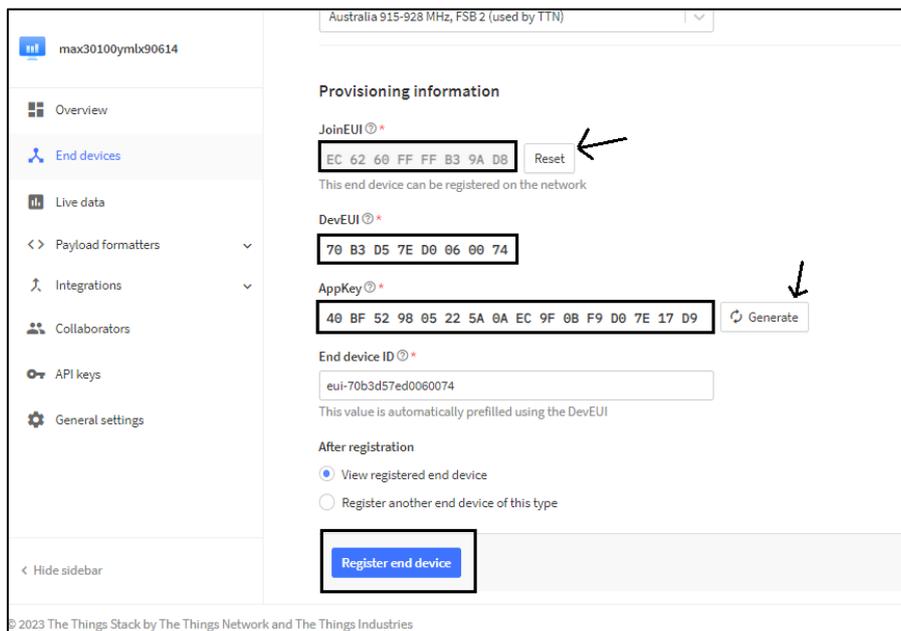


Figura 37; Generación de DevEUI, AppEUI y AppKey en el servidor TTS para el nodo final. **Fuente:** Autor.

3.8.4.2 Configuración y conexión del Nodo Final al Gateway HT-M00 para envío de datos al Servidor TTS

Para iniciar la configuración de sus parámetros, en el entorno de Arduino IDE, nos basamos en la guía de configuración proporcionada por el fabricante en [44], y siguiendo con el código ejemplo “LoRaWAN Licence”, se necesita de la activación de la librería mediante una licencia, instalada por el fabricante en el chip del Módulo Wifi Lora 32 v2. Para conocer la licencia, se debe conocer el ChipID del módulo. La placa viene cargada de fábrica con una programación de información del módulo. Por lo cual, conectamos el módulo, abrimos el monitor serial en el Arduino IDE, y se puede observar el ChipID del módulo, como se observa en la Figura 33.



Figura 38: ChipID del Módulo Wifi LoRa 32 v2. Fuente: Autor

Luego para obtener la licencia del módulo, se ingresa al URL de la guía de configuración LoRaWAN con el ChipID, arrojando el siguiente resultado para la placa Wifi LoRa 32 V2, observado en la Figura 34.

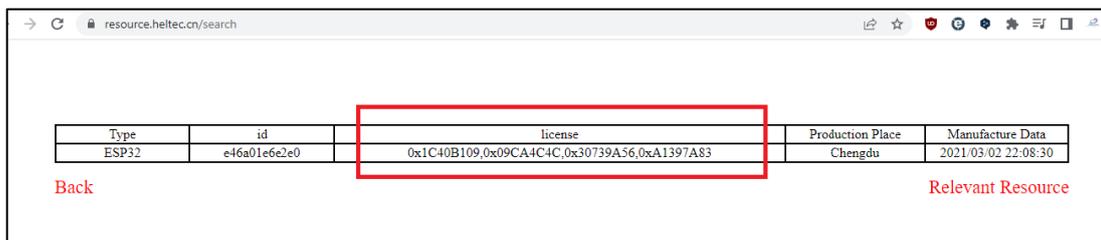


Figura 39: Licencia de Wifi Lora 32 v2 Fuente: Autor

A continuación, se agrega la licencia en la línea 16 del código principal que se está trabajando, y pueda poder conectarse al servidor TTS como se observa en la Figura 35.

```
16 uint32_t license[4]={0x1C40B109, 0x09CA4C4C, 0x30739A56, 0xA1397A83};
```

Figura 40: Licencia agregada en Arduino IDE. Fuente: Autor.

Hay que tener en cuenta que, si el canal del nodo es mayor al canal del gateway y el canal del gateway está incluido en las configuraciones del canal del nodo. El canal del nodo va a lograr ingresar a la red cuando coincide con el canal del gateway. Si el canal del nodo no

incluye el canal del gateway, el nodo no se podrá conectar a la red. Peor aún ingresar al servidor como se visualiza en la Figura 43.

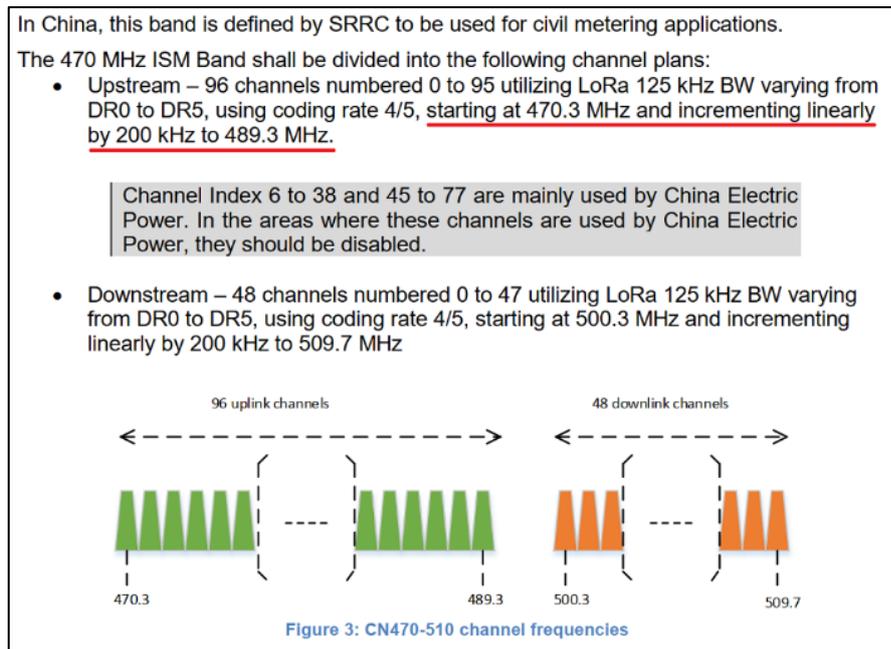


Figura 41: Frecuencia del Canal-funcionamiento. [45].

Por tal motivo, como ejemplo la guía de conexión de [45], facilitada por el fabricante Heltec Automation menciona que CN tiene 96 enumerados (canales) que van del 0 hasta el 95, la frecuencia tiene saltos de 200kHz, empezando en 470MHz hasta 509MHz. Siendo CN470 de frecuencia de operación, se debe configurar en la línea de programación de la siguiente manera:

`userChannelsMask [0]= 0x00FF`, significa usar los primeros 0-7 canales, convirtiendo 00FF a binario es “11111111”. Los 11111111 de bits bajos a bits altos corresponden a los primeros 0-7 canales, es decir, el último 1 corresponde al canal 0 y el primer 1 corresponde al canal 7. Cuando modifica "`userChannelsMask [0]=0x0001`", significa que el canal cambia a 0, que es 470,3 MHz, y cuando se modifica "`userChannelsMask [0]=0x0080`", significa que el canal cambia a 7, que es 471,7MHz, cuando modifica "`userChannelsMask [0]=0xFF00`", significa que los canales se cambian a 8-15.

Dicho lo anterior, con la frecuencia de AU-915MHz definida conforme el área de trabajo. Se debe tener en consideración que para conectarse a TTS, se necesita de la segunda banda de frecuencias de los 8-15 canales. Es decir, la primera banda de canales se conoce que trabaja en la frecuencia de 915.2MHz hasta 916.6MHz. Continuando con la segunda banda de frecuencias de 8-15 canales que van desde los 916.8Mhz hasta los 918.2MHz. Significando que en la línea de configuración en "`userChannelsMask [0]`" se debe configurar con "`0xFF00`", que define la segunda banda de trabajo de AU915MHz y en el gateway de la misma manera se debe configurar y definirla, como se observan en la Figura 24 en los parámetros de configuración del gateway HT-M00 ya se encuentra configurada esta banda

de frecuencias, faltando por configurar en el nodo, para eso se configura como se observa en la Figura 42 en la línea 28 del código principal.

```
26
27 /*LoraWan channelsmask, default channels 0-7*/
28 uint16_t userChannelsMask[6]={ 0xFF00,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000 };
29
```

Figura 42: Configuración de la segunda banda de canales de AU-915 **Fuente:** Autor

Como último proceso de conexión se copia los tres códigos hexadecimales (DevEUI, AppEUI y AppKey) que se generaron en el servidor TTS al registrar el nodo final para poder conectarnos por el método OTAA, esta información se reemplaza en las líneas 18,19 y 20 del código principal. Una vez que se finalizó la configuración se puede observar que ya existe conexión en la consola TTN-IoT, como se observa en la Figura 43.

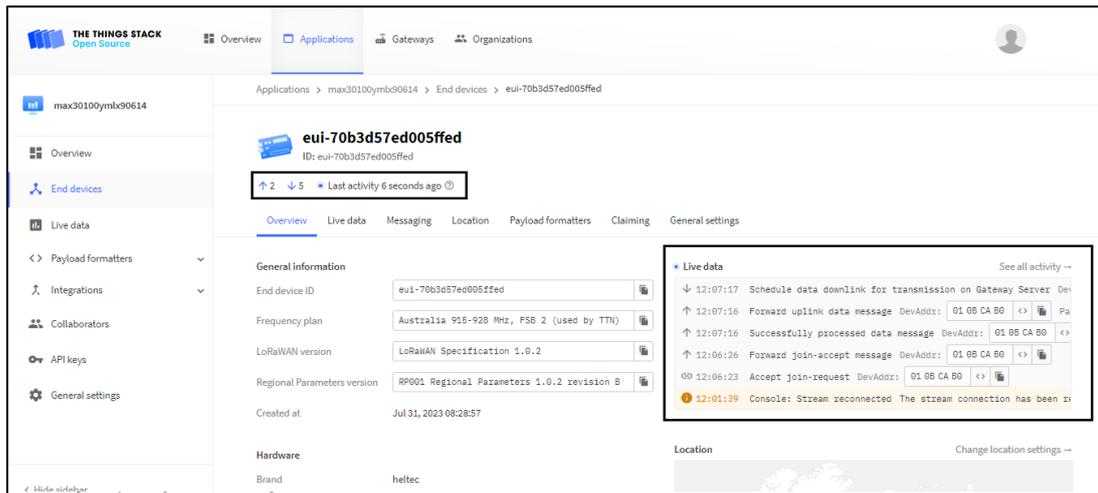


Figura 43: Verificación de conexión entre el nodo y el servidor TTS. **Fuente:** Autor.

3.8.5 Interfaz de Usuario Node-Red

Según la Fundación OpenJS, menciona que: Node-Red es una herramienta de programación que conecta dispositivos de hardware, API y servicios en línea, proporcionando un editor basado en navegador[46]. Para visualizar los datos en la interfaz gráfica de Node-Red, primero se debe realizar la modificación en el código principal usando la librería, CayenneLPP.h, para el envío y codificación de los datos de ritmo cardiaco, SpO2 y temperatura con un bajo consumo de recursos. La modificación del código se debe realizar dentro del bucle prepareTxFrame, ya que en este bucle se agrega la información que será enviada al servidor en la red The Things Stack. Esta modificación se visualiza en la Figura 44, la cual pertenece al código principal.

```

71
72
73 static void prepareTxFrame(uint8_t port)
74 {
75     CayenneLPP lpp(50);
76
77     // Leer datos del sensor MLX
78     float objectTemp = mlx.readObjectTempC();
79
80     // Agregar datos al paquete CayenneLPP
81     lpp.addTemperature(1, objectTemp);
82     lpp.addAnalogInput(2, heart);
83     lpp.addAnalogInput(3, spo2);
84
85     // Obtener el puntero al buffer del paquete CayenneLPP
86     uint8_t* payload = lpp.getBuffer();
87     appDataSize = lpp.getSize();
88     memcpy(appData, payload, appDataSize);
89
90     Serial.println("DATOS ENVIADOS CORRECTAMENTE");
91 }
92
93

```

Figura 44: Envío de datos al servidor TTS mediante la librería CayenneLPP.h. Fuente: Autor.

Ahora, dentro de los parámetros de configuración de la Aplicación en el servidor de red The Things Stack, hay que dirigirse hacia Integrations, para crear y agregar el Integrador MQTT, con el cual será el punto de conexión al servidor de Interfaz de Usuario de Node-Red. Se selecciona la opción MQTT y seleccionar Generate new API KEY, como se observa en la Figura 45.

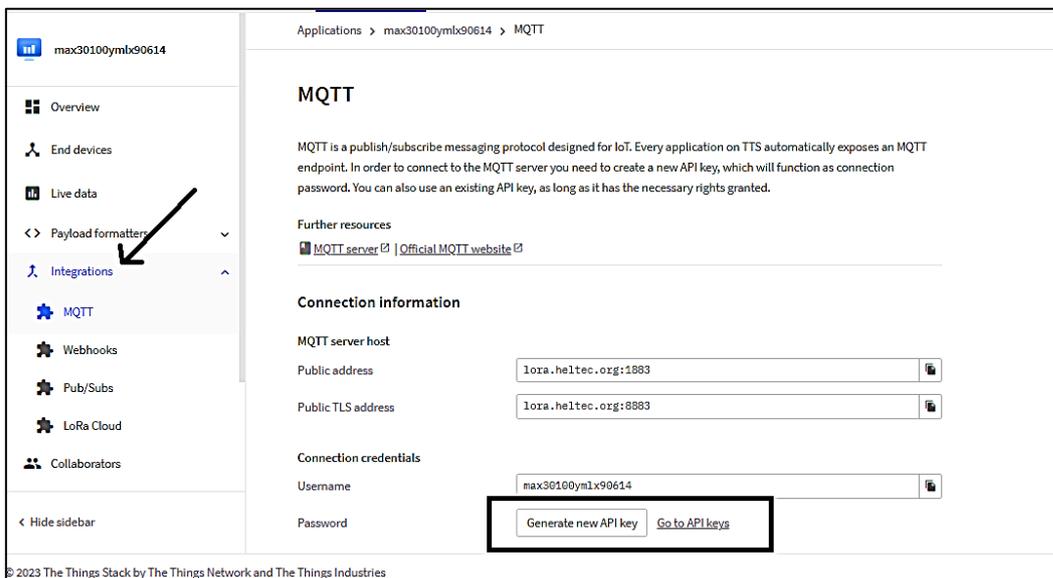


Figura 45: Selección de Cayenne en servidor de Red TTS. Fuente: Autor.

Se asigna un nombre personalizado al APY KEY, y automáticamente los demás campos se rellenan, como se observa en la Figura 46. Considerando que hay que guardar el KEY ID generado por el servidor en el momento, ya que no se volverá a entregar esa KEY ID nuevamente, por seguridad del servidor.

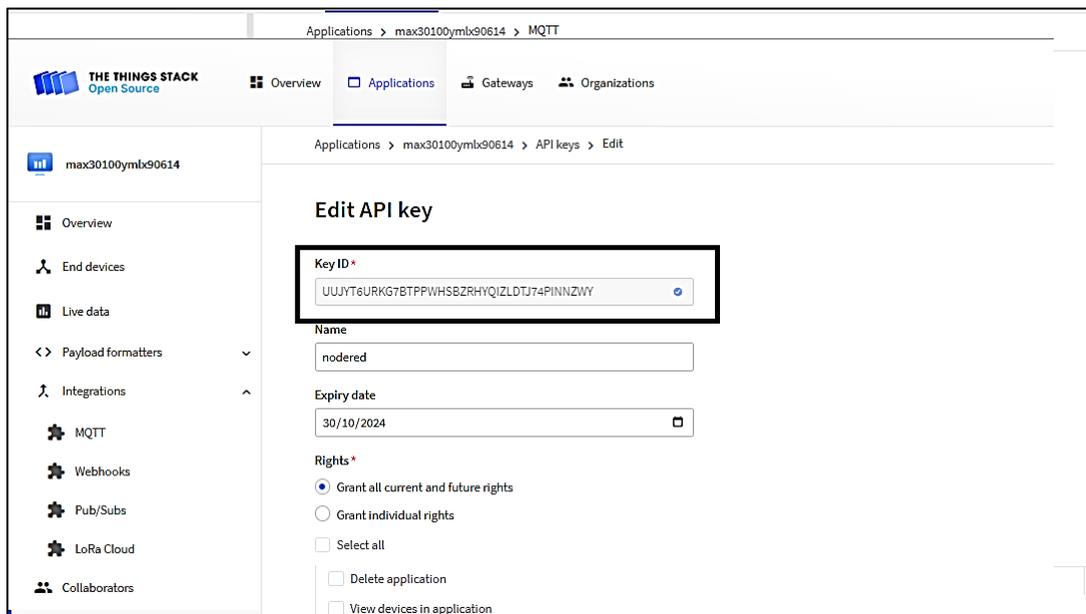


Figura 46: API KEY de la aplicación de TTS **Fuente:** Autor

Creado la Integración MQTT. Se direcciona al navegador y se escribe en el buscador Running Node-Red locally, ingresar a la primera opción arrojada por el buscador. A continuación, para instalar Node-Red se debe copiar el código del apartado Installing with npm, como se visualiza en la Figura 47.

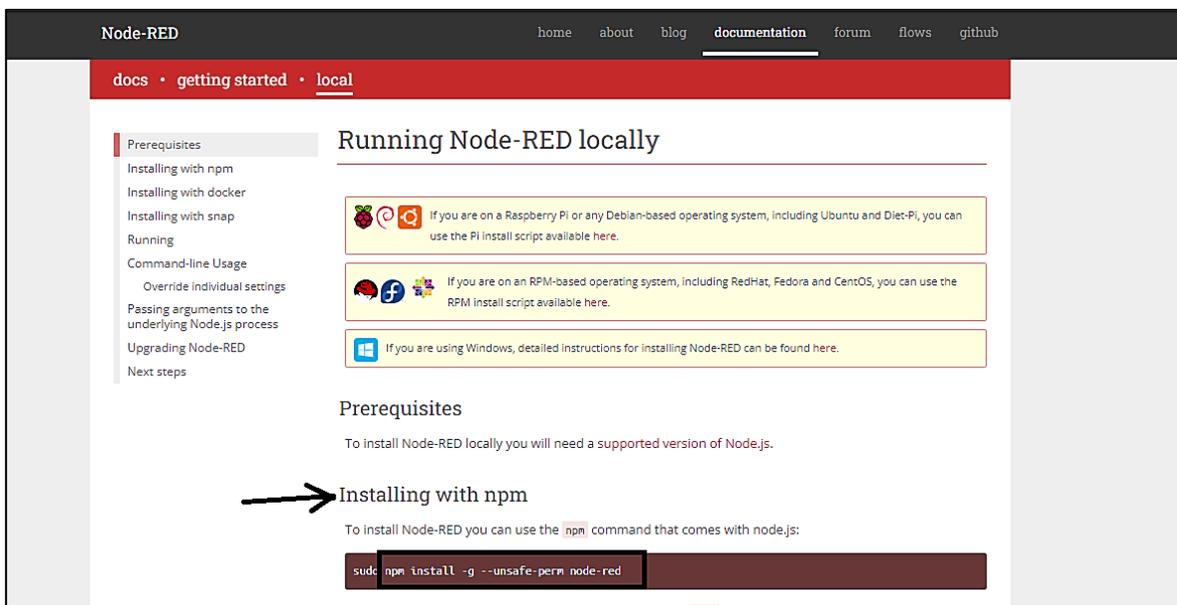


Figura 47: Página Oficial de Node-Red **Fuente:** Autor

Abrir el CMD del ordenador en modo administrador y pegar la línea de código para instalarlo. Al finalizar la instalación, volver a abrir el CMD y escribir node-red para ejecutarlo. En la ejecución arrojará una dirección IP para poder conectarse al servidor. Como se observa en la Figura 48.

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.22621.2428]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\GLOBAL SYSTEM>node-red ←
12 Oct 15:16:48 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

12 Oct 15:16:48 - [info] Node-RED version: v3.1.0
12 Oct 15:16:48 - [info] Node.js version: v18.18.1
12 Oct 15:16:48 - [info] Windows_NT 10.0.22621 x64 LE
12 Oct 15:16:49 - [info] Loading palette nodes
12 Oct 15:16:50 - [info] Dashboard version 3.6.0 started at /ui
12 Oct 15:16:50 - [info] Settings file : C:\Users\GLOBAL SYSTEM\.node-red\settings.js
12 Oct 15:16:50 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
12 Oct 15:16:50 - [info] User directory : \Users\GLOBAL SYSTEM\.node-red
12 Oct 15:16:50 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
12 Oct 15:16:50 - [info] Flows file : \Users\GLOBAL SYSTEM\.node-red\flows.json
12 Oct 15:16:50 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/ ←
12 Oct 15:16:50 - [warn]
```

Figura 48: Ejecución y dirección IP del servidor Node-Red **Fuente:** Autor

Abrir la dirección en el navegador y a continuación, en la ventana de edición se agrega un bloque llamado MQTT IN, que sirve para enlazarse al servidor TTS. Se debe configurar el bloque en la opción de Topic, reemplazando los valores de la línea de código ejemplo; v3/(Application id)/devices/(device id)/down/ack, como se observa en la Figura 49. Estos datos se obtuvieron en la configuración del Integrador MQTT y API KEY en el servidor el The Things Stack.

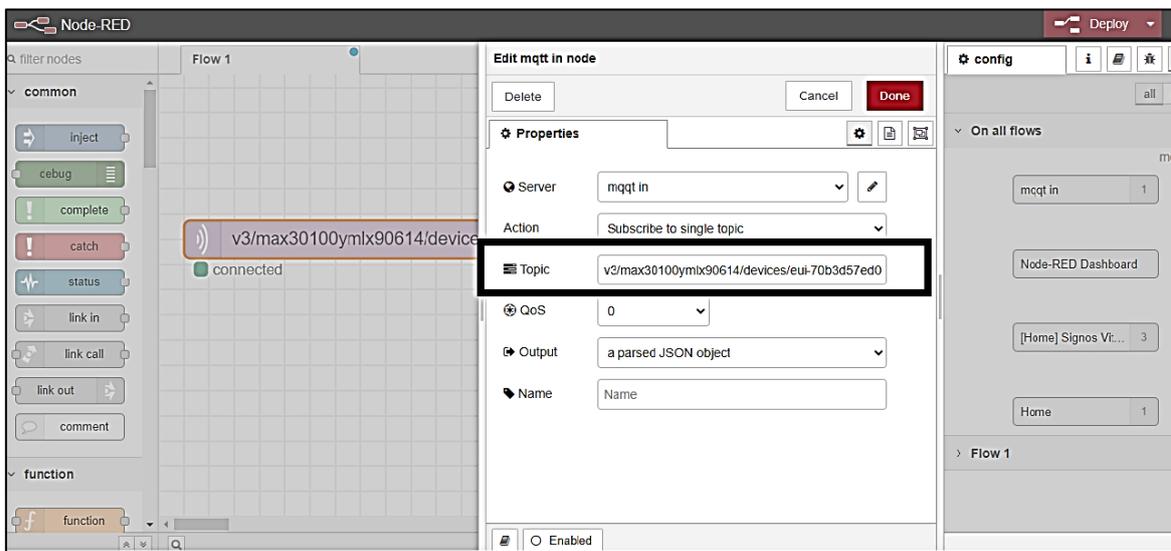


Figura 49: Configuración para conexión de Node-Red con The Things Stack **Fuente:** Autor

Para codificar y leer los datos en la Interfaz de Usuario de Node-Red, se agrega el bloque de Function seguido de la conexión del bloque MQTT, este bloque se le configura conforme los bucles que entrega los resultados en el payload del servidor The Things Stack. Ahora en este caso los datos de temperatura, frecuencia cardiaca y spo2 se encuentran dentro del bucle p.uplink_message.decoded, del bucle principal msg.payload que arroja el servidor TTS en la consola de datos en vivo. Esta configuración se la realiza en las propiedades del bloque de Function de Node-Red como se observa en la Figura 50. Se declara una variable que guarda la información del msg.payload del servidor TTS, para luego seleccionar y guardar

solo la información de la variable temperatura del bucle p.uplink_message.decoded y luego se declara un bucle de repetición de lectura, para que se actualice al dato actual censado. Este proceso también se realiza en forma independiente para las variables de frecuencia cardiaca y nivel de oxigenación en la sangre.

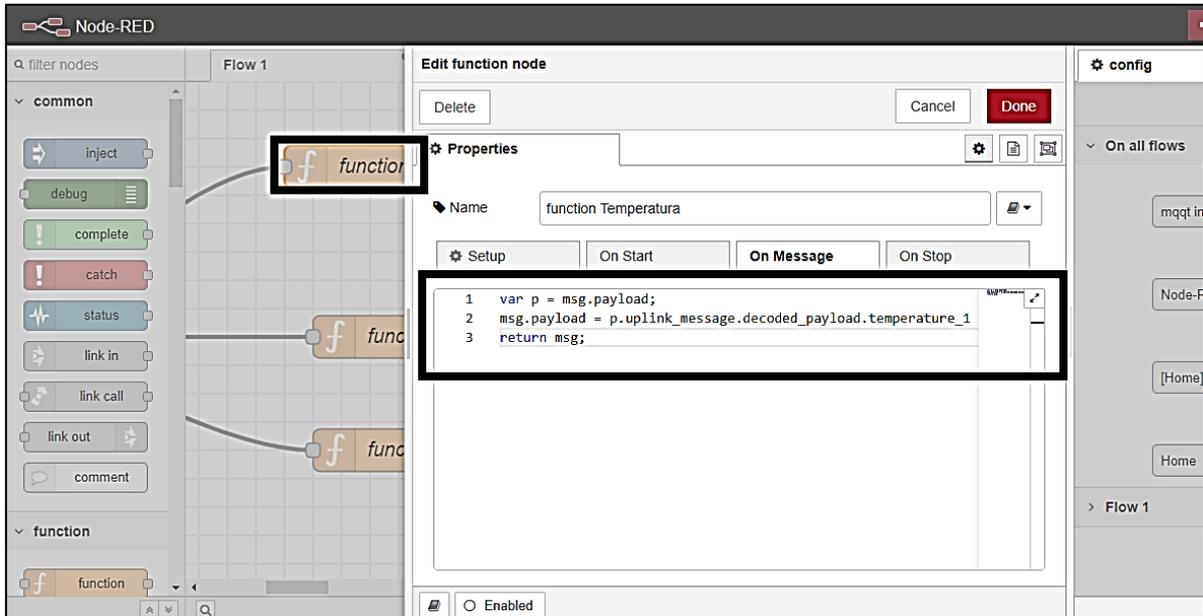


Figura 50: Configuración del bucle Function en Node-Red **Fuente:** Autor

Para finalizar la configuración se agrega un bloque llamado gauge a continuación de cada una de las funciones creadas. Este bloque va a permitir visualizar la información enviada por el servidor The Things Stack hacia el servidor Node-Red, llegando a ser entendible y legible para el usuario estos datos en el computador. Para su configuración en el apartado de propiedades del bloque, simplemente se modifica el rango y el nombre de la gráfica, como se observa en la Figura 51.

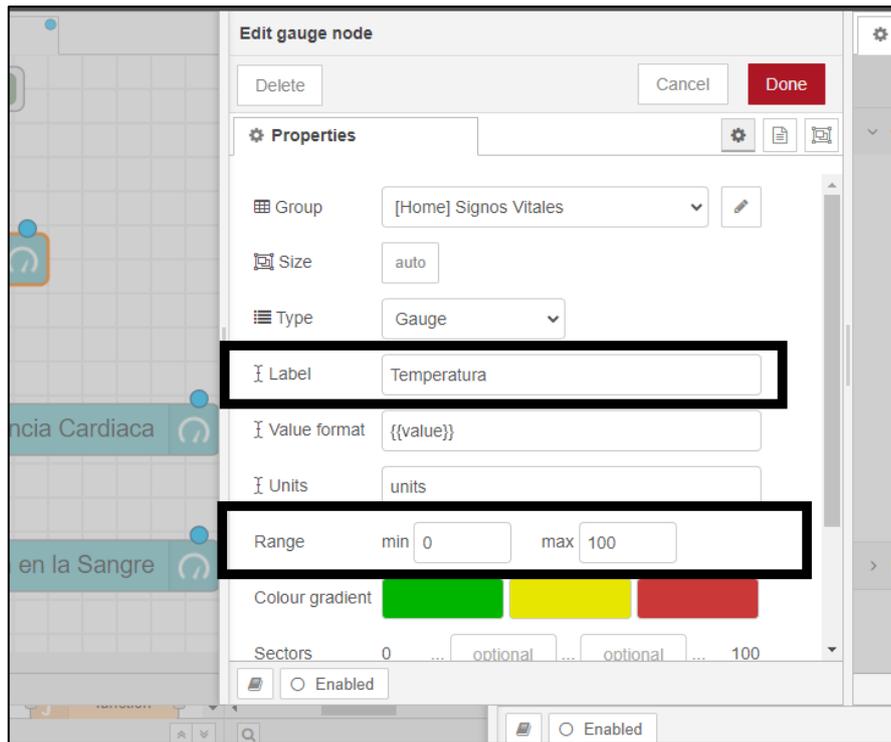


Figura 51: Configuración del bloque Gauge en Node-Red **Fuente:** Autor

3.8.6 Arquitectura del sistema de comunicación inteligente IoT LoRaWAN

La Topología que se presenta en la Figura 53, se diseñó, en base al desarrollo de cada proceso anterior especificado en la investigación y experimentación del presente trabajo de titulación. Siendo una comunicación punto a punto, con alcance a una comunicación multipunto que se origina desde los sensores para finalizar en la visualización de los datos en la interfaz de usuario.

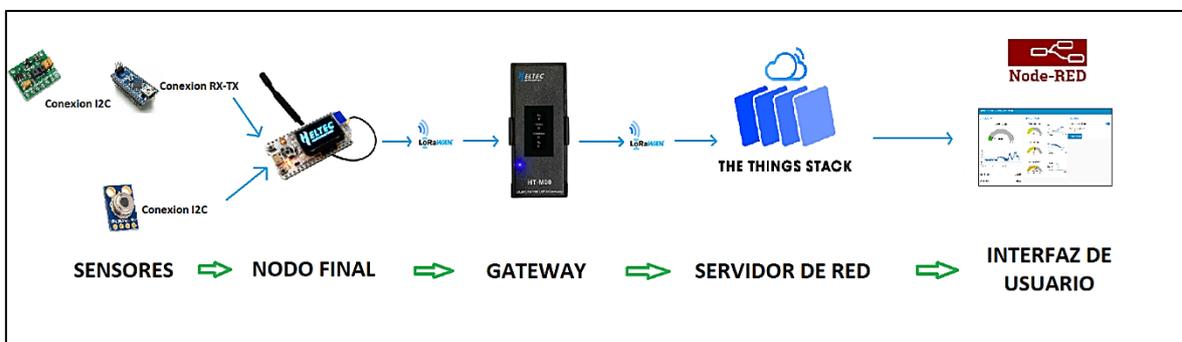


Figura 52: Topología del sistema de Comunicación IoT LoRaWAN. **Fuente:** Autor.

La primera parte de la arquitectura del sistema de comunicación IoT LoRaWAN, denominada sensores. Se realiza un análisis investigativo para seleccionar a los sensores capaces de medir el ritmo cardiaco, SpO2 y temperatura, en el cuerpo humano. Para el ritmo

cardíaco y SpO₂, se seleccionó el sensor MAX30100, y para la lectura de la temperatura el sensor MLX90614. Por su funcionalidad de trabajo los sensores son capaces de interactuar en el cuerpo humano sin realizar ninguna alteración en la salud de la persona discapacitada. Los sensores seleccionados trabajan por medio de la comunicación I2C, una señal de datos y una señal de reloj.

La segunda parte denominada nodo final, se centra en la interpretación y lectura de los sensores, que se utilizan para realizar las mediciones de los signos vitales en el cuerpo humano, por medio de un microcontrolador ESP32 incorporado. A su vez, el módulo Wifi LoRa 32 v2 posee las características de procesar la información que los sensores censan, para poder transmitir, a través de la tecnología LPWAN, protocolo LoRaWAN por medio del chip LoRa SX1276 del módulo que posee bandas de frecuencia de trabajo desde los 863MHz hasta los 928MHz. Logrando una transmisión inalámbrica.

En el tercer apartado, se configura el gateway HT-M00 con la red Wifi y la banda de frecuencias de trabajo de la red LoRaWAN, para que realice la recepción e interpretación de la información que es enviada por el Nodo Final con el protocolo LoRaWAN por medio de enlaces de conexión. Para poder luego ser enviada por medio del internet con la tecnología Wifi hacia la nube o servidor de red. Es decir, es el intermediario para la comunicación entre el nodo final y el servidor de red, comportándose como un repetidor de señal.

El cuarto proceso en el servidor de red, The Things Network se registra y configura el gateway HT-M00 seguido del nodo final Wifi LoRa 32 v2 con la red LoRaWAN y la banda de frecuencias de trabajo, con el objetivo de poder comunicarse con los dispositivos de manera remota y recolectar la información que fueron enviados por los sensores, para poder recibir y visualizarlos, en tiempo real.

En el quinto y último proceso, con la investigación de compatibilidad del servidor de red, se selecciona la interfaz de usuario Node-Red, que es capaz de poder comunicarse con el servidor de red (The Things Network) transmitiendo los datos censados por los sensores, de manera visual y de fácil entendimiento para el usuario final, en tiempo real.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta los resultados y análisis obtenidos por el dispositivo finalizado con todas las respectivas configuraciones en hardware y software.

4.1 Prueba y resultado del nodo con Modulo Wifi LoRa 32 v2

La propuesta del diagrama de conexiones del nodo Wifi LoRa 32 v2 con los sensores presentada en la Figura 26, primeramente, se implementó en un protoboard, lo cual permitió cargar la programación y comprobar el funcionamiento del dispositivo final con la lectura de los sensores, sin necesidad de realizar alguna soldadura en el proceso de prueba como se observa en la Figura 53. Los sensores de temperatura, frecuencia cardiaca y SpO2, censan los datos en la persona, para que a continuación, esta información se muestre en la pantalla del nodo.

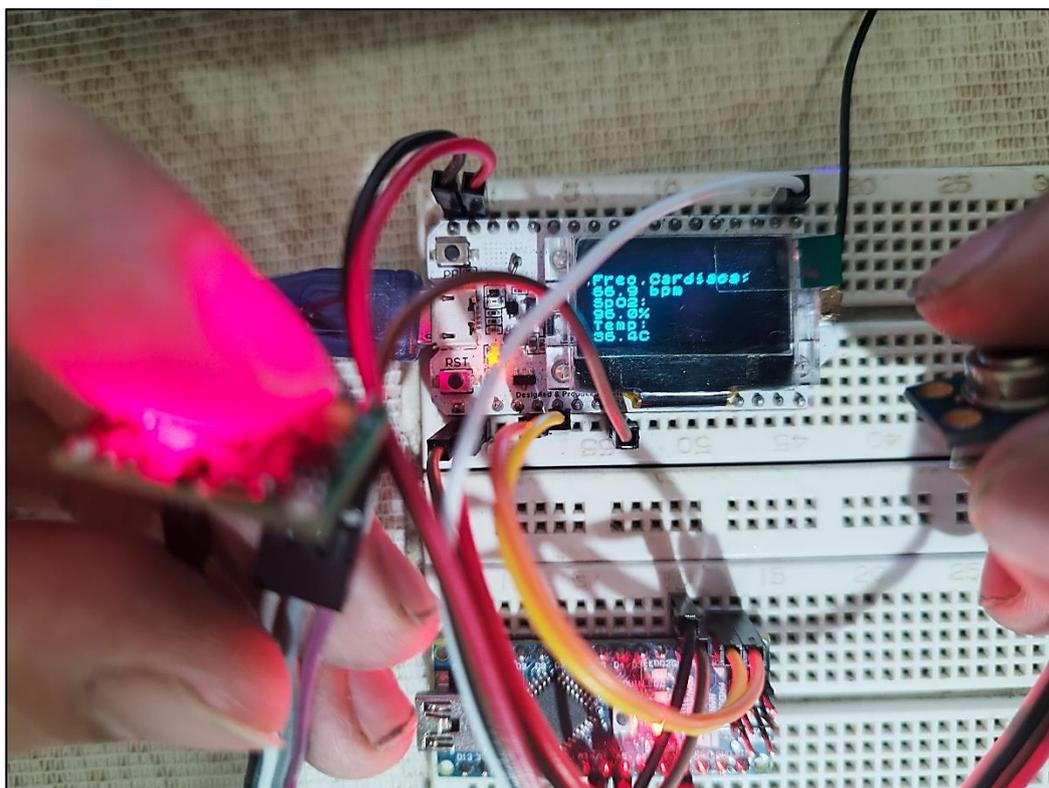


Figura 53: Prueba de lectura de datos del nodo Wifi LoRa 32 v2 con sensores. Fuente: Autor

Como se muestra en la Figura 54, se realizó la implementación de los sensores con el módulo Wifi LoRa 32 v2 ya soldados en una caja compacta y de fácil manipulación, lista para ser implementada a futuro en la silla de ruedas de la persona discapacitada.

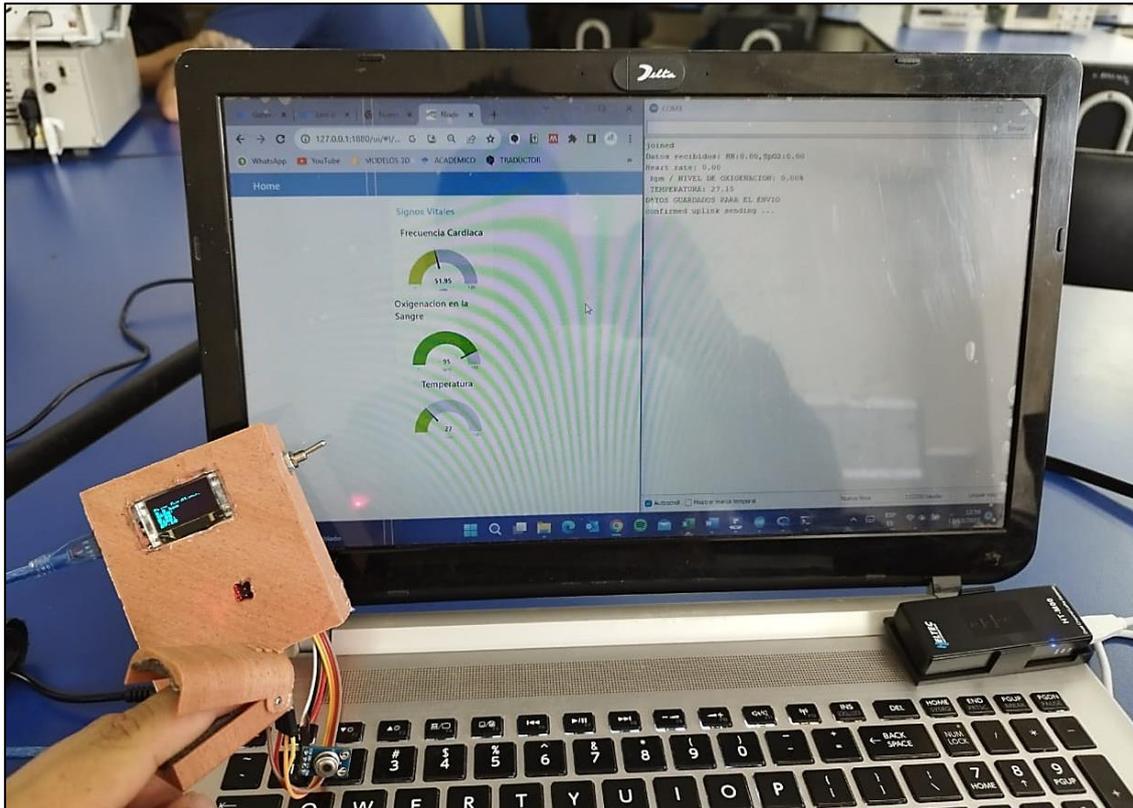


Figura 54: Lectura y envío de datos a la Interfaz de Usuario con Dispositivo implementado. Fuente: Autor

4.1.1 Resultados con el servidor de The Things Stack

Con los resultados obtenidos de la lectura de los sensores en el nodo, se procede con la verificación en el servidor de The Things Stack, que se encuentre conectado y enviando datos a la plataforma mediante el Gateway LoRaWAN. Como se muestra en la Figura 55, el Gateway se conecta con la plataforma y recibe los datos de conexión al servidor TTS del nodo Wifi LoRa 32 v2 pidiendo autorización mediante el JoinEUI y el DevEUI establecidos. El Gateway al verificar los datos del nodo, le reenvía el permiso concedido de la conexión (data rate) del protocolo LoRaWAN para su comunicación entre ellos, y seguido el nodo envía los datos en tiempo real por medio del Gateway, por el puerto Fport 2 para que los reenvíe a su aplicación del servidor de red. Es decir, el Gateway es el encargado de unir al nodo con el Servidor de Red.

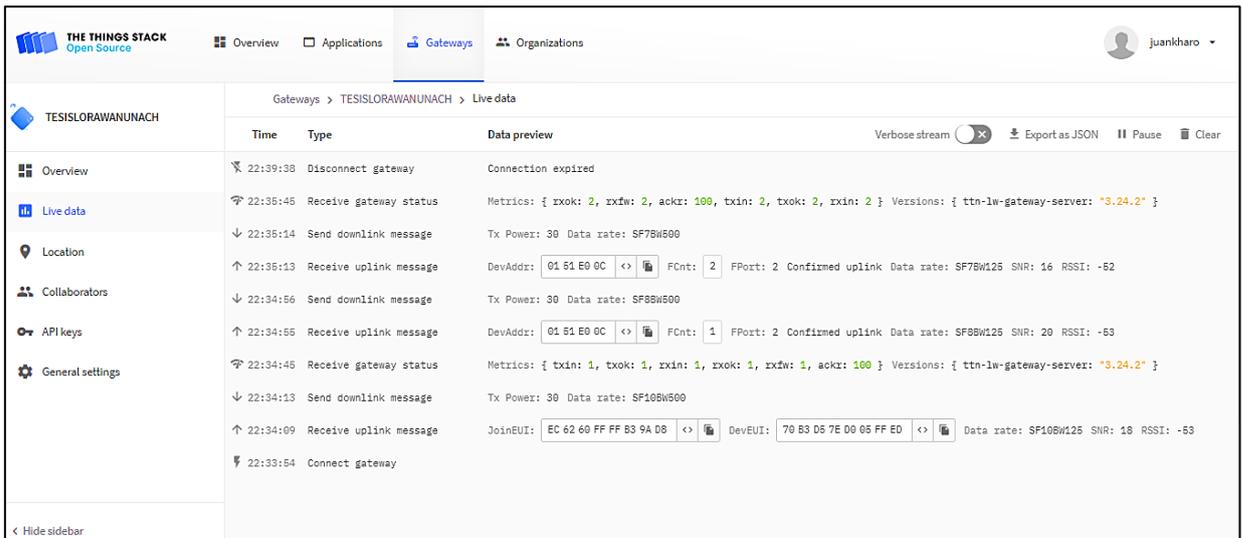


Figura 55: Conexión para recepción y envío de datos en TTS mediante el Gateway **Fuente:** Autor

La respuesta de los datos enviados por el nodo hacia el servidor de red se la puede visualizar en el apartado de aplicaciones, seleccionando el nodo en la plataforma, como se visualiza en la Figura 56, en el apartado de datos en vivo se muestra la información que el nodo envió hacia el servidor de red. Verificando él envió de la información censada y configurada en el módulo Wifi LoRa 32 v2. Dentro del bucle msg.payload se encuentra la información de las variables de frecuencia cardiaca representada como analog_in_2, el nivel de oxigenación de la sangre representada con la variable analog_in_3 y para la temperatura la variable temperature_1. Concluyendo el funcionamiento de la lectura y envío de datos hacia el Servidor de Red, en cada periodo de tiempo determinado.

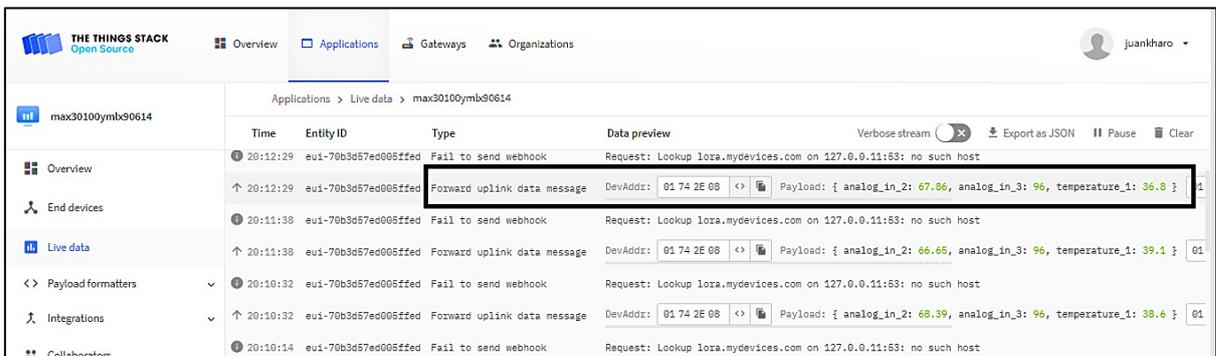


Figura 56: Resultados de datos enviados del nodo hacia el servidor TTS **Fuente:** Autor

4.1.2 Resultado del monitoreo de signos vitales en la Interfaz de Usuario.

Mediante la plataforma Node-Red creada en el ordenador, se permitió visualizar la información transmitida por el servidor de red hacia la presente plataforma. Si la conexión con el servidor es correcta se observará en las gráficas generadas para cada una de las variables los valores que se transmitieron en tiempo real en el servidor de red, si no es así

las gráficas se mostraran con un valor de cero. Como se observa en la Figura 57, Los datos censados de las variables por el nodo y transmitidos en el Servidor de Red, mediante el Gateway fueron presentados en la Interfaz Gráfica, permitiendo observar de manera legible y entendible la información en el ordenador al usuario, que es en este caso al docente tratante. Para que tenga el conocimiento de tomar alguna decisión medica de la persona en la cual fue censada los signos vitales, con el dispositivo.



Figura 57: Información receptada en Node-Red que fue censada por el nodo Fuente: Autor

4.2 Resultados Estadísticos

Idealmente, para entregar la confiabilidad del funcionamiento del dispositivo implementado en el presente proyecto al usuario, se realizó una comparación, mediante los datos censados por el nodo Wifi LoRa 32 v2, con dispositivos comerciales que se usan a diario en el campo médico, para evaluar sus efectos.

A continuación, mediante un análisis estadístico experimental, se presenta el resultado del estudio realizado en los signos vitales, mediante la aplicación de las variables de la presente investigación. Para realizar la prueba estadística se realizó la recolección de 5 muestras por un periodo de 5 días, a 5 personas discapacitadas en sillas de ruedas, con un intervalo de 2 horas, entregando una totalidad de 10 horas diarias. La información de cada una de las variables recolectadas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5: Datos censados del monitoreo de signos vitales en el nodo Wifi LoRa 32 v2 y en el dispositivo médico comercial.

DATOS RECOLECTADOS EN PERSONA 1						
Dia/ Variable	Temp. IoT	Temp. Dispositivo Comercial	Frec. Cardiaca IoT	Frec. Cardiaca Dispositivo Comercial	SPO2 IoT	SPO2 Dispositivo Comercial
1	36.55	36.5	87.92	88	93	93
	36.62	36.6	84.89	85	93	93
	36.38	36.3	77.60	76	93	93
	36.66	36.7	89.38	89	93	92
	36.62	36.6	76.83	74	93	93
2	36.32	36.3	88.76	89	93	92
	36.44	36.4	90.78	90	92	92
	36.47	36.4	74.56	74	93	93
	36.64	36.6	88.23	86	93	93
	36.61	36.6	77.90	77	92	93
3	36.42	36.5	86.45	89	92	92
	36.56	36.5	85.83	86	92	92
	36.60	36.6	88.34	89	93	93
	36.64	36.6	85.42	84	93	93
	36.76	36.7	72.08	71	93	92
4	36.63	36.6	85.78	87	97	96
	36.51	36.5	84.54	83	97	96
	36.65	36.6	75.67	75	94	93
	36.52	36.5	86.92	88	94	92
	36.43	36.4	75.93	76	93	92
5	36.52	36.6	88.97	90	93	93
	36.58	36.6	85.45	85	92	92
	36.57	36.5	89.04	88	93	93
	36.51	36.5	86.71	87	93	92
	36.64	36.6	88.98	90	92	92
DATOS RECOLECTADOS EN PERSONA 2						
Dia/ Variable	Temp. IoT	Temp. Dispositivo Comercial	Frec. Cardiaca IoT	Frec. Cardiaca Dispositivo Comercial	SPO2 IoT	SPO2 Dispositivo Comercial
1	36.62	36.6	73.81	79	93	93
	36.47	36.5	71.48	73	93	93
	36.59	36.6	89.01	89	93	93
	36.47	36.5	88.27	89	93	93
	36.74	36.7	82.89	84	93	93
2	36.51	36.5	72.43	71	93	93
	36.40	36.4	88.69	90	93	93
	36.48	36.4	73.22	74	93	93
	36.58	36.6	84.67	82	93	93
	36.56	36.6	73.89	77	92	93

3	36.51	36.5	85.24	88	92	93
	36.58	36.6	83.67	85	92	92
	36.62	36.6	86.56	86	93	93
	36.52	36.5	85.81	86	93	92
	36.43	36.4	87.23	87	93	92
4	36.42	36.4	75.06	74	93	93
	36.54	36.5	71.03	69	93	93
	36.51	36.5	75.67	75	93	93
	36.70	36.7	79.32	81	92	92
	36.58	36.6	76.54	78	93	93
5	36.42	36.4	82.49	83	93	93
	36.64	36.6	90.57	91	92	92
	36.59	36.6	89.95	92	93	93
	36.38	36.4	86.97	88	93	93
	36.43	36.4	88.98	90	93	93
DATOS RECOLECTADOS EN PERSONA 3						
Dia/ Variable	Temp. IoT	Temp. Dispositivo Comercial	Frec. Cardiaca IoT	Frec. Cardiaca Dispositivo Comercial	SPO2 IoT	SPO2 Dispositivo Comercial
1	36.58	36.6	73.45	68	93	92
	36.56	36.5	72.32	71	93	93
	36.49	36.5	73.04	71	93	92
	36.42	36.4	85.23	83	93	92
	36.68	36.7	74.52	75	93	92
2	36.64	36.6	88.76	86	93	92
	36.52	36.5	83.79	86	92	92
	36.53	36.5	84.68	86	93	93
	36.61	36.6	84.92	86	93	93
	36.59	36.6	77.90	77	93	93
3	36.60	36.6	71.12	69	92	93
	36.68	36.7	73.53	73	92	92
	36.72	36.7	75.85	75	92	93
	36.51	36.5	78.17	76	92	93
	36.56	36.5	79.92	81	93	93
4	36.63	36.6	81.02	83	92	92
	36.52	36.5	81.48	81	92	92
	36.72	36.7	78.58	78	92	92
	36.37	36.4	73.93	74	92	92
	36.48	36.5	76.11	77	92	93
5	36.63	36.6	88.97	89	93	93
	36.44	36.4	87.05	87	93	92
	36.52	36.5	84.73	85	93	93
	36.54	36.5	90.05	90	93	93
	36.71	36.7	76.85	78	93	93
DATOS RECOLECTADOS EN PERSONA 4						

Dia/ Variable	Temp. IoT	Temp. Dispositivo Comercial	Frec. Cardiaca IoT	Frec. Cardiaca Dispositivo Comercial	SPO2 IoT	SPO2 Dispositivo Comercial
1	36.42	36.4	75.89	76	92	93
	36.63	36.6	84.89	84	92	92
	36.38	36.4	80.74	81	92	92
	36.59	36.6	89.38	89	92	92
	36.46	36.5	82.64	84	92	92
2	36.63	36.6	88.76	88	93	92
	36.62	36.6	90.78	90	93	92
	36.56	36.5	81.03	82	92	92
	36.62	36.6	84.45	86	92	92
	36.46	36.4	88.98	89	92	92
3	36.55	36.5	71.05	71	93	94
	36.77	36.8	76.47	76	94	94
	36.58	36.6	89.41	89	94	93
	36.39	36.4	83.56	83	94	93
	36.40	36.4	72.08	71	93	93
4	35.55	36.5	88.98	90	93	93
	36.58	36.6	82.67	83	93	93
	36.64	36.6	78.32	78	93	93
	36.51	36.5	82.49	83	93	93
	36.63	36.6	91.20	91	93	93
5	36.52	36.5	81.25	83	93	93
	36.55	36.6	87.31	87	92	93
	36.57	36.6	88.91	88	92	93
	36.72	36.7	79.41	78	92	93
	36.59	36.6	85.28	85	92	93
DATOS RECOLECTADOS EN PERSONA 5						
Dia/ Variable	Temp. IoT	Temp. Dispositivo Comercial	Frec. Cardiaca IoT	Frec. Cardiaca Dispositivo Comercial	SPO2 IoT	SPO2 Dispositivo Comercial
1	36.52	36.5	67.02	67	93	94
	36.51	36.5	74.56	75	93	94
	36.48	36.5	83.13	84	93	93
	36.52	36.5	65.08	64	93	94
	36.47	36.4	70.74	71	93	93
2	36.62	36.6	88.76	88	93	92
	36.49	36.5	85.45	83	93	93
	36.53	36.5	74.56	74	93	93
	36.62	36.6	80.32	79	93	93
	36.64	36.6	86.01	85	92	93
3	36.55	36.5	89.64	90	92	93
	36.51	36.5	85.67	85	92	93
	36.46	36.4	83.38	83	92	92

	36.43	36.4	86.15	86	92	92
	36.42	36.4	77.81	78	92	93
4	36.72	36.7	73.90	74	92	92
	36.59	36.6	75.04	76	92	93
	36.71	36.7	75.67	75	92	93
	36.52	36.5	84.55	84	92	92
	36.63	36.6	74.33	74	93	93
5	36.44	36.5	88.98	90	93	93
	36.64	36.6	85.30	86	93	92
	36.51	36.5	89.04	90	93	93
	36.52	36.5	86.49	88	93	92
	36.62	36.6	86.39	86	93	93

4.2.1 Prueba de Normalidad

Conociendo que, para este propósito, se agruparon los datos recolectados por cada uno de los dispositivos en los 5 días de las 5 personas, dando lugar a un conjunto compuesto por un total de 125 muestras por variable.

Hipótesis:

$$H_0 = \text{los datos siguen una distribución normal}$$

$$H_1 = \text{los datos no siguen una distribución normal}$$

Estadístico de las Distribuciones:

$$\text{Shapiro-Francia si } 3 \leq n \leq 5000$$

Nivel de Significancia:

$$\alpha = 0.05$$

Zona de rechazo:

$$\text{Si } p\text{-valor} < 0.05 \text{ se rechaza } H_0$$

$$\text{Si } p\text{-valor} \geq 0.05 \text{ se acepta } H_0$$

Para llevar a cabo la prueba de normalidad a través del método Shapiro-Francia, se empleó el software Rcomander y se determinó la posible existencia de una distribución normal en los datos. Es relevante destacar que el tamaño de la muestra abarca un rango que va desde 3 hasta 5000 muestras.

Tabla 6: Resultados de la Prueba de Normalidad del monitoreo de signos vitales.

Variable	Dispositivo	Prueba de Normalidad	Estadístico de Prueba	Valor P
Frecuencia Cardíaca	Nodo Wifi LoRa 32 v2	Shapiro-Francia	0.93094	0.00002486
	Medico Comercial	Shapiro-Francia	0.93329	0.0000334
Nivel de Oxigenación en la Sangre (SpO2)	Nodo Wifi LoRa 32 v2	Shapiro-Francia	0.61579	3.223e-14
	Medico Comercial	Shapiro-Francia	0.67995	4.938e-13
Temperatura	Nodo Wifi LoRa 32 v2	Shapiro-Francia	0.7417	1.025e-11
	Medico Comercial	Shapiro-Francia	0.90632	0.000001518

Dado que el nivel de significancia es notablemente inferior a 0.05 ($p\text{-valor} < 0.05$), se procede a rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95%. Determinando que los datos no se encuentran distribuidos normalmente, en la frecuencia cardíaca, SpO2 y temperatura, del nodo Wifi LoRa 32 v2 y en el dispositivo medico comercial.

4.2.2 Prueba de Hipótesis

Posteriormente comprobada la normalidad de los datos, con una prueba de hipótesis se llevó a cabo una comparación exhaustiva entre los dispositivos, para determinar si existió una diferencia significativa con los datos de las variables en el nodo Wifi LoRa 32 v2 con respecto al dispositivo medico comercial.

4.2.2.1 Prueba de Hipótesis para la Frecuencia Cardíaca y SpO2

Hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 (Hipótesis Nula): la media poblacional de la frecuencia cardíaca censada en el nodo Wifi LoRa 32 v2 es igual a la media poblacional de la frecuencia cardíaca del dispositivo medico comercial.

H_a (Hipótesis Alternativa): la media poblacional de la frecuencia cardíaca censada en el nodo Wifi LoRa 32 v2 es diferente a la media poblacional de la frecuencia cardíaca del dispositivo medico comercial.

H_0 (Hipótesis Nula): la media poblacional del Nivel de Oxigenación en la Sangre censada en el nodo Wifi LoRa 32 v2 es igual a la media poblacional de la frecuencia cardíaca del dispositivo medico comercial.

H_a (Hipótesis Alternativa): la media poblacional del Nivel de Oxigenación en la Sangre censada en el nodo Wifi LoRa 32 v2 es diferente a la media poblacional de la frecuencia cardíaca del dispositivo medico comercial.

Prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras pareadas

Concluido que los datos de la frecuencia cardiaca y el Nivel de Oxigenación de la Sangre no se distribuyen de manera normal, se aplicó la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon para muestras pareadas. Con el propósito de analizar si existe una diferencia significativa entre la lectura de los datos del nodo Wifi LoRa 32 v2 y el dispositivo médico comercial, mediante el uso de la media poblacional.

El resultado obtenido se muestra a continuación:

Tabla 7: Resultados de la Prueba de Wilcoxon para la Frecuencia Cardiaca y SpO2

Variable	Prueba de Hipótesis	Estadístico de Prueba	Valor P
Frecuencia Cardiaca	Wilcoxon para muestras pareadas	4029	0.8226
Nivel de Oxigenación en la Sangre	Wilcoxon para muestras pareadas	575	0.6728

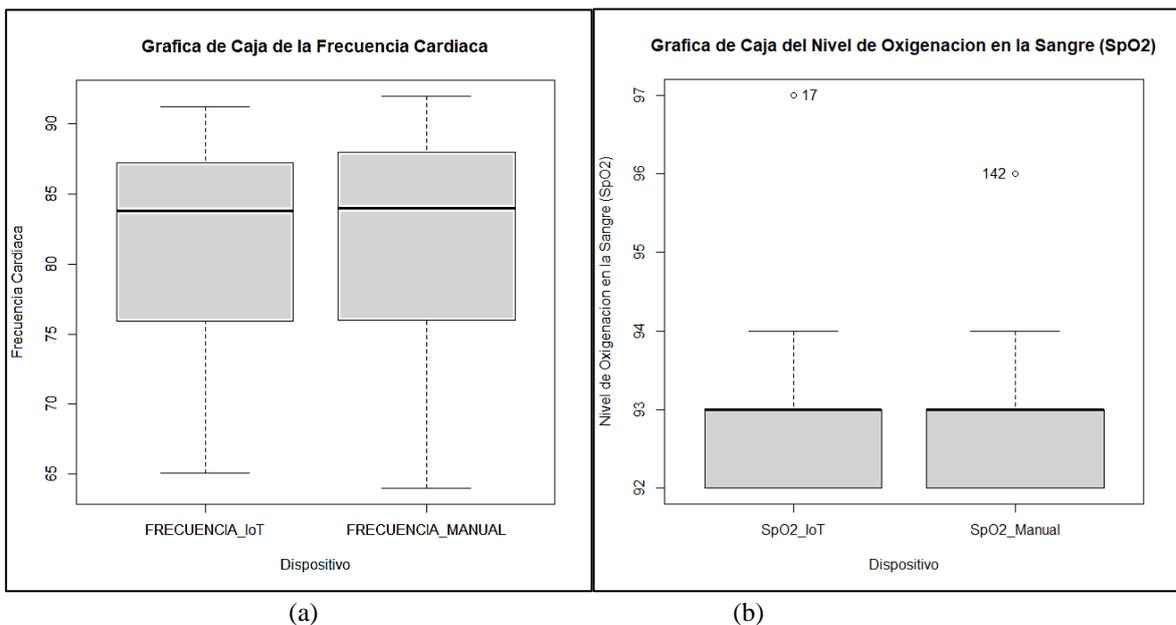


Figura 58: (a) Distribución los datos de frecuencia cardiaca en gráfica de caja (b) Distribución de los datos de SpO2 en grafica de caja. **Fuente:** Autor.

De acuerdo con el resultado obtenido en la Tabla 7, la frecuencia cardiaca obtuvo el valor de $V=4029$, con un $p\text{-valor}=0.8226 > 0.05$. Por tal motivo, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. En definitiva, las medias poblacionales de los datos censados en el nodo Wifi LoRa 32 v2 es igual a la media poblacional de la frecuencia cardiaca del dispositivo medico comercial evidenciándose de manera grafica en la Figura 58(a), sus medias poblaciones son semejantes. Esto quiere decir, que el dispositivo implementando en la presente investigación no entrega una diferencia significativa en la lectura de los datos

con respecto a un dispositivo médico. Haciendo que el nodo Wifi LoRa 32 v2 sea apto para la medición de la frecuencia cardiaca en el uso diario en personas con discapacidad.

Así mismo con el resultado obtenido en la Tabla 7, el nivel de oxigenación en la sangre obtuvo el valor de $V=575$, con un $p\text{-valor}=0.6728>0.05$. Por tal motivo, se toma la decisión de rechazar la hipótesis alternativa y aceptar la hipótesis nula. En definitiva, las medias poblacionales de los datos censados en el nodo Wifi LoRa 32 v2 es igual a la media poblacional del nivel de oxigenación en la sangre del dispositivo medico comercial evidenciándose de manera grafica en la Figura 58(b), existieron dos valores atípicos en la lectura de los datos, pero sin embargo sus medias poblaciones son semejantes. Esto quiere decir, que el dispositivo implementando en la presente investigación no entrega una diferencia significativa en la lectura con respecto a un dispositivo médico. Haciendo que el nodo Wifi LoRa 32 v2 sea apto para la medición del nivel de oxigenación en la sangre para el uso diario en personas con discapacidad.

4.2.2.2 Prueba de Hipótesis para la Temperatura Corporal

Hipótesis:

$$H_0: ECM = 0$$

$$H_a: ECM = 1$$

H_0 (Hipótesis Nula): No existe diferencia significativa entre las mediciones del nodo Wifi LoRa 32 v2 y del Dispositivo medico comercial.

H_a (Hipótesis Alternativa): Existe diferencia significativa entre las mediciones del nodo Wifi LoRa 32 v2 y del Dispositivo medico comercial.

Prueba Estadística del Error Cuadrático Medio

Considerando que los datos de temperatura recopilados del dispositivo Wifi LoRa 32 v2 y del Dispositivo Médico Comercial no siguen una distribución normal y presentan diferencias significativas solo en sus valores decimales, se aplicó un análisis comparativo mediante la aplicación de la prueba estadística del Error Cuadrático Medio (ECM). Con el propósito de determinar si existe una diferencia significativa entre las mediciones de temperatura obtenidas por el nodo Wifi LoRa 32 v2 en comparación con el dispositivo médico comercial. El ECM se eligió método de evaluación debido a su capacidad para medir la discrepancia entre las mediciones, permitiendo cuantificar la magnitud de las diferencias entre los dispositivos. Es importante destacar que, dado que los datos no se distribuyen normalmente, el ECM se presenta como una alternativa adecuada para analizar las discrepancias sin asumir distribuciones específicas.

La fórmula para aplicar el error cuadrático medio es la siguiente:

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2$$

En donde:

$n= 125$ (número de muestras)

Y_i = mediciones del dispositivo Wifi LoRa 32 v2

\tilde{Y}_i = mediciones del dispositivo medico

El resultado obtenido se muestra a continuación:

Tabla 8: Resultados de la Prueba Estadística para la Temperatura Corporal con el ECM

Variable	Prueba Estadística	Valor ECM	Valor ECM %
Temperatura	Error Cuadrático Medio (ECM)	0,008	0,8

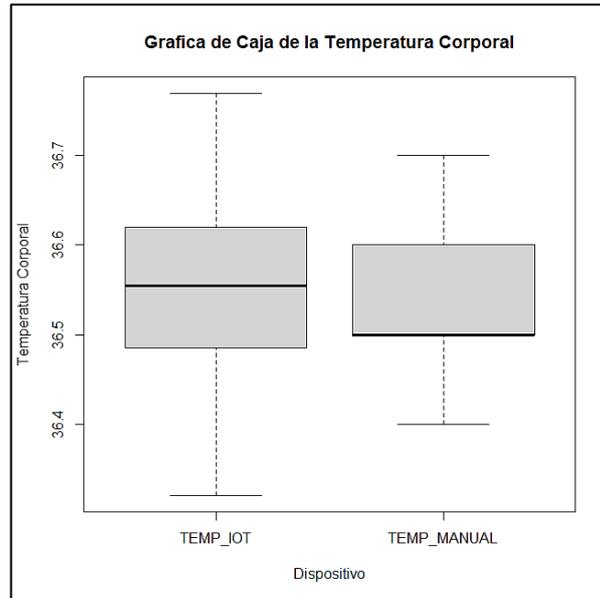


Figura 59: Distribución de los datos de Temperatura Corporal en gráfica de caja. **Fuente:** Autor

Conforme con el resultado anterior en la Tabla 8, la temperatura corporal obtuvo el valor de $ECM=0,008$, siendo un valor muy cercano hacia 0. Por tal motivo, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. Concluyendo que, no existe diferencia significativa entre las mediciones del nodo Wifi LoRa 32 v2 y del Dispositivo medico comercial, como se evidencia de manera grafica en la Figura 59, las medias poblacionales son semejantes y están dentro del rango de 35. 5° a 36.° de temperatura. Esto quiere decir, que el dispositivo implementando en la presente investigación no entrega una diferencia significativa en la lectura de los datos con respecto a un dispositivo médico. Haciendo que el nodo Wifi LoRa 32 v2 sea apto para la medición de la frecuencia cardiaca en el uso diario en personas con discapacidad.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se ha diseñado el dispositivo inteligente con accesorios para una silla de ruedas que permitieron realizar el monitoreo de los signos vitales, por medio del uso de sensores que fueron capaces de censar los datos en una persona que padece de Tetraparesia Espástica. Los sensores propuestos permitieron ser de fácil instalación y configuración en el nodo Wifi LoRa 32 v2. Iniciando su lectura con el primer sensor MAX30100 conectado en el módulo Arduino nano, enviando los datos por medio de los puertos seriales de comunicación RX-TX hacia el nodo principal, y el segundo sensor LMX90614 se conecta al módulo principal por medio de los puertos de comunicación I2C. Asegurando la confiabilidad de los datos censados por los sensores trabajando en diferentes puertos. Estableciendo un intervalo de lectura y envío de información por los sensores para cada dos horas hacia el nodo Wifi LoRa 32 v2. En general, el diseño e implementación del dispositivo inteligente demostró ser una opción viable para la implementación dentro del campo médico, creando una red de monitoreo para la medición de constantes fisiológicas fundamentales del cuerpo humano, en forma remota con bajos costos económicos.

Gracias a la arquitectura de red y al sistema de direccionamiento propuesto, se logró tener la capacidad de transmitir los datos censados desde la red de sensores, hacia el servidor de red IoT, de manera segura y confiable. Gracias a la implementación de la tecnología LoRa con el protocolo LoRaWAN, en los dispositivos, se permitió una comunicación inalámbrica con capacidad de transmitir información a largas distancias, sin requerir una infraestructura costosa, permitiendo ser fiable para el envío de los datos censados de los signos vitales fundamentales en las personas discapacitadas con sillas de ruedas dentro de la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”, facilitando al tratante tener lecturas de sus constantes fisiológicas sin perder comunicación en toda la zona del Instituto. Conociendo que, el nodo es capaz de censar los datos del paciente de manera automática, cada periodo de tiempo en tiempo real, sin necesidad de la presencia de la persona tratante. Además, en el nodo se implementó una pantalla OLED, que facilita observar las mediciones realizadas en el momento a la persona con Tetraparesia Espástica. en caso de estar presente el docente tratante a su lado.

Se comparó el monitoreo de los datos de frecuencia cardíaca, temperatura corporal y nivel de oxigenación en la sangre en el dispositivo. Demostrando que la implementación de esta tecnología fue altamente efectiva sin diferencia significativa con respecto a dispositivos médicos. Los resultados de estudio demostraron que el dispositivo es capaz de censar todas las constantes fisiológicas fundamentales en personas que carecen de Tetraparesia Espástica,

por periodos de tiempo establecidos. Esto resalta la versatilidad y la capacidad del dispositivo de leer varios datos importantes en el momento.

Con el propósito de hacerlo más accesible esta información, se implementó una Interfaz de Usuario, para el ordenador, con el objetivo de que la persona tratante pueda observar los datos de temperatura, frecuencia cardiaca y nivel de oxigenación en la sangre en tiempo real, dentro o fuera de la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”. Permitiendo tener una mejoría significativa en el control del estado de la salud del estudiante. Esto ofrece que, el médico tratante pueda tener mejores resultados a largo plazo con el cuidado de estudiantes con Tetraparesia Espástica, conduciendo a una mayor calidad de vida y perspectivas de mejora notable para las personas afectadas por esta condición.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda para las futuras aplicaciones, se pueda considerar la implementación de redes de sensores inalámbricos con tecnologías emergentes como LoRaWAN, ya que tiene un gran alcance de transmisión de información, y tiene facilidad para crear proyectos IoT. Además, la comunicación de la tecnología LoRa es muy viable en zonas que son de difícil acceso para las tecnologías como wifi, bluetooth, entre otras.

Se recomienda analizar la integración de otros tipos de sensores en la red, como la lectura de la presión arterial, la frecuencia respiratoria, entre otros. Con el objetivo de ir complementando los signos vitales en un solo dispositivo y obteniendo una mayor cantidad de información para el monitoreo en personas con discapacidad. Aplicación que será útil para un mejor control y aprendizaje del paciente en cualquier evento, entregando facilidad en la medición de las constantes vitales. Por lo tanto, esto resulta al médico tratante poder tomar una decisión con mayor precisión mejorando el estado de salud del paciente.

Se recomienda para este tipo de investigaciones experimentales, realizar directamente el método de prueba y error, ya que, en la parte teórica, los dispositivos pueden tener alcances y características mayores a las que se presentan en el momento de la implementación.

Se recomienda trabajar con tiempos mayores a 5 minutos cuando se implemente el Gateway HT-M00, ya que el dispositivo es básico. Teniendo en cuenta que, a mayor tiempo de transmisión de datos, más estable y segura será el envío y recepción de información hacia el servidor de red IoT, y a menor tiempo de transmisión de datos, menos estable y seguro será la transmisión de la información hacia el servidor IoT.

6. Bibliografía

- [1] I. Lorente Hurtado, “La parálisis cerebral. actualización del concepto, diagnóstico y tratamiento,” *Pediatría Integral*, vol. 15, no. 8, 2011.
- [2] S. M. Testigos, “PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE AMB ATO,” 2009.
- [3] K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, and M. Mustaqim, “Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT Scenarios,” *IEEE Access*, vol. 8. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 23022–23040, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970118.
- [4] T. Hossain, Y. Doi, T. Tazin, M. Atiqur Rahman Ahad, and S. Inoue, “Study of LoRaWAN technology for activity recognition,” in *UbiComp/ISWC 2018 - Adjunct Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2018 ACM International Symposium on Wearable Computers*, Association for Computing Machinery, Inc, Oct. 2018, pp. 1449–1453. doi: 10.1145/3267305.3267510.
- [5] R. Numanoglu, O. Koçak, S. Malhan, and E. Oksüz, “Evaluation of the Methods Used for the Vital Signs Measurement in Hospitalized Patients,” in *2018 Medical Technologies National Congress, TIPTEKNO 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2018. doi: 10.1109/TIPTEKNO.2018.8597003.
- [6] “ley_organica_discapacidades”.
- [7] “MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA INCLUSIÓN LABORAL DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD.” [Online]. Available: www.relacioneslaborales.gob.ec
- [8] “Signos vitales: MedlinePlus enciclopedia médica.” Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002341.htm>
- [9] E. Hernando Pérez, “trabajo fin de grado zagan,” 2012.
- [10] “temp”.
- [11] Marcos Gabriel Sein-Echaluce García, “Pulsioxímetro con registro de datos en IOT y generación de alertas,” Jun. 2019, Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/290000514.pdf>
- [12] “Internet de las Cosas (IoT) - Oswaldo Quiñonez Muñoz - Google Libros.” Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=vnnEDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [13] Farnell, “IoT Wireless Network Protocols,” <https://es.farnell.com/iot-wireless-network-protocols>.
- [14] S. Banerji and R. S. Chowdhury, “On IEEE 802.11: Wireless Lan Technology,” *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics*, vol. 3, no. 4, pp. 45–64, Aug. 2013, doi: 10.5121/ijmnet.2013.3405.

- [15] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, *La situación de las tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes (“Wi-Fi”)*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2004.
- [16] D. D. Lucache, E. and A. I. Universitatea Tehnică “Gh. Asachi” Iași. Faculty of Electrical Engineering, Universitatea din Craiova. Faculty of Electrical Engineering, Universitatea Tehnică a Moldovei. Faculty of Energetics and Electrical Engineering, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN) : proceedings : October 11-13, Iași, Romania, Chisinau, Rep. Moldova*.
- [17] J. Alamos, P. Kietzmann, T. C. Schmidt, and M. Wahlisch, “Poster: DSME-LoRa – A Flexible MAC for LoRa,” in *2021 IEEE 29th International Conference on Network Protocols (ICNP)*, Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, Nov. 2021, pp. 1–2. doi: 10.1109/ICNP52444.2021.9651945.
- [18] P. Bertoleti, *Proyectos com ESP32 y LoRa*. Editora NCB, 2019.
- [19] “Tecnología LoRa y LoRAWAN - Catsensors.” Accessed: Jul. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>
- [20] J. de Carvalho Silva, J. J. P. C. Rodrigues, A. M. Alberti, P. Solic, and A. L. L. Aquino, “LoRaWAN — A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities,” in *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*, 2017, pp. 1–6.
- [21] “What is LoRaWAN® Specification - LoRa Alliance®.” Accessed: Jul. 23, 2023. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- [22] G. Colucci and B. Asadollahseraj, “Communications and Computer Networks Engineering Design of Low Power Gateway for LoRaWAN Applications in Remote Areas,” 2018.
- [23] “WIFI LoRa 32 (V2) – Heltec Automation.” Accessed: Jul. 23, 2023. [Online]. Available: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- [24] “Servidor de red en LoRa y LoRaWAN - LoRa Panamá.” Accessed: Jul. 23, 2023. [Online]. Available: <http://lora-panama.com/servidor-de-red-en-lora-y-lorawan/>
- [25] “método | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” Accessed: Oct. 22, 2023. [Online]. Available: <https://dle.rae.es/m%C3%A9todo>
- [26] “La investigación - creación y la educación breve estado del arte documental de los años 2017-2020.” Accessed: Jul. 26, 2023. [Online]. Available: <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/13580>
- [27] IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Malaysia Chapter., IEEE Engineering in Medicine and Biology Society., and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IECBES, IEEE-EMBS Conference on Biomedical*

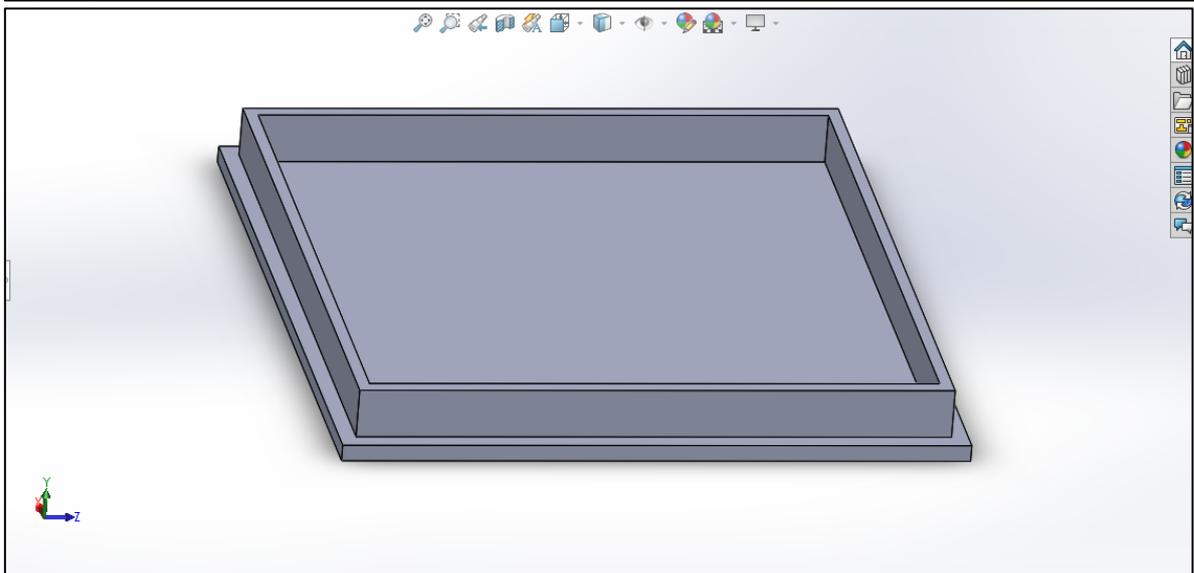
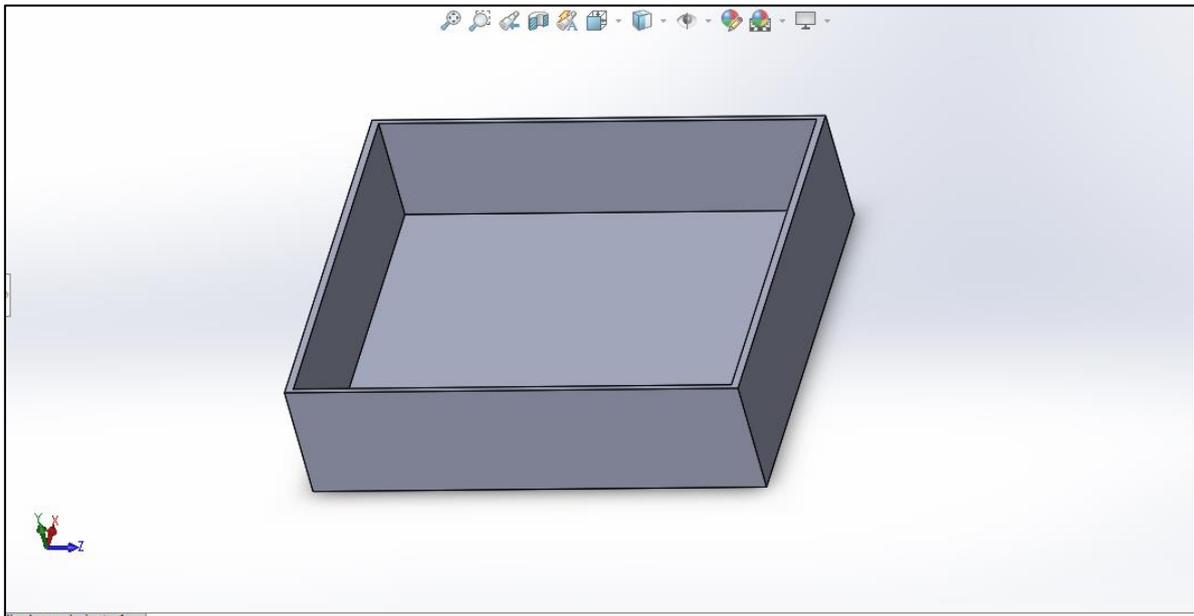
Engineering and Science: 2018 proceedings: Innovation in Global Healthcare, Kuching, Malaysia.

- [28] Institute of Electrical and Electronics Engineers and IEEE Sensors Council, *IEEE SENSORS 2018: 2018 conference proceedings: October 28-31, 2018, Pullman Aerocity, New Delhi, India.*
- [29] J. Ignacio *et al.*, “MONITOREO DE SIGNOS VITALES USANDO IoT MONITORING OF VITAL SIGNS USING IoT,” 2019. [Online]. Available: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
- [30] “MLX90614 family Datasheet Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39 Features and Benefits.”
- [31] “Sensor de Temperatura Infrarrojo MLX90614 - AV Electronics.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-temperatura-infrarrojo-mlx90614/>
- [32] “MAX30100 Datasheet and Product Info | Analog Devices.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/products/max30100.html#product-overview>
- [33] “Pulsioxímetro MAX30100 [descontinuado].” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/biomedico/328-pulsioximetro-max30100.html>
- [34] “HT-M00 Dual Channel LoRa Gateway – Heltec Automation.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://heltec.org/project/ht-m00/>
- [35] “Software | Arduino.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [36] “Inicio rápido de la serie Heltec ESP32+LoRa — documentación de esp32 - latest.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: https://docs.heltec.cn/en/node/esp32/quick_start.html
- [37] “LoRaWAN — esp32 latest documentation.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://docs.heltec.cn/en/node/esp32/lorawan/index.html>
- [38] “GitHub - ElectronicCats/CayenneLPP: Library for Arduino compatible with Cayenne Low Power Payload.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ElectronicCats/CayenneLPP>
- [39] “HT-M00 Dual Channel LoRa Gateway Quick Start — ht-m00 latest documentation.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: https://docs.heltec.cn/en/gateway/ht-m00/quick_start.html
- [40] “NORMA-ESPECTRO-DE-USO-LIBRE-Y-ESPECTRO-PARA-USO-DETERMINADO-EN-BANDAS-LIBRES”.
- [41] “Arduino Nano | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://arduino.cl/arduino-nano/>
- [42] “Introducción a los Tipos de Dato con Arduino | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://arduino.cl/introduccion-a-los-tipos-de-dato-con-arduino/>
- [43] “Connect HT-M00 to LoRa Server — ht-m00 latest documentation.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: https://docs.heltec.org/en/gateway/ht-m00/connect_to_server.html

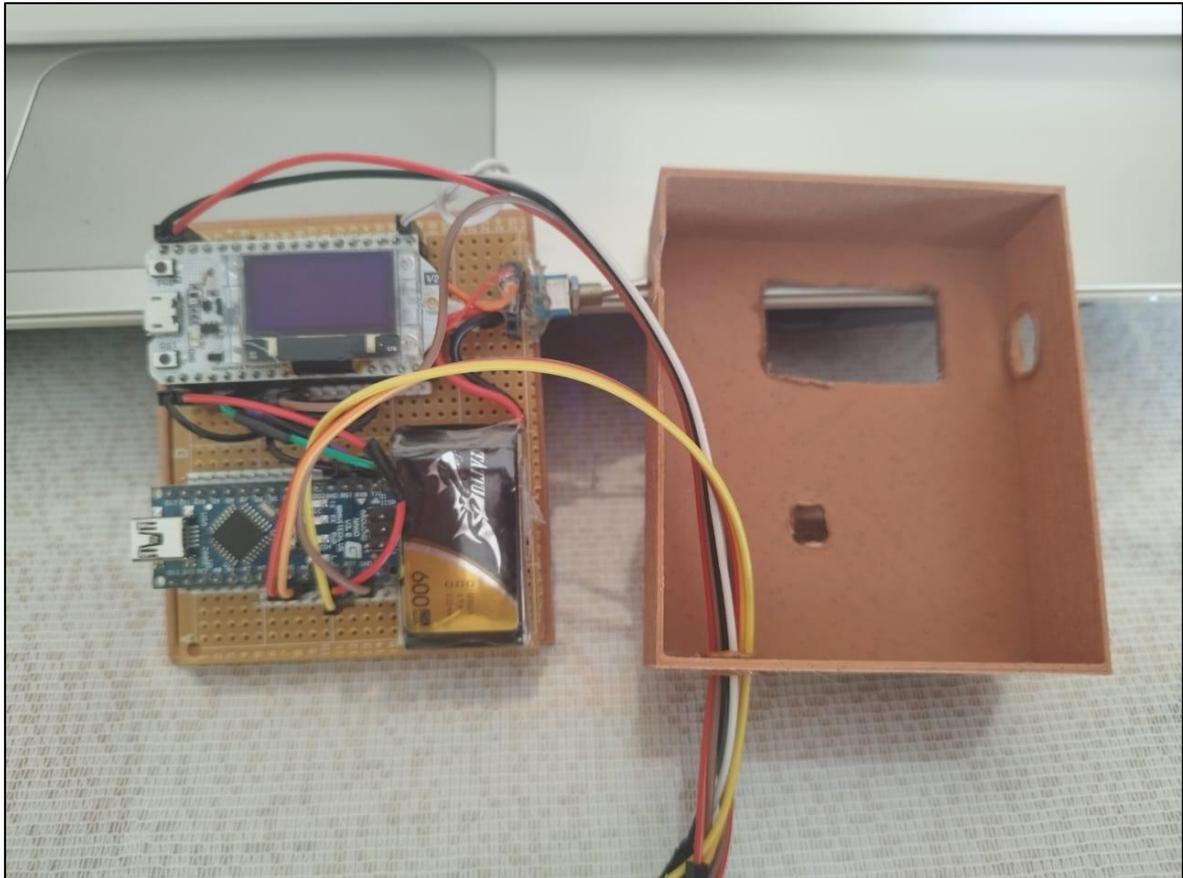
- [44] “‘ESP32 + LoRa’ Preparation & Config Parameters — esp32 latest documentation.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: https://docs.heltec.org/en/node/esp32/lorawan/config_parameter.html
- [45] “Connect Nodes to HT-M00 — ht-m00 latest documentation.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: https://docs.heltec.org/en/gateway/ht-m00/connect_to_gateway.html
- [46] “Node-RED.” Accessed: Oct. 11, 2023. [Online]. Available: <https://nodered.org/>

ANEXOS

Elaboración de la carcasa o chasis del dispositivo en el software SolidWorks



Conexión interna del dispositivo implementado



Código principal subido en el módulo Wifi LoRa 32 v2

```
//Declaracion de las Librerias a usar
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <CayenneLPP.h>
#include "LoRaWan_APP.h"
#include <U8x8lib.h>

//define puertos I2C en la placa WIFI LORA 32 V2
#define I2C_SDA 21
#define I2C_SCL 22

//Declaracion de variables
float heart= 0.0, spo2= 0;

//Instanciar y configuracion del sensor mlx90614 y display
U8X8_SSD1306_128X64_NONAME_SW_I2C u8x8(/* clock=*/ SCL_OLED, /* data=*/
SDA_OLED, /* reset=*/ RST_OLED); // OLEDs without Reset of the Display
```

```

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

//uso de la licencia
uint32_t license[4]={0x1C40B109, 0x09CA4C4C, 0x30739A56, 0xA1397A83};
/* OTAA para*/
uint8_t devEui[] = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x05, 0xFF, 0xED };
uint8_t appEui[] = { 0xEC, 0x62, 0x60, 0xFF, 0xFF, 0xB3, 0x9A, 0xD8 };
uint8_t appKey[] = { 0xDF, 0x01, 0xD6, 0xB7, 0x33, 0x83, 0xCC, 0x26, 0x68, 0x35, 0xF0,
0xE4, 0x84, 0x44, 0x8B, 0xB5 };

/* ABP para*/
uint8_t nwkSKey[] = { 0x74, 0x08, 0x9F, 0xFE, 0x89, 0x6D, 0x1E, 0x56, 0xBC, 0x5C,
0x2B, 0xB2, 0xD6, 0x37, 0xF7,0x38 };
uint8_t appSKey[] = { 0xE7, 0xC7, 0xCB, 0x02, 0xB0, 0x1A, 0xEF, 0xF8, 0xAA, 0x88,
0x41, 0x80, 0x8A, 0xC9, 0xA0,0xDE };
uint32_t devAddr = ( uint32_t )0x012B98A7;

/*LoraWan channelsmask, default channels 0-7*/
uint16_t userChannelsMask[6]={ 0xFF00,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000 };

/*LoraWan region, select in arduino IDE tools*/
LoRaMacRegion_t loraWanRegion = ACTIVE_REGION;

/*LoraWan Class, Class A and Class C are supported*/
DeviceClass_t loraWanClass = CLASS_A;

/*the application data transmission duty cycle. value in [ms].*/
//Modo Sleep cada 10 segundos
//uint32_t appTxDutyCycle = 10000;
//Modo sleep cada 2 horas
uint32_t appTxDutyCycle = 7200000;
/*OTAA or ABP*/
bool overTheAirActivation = true;

/*ADR enable*/
bool loraWanAdr = true;

/* Indicates if the node is sending confirmed or unconfirmed messages */
bool isTxConfirmed = true;

/* Application port */
uint8_t appPort = 2;
/*!
* Number of trials to transmit the frame, if the LoRaMAC layer did not

```

```

* receive an acknowledgment. The MAC performs a datarate adaptation,
* according to the LoRaWAN Specification V1.0.2, chapter 18.4, according
* to the following table:
*
* Transmission nb | Data Rate
* -----|-----
* 1 (first)      | DR
* 2              | DR
* 3              | max(DR-1,0)
* 4              | max(DR-1,0)
* 5              | max(DR-2,0)
* 6              | max(DR-2,0)
* 7              | max(DR-3,0)
* 8              | max(DR-3,0)
*
* Note, that if NbTrials is set to 1 or 2, the MAC will not decrease
* the datarate, in case the LoRaMAC layer did not receive an acknowledgment
*/
uint8_t confirmedNbTrials = 3;

```

```

static void prepareTxFrame( uint8_t port )
{
    CayenneLPP lpp(50);

    // Leer datos del sensor MLX
    float objectTemp = mlx.readObjectTempC();

    // Agregar datos al paquete CayenneLPP
    lpp.addTemperature(1, objectTemp);
    lpp.addAnalogInput(2, heart);
    lpp.addAnalogInput(3, spo2);

    // Obtener el puntero al buffer del paquete CayenneLPP
    uint8_t* payload = lpp.getBuffer();
    appDataSize = lpp.getSize();
    memcpy(appData, payload, appDataSize);

    Serial.println("DATOS GUARDADOS PARA EL ENVIO");
}

```

```

void setup()
{

```

```

Serial.begin(115200);
Wire.begin();
mlx.begin();
u8x8.begin();
u8x8.setPowerSave(0);
u8x8.setFont(u8x8_font_chroma48medium8_r);

u8x8.clear();
u8x8.drawString(0, 0, "SISTEMA INICIADO");

Mcu.setlicense(license);
Mcu.begin();
deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
}

void loop(){

    switch( deviceState )
    {
    case DEVICE_STATE_INIT:
    {
    // #if(LORAWAN_DEVEUI_AUTO)
    // LoRaWAN.generateDeveuiByChipID();
    // #endif
    LoRaWAN.init(loraWanClass,loraWanRegion);
    break;
    }
    case DEVICE_STATE_JOIN:
    {
    LoRaWAN.join();
    break;
    }
    case DEVICE_STATE_SEND:
    {

    if (Serial.available() ) {
        String data = Serial.readStringUntil('\n'); // Leer los datos enviados desde el Arduino
        Nano hasta encontrar el carácter de nueva línea ('\n')
        Serial.print("Datos recibidos: ");
        Serial.println(data); // Mostrar los datos recibidos en el monitor serial

        // Parsear los datos recibidos como valores de tipo float

```

```

int separatorIndex = data.indexOf(','); // Encontrar la posición de la coma que separa
los valores
if (separatorIndex != -1) { // Si se encontró la coma en los datos recibidos
    String hrString = data.substring(3, separatorIndex); // Extraer la parte de los datos
correspondiente a la frecuencia cardíaca (heart rate)
    String spo2String = data.substring(separatorIndex + 6); // Extraer la parte de los datos
correspondiente a SpO2

    // Convertir las cadenas a valores float
    heart = hrString.toFloat();
    spo2 = spo2String.toFloat();
    float objectTemp = mlx.readObjectTempC();

    // Limpiar la pantalla
    u8x8.clear();
    u8x8.drawString(0, 2, "Frec.Cardiaca:");
    u8x8.setCursor(0, 3);
    u8x8.print(heart, 1);
    u8x8.print(" bpm");
    u8x8.drawString(0, 4, "SpO2:");
    u8x8.setCursor(0, 5);
    u8x8.print(spo2, 1);
    u8x8.print("%");
    u8x8.drawString(0, 6, "Temp:");
    u8x8.setCursor(0, 7);
    u8x8.print(objectTemp, 1);
    //u8x8.print("C");

    // Mostrar los valores de frecuencia cardíaca y SpO2 en el monitor serial
    Serial.print("Heart rate: ");
    Serial.println(heart);
    Serial.print(" bpm / NIVEL DE OXIGENACION: ");
    Serial.print(spo2);
    Serial.println("%");
    Serial.print(" TEMPERATURA: ");
    Serial.println(objectTemp);
    delay(3000);
}
}
prepareTxFrame( appPort );
delay(2000);
LoRaWAN.send();

/*3 Intento de envio de los datos

```

```

int numintentos = 3; // Puedes ajustar el número de intentos según tus necesidades
for (int i = 0; i < numintentos; i++) {
    LoRaWAN.send();
    delay(5000); // Esperar un tiempo antes de verificar el resultado

    }*/
deviceState = DEVICE_STATE_CYCLE;
break;
}
case DEVICE_STATE_CYCLE:
{
    // Schedule next packet transmission
    txDutyCycleTime = appTxDutyCycle + randr( -APP_TX_DUTYCYCLE_RND,
APP_TX_DUTYCYCLE_RND );
    LoRaWAN.cycle(txDutyCycleTime);
    deviceState = DEVICE_STATE_SLEEP;
    break;
}
case DEVICE_STATE_SLEEP:
{
    LoRaWAN.sleep(loraWanClass);
    break;
}
default:
{
    deviceState = DEVICE_STATE_INIT;
    break;
}
}
}

```

Código subido en el módulo Arduino nano

```

#include <Wire.h>
#include "MAX30100_PulseOximeter.h"

#define REPORTING_PERIOD_MS 1000

uint32_t tsLastReport = 0;

PulseOximeter pox;

```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  if (!pox.begin()) {
    Serial.println("No se pudo iniciar el MAX30100. Verifique las conexiones y reinicie el
dispositivo.");
    while (1);
  }
}

void loop()
{
  pox.update();

  if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
    // Leer los valores de frecuencia cardíaca (Heart Rate) y SpO2
    float heartRate = pox.getHeartRate();
    float spo2 = pox.getSpO2();

    // Mostrar los datos en el monitor serial
    Serial.print("Heart rate:");
    Serial.print(heartRate);
    Serial.print("bpm / SpO2:");
    Serial.print(spo2);
    Serial.println("%");

    // Enviar los datos al módulo WiFi LoRa32 v2 a través del puerto serial
    Serial.print("HR:");
    Serial.print(heartRate);
    Serial.print(",");
    Serial.print("SpO2:");
    Serial.println(spo2);

    tsLastReport = millis();
  }
}

```