



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO IoT, BASADO EN
TECNOLOGÍA LoRa PARA LA GEOLOCALIZACIÓN Y
MONITOREO FISIOLÓGICO DE PERSONAS EN LUGARES
TURÍSTICOS”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

LIZETH INÉS BENAVIDES SEGURA

BRYAN DANIEL CÁRDENAS ESPINOZA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO IoT, BASADO EN
TECNOLOGÍA LoRa PARA LA GEOLOCALIZACIÓN Y
MONITOREO FISIOLÓGICO DE PERSONAS EN LUGARES
TURÍSTICOS”**

Trabajo de titulación

Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

LIZETH INÉS BENAVIDES SEGURA

BRYAN DANIEL CÁRDENAS ESPINOZA

DIRECTOR: Dr. GEOVANNY ESTUARDO VALLEJO VALLEJO M.Sc.

Riobamba – Ecuador

2021

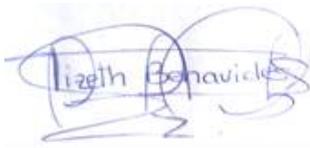
© 2021, Lizeth Inés Benavides Segura, Bryan Daniel Cárdenas Espinoza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Lizeth Inés Benavides Segura y Bryan Daniel Cárdenas Espinoza, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de mayo de 2021



Lizeth Inés Benavides Segura

020241777-0



Bryan Daniel Cárdenas Espinoza

235023716-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Dispositivo tecnológico, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO IoT, BASADO EN TECNOLOGÍA LoRa PARA LA GEOLOCALIZACIÓN Y MONITOREO FISIOLÓGICO DE PERSONAS EN LUGARES TURÍSTICOS”**, realizado por la señorita **LIZETH INÉS BENAVIDES SEGURA** y por el señor **BRYAN DANIEL CÁRDENAS ESPINOZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Enrique Guerra Salazar M.Sc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-12-07
Dr. Geovanny Estuardo Vallejo Vallejo M.Sc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-12-07
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro M.Sc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-12-07

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios, a mis padres Miguel Benavides e Inés Segura quienes son el pilar fundamental en mi vida y que con su amor, enseñanzas, sacrificio y apoyo incondicional me han permitido culminar esta etapa de mi vida, a mis hermanos William y Cristhian a quienes quiero mucho y que con sus consejos y palabras de aliento me animaron a no rendirme en este camino, a mi sobrino Miguelito quien me brinda el amor más puro e incondicional y que con sus ocurrencias llena de felicidad mi vida, a mi Abuelita María por brindarme su cariño y apoyo en cada momento transcurrido de mi vida. A mis amigos por su amistad y apoyo a lo largo de la formación académica.

Lizeth

En este largo y sacrificado camino que se termina con la elaboración de este trabajo y la obtención de mi título profesional, quiero dedicárselo en primer lugar a Dios, ser extraordinario que me acompaña y bendice a donde quiera que voy, a mis amados padres por estar siempre velando por mi bienestar y ser esa fuente de inspiración, en especial a ese ángel al que mis sentidos reconocieron por primera vez con el nombre de ¡Mamá! y que es el regalo más valioso que me ha dado la vida, a mis queridos hermanos, familiares y amigos, a don Mario y a su querida esposa doña Esther que me abrieron las puertas de su hogar en esta hermosa ciudad; para todos ustedes dedico este sueño anhelado.

Daniel

AGRADECIMIENTO

A Dios por concederme la vida y poder cumplir con esta etapa importante, a mis padres por guiarme, educarme y motivarme a seguir adelante, a mis hermanos y sobrino por brindarme su amor y apoyo incondicional, a mi Abuelita por su cariño y palabras de motivación, a mis tíos Ivo y Jackeline por todos sus sabios consejos y cariño. A mi familia por el apoyo moral en el transcurso de esta etapa. A los docentes de la Facultad de Informática y Electrónica por impartir sus conocimientos y ser mis guías en el crecimiento académico. Un gran agradecimiento a nuestros docentes tutores, Dr. Geovanny Vallejo e Ing. Franklin Moreno, que sin su apoyo y guía no hubiese sido factible la culminación del trabajo de titulación. Un agradecimiento a los funcionarios de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo por toda la predisposición y ayuda en la realización y culminación de este trabajo.

Lizeth

Un agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Informática y Electrónica y a todos los docentes que con su experiencia y enseñanzas han forjado los saberes que hoy en día son nuestras mejores armas para enfrentar la vida. Un agradecimiento especial a nuestros docentes tutores, doctor Geovanny Vallejo y al ingeniero Franklin Moreno, que sin su guía no hubiese sido posible la culminación del presente trabajo, un agradecimiento también a los funcionarios de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo por toda la predisposición y apoyo en la realización y culminación de este arduo trabajo.

Daniel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
1.1 Sectores turísticos rurales.....	8
1.2 Lugares turísticos de Riobamba	9
<i>1.2.1 Estudio de la zona.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2 Sistemas de comunicaciones en sectores turísticos</i>	<i>11</i>
1.3 Internet de las cosas (IoT)	11
<i>1.3.1 Plataformas IoT.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.1.1 ThingSpeak.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.1.2 Carriots</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1.3 Ubidots.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2 Aplicaciones de la IoT.....</i>	<i>14</i>

1.4	Tecnología LoRa	15
<i>1.4.1</i>	<i>Tecnología de modulación CSS</i>	<i>16</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Bandas de frecuencia ISM</i>	<i>18</i>
<i>1.4.3</i>	<i>Trama física de LoRa</i>	<i>20</i>
1.5	LoRaWAN	20
<i>1.5.1</i>	<i>Arquitectura de red</i>	<i>22</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Topología.....</i>	<i>23</i>
<i>1.5.3</i>	<i>Clases de dispositivos LoRaWAN.....</i>	<i>24</i>
<i>1.5.3.1</i>	<i>Dispositivos finales clase A.....</i>	<i>24</i>
<i>1.5.3.2</i>	<i>Dispositivos finales clase B.....</i>	<i>25</i>
<i>1.5.3.3</i>	<i>Dispositivos finales clase C</i>	<i>25</i>
<i>1.5.4</i>	<i>Seguridad LoRaWAN</i>	<i>26</i>
1.6	Variables fisiológicas en el ser humano.....	27
<i>1.6.1</i>	<i>Temperatura Corporal Periférica (TCP)</i>	<i>28</i>
<i>1.6.2</i>	<i>Frecuencia Cardíaca (FC)</i>	<i>29</i>
1.7	Sensores fisiológicos	30
<i>1.7.1</i>	<i>Sensor de temperatura corporal.....</i>	<i>31</i>
<i>1.7.2</i>	<i>Sensor de frecuencia cardíaca</i>	<i>32</i>
1.8	Tarjetas embebidas de desarrollo.....	33
1.9	Sistemas de geolocalización	34
 CAPÍTULO II		
2.	PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO	36
2.1	Requerimientos regulatorios	36

2.2	Requerimientos técnicos y de aplicación.....	36
2.3	Concepción general del dispositivo IoT.....	37
2.4	Arquitectura del sistema de red del dispositivo IoT	39
2.4.1	<i>Diagrama de bloques del nodo sensor</i>	<i>39</i>
2.4.2	<i>Diagrama de bloques del nodo coordinador.....</i>	<i>41</i>
2.4.3	<i>Diagrama de bloques del servidor en la nube.....</i>	<i>42</i>
2.4.4	<i>Diagrama de bloques de la etapa de supervisión y control</i>	<i>43</i>
2.5	Elementos <i>hardware</i> del dispositivo IoT.....	44
2.5.1	<i>LoRaWAN Gateway Dragino DL0S8.....</i>	<i>44</i>
2.5.2	<i>Módulo Dragino LoRa Shield.....</i>	<i>45</i>
2.5.3	<i>Tarjeta embebida Arduino MEGA 2560.....</i>	<i>46</i>
2.5.4	<i>Módulo GNSS NEO-M8N-0-01</i>	<i>47</i>
2.5.5	<i>Módulo MP1584</i>	<i>48</i>
2.5.6	<i>Sensores fisiológicos.....</i>	<i>48</i>
2.5.6.1	<i>Sensor de temperatura MLX90614</i>	<i>49</i>
2.5.6.2	<i>Sensor de frecuencia cardíaca MAX30102.....</i>	<i>49</i>
2.5.7	<i>Transistor 2N2222A.....</i>	<i>50</i>
2.5.8	<i>Buzzer activo</i>	<i>51</i>
2.5.9	<i>Pulsador NO.....</i>	<i>51</i>
2.5.10	<i>Batería Li-Po.....</i>	<i>52</i>
2.6	Esquemas de conexión electrónica del nodo sensor	52
2.6.1	<i>Conexión de módulos MP1584 y Dragino LoRa Shield a Arduino MEGA 2560....</i>	<i>53</i>
2.6.2	<i>Conexión del módulo GNSS NEO-M8N-0-01 a Arduino MEGA 2560.....</i>	<i>54</i>

2.6.3	<i>Conexión de los sensores MLX90614 y MAX30102 a Arduino MEGA 2560</i>	55
2.6.4	<i>Conexión de buzzer activo y pulsador NO a la tarjeta Arduino MEGA 2560</i>	56
2.7	Esquema de conexión general del nodo sensor	57
2.8	Diseño y fabricación de la estructura del nodo sensor	58
2.9	Herramientas <i>software</i> para el dispositivo IoT	59
2.9.1	<i>SolidWorks Premiun 2020 SP0.0</i>	59
2.9.2	<i>Arduino IDE 1.8.15</i>	60
2.9.3	<i>The Things Network (TTN) 3.16.0</i>	60
2.9.4	<i>Ubidots versión libre</i>	60
2.10	Software desarrollado para el funcionamiento del dispositivo IoT	60
2.10.1	<i>Diagrama de flujo del programa general</i>	60
2.10.2	<i>Diagrama de flujo del programa de posicionamiento GNSS</i>	65
2.10.3	<i>Diagrama de flujo del programa para la Temperatura Corporal Periférica (TCP)</i>	65
2.10.4	<i>Diagrama de flujo del programa para la Frecuencia Cardíaca (FC)</i>	66
2.10.5	<i>Diagrama de flujo del programa para el botón de auxilio</i>	67
2.10.6	<i>Diagrama de flujo del estado de carga de la batería</i>	68
2.10.7	<i>Configuración de conexión del nodo coordinador a The Things Network (TTN)</i>	69
 CAPÍTULO III		
3.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	70
3.1	Caracterización de sensores	70
3.1.1	<i>Caracterización del sensor de Temperatura Corporal Periférica (TCP)</i>	70
3.1.2	<i>Caracterización del sensor de Frecuencia Cardíaca (FC)</i>	72
3.2	Prueba de posicionamiento	73

3.3	Pruebas de comunicación e integridad de la información.....	75
3.4	Implementación del dispositivo IoT en la RPFCH.....	78
3.4.1	<i>Zona de cobertura de la red LoRa desplegada</i>	<i>80</i>
3.4.2	<i>Enlace de comunicación ruta bosque Polylepis</i>	<i>81</i>
3.4.3	<i>Enlace de comunicación ruta a los refugios.....</i>	<i>83</i>
3.4.4	<i>Pruebas de autonomía energética del nodo sensor</i>	<i>85</i>
3.4.5	<i>Capacidad de nodos sensores que puede soportar la red</i>	<i>86</i>
3.4.6	<i>Interfaz gráfica de usuario en la plataforma web IoT Ubidots.....</i>	<i>87</i>
3.4.7	<i>Generación de mensajes de alerta.....</i>	<i>88</i>
3.4.8	<i>Exportación de datos a una hoja de cálculo</i>	<i>89</i>
 CAPÍTULO IV		
4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	90
4.1	Análisis de costos de equipos	90
4.2	Análisis de costos de materiales	90
4.3	Costo total del dispositivo IoT.....	91
4.4	Comparativa del dispositivo IoT implementado con equipos comerciales	91
4.5	Plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el dispositivo IoT.....	92
CONCLUSIONES.....		94
RECOMENDACIONES.....		96
 BIBLIOGRAFÍA		
 ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Comparativa de las plataformas IoT.....	14
Tabla 2-1:	Escenarios de aplicaciones de la IoT.....	15
Tabla 3-1:	Parámetros referentes a la modulación LoRa.....	17
Tabla 4-1:	Rango de frecuencias ISM por regiones.....	20
Tabla 5-1:	Comparativa de las clases de dispositivos finales LoRaWAN.....	25
Tabla 6-1:	Parámetros normales de las variables fisiológicas por edad.....	27
Tabla 7-1:	Rangos y efectos de la hipertermia e hipotermia.....	29
Tabla 8-1:	Características importantes de la frecuencia cardíaca (FC).....	30
Tabla 9-1:	Rangos normales y esfuerzo de la frecuencia cardíaca (FC).....	30
Tabla 10-1:	Tipos de sensores inteligentes.....	31
Tabla 11-1:	Comparativa de los sensores de temperatura.....	32
Tabla 12-1:	Comparativa entre los sensores de frecuencia cardíaca.....	33
Tabla 13-1:	Comparativa de tarjetas embebidas de desarrollo.....	34
Tabla 14-1:	Comparativa módulos de posicionamiento u-blox.....	35
Tabla 1-2:	Características principales LoRaWAN <i>Gateway</i> Dragino DLOS8.....	45
Tabla 2-2:	Características técnicas principales Dragino LoRa <i>Shield</i>	46
Tabla 3-2:	Características técnicas principales Arduino MEGA 2560.....	47
Tabla 4-2:	Características técnicas principales módulo GNSS NEO-M8N-0-01.....	48
Tabla 5-2:	Características técnicas principales módulo MP1584.....	48
Tabla 6-2:	Características técnicas principales sensor de temperatura MLX90614.....	49
Tabla 7-2:	Características técnicas principales sensor de frecuencia cardíaca MAX30102.....	50
Tabla 8-2:	Características técnicas principales transistor 2N2222A.....	51
Tabla 9-2:	Características técnicas principales buzzer activo.....	51
Tabla 10-2:	Características técnicas principales Batería Li-Po.....	52

Tabla 11-2:	Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con módulos de alimentación y comunicación.....	54
Tabla 12-2:	Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con GNSS NEO-M8N-0-01	55
Tabla 13-2:	Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con el sensor TCP y FC	56
Tabla 14-2:	Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con el buzzer y pulsador NO57	
Tabla 1-3:	Mediciones de temperatura corporal periférica (TCP)	71
Tabla 2-3:	Mediciones de frecuencia cardíaca (FC)	73
Tabla 3-3:	Coordenadas del sistema de geolocalización.....	74
Tabla 4-3:	Datos de indicadores de señal de radio enlace SNR y RSSI	77
Tabla 6-3:	Información de ubicación del dispositivo IoT	78
Tabla 7-3:	Datos de señal de radio enlace SNR y RSSI, ruta bosque <i>Polylepis</i>	82
Tabla 8-3:	Datos de señal de radio enlace SNR y RSSI, ruta los refugios.....	84
Tabla 1-4:	Costos de equipos	90
Tabla 2-4:	Costo de materiales.....	90
Tabla 3-4:	Costo total del dispositivo IoT	91
Tabla 4-4:	Comparativa del dispositivo IoT implementado con equipos comerciales	91
Tabla 5-4:	Plan de mantenimiento preventivo para el dispositivo IoT	92
Tabla 6-4:	Plan de mantenimiento correctivo para el dispositivo IoT	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ruta de recorrido a los refugios Carrel y Whympet de la RPFCH.....	10
Figura 2-1:	Ruta de recorrido al bosque <i>Polylepis</i> de la RPFCH	10
Figura 3-1:	Modelo de red OSI.....	16
Figura 4-1:	Pulsos <i>up-chirp</i> y <i>down-chirp</i>	17
Figura 5-1:	Atribución de las bandas de frecuencias en el mundo	19
Figura 6-1:	Trama física de LoRa.....	20
Figura 7-1:	Pila de tecnología LoRaWAN.....	21
Figura 8-1:	Arquitectura de red típica LoRaWAN	23
Figura 9-1:	Topología de red LoRaWAN en estrella de estrellas.....	24
Figura 10-1:	Clases de dispositivos LoRaWAN.....	24
Figura 11-1:	Seguridad LoRaWAN.....	27
Figura 12-1:	Valores de la TCP en varias partes del cuerpo.....	28
Figura 13-1:	Partes anatómicas para la medición de la FC.....	29
Figura 14-1:	Procesamiento de la señal adquirida por el sensor inteligente.....	31
Figura 1-2:	Concepción general del dispositivo IoT.....	38
Figura 2-2:	Diagrama de bloques del nodo sensor.....	41
Figura 3-2:	Diagrama de bloques del nodo coordinador	42
Figura 4-2:	Diagrama de bloques del servidor en la nube	43
Figura 5-2:	Diagrama de bloques de la etapa de supervisión y control	44
Figura 6-2:	LoRaWAN <i>Gateway</i> Dragino DLOS8	45
Figura 7-2:	Módulo Dragino LoRa <i>Shield</i>	46
Figura 8-2:	Tarjeta embebida Arduino MEGA 2560.....	47
Figura 9-2:	Módulo GNSS NEO-M8N-0-01	47
Figura 10-2:	Módulo MP1584.....	48
Figura 11-2:	Sensor de temperatura MLX90614.....	49

Figura 12-2:	Sensor de frecuencia cardíaca MAX30102.....	50
Figura 13-2:	Transistor 2N2222A.....	50
Figura 14-2:	Buzzer activo	51
Figura 15-2:	Pulsador NO.....	52
Figura 16-2:	Batería Li-Po.....	52
Figura 17-2:	Conexión de módulos MP1584 y Dragino LoRa <i>Shield</i> a Arduino MEGA 2560	53
Figura 18-2:	Conexión de módulo GNSS NEO-M8N-0-01 a Arduino MEGA 2560.....	54
Figura 19-2:	Conexión de sensores MLX90614 y MAX30102 a Arduino MEGA 2560.....	55
Figura 20-2:	Conexión del buzzer activo y pulsador NO a Arduino MEGA 2560.....	56
Figura 21-2:	Esquema electrónico general del nodo sensor	57
Figura 22-2:	Resultado de las conexiones en la PCB	58
Figura 23-2:	Diseño en 3D de la estructura del nodo sensor	58
Figura 24-2:	Diseño en 3D del brazalete	59
Figura 25-2:	Nodo sensor	59
Figura 26-2:	Algoritmo general del dispositivo IoT	64
Figura 27-2:	Diagrama posicionamiento GNSS	65
Figura 28-2:	Diagrama temperatura corporal periférica (TCP)	66
Figura 29-2:	Diagrama frecuencia cardíaca (FC)	67
Figura 30-2:	Diagrama del botón de auxilio	68
Figura 31-2:	Diagrama del estado de carga de la batería.....	68
Figura 32-2:	Nodo coordinador configurado exitosamente	69
Figura 1-3:	Prueba de la obtención de medidas de la TCP	71
Figura 2-3:	Prueba de la obtención de medidas de la FC	72
Figura 3-3:	Prueba de posicionamiento del dispositivo IoT	74
Figura 4-3:	Rango de valores de señal RSSI	75
Figura 5-3:	Rango de valores de señal SNR	75
Figura 6-3:	Instalación del nodo coordinador en zona urbana.....	76

Figura 7-3:	Ruta para la prueba de comunicación en una zona urbana	76
Figura 8-3:	Ubicación geográfica nodo coordinador	79
Figura 9-3:	Nodo coordinador instalado	79
Figura 10-3:	Nodo sensor instalado	80
Figura 11-3:	Zona de cobertura del dispositivo IoT	81
Figura 12-3:	Simulación de red LoRaWAN para escenario de 300 nodos sensores	87
Figura 13-3:	Interfaz gráfica de usuario en la plataforma web IoT Ubidots.....	88
Figura 14-3:	Mensaje de alerta generado.....	88
Figura 15-3:	Exportación de datos a una hoja de cálculo	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Datos obtenidos de la temperatura corporal periférica (TCP).....	72
Gráfico 2-3:	Datos obtenidos de la frecuencia cardíaca (FC)	73
Gráfico 3-3:	Datos de la señal de radio enlace RSSI vs. Distancia.....	77
Gráfico 4-3:	Datos de la señal de radio enlace SNR vs. Distancia	78
Gráfico 5-3:	Datos de radio enlace RSSI vs. Distancia, ruta bosque <i>Polylepis</i>	82
Gráfico 6-3:	Datos de radio enlace SNR vs. Distancia, ruta bosque <i>Polylepis</i>	83
Gráfico 7-3:	Datos de radio enlace RSSI vs. Distancia, ruta los refugios.....	84
Gráfico 8-3:	Datos de radio enlace SNR vs. Distancia, ruta los refugios	85

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DATOS TÉCNICOS DE LoRaWAN *GATEWAY* DRAGINO DLOS8
- ANEXO B:** DATOS TÉCNICOS DE MÓDULO DRAGINO LoRa *SHIELD*
- ANEXO C:** DATOS TÉCNICOS DE TARJETA ARDUINO MEGA 2560
- ANEXO D:** DATOS TÉCNICOS DE MÓDULO GNSS NEO-M8N-0-01
- ANEXO E:** DATOS TÉCNICOS DE MÓDULO MP1584
- ANEXO F:** DATOS TÉCNICOS DE SENSOR MLX90614
- ANEXO G:** DATOS TÉCNICOS DE SENSOR MAX30102
- ANEXO H:** ESQUEMA DE CONEXIÓN ELECTRÓNICA DEL NODO SENSOR
- ANEXO I:** PLANOS DE LA ESTRUCTURA DEL NODO SENSOR
- ANEXO J:** DATOS TÉCNICOS DE TERMÓMETRO INFRARROJO
- ANEXO K:** DATOS TÉCNICOS DE OXÍMETRO DE PULSO
- ANEXO L:** AUTORIZACIÓN RPFCH
- ANEXO M:** CÓDIGO DEL PROGRAMA DEL DISPOSITIVO IoT

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADR:	Tasa de datos adaptativa
AES:	Estándar de cifrado avanzado
API:	Interfaz de programación de aplicaciones
ARCOTEL:	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
BW:	Ancho de banda
CSS:	<i>Chirp</i> de espectro ensanchado
dB:	Decibelios
dBm:	Decibelio-milivatio
EDA:	Automatización de diseño electrónico
EMI:	Interferencia electromagnética
FC:	Frecuencia cardíaca
FM:	Frecuencia modulada
GNSS:	Sistema global de navegación por satélite
IEEE:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IoT:	Internet de las cosas
IP:	Protocolo de internet
ISM:	Industrial, científico y médico
Li-Po:	Polímero de litio
LoRa:	Largo alcance
LoRaWAN:	Red de área extensa de largo alcance
LPWAN:	Red de área extensa de baja potencia

MHz:	Megahercio
MINTEL:	Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información
OSI:	Modelo de interconexión de sistemas abiertos
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PPM:	Pulsaciones por minuto
RF:	Radiofrecuencia
RPFCH:	Reserva de Producción de Fauna Chimborazo
RSSI:	Indicador de intensidad de señal recibida
SF:	Factor de difusión
SNR:	Relación señal-ruido
SSID:	Identificador de paquetes de servicio
SSM:	Modulación de espectro ensanchado
TCP:	Temperatura corporal periférica
TIC:	Tecnologías de la información y la comunicación
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
Wi-Fi:	Fidelidad inalámbrica

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo implementar un dispositivo IoT, basado en tecnología LoRa para la geolocalización y monitoreo fisiológico de personas en lugares turísticos, en este caso, se eligió la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH). Para el diseño y fabricación del dispositivo se consideraron los requerimientos técnicos y regulatorios necesarios para su implementación. En primer lugar, se estableció la concepción y arquitectura general del sistema desplegado, mediante topología de red en estrella, conformado por un nodo sensor (módulo de posicionamiento, sensores fisiológicos no invasivos, botón de auxilio y alarma sonora), un nodo coordinador (puerta de enlace LoRaWAN), el servidor en la nube y la etapa de supervisión y control. Se realizó los esquemas de conexión electrónica de los elementos mencionados y se determinaron todas las herramientas *software* necesarias para la programación, configuración y funcionamiento del dispositivo IoT fabricado. En los resultados de las pruebas realizadas se pudo evidenciar que se establecieron los enlaces de comunicación para las rutas seleccionadas en la RPFCH, en línea de vista, probando así que el nodo sensor no incorporó errores considerables en las mediciones, respetando un margen de error de 2,5 m para las coordenadas geográficas, margen de $\pm 0,2$ °C para la temperatura corporal periférica (TCP) y margen de 2 pulsaciones por minuto para la frecuencia cardíaca (FC). Con lo expuesto se concluyó que el sistema implementado puede ayudar a ubicar y monitorear a personas que puedan sufrir percances en lugares turísticos. Se recomienda realizar los estudios respectivos en caso de futuras aplicaciones y considerar también que este trabajo fue realizado usando plataformas de *software* libre, presentándose las limitaciones correspondientes.

Palabras clave: <DISPOSITIVO IoT> <TECNOLOGÍA LoRa> <GEOLOCALIZACIÓN> <MONITOREO FISIOLÓGICO> <PUERTA DE ENLACE LoRaWAN> <SOFTWARE LIBRE>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

2095-DBRA-UPT-2021

2021-11-15

ABSTRACT

The present work aimed to implement an IoT device, based on LoRa technology for geolocation and physiological monitoring of people in tourist places, in this case, the Reserva de Producción Faunística Chimborazo (RPFCH) was chosen. For the design and manufacture of the device, the technical and regulatory requirements necessary for its implementation were considered. Firstly, the conception and general architecture of the deployed system was established, using a star network topology, made up of a sensor node (positioning module, non-invasive physiological sensors, help button and audible alarm), a coordinator node (LoRaWAN gateway), the cloud server and the monitoring and control stage. The electronic connection diagrams of the elements were made and there were determined all the necessary software tools for programming, configuration and operation of the manufactured IoT device. In the results of the tests carried out, it was possible to evidence that communication links were established for the routes selected in the RPFCH, in line of sight, thus proving that the sensor node did not incorporate considerable errors in measurements, respecting a margin of error of 2,5 m for geographic coordinates, margin $\pm 0,2$ ° C for peripheral body temperature (PBT) and 2 beats per minute margin for heart rate (HR). With the above mentioned, it was concluded that the implemented system can help locate and monitor people who may suffer mishaps in tourist places. It is recommended to carry out more studies in case of future applications and also consider that this work was carried out using free software platforms, presenting the corresponding limitations.

Keywords: <IoT DEVICE> <LoRa TECHNOLOGY> <GEOLOCATION>
<PHYSIOLOGICAL MONITORING> <LoRaWAN GATEWAY> <FREE SOFTWARE >



Firmado electrónicamente por:
**NELLY MARGARITA
PADILLA PADILLA**

INTRODUCCIÓN

En el ámbito del desarrollo nacional, países de la región en los últimos años han manifestado la necesidad de promover políticas en el uso de las nuevas tecnologías en pro del bienestar común (CALDERÓN, y otros, 2017). Ecuador, en la búsqueda de una sociedad del conocimiento, no ha escatimado esfuerzos en lograr democratizar el uso y acceso universal de la ciudadanía a las nuevas tecnologías, esto a través de programas y planes como los presentados en los dos últimos periodos de gobierno, sustentados para su aplicación en el Plan Nacional de Desarrollo contemplado en la Constitución de la República (SENPLADES, 2017a págs. 5-31).

A medida que el avance tecnológico va ganando terreno, han aparecido nuevos términos en el argot del sector innovación, los cuales han sido adoptados y generalizados por la comunidad, estableciendo lo que hoy se conoce como tecnologías de la información y la comunicación (TIC), término que, por una parte y como objeto de estudio de la presente temática, engloba a lo que viene siendo la tecnología de comunicación inalámbrica LoRa, la cual es aplicada con especial énfasis en el enfoque del desarrollo local que tendrá el sector a beneficiarse (RODRÍGUEZ, 2017 pág. 17).

Esta investigación también abarca la temática relacionada a los lugares turísticos en donde se pretende aplicar esta tecnología de comunicación, enfocándose principalmente en la realidad de la zona y las características de los servicios que esta brinda; para el caso de estudio, interesa lo que viene siendo los sistemas de comunicaciones, conectividad y servicios de salud *in situ* ante eventuales sucesos que involucren la seguridad e integridad de los visitantes. El Plan Estratégico de Desarrollo de Turismo Sostenible (PLANDETUR) para Ecuador menciona que los sitios turísticos deben ofrecer seguridad integral al visitante y deben también estar preparados para atender emergencias (TOURISM & LEISURE ADVISORY SERVICES, 2017 pág. 15).

Observando la situación más apegada a la realidad, el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911 en 2019 coordinó 144 operativos para la búsqueda y rescate de personas extraviadas en zonas montañosas del país. En 2020 fueron 142 emergencias de este tipo (ECU 911, 2021a). Una de las causas para que ocurran estos extravíos en escenarios turísticos, entre varias de las que se presentan, está precisamente la de la escasa conectividad y acceso a las redes de comunicaciones, recursos con los que estos lugares alejados de la urbe no cuentan (EL COMERCIO, 2020).

A nivel mundial, desarrollaron un sistema de monitoreo de signos vitales para pacientes denominado:

DISPOSITIVO DE MONITOREO DE PACIENTES COVID-19 BASADO EN REDES LoRa.

Este dispositivo está enfocado a personas con enfermedad causada por coronavirus (COVID-19), los datos recopilados se transmiten haciendo uso de la tecnología LoRa a un servicio web de IoT alojado en la nube, el profesional de la salud recepta la información de forma remota y por ende monitorea los datos de los sensores con el fin de tomar las acciones respectivas (UDDIN, 2021).

A nivel nacional se han desarrollado trabajos de titulación basados en la tecnología de comunicación LoRa, de la mano de la tendencia tecnológica de la Internet de las cosas (IoT), como:

PROPUESTA DE UNA SOLUCIÓN IoT (INTERNET OF THINGS) PILOTO, PARA MEJORAR LA MOVILIDAD Y SERVICIO EN LAS LÍNEAS DE AUTOBUSES DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE QUITO.

El trabajo de titulación es referente a una solución de IoT con el fin de mejorar la movilidad en líneas de autobuses en la ciudad de Quito, por parte de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) (MEJÍA, 2020 pág. 3).

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE RED LPWAN CON TECNOLOGÍA LoRa PARA LA DETECCIÓN DE INTRUSOS EN LAS VIVIENDAS DE UNA ZONA RESIDENCIAL.

Desarrollado por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) para la detección de intrusos en viviendas, genera alertas que son enviadas al dueño de la vivienda y al personal de seguridad (ÁVILA, y otros, 2020 pág. 2).

Y a nivel local se ha hecho uso de la tecnología LoRa en un trabajo con la temática de:

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE LA TECNOLOGÍA LoRaWAN APLICADO AL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA UNIDAD EDUCATIVA SANTO TOMÁS APÓSTOL RIOBAMBA.

Realizado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), trabajo de titulación que utiliza la tecnología LoRa para el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire con IoT (CANTUÑA, y otros, 2019 págs. 4-18).

Una vez revisada y analizada la documentación que precede, se puede identificar que estos trabajos se han realizado en áreas urbanas en donde se puede hacer uso de otras tecnologías creadas para estos ambientes, no se considera la aplicación y explotación propia para la que fue creada la tecnología LoRa, la cual se crea en necesidad de comunicar cosas en el contexto de las redes de área extensa de baja potencia (LPWAN). Es así como, en lo que respecta al acceso de tecnologías emergentes que promuevan el desarrollo local, es oportuno la implementación del

dispositivo IoT que abarca la presente investigación, pues está enfocado a suplir las necesidades que se presentan en los lugares turísticos en donde los sistemas de comunicación tecnológicos tradicionales son muy limitados o a su vez no existen.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En el contexto nacional del sector de las comunicaciones, se encuentra en vigencia el Plan de Servicio Universal, mismo que pone de manifiesto todos aquellos lineamientos y políticas que buscan erradicar los obstáculos de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN, 2018b pág. 2).

Ecuador, en lo referente a infraestructura tecnológica, durante los últimos años, ha experimentado importantes avances entre los que se encuentran: 94% de alcance en cuanto a cantones conectados a través de fibra óptica, 92,34% de parroquias con acceso a Internet, 95,22% de parroquias con cobertura de redes móviles, logrando así llegar al 95% de la población a nivel nacional. Con el programa Ecuador conectado se pretende llegar a un 98% de conectividad y despliegue de infraestructura para el año 2021 (MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN, 2019a pág. 49).

Con estas estadísticas, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), plantea entre varios de sus objetivos, el de priorizar y tomar iniciativas que permitan cerrar esa brecha digital aún existente y así asegurar que una mayor cantidad de personas tengan acceso y capacitación a servicios de comunicación digital (MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN, 2016c págs. 40-42).

En los planes y proyectos del estado, como reto importante está el de lograr un impacto positivo de las TIC en el desarrollo y fortalecimiento del espacio público rural en el Ecuador, ya que debido a las características geográficas de las áreas rurales y urbano marginales, la infraestructura tecnológica simplemente no llega, precisamente por el alto costo que conlleva cubrir estas zonas remotas de baja tasa poblacional, por tal razón es que resulta frecuente que estas áreas del territorio nacional no cuenten con el acceso a los sistemas de comunicaciones y conectividad tradicionales (MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN, 2018b pág. 40).

Una de las consecuencias de que la infraestructura tecnológica en las áreas rurales sea escasa, es que puede afectar de cierto modo las actividades de desarrollo local que se realizan en estos lugares, especialmente aquellas de turismo rural. Las cifras expuestas por el ECU 911, dan fe de que parte de los percances que se suscitan en zonas montañosas, se dan a raíz de la falta de un

sistema de comunicaciones que permita por lo menos el uso del teléfono celular como medio para pedir auxilio, el ECU 911 cuenta con una herramienta tecnológica de geolocalización denominada Localizador Móvil (*Mobile Locator*), esta herramienta permite conocer la posición geográfica en la que se encuentra un móvil a través de la intensidad de señal de cobertura que pueda receptor de alguna operadora telefónica, dicha herramienta está regulada por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). Para que el sistema funcione el dispositivo a ser rastreado tiene que encontrarse encendido y en el área de cobertura de la red (ECU 911, 2017b).

En el plano nacional, las emergencias de personas extraviadas son reportadas al ECU 911, de donde se puede obtener cifras a eventos de rescate en montañas, presentándose en el 2019, 144 emergencias, en lo que fue 2020 se presentaron 142 emergencias y para el primer mes del año en curso, se reportaron 12 incidentes con relación a búsqueda y rescate en zonas montañosas. Entre los años de 2019 y 2020 se presenta una ínfima reducción en -1,4% a este tipo de emergencias debido al contexto de la emergencia sanitaria (ECU 911, 2021a).

Uno de los puntos a considerar en la Internet de las cosas (IoT) tiene que ver con la conectividad que tienen los nodos finales, esto no representa un problema cuando existen varias opciones de tecnologías para conectarse a la red, sin preocuparse por el consumo de energía y el alcance que estas puedan tener, pues bien, cuando la aplicación tenga que funcionar en lugares en donde la cobertura de la red sea prácticamente nula y además no se cuente con el suministro de energía eléctrica, mirar hacia nuevas tecnologías que solucionen estos inconvenientes resulta crucial. LoRa, está direccionada a aplicaciones donde los *end-points* poseen energía limitada y no necesitan comunicar grandes cantidades de información debido a que su funcionamiento se basa en estándares de redes de comunicación LPWAN, cómodamente satisface todas las carencias en que incurren las aplicaciones tecnológicas del mercado IoT, mejorando así el nivel de vida de las personas y más de aquellas que se encuentran alejadas de la población (LORA ALLIANCE, 2017b; LORA ALLIANCE, 2021a).

Los trabajos investigados en los que se ha hecho uso de la tecnología LoRa, están enfocados a ambientes urbanos en aplicaciones específicas, como el trabajo de titulación de Mejía Placencia Jessica con la temática “*Propuesta de una solución IoT (Internet of things) piloto, para mejorar la movilidad y servicio en las líneas de autobuses del transporte público en la ciudad de Quito*” en donde se implementa una red de nodos sensores los cuales otorgan información de la ubicación en tiempo real y disponibilidad de un autobús (MEJÍA, 2020 pág. 3). El trabajo de Ávila Edwin y Parra Miguel trata del “*Desarrollo de un prototipo de red LPWAN con tecnología LoRa para la detección de intrusos en las viviendas de una zona residencial*”, el cual combina la tecnología LoRa con el protocolo de transporte de mensajería de publicación/suscripción (MQTT, por su sigla en inglés) y una interfaz de programación de aplicaciones (API) para notificar actos de

intrusión en una vivienda y alertar al personal de seguridad a cargo (ÁVILA, y otros, 2020 pág. 19). Por su parte Cantuña Katherine y Satián Daniela, realizaron un “*Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWAN aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba*”, en donde utilizaron tres dispositivos, dos para la recolección de datos de los contaminantes ambientales mientras que el tercer dispositivo se usó para la comunicación inalámbrica entre los nodos sensores y la puerta de enlace (CANTUÑA, y otros, 2019 pág. 18). En el campo de la medicina, LoRa también ha demostrado sus funcionalidades, es así que Uddin Mohammad, ha propuesto un dispositivo de monitoreo para pacientes con COVID-19, en donde se utilizan varios sensores que recopilan los datos biológicos de las variables medidas para luego ser enviados a un servicio web de IoT, con lo cual el personal de la salud se ve beneficiado puesto que puede monitorear remotamente a sus pacientes, evitando así el contacto directo con personas enfermas de alto grado infeccioso (UDDIN, 2021).

La propuesta que se plantea en este trabajo, en particular, lo que busca es en cierta medida coadyuvar a las políticas estatales en el sentido de brindar una alternativa tecnológica de conectividad y comunicación para el sector turístico rural, en donde la infraestructura de comunicaciones y de cobertura no llega, brindando de esta forma valor agregado a los servicios de turismo que estos lugares ofrecen. En síntesis, el trabajo se realiza en función de la necesidad de aportar con un sistema tecnológico de comunicación para el sector del turismo, estableciendo así como objetivo, implementar un dispositivo IoT, que sea usado por las personas que acuden a estos lugares, mismo que permita obtener información importante que se genere fruto de la actividad *in situ* por parte del turista, en donde el sistema hace uso de la tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético, LoRa.

Este trabajo se justifica también en lo establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en donde literalmente se señala que “*en la era de las redes, cada país necesita contar con capacidad para comprender las tecnologías mundiales y adaptarlas a las necesidades locales*” (PNUD, 2001b pág. 5). También que “*las TIC son un instrumento cada vez más poderoso para poder participar en los mercados mundiales; promover la responsabilidad política; mejorar la provisión de servicios básicos, y realizar las oportunidades de desarrollo local*” (PNUD, 2003a).

Otro justificante se tiene en los objetivos del Plan Nacional para el Buen Vivir en donde el objetivo 3 dice “*Mejorar la calidad de vida de la población*” (SENPLADES, 2017b pág. 135), secundado en la política 3.8 que enuncia “*Propiciar condiciones adecuadas para el acceso a un hábitat seguro e incluyente*” (SENPLADES, 2017b pág. 148) y el objetivo 10 que dice “*Impulsar la transformación de la matriz productiva*” (SENPLADES, 2017b pág. 291), secundado en la política 10.2 que menciona el “*Promover la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes*

intermedios y finales” y que en la política 10.3 dice “Diversificar y generar mayor valor agregado en los sectores prioritarios que proveen servicios” (SENPLADES, 2017b pág. 301). También en uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida en el que se enuncia el “Promover la interacción recíproca entre la educación, el sector productivo y la investigación científica y tecnológica, para la transformación de la matriz productiva y la satisfacción de necesidades” (SENPLADES, 2017b pág. 171).

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Se desarrolló un dispositivo IoT el cual en su conjunto permitió ofrecer una herramienta de georreferenciación y monitoreo fisiológico no invasivo a una persona en un lugar turístico, para tal efecto y acorde a la bibliografía, las variables fisiológicas más relevantes a ser monitoreadas en un paciente para determinar su estado vital, son: frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardíaca (FC), saturación de oxígeno (SaO₂), presión sanguínea y temperatura corporal periférica (TCP) (GUTIÉRREZ, 2017 pág. 11). Uno de los objetivos de este trabajo comprendió la investigación respectiva la cual permitió determinar las variables fisiológicas a ser monitorizadas con sus correspondientes parámetros o rangos de normalidad, mismos que repercuten en el estado de salud de una persona.

Bajo estos fundamentos investigativos que brindan justificación contrastada al presente proyecto, se planteó el desarrollo de un dispositivo enmarcado en la tendencia tecnológica de la Internet de las cosas (IoT), basando su funcionamiento primordialmente en la tecnología LoRa, en donde se consideraron dos escenarios.

En el escenario turístico, la persona llevó consigo el nodo sensor en una de sus extremidades superiores, la función del mismo fue la de transmitir inalámbricamente las coordenadas geográficas de su ubicación mediante un módulo de sistema global de navegación por satélite (GNSS, por su sigla en inglés), y a su vez los signos vitales por medio de la medición de las variables fisiológicas de temperatura corporal periférica (TCP) y frecuencia cardíaca (FC), la medición de estas variables se realizó a través de la utilización de sensores no invasivos de los que la persona dispuso en todo momento, toda esta información se controló, procesó y envió hacia el nodo coordinador, con la ayuda de un módulo de radiofrecuencia (RF) LoRa *Shield* del nodo sensor.

Para el escenario de supervisión y control, se utilizó el nodo coordinador con acceso a la nube (la Internet). La información que se recibió se pudo visualizar en un ordenador con acceso a la plataforma web de IoT Ubidots. Además, en la comunicación inalámbrica para enlazar los escenarios, se estableció la topología de red inalámbrica en estrella, gestionado por el propio nodo coordinador en conjunto con el nodo sensor respectivo. La información proveniente del nodo

sensor fue supervisada y controlada por el personal encargado del lugar turístico en todo momento. A este escenario también llegaron las peticiones de ayuda que se produjeron al momento de accionarse el botón de auxilio del nodo sensor, también se enviaron señales de aviso a la persona, mismas que se tradujeron en la activación de una alarma sonora en el nodo sensor con el fin de querer dar aviso al visitante por parte del guardaparques. *“Lo importante del “internet de las cosas” no radica en la conexión de las “cosas” a internet, sino en la información y conocimiento que estas puedan aportar para mejorar la calidad de vida de las personas”* (RODRÍGUEZ, 2017 pág. 17).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un dispositivo IoT, basado en tecnología LoRa para la geolocalización y monitoreo fisiológico de personas en lugares turísticos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los fundamentos teóricos de la tecnología LoRa, y las variables fisiológicas que presentan las personas.
- Establecer los requerimientos necesarios para la implementación del prototipo.
- Diseñar el sistema electrónico del dispositivo IoT que permita la geolocalización y monitoreo fisiológico de una persona en base a los requerimientos establecidos.
- Seleccionar el *hardware* y *software* que permitan implementar el diseño del sistema electrónico propuesto.
- Evaluar si el prototipo de dispositivo IoT cumple con los requerimientos planteados.

METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo de esta investigación se basa en una revisión bibliográfica minuciosa y el resultado de la misma se presenta en este documento, mismo que está constituido por cuatro capítulos; el primer capítulo trata sobre el marco referencial, el segundo capítulo refiere sobre la propuesta y diseño del prototipo a ser implementado, el tercer capítulo hace alusión a la validación del prototipo lo cual se constituye en las pruebas realizadas al mismo para llegar a las conclusiones y recomendaciones respectivas y finalmente, el cuarto capítulo hace referencia a la evaluación económica del dispositivo IoT en su conjunto.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se realiza el estudio de los fundamentos teóricos más importantes que sustentan todos los campos necesarios para el desarrollo del dispositivo IoT en su totalidad, mediante revisión bibliográfica. La investigación incluye información puntual acerca de la Internet de las cosas (IoT), de la tecnología LoRa, variables fisiológicas más relevantes para la naturaleza del lugar turístico escogido, sensores fisiológicos de carácter no invasivos, sistemas de geolocalización y el estudio de la realidad de la zona del lugar turístico a desarrollarse la presente temática, donde cada etapa mencionada interviene para la implementación del dispositivo IoT.

1.1 Sectores turísticos rurales

El turismo es considerado como una actividad importante en la economía mundial, debido a que es un sector de gran dinamismo y sobre todo representa un potencial de desarrollo, por lo tanto, se ve comprometido en el proceso del cambio de la matriz productiva del país y de esta manera ha conseguido ser uno de los ejes de desarrollo económico que impulsan el sector de la economía (OYARVIDE, 2017 págs. 73-74).

El turismo cumple un papel importante en el desarrollo de la riqueza y es una de las principales actividades productivas, a su vez las regiones al poseer una actividad productiva con un alto potencial de crecimiento permiten el beneficio de varios sectores rurales. A través del turismo se puede obtener beneficios importantes en la agroindustria local mediante la producción de artesanías propias y también promoviendo emprendimientos privados y públicos de índole comunitaria (INOSTROZA, 2017 págs. 1-2).

La misión del turismo rural es adquirir una relevancia específica, la cual es determinada como una estrategia de diversificación de ingresos, que comprende el mejoramiento de los productos turísticos, el desarrollo de la capacidad de negociación de la población y promoción de los destinos turísticos (INOSTROZA, 2017 págs. 1-2). Es por ello que el turismo rural promueve el desarrollo integral de las comunidades y a su vez permite disminuir la pobreza, eliminar las desigualdades, evitar que los pobladores migren hacia las ciudades, fomentar la repartición de los ingresos y especialmente favorecer a la conservación del medio ambiente (OYARVIDE, 2017 págs. 73-74).

1.2 Lugares turísticos de Riobamba

Esta ciudad se encuentra ubicada en la sierra centro del Ecuador a 2 754 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) con una temperatura promedio de 14 °C, es conocida como “La Sultana de los Andes” por su belleza paisajística o “Ciudad de las Primicias” por sus gestas históricas, se encuentra ubicada en el cantón del mismo nombre y es la capital de la provincia de Chimborazo, es aquí donde se ubica el lugar turístico que ha sido elegido para el desarrollo del presente trabajo. El cantón está conformado por 5 parroquias urbanas que suman aproximadamente 58 atractivos turísticos repartidos en sitios patrimoniales, iglesias, gastronómicos y mercados; y 11 parroquias rurales que en conjunto suman 60 lugares turísticos con diferentes atractivos naturales y culturales, incluidos los 8 centros de turismo comunitario que nacen en respuesta al desarrollo socioeconómico del sector rural (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020b).

1.2.1 Estudio de la zona

El dispositivo IoT será implementado en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH), específicamente en su Centro de Servicios Turísticos el Arenal - RPFCH, ubicado en la parroquia rural San Juan a 4 350 m s. n. m., mencionado sitio cuenta con servicio exclusivo de acceso a la Internet para las actividades laborales de los funcionarios y además es el punto de partida hacia varios de los atractivos turísticos que conforman esta reserva. Considerando que la tecnología LoRa posee una amplia cobertura de señal en zonas abiertas y se estructura en una topología de red en estrella de estrellas, se ha elegido las siguientes zonas para el desarrollo de este trabajo (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020a págs. 5-8).

- **Ruta de los refugios:** esta ruta empieza en el Centro de Servicios Turísticos el Arenal - RPFCH, continúa por 7 km hasta llegar al primer refugio del Chimborazo llamado Carrel, ubicado a 4 845 m s. n. m., y finaliza 1,5 km más adelante hasta el segundo refugio llamado Whympfer, ubicado a 5 042 m s. n. m., como se muestra en la figura 1-1. En base al estudio de la zona, la temperatura varía entre 0 y 2 °C según las condiciones climáticas y el nivel de altura, las actividades realizadas por los turistas son el senderismo y el *trekking*, mismas que duran aproximadamente 4 horas dependiendo de las condiciones climáticas y físicas de las personas. En su travesía también se puede realizar *camping* y fotografía a los hermosos paisajes de montaña y a la gran variedad de flora y fauna andina. El trayecto en su mayoría es de tipo rocoso y bastante empinado (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020a págs. 19-20).



Figura 1-1: Ruta de recorrido a los refugios Carrel y Whymper de la RPFCH

Fuente: (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020a)

- Bosque *Polylepis*:** este atractivo turístico comienza en el punto de partida ya mencionado, continúa por 1 km en dirección de retorno al cantón Riobamba y desde allí se extiende por 6 km más hasta llegar al bosque *Polylepis*, como se muestra en la figura 2-1, también es conocido así por los 217 árboles de la especie *Polylepis reticulata Hieron* que en este habitan. Según el estudio realizado a la zona, este bosque tiene una extensión de 4 hectáreas ubicadas a 4 350 m s. n. m. en donde según las condiciones climáticas y el tiempo, la temperatura varía entre los 0 y 4 °C. La principal actividad realizada por los turistas es el senderismo, fotografía, interpretación ambiental y *camping*. El recorrido que se realiza a este bosque dura aproximadamente 2 horas y su camino está compuesto por varios tramos de arena, piedra y pajonales, a medida que se continua por la ruta se puede observar los paisajes andinos, flora y fauna propia del lugar (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020b págs. 13-15).



Figura 2-1: Ruta de recorrido al bosque *Polylepis* de la RPFCH

Fuente: (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020c)

1.2.2 Sistemas de comunicaciones en sectores turísticos

Los sistemas de comunicaciones se basan en procesos de transferencia de información generada en un punto de tiempo y espacio por una fuente, a otro punto de tiempo y espacio en el destino, estos sistemas pueden ser alámbricos o inalámbricos, sin embargo los sistemas alámbricos no pueden llegar a lugares rurales por sus grandes cantidades de requerimientos materiales y los inalámbricos no funcionan correctamente en sitios sin alcance visual o línea de vista, por las diferentes interferencias que presenta la geografía de las zonas urbanas y más aún la de las zonas rurales (MINTEL, 2018b págs. 7-10).

Según datos obtenidos del MINTEL, el servicio de Internet fijo en el país entre los años 2010 y 2018 ha aumentado 4 veces, lo que equivale a alcanzar un 11,7% de servicio, que junto con el Internet móvil llegan a alcanzar un 64,7%. Para el año 2021 se tiene previsto repotenciar puntos de Wi-Fi gratuitos ya existentes e implementar 1 450 puntos más, pero desafortunadamente todos estos puntos serán colocados únicamente en zonas urbanas, ubicando a las zonas rurales inmediatamente fuera de este beneficio (MINTEL, 2019a pág. 46).

En el caso de la RPFCH, ubicada en la parroquia rural San Juan, según la Guía de Turismo, Naturaleza y Aventura del Municipio de Riobamba, las reservas naturales y áreas protegidas no cuentan con acceso a Internet ni cobertura telefónica que permitan comunicarse de forma estable, por lo que se pone a consideración tomar en cuenta todas las recomendaciones establecidas en la visita a estos lugares turísticos de las comunidades rurales (MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2020a).

1.3 Internet de las cosas (IoT)

Es una arquitectura procedente de la Internet global que permite el intercambio de bienes y servicios entre redes de suministro, obteniendo un impacto muy importante en la seguridad de los actores implicados. La IoT presenta diversos beneficios de mejora referente a la gestión y seguimiento de los productos y activos, además incrementa la cantidad de datos de información y permite la optimización de equipos y la utilización de los recursos con el fin de disminuir costos (SALAZAR, y otros, 2017 págs. 7-8).

IoT fue empleado por primera vez en el año de 1999 por el conocido británico Kevin Ashton dando lugar a la conexión entre objetos físicos y virtuales mediante la inter-operatividad de las TIC. En la actualidad la conectividad de red y la capacidad de cómputo para objetos y sensores ha logrado que se intercambien y consuman datos con un porcentaje mínimo de intervención de la mano del hombre (ROSE, 2017 págs. 5-15).

La IoT representa la correlación de una diversidad de tendencias en aquellas áreas de computación y conectividad que han surgido décadas atrás. Actualmente existe una amplia gama de sectores de la industria ya sea en la electrónica, salud, mecánica, manufactura; que han optado por la alternativa de incorporar la tendencia de la IoT en sus operaciones y productos. Los modelos de conectividad de esta tendencia tienen sus propias características, estos modelos destacan la flexibilidad en la manera en que los dispositivos de la IoT pueden conectarse y además proporcionar un valor para el usuario, los modelos de conectividad son los siguientes (ROSE, 2017):

- Dispositivo a dispositivo (*Device to device*)
- Dispositivo a la nube (*Device to cloud*)
- Dispositivo a la puerta de enlace (*Device to gateway*)
- Intercambio de datos a través del *back-end* (*Back End Data Sharing*)

1.3.1 Plataformas IoT

Son aquellas que se caracterizan por brindar a los usuarios la capacidad de construir, implementar y relacionar aplicaciones específicas de la IoT. Su funcionamiento es parecido a las plataformas de desarrollo de código bajo o sin código. También hay que considerar que estas plataformas requieren cierto nivel de conocimientos de codificación, y las más avanzadas pueden requerir desarrolladores altamente capacitados (G2, 2020).

Una web integrada a la IoT permite la recolección de datos que son enviados a través de dispositivos conectados, dando lugar a la creación de aplicaciones móviles, así como también para otros dispositivos, los cuales permitan la visualización de los datos recibidos de los dispositivos IoT conectados a la plataforma web e incluir los datos sobre los que se está trabajando en el momento (MARTÍNEZ, 2017 págs. 6-36). En la actualidad y sobre todo en la industria de la IoT existen ciertas plataformas las cuales son detalladas en el siguiente apartado.

1.3.1.1 ThingSpeak

Es una plataforma que permite conectar objetos con personas, esta se caracteriza por ser *Open Source* con una API para guardar y recuperar datos de los objetos, utilizando el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP, por su sigla en inglés) mediante Internet o red de área local (LAN, por su sigla en inglés) (LOUREIRO, 2017 págs. 5-8). También permite recolectar y almacenar datos adquiridos por dispositivos IoT, y al ser una plataforma abierta y de código libre, se pueden adaptar mejoras que están disponibles en GitHub, también genera un soporte importante hacia una gran variedad de dispositivos finales (MARTÍNEZ, 2017 págs. 6-36).

Su funcionamiento se basa en un concepto llamado “Canal ThingSpeak”, dicho canal almacena la información que envían los dispositivos y está compuesto de las siguientes partes (MARTÍNEZ, 2017 págs. 6-43):

- Ocho campos para almacenar datos de cualquier tipo ya sea de un sensor o un dispositivo embebido.
- Tres campos para almacenar información ya sea de latitud, longitud y elevación.
- Un campo nombrado estado que se utiliza para describir la información guardada en el canal.

1.3.1.2 Carriots

Brinda un servicio (PaaS) orientada a proyectos IoT y máquina a máquina (M2M), no es una plataforma *Open Source*, pero permite registrar máximo 10 dispositivos de forma gratuita con alguna restricción referente a su funcionamiento (LOUREIRO, 2017 págs. 5-8). Desde un inicio la presente plataforma fue creada para y por la nube, además hay que tener en cuenta que no está contemplada una versión para la arquitectura tradicional (MARTÍNEZ, 2017 pág. 25).

Otra característica importante es que permite recopilar y almacenar aquellos datos provenientes de los dispositivos conectados, incluyendo varios aspectos que se detallan a continuación (MARTÍNEZ, 2017 pág. 25):

- Múltiples proyectos con gestión simplificada.
- APIs y *kit* de desarrollo de *software* (SDK) que utiliza Groovy como lenguaje de desarrollo.
- Fácilmente escalable.

1.3.1.3 Ubidots

Permite realizar el almacenamiento e interpretación de información de sensores en tiempo real, a través del envío de datos y configuración de eventos, dichos eventos permiten a la plataforma el envío de alertas mediante *e-mail* o servicio de mensajes cortos (SMS, por su sigla en inglés). Sin embargo, gracias a esta plataforma es posible la creación de aplicaciones para la IoT de una manera fácil, rápida y eficiente. El funcionamiento de la plataforma se basa en identificar dispositivos, mas no gestionarlos, los dispositivos son referenciados como “*Data Source*” en los paneles los cuales muestran la información de forma gráfica. La información recolectada se puede enviar, leer, editar y borrar a través de su API y es recolectada mediante métodos estándares de HTTP: GET, POST, PUT, DELETE (MARTÍNEZ, 2017 págs. 29-30).

Estas plataformas web de la IoT sirven para almacenar datos y brindar interfaces estándares al usuario, desde sistemas simples hasta los más complejos, de manera que permitan la utilización

de herramientas para crear interfaces de usuario o *front-end* más específicas de acuerdo con la aplicación. La comparativa de las plataformas se encuentra en la tabla 1-1.

Tabla 1-1: Comparativa de las plataformas IoT

Plataformas	Lenguajes de programación / SDK	Ventajas	Protocolos	Privativo (licencia)	Compatibilidad
ThingSpeak	Matlab	Código abierto. Fácil de usar. Agrupa dispositivos de la IoT a través de sus canales.	MQTT HTTP	Gratuito para proyectos pequeños. Pago para estudiantes, hogar, académico.	Arduino Módulos Photon y Electrón de Particle Módulo Wi-Fi ESP8266 Raspberry Pi.
Carriots	Groovy	Lenguaje funcional y moderno para el desarrollo de aplicaciones.	MQTT HTPP	Gratuito hasta 10 dispositivos. Pago para corporate y lite.	Arduino Raspberry Pi Beagle TST
Ubidots	Python, Java, C, PHP, Node.js, Rudy	Numerosas librerías para placas de desarrollo y lenguajes de programación.	MQTT HTTP	Gratuito para la educación. Pago para empresas.	Arduino Raspberry Pi Android Spark.io Tessel

Fuente: (MARTÍNEZ, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

De la comparativa de las plataformas IoT presentes en la tabla 1-1, se determinó que la plataforma más idónea para almacenar los datos obtenidos del dispositivo IoT es Ubidots, al ser una plataforma sin licencia, con mayores recursos de *software*, amigable e intuitiva con el usuario y demás características propias (MARTÍNEZ, 2017 págs. 38-43). Además, esta plataforma cumple con los requerimientos necesarios para la implementación del dispositivo IoT del presente trabajo.

1.3.2 Aplicaciones de la IoT

IoT permite el desarrollo de muchas aplicaciones que son destinadas para la industria, a partir que los dispositivos y redes proveen la conectividad física, permiten aplicaciones IoT dispositivo a dispositivo, para lo cual los dispositivos requieren que los datos o mensajes sean recibidos y ejecutados de una forma adecuada y eficaz. Por ejemplo, FedEx usa la aplicación SenseAware para obtener el control de la ubicación, temperatura y algunos signos vitales que pueden adquirir del paquete, esta información es en tiempo real o también puede ser después de un periodo de tiempo (GUAJARDO, 2017 pág. 10).

Ciertas aplicaciones de dispositivo a dispositivo no requieren la visualización de datos, pero existen aplicaciones de la IoT que son destinadas para humanos en la cual suministran la visualización de datos e información a los usuarios finales de manera instintiva y fácil de entender. Estas aplicaciones pueden ser desarrolladas con inteligencia, es decir, creando dispositivos que

controlen el entorno, comunicación entre dispositivos y que puedan identificar y resolver problemas sin la presencia o intervención de la mano del hombre (GUAJARDO, 2017 pág. 10). Los distintos escenarios se indican en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Escenarios de aplicaciones de la IoT

Nombre	Aplicación	Características
Ciudades Inteligentes	Mapas de ruido urbano	Sonido en zonas de bares y céntricas monitoreado en tiempo real.
	Iluminación inteligente	Iluminación en la vía pública en función del cambio de horario.
	Sistemas de transporte inteligente	Carreteras y autovías inteligentes, es decir, mensajes de advertencia y desviaciones acerca de las condiciones meteorológicas y accidentes.
Contadores Inteligentes	Red eléctrica inteligente	Control y gestión del consumo de energía.
	Nivel del depósito	Control de los niveles de agua, petróleo y gas en los elementos de almacenamiento.
	Instalaciones fotovoltaicas	Supervisar y optimizar el rendimiento en las plantas de energía solar
Control Industrial	Aplicaciones M2M	Diagnóstico y control de activos
	Monitorización de la temperatura	Control de la temperatura en el interior de refrigeradores industriales.
	Ubicación interna	Ubicaciones de bienes mediante el uso de etiquetas activas (ZigBee) y pasivas (RFID/NFC).
Salud y Medicina	Detección de caídas	Asistencia a personas discapacitadas o adultos mayores.
	Vigilancia de pacientes	Monitorear las condiciones fisiológicas de pacientes en hospitales y hogares de adultos mayores.
	Radiación ultravioleta	Medición de rayos UV del sol para informar a las personas la exposición en determinadas horas.

Fuente: (GUAJARDO, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 2-1 se presenta diversos escenarios donde IoT se ha vuelto indispensable, es decir, se está involucrando de manera formidable a las redes como una solución base en los campos de la salud, agricultura, turismo, industrias, seguridad, automatización, entre otras. De esta manera se pretende ampliar más campos con aplicaciones IoT a través de una propuesta de innovación tecnológica, en donde estas aplicaciones sirvan de ayuda para la sociedad.

1.4 Tecnología LoRa

Es una tecnología de comunicación inalámbrica como las ya conocidas Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LTE, etc., con sus puntos fuertes y débiles como es característico de cada tecnología, pero con una particularidad que la hace única para comunicarse pues emplea la tecnología de modulación en RF denominada *chirp* de espectro ensanchado (CSS, por su sigla en inglés). LoRa fue desarrollada en Francia por Cycleo y actualmente es de propiedad de la empresa Semtech, misma que posee la patente para la fabricación de los chips de radio LoRa, otorgando así licencias a otros fabricantes como Microchip, STMicroelectronics y HopeRF; esta patente contiene información acerca de la tecnología de modulación de espectro ensanchado o extendido (SSM, por su sigla en inglés) que utilizan esta clase de chips pero en una variante de modulación denominado “pitido”

o *chirp*, estos chips son destinados para comunicaciones sólidas de largo alcance en aplicaciones militares y espaciales, convirtiendo así a LoRa en la primera aplicación comercial de bajo costo (PICKERING, 2017).

Como se puede observar en la figura 3-1, según lo establecido por el modelo de red de interconexión de sistemas abiertos de siete capas (OSI, por sus siglas en inglés), LoRa trabaja a plenamente a nivel de capa física, es decir, hace uso del aire para conectar y transmitir ondas de radio desde un transmisor de RF en un nodo final a un receptor de RF en un *gateway* y viceversa (SEMTECH, 2020a pág. 4).

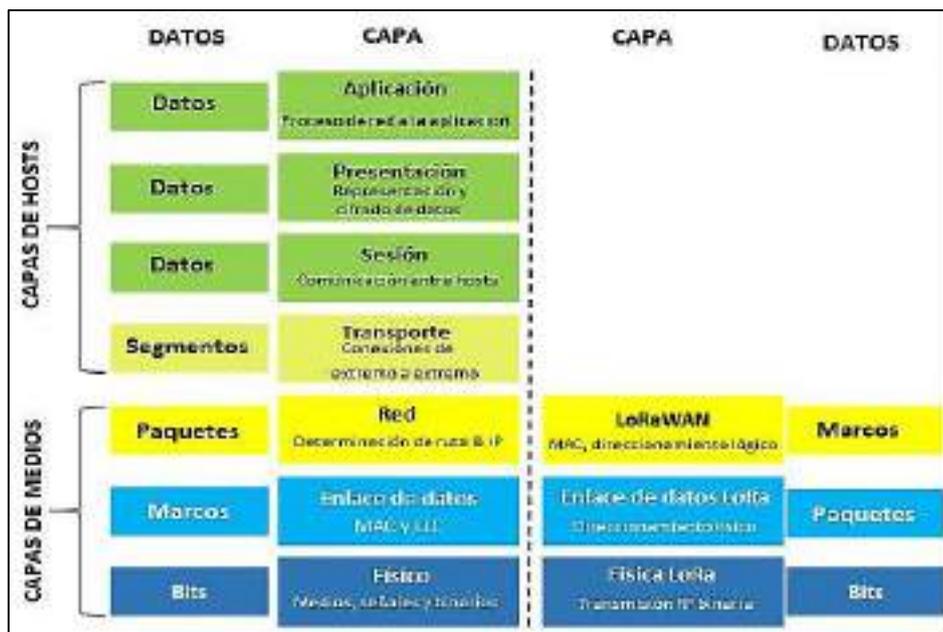


Figura 3-1: Modelo de red OSI

Fuente: (SEMTECH, 2020a)

LoRa (Long Range), pertenece a las redes de área extensa de baja potencia (LPWAN) que en los últimos años se ha ido popularizando y ganando interés en la comunidad científica e industrial al estar pensado para aplicaciones IoT, pues prometen a largo plazo brindar una gran área de cobertura para dispositivos finales en donde el consumo de energía sea muy limitado, es decir, alimentado por baterías y también donde no se necesitan transmitir más que unos pocos datos de información a la vez (AUGUSTIN, 2017 pág. 1).

1.4.1 Tecnología de modulación CSS

Para comunicarse, LoRa emplea la técnica de modulación CSS, tecnología la cual está patentada por la empresa tecnológica Semtech, esta técnica de modulación en RF trabaja con pulsos o “pitidos” (*chirp*) en frecuencia lineal lo que permite la codificación de la información, es decir, los datos se codifican en un “pitido” que viene siendo una señal senoidal de frecuencia modulada

(FM) en banda ancha, donde esta frecuencia incrementa (*up-chirp*) o disminuye (*down-chirp*) durante un determinado periodo de tiempo como se muestra en la figura 4-1 (HERNÁNDEZ, 2020 pág. 30).

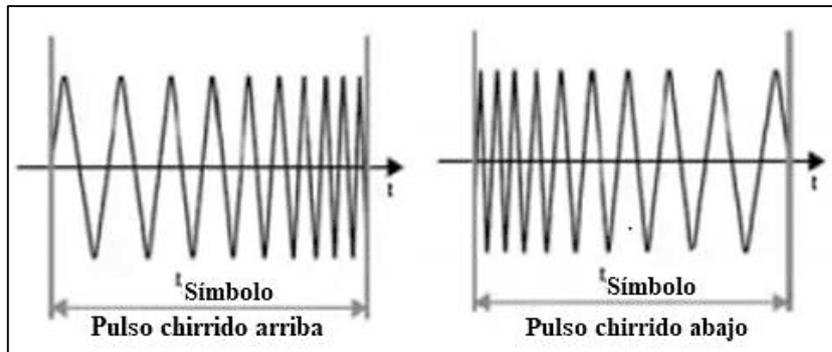


Figura 4-1: Pulsos *up-chirp* y *down-chirp*

Fuente: (JIMÉNEZ, 2018)

La modulación de LoRa, le permite poseer características importantes las cuales se mencionan a continuación (VERA, y otros, 2018 pág. 15):

- Alcance de la red de 15 a 20 km en línea de vista.
- Tasa de datos de 50 kbps.
- Inmunidad a Interferencias.
- Topología estrella-de-estrellas.
- Sensibilidad -168 dBm.
- Frecuencia de trabajo: 868 MHz en Europa, 915 MHz en América y 433 MHz en Asia.
- Bajo consumo de energía, vida útil de las baterías hasta 10 años.

Existen ciertos parámetros disponibles para la personalización de la modulación LoRa como se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Parámetros referentes a la modulación LoRa

Parámetros	Definición
Ancho de banda (BW)	Está en un rango de 125 kHz a 250 kHz.
Factor de difusión (SF)	Puede estar entre 7 a 12 SF, además determina el número de símbolos <i>chirps</i> dando como resultado 2SF chirridos.
Tasa de código (CR)	LoRa maneja corrección de errores hacia adelante (FEC), es por ello por lo que se considera la CR.
Tasa de bits (DR)	Es el número de caracteres o <i>bits</i> que pueden ser transferidos.
Carga útil o <i>Payload</i>	Es el conjunto de datos transferidos, es decir, el mensaje enviado.

Fuente: (CHIRIBOGA TORRES, 2020)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Gracias a los parámetros presentes en la tabla 3-1 es posible realizar el cálculo de la tasa de *bits* de LoRa, como se muestra en la ecuación 1-1:

$$R_b = SF \frac{BW}{2^{SF}} [\text{bits/s}] \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Donde:

$R_b \rightarrow$ tasa de bits LoRa

$SF \rightarrow$ factor de difusión

$BW \rightarrow$ ancho de banda

En el esquema de modulación en el que se basa LoRa, la expansión del espectro de señal se obtiene mediante la generación de una señal *chirp* que varía continuamente dependiendo de la frecuencia, por lo que CSS se adecua para aplicaciones de baja velocidad de datos en rangos menores a 1 Mbps con consumos de energía relativamente bajos. Esto representa además una alta inmunidad a señales de interferencia electromagnética (EMI, por su sigla en inglés), también representa una ventaja importante respecto de las compensaciones de tiempo y frecuencia entre el transmisor y receptor, los cuales son semejantes, por lo que se reduce notablemente la complejidad del diseño del receptor (SEMTECH, 2020a pág. 8).

Es necesario tener en cuenta que el ancho de banda de frecuencia del *chirp* es semejante al ancho de banda espectral de la señal. Los datos que se transportan desde el dispositivo final hacia una puerta de enlace son procesados a una velocidad alta y por lo tanto se modula en la señal portadora de *chirp*. Además, la modulación incluye un esquema de corrección de error variable que mejora la robustez de la señal transmitida. Hay que considerar que, al enviar cuatro *bits* de información, se debe enviar un *bit* adicional, es decir, un quinto *bit* de información de paridad (SEMTECH, 2020a pág. 7).

1.4.2 Bandas de frecuencia ISM

En el marco de las tecnologías de redes inalámbricas, en los últimos años se ha evidenciado un particular crecimiento de estas, esto debido a las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico en las que se desarrollan. En lo referente a la tendencia de la IoT, un sistema exento de licencias en la utilización del espectro puede significar cambios socioeconómicos notables e inclusive impactar de manera positiva a los diferentes sectores del desarrollo, a manera de ejemplo se puede mencionar precisamente las redes LPWAN de la que hace parte la tecnología que aquí se utiliza, puesto que a nivel mundial se han implantado sistemas de comunicación con este tipo de redes en

segmentos de espectro sin licencia ofreciendo así soluciones al mercado de la IoT (UIT-D, 2017 pág. 16).

En este contexto, las bandas a las que se hace alusión y que permiten la operación de estos equipos que hacen uso del espectro de forma intencional como no intencional, son aquellas bandas definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en su Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), artículo 5, puntos 5.138, 5.150 y 5.280; denominadas como bandas del espectro designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ISM, por sus siglas en inglés), las cuales son de aplicación internacional de uso no comercial, incluyendo también aplicaciones domésticas o similares (UIT, 2020 págs. 57,63,90).

La UIT divide al mundo en tres Regiones para lo que viene siendo la atribución de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, como se indica en la figura 5-1, esta atribución de bandas puede ser de carácter mundial o Regional, conforme lo establece el artículo 5, sección IV de la (UIT, 2020 pág. 40). En el citado reglamento, a la Región 2 se designa la banda ISM de 902-928 MHz con frecuencia central de 915 MHz, esto va en concordancia con el documento de Parámetros Regionales que emite LoRa Alliance, el cual contiene los planes de las bandas ISM atribuidas en el mundo por la UIT y que son reguladas por los países de las tres Regiones ya mencionadas (LORA ALLIANCE, 2021a pág. 30).

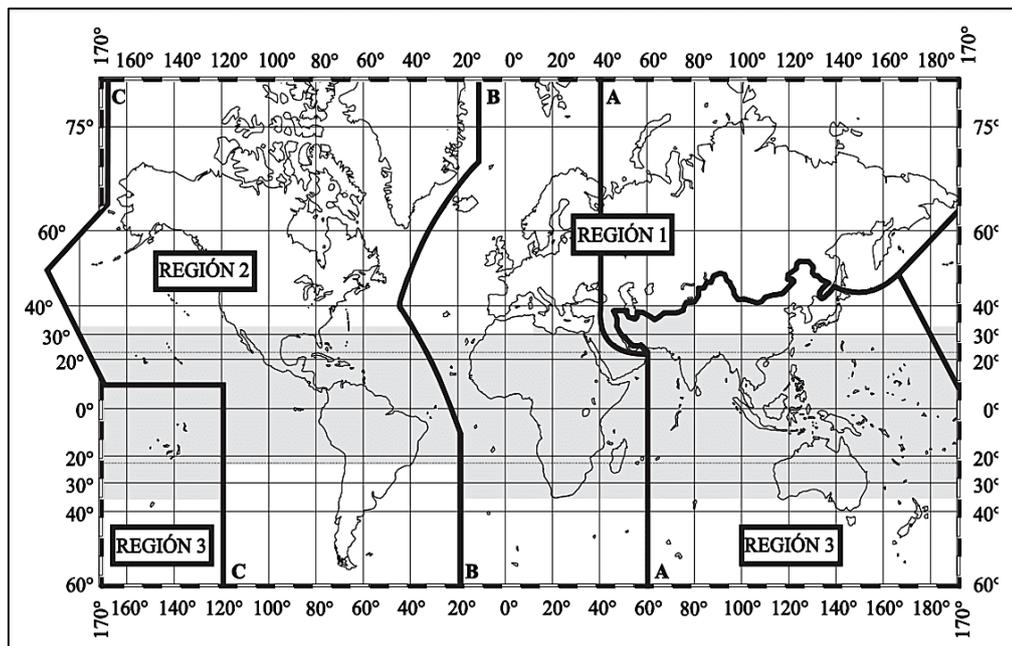


Figura 5-1: Atribución de las bandas de frecuencias en el mundo

Fuente: (UIT, 2020 pág. 35)

La modulación LoRa funciona en las bandas de frecuencia ISM, operando así en bandas en el orden de los sub GHz, En la tabla 4-1 se puede observar los rangos detallados de la distribución de frecuencias ISM pertenecientes a cada región o país (LORA ALLIANCE, 2021a págs. 3-5).

Tabla 4-1: Rango de frecuencias ISM por regiones

País o región	Frecuencias ISM
Norte América (US)	(902-928) MHz
Sur América (US)	(902-928) MHz
Europa (EU)	(863-870) MHz
Rusia (RU)	(864-870) MHz
Corea de Sur (KR)	(920-923) MHz
China (CN)	(779-787) MHz
Japón, Malasia (AS)	(923) MHz
India (IN)	(865-867) MHz
Australia (AU)	(915-928) MHz

Fuente: (LORA ALLIANCE, 2021a)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

A partir del estudio de las bandas ISM por regiones y los respectivos valores de frecuencias presentes en la tabla 4-1, se logra determinar que la frecuencia del espectro radioeléctrico en la que trabaja LoRa depende de la ubicación geográfica. Ecuador está ubicado en la Región 2, por lo tanto, se establece que la banda de frecuencia ISM a la que trabajará la tecnología LoRa es de 902-928 MHz con frecuencia central de operación de 915 MHz.

1.4.3 Trama física de LoRa

En la figura 6-1 se observa que la trama física inicia con un preámbulo de sincronización, en donde los parámetros de modulación se definen de manera particular y sencilla, esto permite mostrar el esquema de transmisión referente a cada paquete en función de la distancia al *gateway* (ORTIZ, 2020 pág. 19).

Al final de la trama se obtiene un *byte* de sincronización el cual permite identificar las diferentes redes LoRa que son transferidas en una misma banda de frecuencia, por lo tanto, es posible que un dispositivo solo escuche las emisiones que están en el mismo *byte* y son emitidas en la banda, dando lugar a la concurrencia de varias redes LoRa en un imperceptible espacio. Hay que tener en cuenta que el tamaño de carga útil es máximo de 255 *bytes* y está definido por un solo *byte* en la cabecera de la trama, siendo esto idóneo para la información de dispositivos, sensores, etc (ORTIZ, 2020).

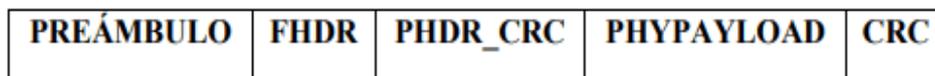


Figura 6-1: Trama física de LoRa

Fuente: (ORTIZ, 2020)

1.5 LoRaWAN

Es un protocolo de comunicación diseñado para perfeccionar el uso de la capa física LoRa, es decir, trabaja en la capa de enlace de datos y en la capa de red, esto según el modelo que establece los diferentes niveles por los que deben pasar los datos de un *host* a otro *host*, de acuerdo con el

modelo de red descriptivo de comunicaciones OSI. Al hacer uso de LoRaWAN como protocolo de la arquitectura de red, se presenta notablemente algunos parámetros esenciales en el *hardware* que hace uso del protocolo, como es la vida útil de la batería de un nodo sensor, la capacidad que adquiere la red, la calidad de servicio (QoS) y la seguridad de los datos. LoRaWAN trabaja con una arquitectura de red repartida, para lo cual varios terminales conocidos también como *end-points* o *end-nodes* se conectan a uno o varios *gateways*, estos parámetros mencionados son perfeccionados a través de la gestión eficaz de la comunicación entre los nodos sensores con el *gateway* y después con los servidores de red Ethernet (TCP/IP) (JIMÉNEZ, 2018 pág. 20).

En la figura 7-1 se muestra la pila de tecnología LoRaWAN, compuesta por la capa física de acceso a la red LoRa, misma que es privada y gestionada por Semtech, y la capa de enlace LoRaWAN la cual define el protocolo de acceso a la red y la arquitectura del sistema, esto manifestado en los puntos subsiguientes a continuación (NARVAEZ, 2019 pág. 13):

- La capa física utiliza la técnica de modulación CSS.
- LoRaWAN es un protocolo de la capa de control de acceso al medio (MAC, por su sigla en inglés).

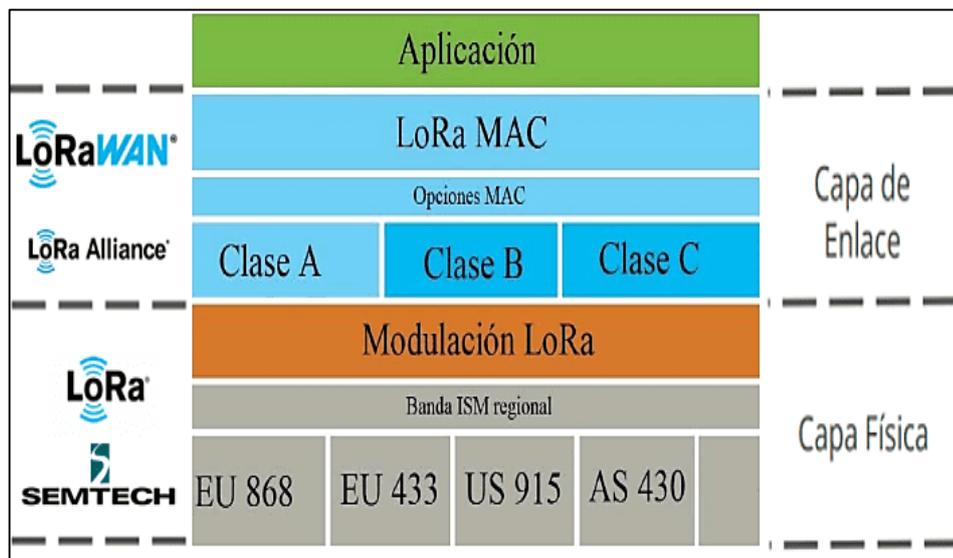


Figura 7-1: Pila de tecnología LoRaWAN

Fuente: (NARVAEZ, 2019)

LoRa Alliance es una asociación integrada por empresas líderes en TIC como Microchip, Cisco, IBM, Semtech, entre otras, su objetivo se basa en estandarizar el protocolo LoRaWAN buscando permitir la interoperabilidad de todos los productos en torno a este protocolo. LoRaWAN establece que la información enviada por los *end-nodes* puede ser receptada por más de un *gateway* o puerta de enlace, dando lugar a la disminución de los protocolos de enlace para nodos móviles, después en los servidores de red se complementa la inteligencia y complejidad para

filtrar paquetes redundantes, estructurar las tablas de conexión óptimas y definir la tasa de datos adaptativa (ADR, por su sigla en inglés) (JIMÉNEZ, 2018).

1.5.1 Arquitectura de red

LoRaWAN, como cualquier otro protocolo de comunicación, brinda la posibilidad de que los dispositivos en una red puedan intercambiar información, estableciendo así un conjunto de reglas regularizadas y consensuadas entre los actores que intervienen en la comunicación, a esto es lo que se conoce en telecomunicaciones como arquitectura de red, en este aspecto y en lo que respecta a la tecnología LoRa, se examina en los párrafos siguientes la particularidad de la arquitectura de la que se compone una red LoRaWAN de extremo a extremo, de esta manera se tiene a los *gateways* o puertas de enlace, mismas que establecen comunicación con los nodos finales, los cuales no tienen una puerta de enlace específica al momento de buscar una comunicación (PÉREZ, y otros, 2020).

Estos nodos se caracterizan por transmitir datos que son receptados por múltiples puertas de enlace que están dentro del alcance de cobertura, la función de la puerta de enlace es simplemente la de reenviar los datos recibidos desde el nodo final hacia el servidor de red mediante una interfaz de red de retorno conocida como *backhaul*, es el servidor de red el que se encarga de manejar la deduplicación de los datos y eliminar las copias, de gestionar las tramas de los *gateways*, de manejar el direccionamiento lógico MAC de LoRaWAN y de programar las transmisiones de enlace de datos, todo esto a través de Ethernet, 3G/4G, satélite o Wi-Fi. Finalmente, la información enviada por los nodos finales es visualizada en el elemento de tipo *software* para esta tarea, también conocido como servidor de aplicación (PÉREZ, y otros, 2020). Entonces, la arquitectura de una red LoRaWAN como se puede observar en la figura 8-1 está formada por cuatro componentes:

- **Servidores de aplicación:** aquí se recolecta, gestiona y expone de forma segura la información de los nodos finales, en este punto se puede observar y brindar un tratamiento de los datos para la toma de decisiones.
- **Servidores de red:** son los encargados de recibir y procesar la información que proviene del *gateway*.
- **Gateway:** se encarga de recibir la información que es transmitida por los nodos finales para luego reenviarla a los servidores de red.
- **Nodos finales:** son aquellos elementos que permiten conectar dispositivos a la red LoRa tales como: sensores o actuadores. Además, se encargan de recoger la información del entorno y transferirla al *gateway*, la comunicación es mediante RF.

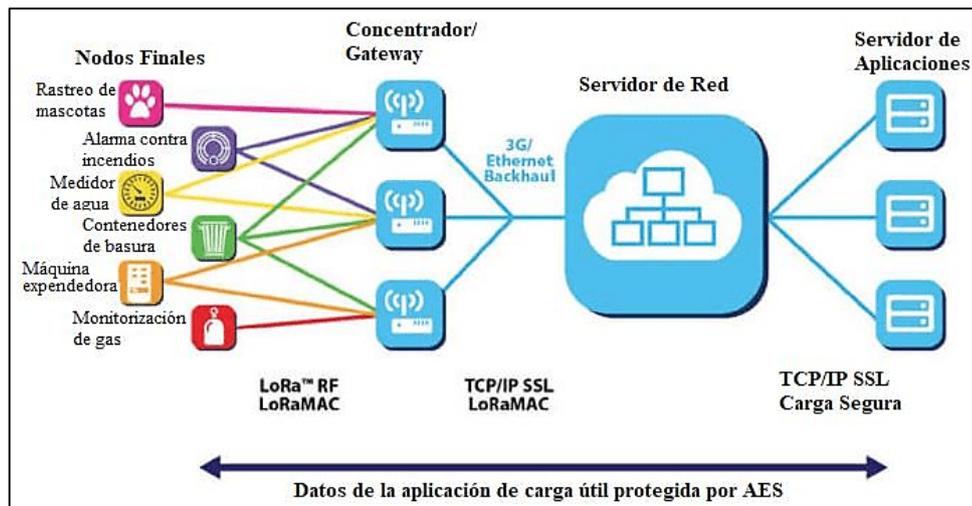


Figura 8-1: Arquitectura de red típica LoRaWAN

Fuente: (SEMTECH, 2020a)

1.5.2 Topología

Una red LPWAN se establece a partir de una topología de red para comunicarse, LoRaWAN al pertenecer a este tipo de redes, trabaja en base a una configuración en estrella de estrellas. Para tener claro el concepto y modo de funcionamiento de este tipo de topología de red, es oportuno en primer lugar describir qué es una topología en estrella; esta topología consta de un nodo central conocido como *gateway* o puerta de enlace con el cual todos los demás nodos finales se tienen que comunicar, esto quiere decir que si no estuviera el nodo central, los nodos que se encontraban conectados a este simplemente ya no pueden comunicarse y peor entre sí, un ejemplo básico en el que se puede apreciar una topología física en estrella es precisamente con el acceso a la Internet que se puede tener en un hogar a través de un *modem-router* o punto de acceso Wi-Fi, en donde se tiene varios dispositivos finales conectados a un solo punto central; ahora si un dispositivo final desea conectarse con otro *router*, lo primero que tiene que hacer es desconectarse de este para volver a conectarse a otro punto de acceso (PORRAS, 2019).

Explicado esto, lo que sucede con LoRaWAN es que se puede tener una topología de red en estrella de estrellas tal y como se indica en la figura 9-1, en donde un nodo final puede ser escuchado simultáneamente por dos o más nodos centrales o *gateways* como ocurre con los nodos 3 y 4; como los enlaces de comunicación pueden ser de varios kilómetros, entonces en ese rango se pueden tener dos o más *gateways* que reciben la información del mismo nodo, de ahí el nombre de la topología como tal, esto es una característica propia de LoRaWAN que no se ve en ninguna de las otras redes inalámbricas que se tienen hasta el momento (OSORIO, 2019).

Esta configuración de red puede ser muy útil para distintas aplicaciones, a la vez que también presenta sus desventajas; una de estas es en cuanto a la privacidad que se tiene en la red, puesto

que un nodo final no puede ser escuchado únicamente por un determinado *gateway*, realmente como está planteada la tecnología, esto no sucedería ya que cualquier *gateway* que se encuentre circundante podría escucharlo (PORRAS, 2019).

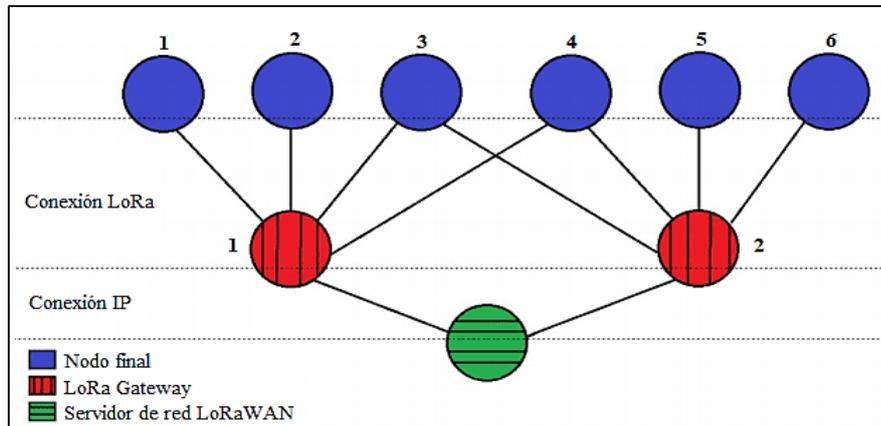


Figura 9-1: Topología de red LoRaWAN en estrella de estrellas

Fuente: (OSORIO, 2019)

1.5.3 Clases de dispositivos LoRaWAN

Los dispositivos finales son aquellos que intercambian la información de los datos con las puertas de enlace a través de un enlace inalámbrico establecido por la modulación LoRa, la función de las puertas de enlace es enviar y recibir datos desde los servidores por medio de un enlace de banda ancha confiable y de alto rendimiento (NARVÁEZ, y otros, 2020). LoRaWAN propone tres clases en las que pueden desarrollarse los dispositivos finales, como se muestra en la figura 10-1.

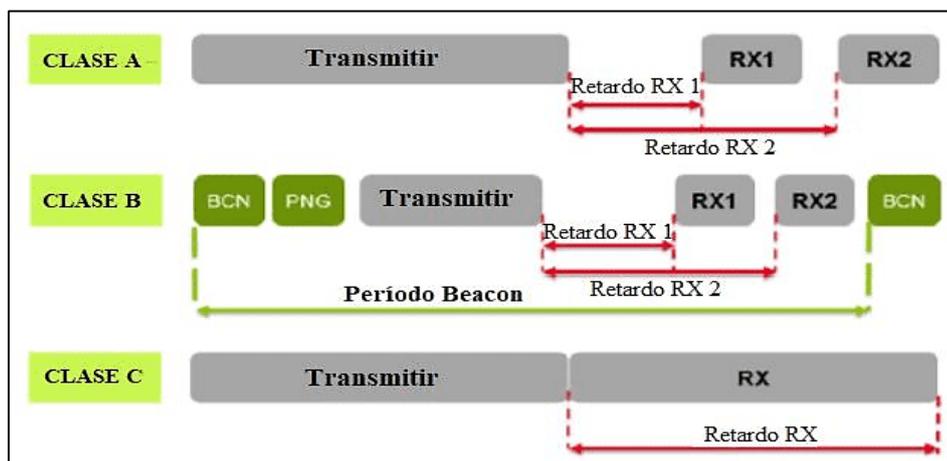


Figura 10-1: Clases de dispositivos LoRaWAN

Fuente: (ÁVILA, y otros, 2020)

1.5.3.1 Dispositivos finales clase A

Son dispositivos bidireccionales que cuentan con determinados requerimientos de uso y eficiencia de energía, se caracterizan por recibir paquetes de datos siempre y cuando el paquete se haya

enviado antes. En este proceso el dispositivo envía un dato, obteniendo dos puertas receptoras, la primera se abre tiempo después de la transmisión del dato y la segunda en un tiempo después de la primera puerta, todo esto con la finalidad de recibir el paquete de vuelta. Los dispositivos clase A son utilizados de la siguiente manera: enviar los datos en un intervalo de tiempo o enviar los datos con eventos (NARVÁEZ, y otros, 2020). La característica que le diferencia a estos dispositivos LoRa es la transmisión que comienza por los dispositivos finales y al ser completada el servidor da paso a dos ventanas de transmisión, una ventana para los comandos o paquetes de datos y la otra ventana para controlar las oscilaciones del canal (CHIRIBOGA TORRES, 2020).

1.5.3.2 Dispositivos finales clase B

Al igual que los dispositivos clase A son bidireccionales y que tienen la capacidad de recibir datos sin antes haber enviado un paquete, los dispositivos clase B activan las puertas de recepción adicionales en tiempos establecidos, permitiendo que el servidor conozca el momento exacto que está escuchando el dispositivo final (NARVÁEZ, y otros, 2020). Además, los dispositivos finales adquieren la sincronización desde el servidor mediante mensajes *broadcast* conocidos también como *beacon* (CHIRIBOGA TORRES, 2020).

1.5.3.3 Dispositivos finales clase C

Son dispositivos bidireccionales con ranuras de recepción máximas, siempre se encuentran en modo escucha y se interrumpe cuando realizan una transmisión. Estos dispositivos presentan una mejor latencia de conexión a cambio de mayor consumo energético en referencia a las clases A y B (NARVÁEZ, y otros, 2020).

Tabla 5-1: Comparativa de las clases de dispositivos finales LoRaWAN

Características	Dispositivos finales		
	Clase A	Clase B	Clase C
Tipo de comunicación	Bidireccional	Bidireccional con ranuras de recepción programadas	Bidireccional con ranuras de recepción máximas
Protocolo de comunicación	La comunicación se inicia por medio del dispositivo final.	Ventanas de recepción complementarias en una duración específica.	La transmisión se puede realizar en el momento que disponga el servidor.
Latencia	Batería cargada	Baja latencia	Sin latencia
Transmisión	Mensajes unidifusión (unicast)	Mensajes unidifusión (unicast) y multidifusión (multicast)	Mensajes unidifusión (unicast) y multidifusión (multicast)
Carga útil	Largos intervalos, pequeñas cargas útiles.	Largos intervalos, señal periódica desde la puerta de enlace, pequeñas cargas útiles.	Pequeñas cargas útiles.

Fuente: (RF Wireless World, 2012)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 5-1 se observa las tres clases de dispositivos finales con sus características, en donde a partir de la comparativa y el análisis correspondiente se determina que el nodo sensor será

configurado como de clase A ya que permite una comunicación bidireccional, recestando los paquetes de datos (*downlink*) siempre y cuando un paquete se haya enviado antes (*uplink*).

1.5.4 Seguridad LoRaWAN

Es un elemento clave para un diseño en redes de área amplia y baja potencia, LoRaWAN maneja el reconocido estándar de cifrado avanzado (AES, por su sigla en inglés) de 128 *bits* el cual es uno de los algoritmos de cifrado más utilizado y seguro en la actualidad, posee dos capas de seguridad autónomas, la clave de sesión de red y la de aplicación. La primera capa correspondiente a la clave de sesión que asegura la legitimidad de los nodos en la red, y la segunda capa, la de aplicación, garantiza que el operario de red no pueda acceder a aquellos datos presentes en las aplicaciones del usuario final (CALONGE, 2017).

Existe dos métodos para realizar las conexiones: una es la activación mediante personalización (ABP), en donde los dispositivos finales LoRaWAN son programados con información auténtica de fábrica y otra es la activación por aire (OTAA) que usa un ID para la aplicación y para el dispositivo, también utiliza una red de dispositivo determinado para obtener la clave de sesión de red (NwksKEY) y de aplicación (AppSKey) (CALONGE, 2017).

El modo OTAA es el que más se usa por ser el más seguro al momento de conectarse a la red que para el efecto utiliza los parámetros de configuración: DevEUI, AppEUI y AppKey (PÉREZ, y otros, 2020). En el modo de conexión ABP en cambio, se asigna la sesión del nodo manualmente, y por ende no se necesita solicitar un servidor de unión (*Join Server*) el cual cumple la función de administrar la activación por aire para que los nodos sensores formen parte de la red, consecuencia de esto es que la clave de encriptación podría ser encontrada y representar un peligro de seguridad, los parámetros que usa este segundo modo son: DevAddress, NetworkSessionKey y ApplicationSessionKey (PÉREZ, y otros, 2020).

En la figura 11-1 se observa la seguridad LoRaWAN, donde el flujo de datos se transmite desde el dispositivo final LoRaWAN a la aplicación que incorpora el cifrado y descifrado al inicio y final de la cadena, de esta manera el nodo final y la aplicación tienen acceso a los datos del texto sin formato (PICKERING, 2017).

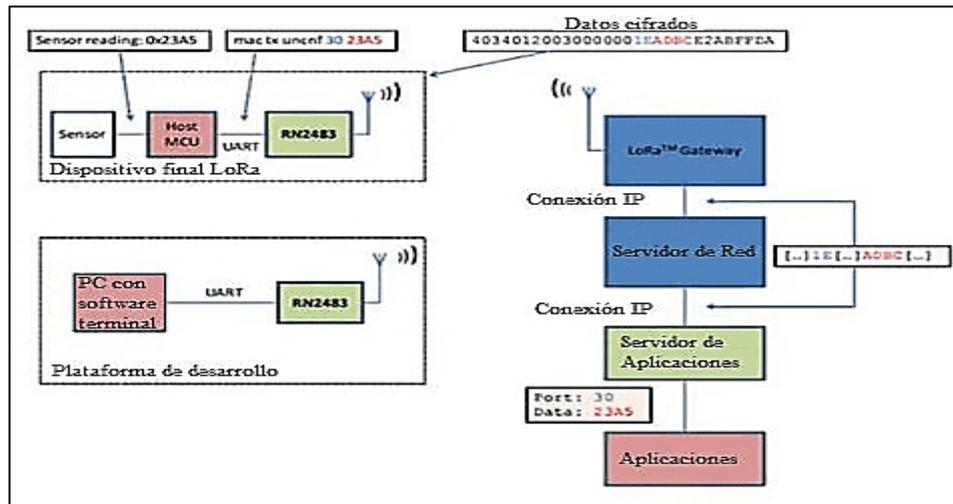


Figura 11-1: Seguridad LoRaWAN

Fuente: (CALONGE, 2017)

1.6 Variables fisiológicas en el ser humano

Las variables fisiológicas son aquellas que estudian las funciones del cuerpo humano, mediante la monitorización de los signos vitales, y para ello es necesario medir los parámetros fisiológicos a través de algunos sensores. Los sensores se encargan de capturar una señal análoga para después ser digitalizada por un microcontrolador. Este proceso es muy importante para obtener el valor de las variables dependiendo del estado de la persona y después realizar la respectiva visualización. Existen diversas variables fisiológicas que pueden ser monitoreadas mediante sensores no invasivos, pero las principales que son medidas en el ser humano son: frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, presión arterial, saturación de oxígeno y temperatura corporal periférica. En la tabla 6-1 se presenta los parámetros normales por edad de las principales variables fisiológicas (GUTIÉRREZ, 2017).

Tabla 6-1: Parámetros normales de las variables fisiológicas por edad

Edad	Frecuencia cardíaca [latidos/min]	Frecuencia respiratoria [ciclos/min]	Presión arterial [mmHg]	Saturación de oxígeno [%]	Temperatura corporal periférica [°C]
3 meses	140	30-60	79-101	88-92	36,1-37,7
3 meses-2 años	130	24-40	70-105	90-96	37,2
2 años-10 años	80	20-32	79-114	> 95	37,0
Adulto	75	12-16	94-129	> 95	36,0-37,0

Fuente: (GUTIÉRREZ, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

De acuerdo con el estudio realizado en la zona turística donde se implementará el dispositivo IoT, se consideran las características geográficas de la RPFCH para seleccionar las variables fisiológicas a ser monitorizadas por el dispositivo. Por las características de la zona se establece que la temperatura corporal periférica (TCP) es un signo vital crucial por tomar en cuenta debido a que el ambiente de esta zona turística se encuentra en un rango de 0 a 10 °C y si las personas no

están con la vestimenta y accesorios adecuados pueden presentar problemas de hipotermia. Según (DRÄGER, 2018) la hipotermia es el enfriamiento del cuerpo el cual reacciona a mecanismos termorreguladores, taquicardia, pulso lento, pérdida de reflejos, entre otros.

Otro factor que influye en esta zona turística es el soroche o mal de altura que se produce en lugares ubicados a más de 2 500 m s. n. m., la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH) según (GADM RIOBAMBA, 2020), se encuentra a 4 350 m s. n. m. El soroche se produce por la falta de oxígeno en el organismo a causa de la alta presión atmosférica, sus síntomas son: dolor de cabeza, fatiga y agotamiento físico, mareos, agitación, entre otros (PERURAIL, 2017). Por lo cual se considera la frecuencia cardíaca (FC) ya que mide los latidos del corazón y por la falta de oxígeno este tiende a variar la intensidad y velocidad de sus latidos dependiendo de la complejidad de la actividad física. A causa de estas características del medio, se determina que las variables fisiológicas a ser monitoreadas en este trabajo son: la temperatura corporal periférica (TCP) y la frecuencia cardíaca (FC).

1.6.1 Temperatura Corporal Periférica (TCP)

La temperatura es una extensión física y un requerimiento para todas las formas de vida, es por ello por lo que se convierte en una parte fundamental para la vida y la salud. Esta variable fisiológica es crucial, así como la frecuencia respiratoria, ritmo cardíaco o presión sanguínea, además se caracteriza por indicar el correcto funcionamiento de la termorregulación del cuerpo humano, los valores normales de la temperatura en una persona están en el rango de 36,5 °C y 37,2 °C, teniendo en cuenta que estos valores pueden variar dependiendo de la hora del día y la parte del cuerpo humano en donde se mida. La temperatura está arraigada a los tejidos profundos, órganos internos y el cerebro, de la misma manera el estrés, la alimentación, los hábitos de sueño, el estado físico; influyen considerablemente en la temperatura corporal de una persona. En la figura 12-1 se muestra los valores de temperatura corporal para diferentes partes del cuerpo (DRÄGER, 2018).

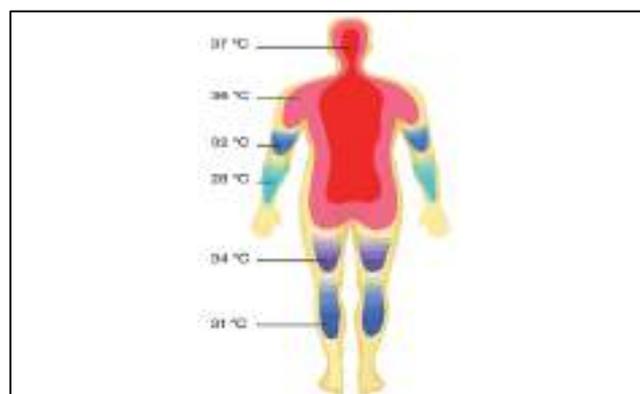


Figura 12-1: Valores de la TCP en varias partes del cuerpo

Fuente: (DRÄGER, 2018)

En la tabla 7-1 se muestra los rangos de valores para la hipertermia e hipotermia y sus efectos en el cuerpo.

Tabla 7-1: Rangos y efectos de la hipertermia e hipotermia

Temperatura	Efectos que provoca
> 42,6 °C	Desnaturalización de proteínas
[40- 42, 6] °C	Fallo termorregulador, golpe de calor
[37, 8- 40] °C	Fiebre, hipertermia
[36- 37, 8] °C	Normotermia (temperatura normal del cuerpo)
[33- 36] °C	Hipotermia leve
[28- 32] °C	Hipotermia, reducción del metabolismo, depresión respiratoria, pérdida de conocimiento.
< 28 °C	Hipotermia grave, fallo del sistema termorregulador, fibrilación ventricular, rigidez, falta de reacción en las pupilas, bradicardia, paro cardíaco.

Fuente: (DRÄGER, 2018)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

1.6.2 Frecuencia Cardíaca (FC)

Es la velocidad del pulso, es decir, la onda pulsativa de la sangre que se produce en la cavidad izquierda del corazón y resulta en la extensión y contracción del diámetro de las arterias. Además, facilita la información acerca del funcionamiento de la válvula aórtica. Los puntos anatómicos en que se puede medir el pulso periférico con facilidad son en el cuello, cara, pies y muñecas, como se muestra en la figura 13-1. Hay que tener en cuenta que también se puede medir en cualquier lugar donde una arteria pueda ser apretada contra una superficie ósea. La velocidad del pulso se mide en pulsaciones por minuto y los parámetros normales de esta variable fisiológica se muestra en la tabla 6-1 (SHININ, 2018).

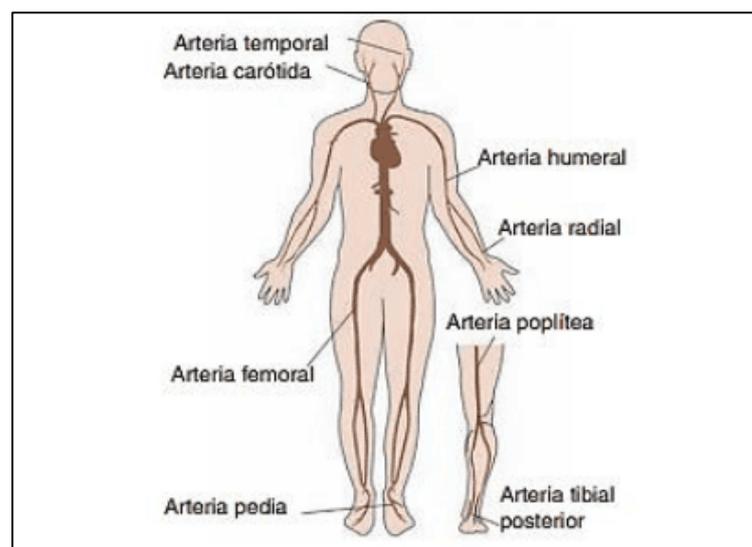


Figura 13-1: Partes anatómicas para la medición de la FC

Fuente: (PORTILLA, y otros, 2018)

Las características más importantes de la variable fisiológica denominada frecuencia cardíaca (FC) se presenta en la tabla 8-1.

Tabla 8-1: Características importantes de la frecuencia cardíaca (FC)

Características	Definición
Frecuencia	Es el número de ondas divisadas en un minuto.
Ritmo	El ritmo normal es habitual, cuando se presenta irregularidades es debido a trastornos del ritmo como en la fibrilación auricular. El latido regular con pausas pertenece a contracciones ventriculares.
Volumen o amplitud	Es la potencia de la sangre en cada latido del corazón, la amplitud normal se da cuando el pulso es palpable, simétrico, con elevaciones fuertes y rápidas. El pulso débil es la difusión ventricular izquierda pero el pulso fuerte o rápido es la eyección rápida del ventrículo izquierdo.
Elasticidad	Es la capacidad de expansión de la pared arterial que está debajo de la onda pulsátil, además expresa el estado de los vasos sanguíneos.

Fuente: (SHININ, 2018)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Considerando que la FC toma distintos valores según la edad y actividades físicas, hay que tener en cuenta que si se produce latidos rápidos se conoce como taquicardia y si los latidos son lentos se conoce como bradicardia. En la tabla 9-1 se especifica los rangos normales de la FC cuando una persona está en reposo y cuando presenta una variedad de cambios en el cuerpo humano, es decir, realizar ejercicio, temperatura corporal, posición del cuerpo al momento de levantarse, entre otros. El resultado de estas variables da paso al incremento de la frecuencia cardíaca, además hay que tener en cuenta que al paso de los años de vida de las personas la FC disminuye gradualmente (MACGILL, 2017).

Tabla 9-1: Rangos normales y esfuerzo de la frecuencia cardíaca (FC)

Edad (años)	Frecuencia cardíaca normal (p. p. m.)	Edad (años)	Frecuencia cardíaca con esfuerzo (p. p. m.)
Hasta 1 mes	70 a 190	20	100 a 170
1 a 11 meses	80 a 160	30	95 a 162
1 y 2 años	80 a 130	35	93 a 157
3 y 4 años	80 a 120	40	90 a 153
5 y 6 años	75 a 115	50	85 a 145
7 a 9 años	70 a 110	60	80 a 136
Más de 10 años	60 a 100	70	75 a 128

Fuente: (MACGILL, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

1.7 Sensores fisiológicos

Un sensor es un transductor que se basa en medir las magnitudes físicas y químicas que se presentan en el medio para después ser transformadas en variables eléctricas (FERNÁNDEZ, y otros, 2018). Los sensores cotidianos que miden los parámetros fisiológicos han sido superados por los sensores inteligentes, que se caracterizan por conectarse con las redes de datos de forma rápida y transparente, sobre todo sin la presencia de cables. Estos sensores inteligentes son conocidos también como dispositivos *wearables*, es decir, una tecnología que integra en las prendas de vestir

este tipo de dispositivos y que permiten a la persona poder realizar otro tipo de actividades (AGUAS, 2017).

Los sensores fisiológicos generan información importante del estado de salud de la persona a través de la obtención de una señal análoga, la misma que es transformada a una señal digital, en donde la cantidad de *bits* que tiene el microcontrolador es importante para obtener una transformación exacta (GUTIÉRREZ, 2017). Por consiguiente, la información se procesa y envía hacia el servidor central o también a un dispositivo electrónico de manera inalámbrica, como se muestra en la figura 14-1.

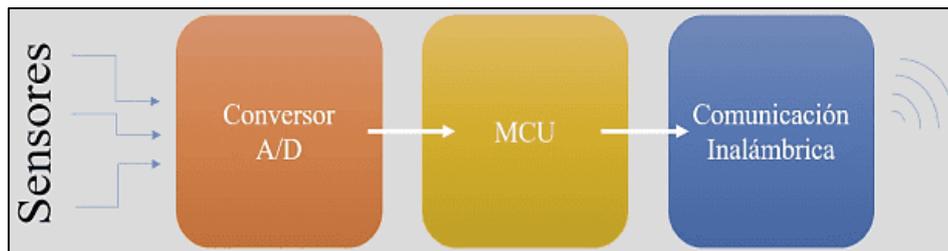


Figura 14-1: Procesamiento de la señal adquirida por el sensor inteligente

Fuente: (GUTIÉRREZ, 2017)

Estos sensores inteligentes pueden ser de dos tipos como se detalla en la tabla 10-1, de acuerdo con su aplicación en el cuerpo humano.

Tabla 10-1: Tipos de sensores inteligentes

Sensor	Características
Sensor invasivo	Cruzan la barrera de la piel, es decir, el dispositivo se introduce en el cuerpo para obtener las señales fisiológicas que desea medir. Puede causar daño al paciente o producir algún tipo de infección.
Sensor no invasivo	No cruzan la barrera de la piel, es decir, no penetran físicamente el cuerpo al momento de obtener las señales fisiológicas. Es el más utilizado en la actualidad debido a que puede evitar causar algún tipo de daño en la salud de las personas.

Fuente: (GUTIÉRREZ, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Los tipos de sensores que son utilizados para la monitorización de las variables fisiológicas en las personas se determina a partir del análisis de la tabla 10-1, en donde se determina que los sensores no invasivos son los más idóneos para el desarrollo del dispositivo IoT, la función de estos sensores es establecer el estado de salud de las personas sin la necesidad de traspasar la barrera de la piel.

1.7.1 Sensor de temperatura corporal

Es aquel que se caracteriza por obtener la temperatura corporal periférica (TCP) de una persona a partir de algún problema físico, al utilizar este sensor se mide una tensión que corresponde a un valor de temperatura y para ello es importante realizar la calibración del mismo y de esta manera

evitar obtener valores erróneos cuando se tome la temperatura de la persona (VINUEZA, y otros, 2017). En la actualidad existen diversos tipos de sensores con sus características propias que son destinados para una tarea específica, como son: los termistores, detector de temperatura resistivo (RTD, por su sigla en inglés) y los termopares, todos estos del tipo analógico. Además, existen sensores digitales los cuales presentan un diseño integrado, es decir, sintetiza el diseño del circuito de acondicionamiento externo y el procesamiento mediante un convertidor analógico-digital (ADC, por su sigla en inglés) (MONTERO, 2019).

Tabla 11-1: Comparativa de los sensores de temperatura

Características	LM35	TC74	MLX90614
Voltaje de operación	4 V a 30 V	2,7 V a 5,5 V	5 V
Rango	-55 °C a 150 °C	-40 °C a 125 °C	-40 °C a 125 °C sensor -70 °C a 380 °C superficie
Tipo de salida	Analógica y Lineal	Digital	Digital
Error de medición	-10 °C hasta + 85 °C: +/- 0,5 °C	+/- 2 °C de 25 °C a 85 °C y +/- 3 °C de 0 °C a 125 °C	+/- 0,5 °C
Consumo energético	60 µA	200 µA	1,3 mA normal 2,5 µA reposo
Resolución	-----	8 bits	17 bits

Fuente: (MELEXIS, 2017), (TEXAS INSTRUMENTS, 2017), (MICROCHIP, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Para obtener el sensor de temperatura corporal competente para el desarrollo del dispositivo IoT, se realizó un estudio de tipos de sensores que son utilizados para medir la temperatura en las personas como se muestra en la tabla 11-1, en donde a través de las diversas características que presentan cada uno de ellos tales como: el voltaje de operación, error de medición, resolución, rango de temperatura, entre otros; el sensor que cumple con los requerimientos para el dispositivo IoT es el MLX90614, este sensor al ser de tipo no invasivo permite hacer las mediciones de temperatura sin atravesar la barrera de la piel y con una alta precisión, además se puede medir la temperatura en múltiples zonas de cuerpo dependiendo de los rangos de temperatura (MELEXIS, 2017).

1.7.2 Sensor de frecuencia cardíaca

Se caracteriza por utilizar un emisor de luz infrarroja que se enciende a partir de un traslúcido con corriente sanguínea, además posee un emisor que emite una luz infrarroja. El emisor está ubicado al frente del fototransistor por lo cual recepta la luz que circula hacia el lugar de medida, existe dos métodos para emitir la luz a través del lugar de medida como son: transmisión y reflectancia (FLORES, 2017).

Su funcionamiento es en base a la fotoplethismografía, es decir, emite una luz de color verde desde un led sobre la piel dando lugar a la variación de intensidad de luz que es receptada por un

fotodiodo, la cantidad de luz receptada retarda proporcionalmente al pulso cardíaco, esto quiere decir que, si se presenta más flujo sanguíneo en las venas existe una alta intensidad de luz reflejada y en caso de menos flujo sanguíneo en las venas la intensidad de luz reflejada será menor (HURTADO, 2018).

Tabla 12-1: Comparativa entre los sensores de frecuencia cardíaca

Características	Sensor de pulso XD-58C	Sensor de FC AD8232	Sensor MAX30102
Voltaje de alimentación	3 V a 5 V	2 V a 3,5 V	3,3 V a 5 V
Temperatura de funcionamiento	-----	-40 °C a 85 °C	-40 °C a 85 °C
Tipo de salida	Analógica	Analógica a Digital	Analógica a Digital
Corriente de suministro	-----	170 μ A (Típico)	0,7 μ A (Típico)
Relación de rechazo modo común	-----	80 dB (CC a 60 Hz)	-----

Fuente: (ANALOG DEVICES, 2018), (WALKTHROUGH, 2018)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Los tres tipos de sensores de frecuencia cardíaca que se presenta en la tabla 12-1 tienen características propias que sobresalen el uno del otro, es por ello por lo que se realizó la comparativa y se determinó que el sensor MAX30102 permite medir la saturación de oxígeno y la frecuencia cardíaca de forma no invasiva. Para obtener la medida de los datos de la frecuencia cardíaca se coloca el dispositivo en la muñeca, dedos u oreja, es así que el sensor MAX30102 cumple con los requerimientos necesarios para el desarrollo del dispositivo IoT.

1.8 Tarjetas embebidas de desarrollo

Semejantes a un circuito impreso y dependiendo de las características pueden ser un microcontrolador o microprocesador. A través de un *software* es posible realizar el procesamiento de datos, el mismo que mediante programación le enseña al microprocesador el trabajo que debe realizar, por ejemplo: leer un valor de un sensor, enviar *bits* de datos, enseñar la información en una salida, entre otros. Los microcontroladores están compuestos de terminales que son identificados como entradas o salidas, leds indicadores, botón de *reset*, y fuentes de alimentación (YÁNEZ, y otros, 2021).

Estas tarjetas de desarrollo presentan ciertas ventajas como la flexibilidad cuando exista posibles fallos, ya que se pueden hacer modificaciones de forma fácil mediante correcciones de código, librerías, y así lograr el correcto funcionamiento de los dispositivos (ROBLES, 2017).

Tabla 13-1: Comparativa de tarjetas embebidas de desarrollo

Características	The Things UNO	Placa Wi-Fi Lora 32	Dragino LoRa Shield
Microcontrolador	ATmega32u4	ESP32 (240 MHz tensilica LX6 dual-core +1 ULP, 600 DMIPS)	-----
Voltaje de operación	5 V	3,3 V a 7 V	3,3 V a 5 V
Terminales digitales I/O	20 terminales	6 terminales	14 terminales
Comunicación inalámbrica	LoRa, Bluetooth	Wi-Fi, Bluetooth, LoRa	LoRa
Chip LoRa	RN2483	SX1276	RF95W
Bandas ISM	868 MHz y 915 MHz	868 MHz y 915 MHz	915 MHz, 868 MHz, 433 MHz
Consumo de energía	Bajo	Bajo	Bajo
Alcance máximo	10 km	~ 3 km en área abierta	2 km zonas urbanas ~ 13 km zonas rurales
Precio	\$87,90	\$40,00	\$44,99

Fuente: (NEWARK, 2021), (ÁVILA, y otros, 2020), (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

A partir del estudio de las características principales de las tres tarjetas embebidas presentadas en la tabla 13-1, se determinó que la tarjeta de desarrollo Dragino LoRa *Shield* es la más idónea ya que cumple con los requerimientos para este dispositivo, teniendo en cuenta la distancia desde el inicio de la rutas establecidas hasta los puntos de destino que es de 8 km aproximadamente, esta tarjeta tiene un alcance máximo en zonas rurales de hasta 13 km, además trabaja sobre otras tarjetas embebidas de desarrollo como Arduino en sus diferentes versiones y también opera en la banda ISM de 915 MHz permitida en el país.

1.9 Sistemas de geolocalización

La geolocalización es el reconocimiento de la posición de un dispositivo en el espacio real, el sistema de posicionamiento global (GPS, por su sigla en inglés) es la forma más conocida para obtener la localización geográfica, ubicando al dispositivo con una precisión de unos pocos metros. Los datos que se obtienen de la posición del GPS no son exclusivamente de la conexión de la red a la Internet, sino que también de la geolocalización del dispositivo cuando no se esconda la cobertura de los satélites geostacionarios (FOMBONA, y otros, 2017). Esta tecnología no es recomendable para uso en interiores como edificios, casas o un lugar cerrado, ya que la cobertura de los satélites GPS es nula, para solucionar este tipo de inconvenientes se opta por otras tecnologías de geolocalización (GÁLOC, 2017).

En la parte concerniente a la geolocalización de la persona en el lugar turístico, es necesario la incorporación de este sistema de posicionamiento al nodo sensor, tomando en cuenta que esta acción se realiza en ambientes de exteriores (*outdoor*) y que la forma en que se comunica esta información está basada en las redes LPWAN, mas no con sistemas de geolocalización tradicional como GSM, es por ello que en la tabla 14-1 se ha realizado una comparativa entre las características técnicas de los módulos de posicionamiento global de la compañía suiza u-blox con mayor disponibilidad en el mercado nacional.

Tabla 14-1: Comparativa módulos de posicionamiento u-blox

Características	NEO-6M-0-001	NEO-7M-0-000	NEO-M8N-0-01
Sistema GNSS	GPS	GPS/QZSS, GLONASS	GPS/QZSS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Oscilador	Cristal/TCXO	Cristal	TCXO
Tipo de receptor	50 canales, frecuencia GPS L1, código C/A, SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS	56 canales, GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, Galileo E1B/C	72 canales u-blox M8 engine, GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, GLONASS L1OF, BeiDou B1, Galileo E1B/C
TTFF	Inicio frío: 27 s Inicio tibio: 27 s Inicio caliente: 1 s Inicio asistido: <3 s	Inicio frío: 30 s Inicio tibio: 28 s Inicio caliente: 1 s Inicio asistido: 5 s	Inicio frío: 26 s Inicio caliente: 1 s Inicio asistido: 2 s
Sensibilidad de seguimiento y navegación	-161 dBm	-161 dBm	-167 dBm
Sensibilidad de inicio en frío	-147 dBm (sin asistencia)	-147 dBm	-148 dBm
Sensibilidad de inicio en caliente	-156 dBm	-155 dBm	-156 dBm
Precisión de señal	30 ns	30 ns	30 ns
Error de posición	2,5 m	2,5 m	2,5 m
Precisión de velocidad	0,1 m/s	0,1 m/s	0,05 m/s
Precisión de rumbo	0,5 grados	0,5 grados	0,3 grados
Máx. velocidad operación	500 m/s	500 m/s	500 m/s
Máx. altitud de operación	50 000 m	50 000 m	50 000 m
Antena	Ganancia mín.: 15 dB Ganancia máx.: 50 dB	Ganancia mín.: 15 dB Ganancia máx.: 50 dB	Ganancia mín.: 15 dB Ganancia máx.: 30 dB
Precio	\$15,00	\$20,00	\$35,00

Fuente: (U-BLOX COMPANY, 2021)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Una vez contrastada la información de la tabla 14-1, se puede apreciar que el módulo NEO-M8N-0-01, en su chip, puede recibir y rastrear múltiples sistemas globales de navegación satelital (GNSS, por su sigla en inglés) simultáneamente, también cuenta con más canales de recepción de señal satelital, sistemas de aumento de corrección de señales de navegación satelital como SBAS y QZSS para mejorar las prestaciones de los GNSS, además presenta una duración menor en el tiempo para la primera posición o localización (TTFF, por su sigla en inglés) y también una buena sensibilidad de rastreo respecto de los otros módulos. Estos parámetros son importantes debido a las características remotas que posee la zona en donde se implementa el dispositivo IoT, es por esto por lo que se elige el módulo de posicionamiento NEO-M8N-0-01 en lo concerniente a la geolocalización del dispositivo a implementarse.

CAPÍTULO II

2. PROPUESTA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO

A continuación, se detalla el capítulo que se compone de todas aquellas etapas necesarias para la implementación del dispositivo IoT, para ello es necesario en primer lugar plantear los requerimientos técnicos de funcionamiento, después se realiza el diseño respectivo del sistema, luego se selecciona los elementos *hardware* y *software* fundamentales para la puesta en marcha del dispositivo. Además, se detalla la participación de cada una de las etapas que intervienen en el desarrollo del prototipo como conexiones, diagramas, características técnicas y de construcción.

2.1 Requerimientos regulatorios

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, LoRa es una tecnología que utiliza su propia técnica de modulación para propagar su señal denominada CSS, misma que opera en las bandas libres del espectro radioeléctrico designadas por la UIT, la cual a su vez recomienda a sus Estados miembros una autorización especial para el uso de este espectro, en búsqueda de Normas que resguarden los servicios de radiocomunicación ya registrados y que puedan resultar afectados (UIT, 2020).

A nivel nacional, en el año 2013 el extinto CONATEL expidió la primera Norma técnica para el uso de bandas sin licencia para aplicaciones ISM, en la actualidad es la ARCOTEL quien regula esta actividad a través de una nueva Norma técnica aprobada mediante Resolución-ARCOTEL-2018-0661, en donde se estipula qué frecuencias del espectro radioeléctrico están autorizadas para aplicaciones ISM y qué otros parámetros hay que tomar en cuenta al momento de desplegar en este caso la red inalámbrica LoRa (ARCOTEL, 2018). Una vez estudiada esta reglamentación nacional, se puede determinar que el despliegue de la red inalámbrica LoRa en la RPFCH cumple con la normativa vigente.

2.2 Requerimientos técnicos y de aplicación

Después de realizar el estudio de la fundamentación teórica concerniente a la tecnología de largo alcance y bajo consumo energético LoRa, las variables fisiológicas que presenta una persona y que se pueden medir y monitorear, y demás información ligada a la implementación y funcionamiento del dispositivo IoT en su conjunto, se procede a establecer los requerimientos necesarios que el sistema debe cumplir en el lugar previamente establecido, y que además permite el diseño y selección del *hardware* y *software* específicos, todo esto acorde al siguiente detalle:

- Implementar una topología de red en estrella, establecida por la tecnología LoRa.
- Permitir la integración del nodo sensor a la red establecida, de tal manera que la arquitectura del sistema sea escalable.
- Establecer la comunicación de los elementos *hardware* y *software* que componen el dispositivo IoT en la red desplegada.
- Obtener la ubicación geográfica del dispositivo IoT con un error de posición menor a 2,5 m.
- Monitorear las variables fisiológicas a partir de los parámetros de normalidad investigados, que para el caso de la temperatura corporal periférica (TCP) son de [36–37,8] °C y para la frecuencia cardíaca (FC) es de [60–100] p. p. m.
- Detectar la alerta emitida al presionar el botón de auxilio del que dispondrá el dispositivo, por parte del usuario.
- Generar mensajes de alerta de manera automática, cuando se detecten valores anormales en las mediciones de las variables fisiológicas del usuario.
- Emitir una alerta de aviso desde el centro de supervisión y control hacia el nodo sensor.
- Gestionar en la plataforma web de IoT la información de ubicación y monitoreo fisiológico del nodo sensor tanto en forma numérica como gráfica.
- Exportar los datos obtenidos del dispositivo IoT en hojas de cálculo.

2.3 Concepción general del dispositivo IoT

La figura 1-2 muestra la concepción general del dispositivo IoT basado en la tecnología LoRa y su respectivo protocolo de comunicación, la cual se compone de cuatro etapas esenciales que son: nodo sensor, nodo coordinador, servidor en la nube y por último la etapa de supervisión y control. Además, se considera la metodología necesaria que incluye los requerimientos establecidos para el desarrollo del dispositivo.

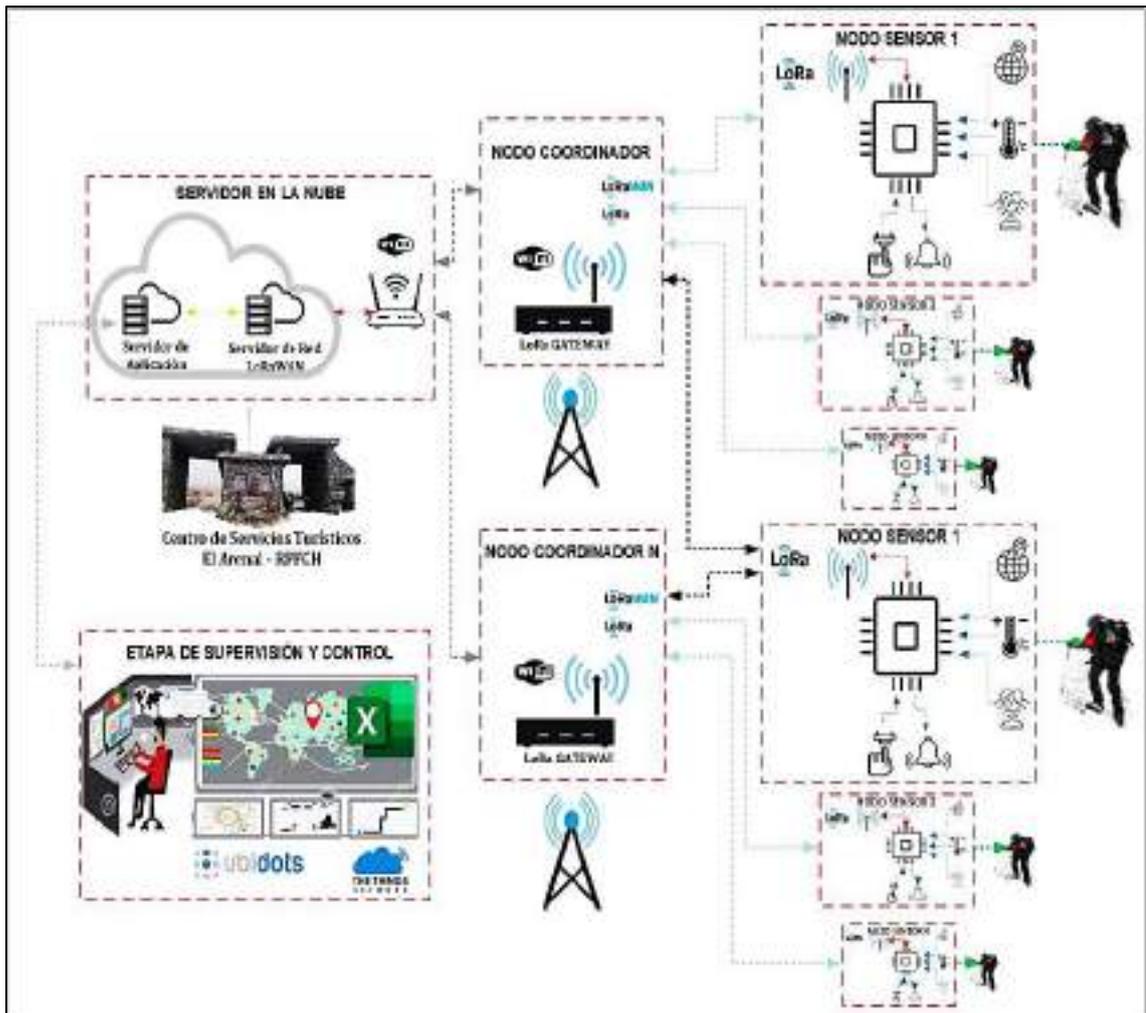


Figura 1-2: Concepción general del dispositivo IoT

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

- Nodo sensor:** en campo, este nodo tiene la función de transmitir o entregar todos los datos que se generen de la persona, los datos que se obtienen no son de carácter masivo puesto las características limitadas de *data rate* de la tecnología LoRa. La información que se envía al nodo coordinador comprende las coordenadas de la localización geográfica de la persona, los dos signos vitales que se determinaron a partir del estudio de la zona en donde se aplica el dispositivo, a su vez el nodo cuenta con un botón en caso de requerir ayuda y una alarma sonora en caso de comunicar alguna situación desde el centro de supervisión y control. El envío de todos estos datos se realiza inalámbricamente por medio de la tecnología de RF LoRa.
- Nodo coordinador:** este nodo se encarga de recibir los datos de RF LoRa provenientes del nodo sensor, tiene la capacidad de hablar con las dos tecnologías que hacen que la comunicación del nodo sensor con la etapa de supervisión y control sea posible, esto es; por un lado la tecnología LoRa, y por otro, la conexión a Internet por medio de Wi-Fi, Ethernet o celular 4G; una vez establecida la comunicación y verificación de la integridad de la

información recibida del nodo sensor, esta es reenviada al servidor de red si fuese correcta, caso contrario se descarta, aquí el envío de información es bidireccional, es decir, ascendente y descendente entre el servidor de red y el nodo sensor.

- **Servidor en la nube:** luego de que los datos pasan por el nodo coordinador, es en esta etapa donde el servidor de red LoRaWAN en interacción con la nube, controla dinámicamente los parámetros de toda la red; asegura la privacidad y seguridad mediante encriptación AES para el transporte de los mensajes de extremo a extremo, direcciona estos mensajes a la plataforma IoT alojada en el servidor de aplicación del que también hace parte esta etapa, sin poder ver ni acceder a los mismos, selecciona la mejor puerta de enlace para la comunicación descendente acorde al indicador de intensidad de señal recibida (RSSI, por su sigla en inglés) y relación señal-ruido (SNR, por su sigla en inglés), gestiona los paquetes y elimina los duplicados si estos son recibidos por varias puertas de enlace, brinda respuesta al nodo sensor en atención a solicitudes de la capa MAC, envía cargas útiles de cualquier servidor de aplicación a cualquier nodo sensor conectado a la red, controla el tráfico de datos. Es por esto por lo que el servidor de red LoRaWAN se considera como una parte sustancial de la tecnología LoRa como tal (SEMTECH, 2020a).
- **Etapa de supervisión y control:** toda la información de campo tiene que ser visualizada y tratada en esta etapa, para eso está el servidor respectivo que se ejecuta en la nube y se encarga de procesar los datos recopilados, se trata del servidor de aplicaciones, un elemento del tipo *software* que permite visualizar la información obtenida del nodo sensor a través de la plataforma web de IoT (PÉREZ, y otros, 2020).

2.4 Arquitectura del sistema de red del dispositivo IoT

En el apartado referente a la concepción general del dispositivo IoT, se puede apreciar los elementos típicos de implementación de una red LoRaWAN de un extremo a otro, el protocolo de comunicación abierto de esta red es quien define la arquitectura del sistema para la concepción del dispositivo antes descrito, el cual denota una topología en estrella y se compone de un nodo sensor, un nodo coordinador, servidor en la nube y finalmente la etapa de supervisión y control.

2.4.1 Diagrama de bloques del nodo sensor

Este nodo está en conexión inalámbrica a la red LoRaWAN y es el encargado de enviar la información obtenida de la persona hacia el nodo coordinador, para un mejor detalle del funcionamiento de este nodo, se procede a describir los bloques que lo componen como se puede apreciar en la figura 2-2.

- **Bloque de procesamiento:** está constituido por la tarjeta embebida de desarrollo Arduino MEGA 2560, es así como esta tarjeta es la encargada de realizar la lectura de sus terminales

tanto analógicos, digitales y de comunicación en donde están conectados los demás dispositivos *hardware* que permiten lograr uno de los objetivos planteados y a su vez parte de los requerimientos ya expuestos.

- **Bloque de geolocalización:** este bloque está constituido principalmente por el módulo de posicionamiento GNSS NEO-M8N-0-01, el cual es el encargado de obtener las coordenadas geográficas de la ubicación de la persona en la RPFCH.
- **Bloque de monitoreo fisiológico:** en este bloque se encuentran los sensores fisiológicos no invasivos MLX90614 y MAX30102 para la medición de los signos vitales de temperatura corporal periférica (TCP) y frecuencia cardíaca (FC), respectivamente; variables que fueron establecidas en relación con el estudio de la zona en donde se implementa el dispositivo IoT.
- **Bloque de entrada:** se establece este bloque en relación con el requerimiento de emitir una alerta al centro de supervisión y control en caso de que la persona sienta la necesidad de requerir ayuda, esta acción se efectúa al momento de presionar un botón de auxilio.
- **Bloque de salida:** como parte de otro requerimiento a cumplirse, también se dispone de un evento de alerta dirigido desde el centro de supervisión y control hacia la persona que tenga en su poder el nodo sensor, esta alerta la cual es del tipo sonora se da a través del buzzer activo.
- **Bloque de alimentación:** compuesto de una batería Li-Po, se constituye en la fuente de poder que otorga corriente DC al nodo sensor para su funcionamiento. Una de las funcionalidades clave y bien marcadas de utilizar la tecnología LoRa, es sin duda la autonomía que puede tener la batería con la que cuentan los dispositivos finales o nodos sensores y que puede ser de varios años, esto debido a la baja tasa de datos a transmitirse por tiempos parciales en un día, además de usar factores de dispersión de acuerdo a la distancia entre un nodo sensor y el nodo coordinador, lográndose así optimizaciones adaptativas en cuanto a la velocidad de datos y a la potencia de todos los nodos sensores que integran una red LoRaWAN (SEMTECH, 2020a).
- **Bloque de comunicación:** conformado por el módulo de RF inalámbrica Dragino LoRa *Shield* que, en conexión con el bloque de procesamiento, es el responsable de establecer el enlace de comunicación de largo alcance por donde se transmiten los datos traducidos en señales de radio LoRa hacia el nodo coordinador a través del transceptor de RF que este módulo posee.

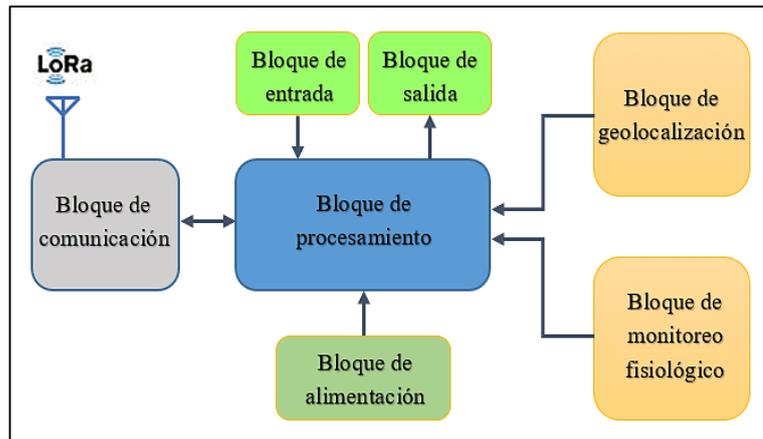


Figura 2-2: Diagrama de bloques del nodo sensor

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.4.2 Diagrama de bloques del nodo coordinador

Conforme al estudio realizado, LoRa corresponde a la capa física o de *bits* según el modelo OSI, la cual adecua el medio de conexión para LoRaWAN, esto ocurre tanto en el nodo sensor como en el nodo coordinador al momento de la comunicación, ocurriendo así un enlace ascendente (*uplink*) cuando es de nodo sensor a nodo coordinador y descendente (*downlink*) cuando es de nodo coordinador a nodo sensor. El nodo coordinador lo constituye en esencia lo que viene siendo el LoRaWAN Gateway Dragino DLOS8 en versión sin 4G, el cual es un enrutador que cumple la función de reenviar los paquetes bidireccionales de RF entre el nodo sensor y el servidor de red alojado en la nube. A continuación, se detalla el diagrama de bloques de la figura 3-2.

- **Bloque de procesamiento:** se constituye principalmente de un microcontrolador de alto rendimiento programado para aplicaciones de alta velocidad de procesamiento de datos provenientes de distintos protocolos y estándares de comunicación para aplicaciones específicas, comunica a los bloques de comunicación mediante UART, SPI, I2C y MII (GIEZEMAN, 2017).
- **Bloque de salida:** representa al estado de operaciones del nodo coordinador al momento de encontrarse en funcionamiento, representándose esto mediante la visualización del LED de triple color; si es de color verde significa que el nodo tiene conexión al servidor de red LoRaWAN, si es verde parpadeante puede significar que tiene conexión a Internet pero no tiene conexión LoRaWAN o que está en etapa de arranque manifestándose el color rojo y amarillo parpadeando simultáneamente, y por último si es de color rojo significa que el nodo no tiene conexión a Internet (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020).
- **Bloque de alimentación:** es el que provee de energía eléctrica al nodo coordinador, esto a través de un adaptador de corriente AC/DC o mediante el estándar PoE (*Power over*

Ethernet), maneras de las cuales se puede suministrar el nivel de potencia óptimo para el funcionamiento de todo el nodo.

- **Bloque de comunicación LoRa:** lo conforma un concentrador módem (*modulator/demodulator*) de señal SX1301 y dos radio transceptores SX1257, que solo operan en la capa física de la pila del protocolo LoRaWAN (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020), por lo que este bloque solo tiene la función de recibir los paquetes de RF del nodo sensor y verificar si los datos de cada mensaje entrante son correctos mediante el análisis del código de detección de errores CRC, para después enviarlos al bloque de procesamiento de datos el cual se encarga de comunicarse con el servidor de red.
- **Bloque de comunicación a Internet:** es aquí donde todos los datos del nodo sensor son llevados a la red luego de pasar por el bloque de procesamiento, esto a través de un enlace IP de tráfico seguro y que puede darse inalámbricamente mediante el estándar IEEE 802.11 b/g/n o Wi-Fi, o a su vez alámbricamente mediante Ethernet. Así los datos son llevados a la nube que contiene al servidor que administra toda la red LoRaWAN.

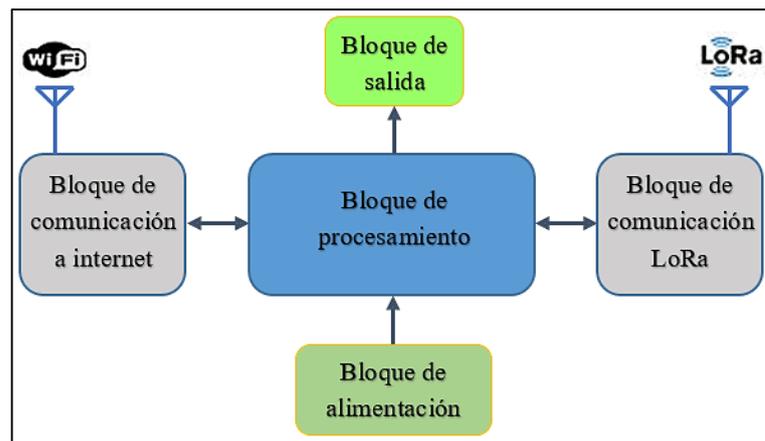


Figura 3-2: Diagrama de bloques del nodo coordinador

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.4.3 Diagrama de bloques del servidor en la nube

Este penúltimo nivel que hace parte de la implementación del dispositivo IoT, se considera una de las partes más importantes de la tecnología LoRa, ya que es aquí donde se administra toda la red. La figura 4-2 muestra el diagrama de bloques del que se compone esta etapa. Compuesto de:

- **Bloque de punto de acceso:** lo conforma principalmente el *hardware modem-router* de la RPFCH que dispone del acceso a la red de redes, es decir, a Internet.
- **Bloque de alimentación:** se compone de un adaptador de corriente AC/DC, mismo que suministra el nivel de potencia apropiado, esto como todo equipo *hardware* electrónico de consumo.

- **Nube:** es aquí donde actúa el servidor de red LoRaWAN y el servidor de aplicación, el servidor de red ejecuta los procesos más sofisticados e importantes para el tratamiento de los datos que recibe del nodo sensor y al mismo tiempo los direcciona. Por otro lado, el servidor de aplicación se encarga de alojar y gestionar las aplicaciones de IoT que se estén ejecutando, esto con la ayuda del servidor de red, para en conjunto realizar el procesamiento específico de una o más aplicaciones.

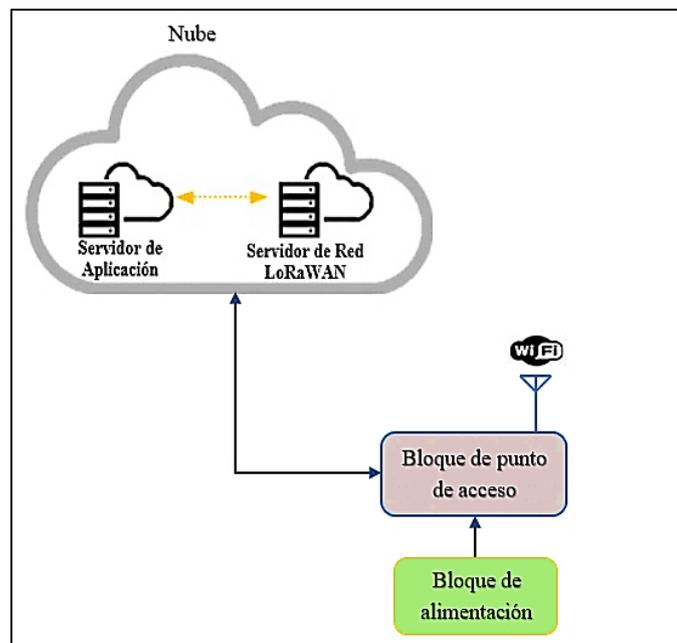


Figura 4-2: Diagrama de bloques del servidor en la nube

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.4.4 Diagrama de bloques de la etapa de supervisión y control

Es el último nivel del que se compone la concepción general del dispositivo IoT, es en esta etapa donde el servidor de aplicación el cual se ejecuta en la nube y que a su vez interactúa con el servidor de red ya mencionado, el que proporciona los datos recopilados del nodo sensor a la persona encargada de la supervisión y control del lugar turístico a través de la interfaz de la aplicación web de IoT como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 5-2. Es en este servidor en donde se pueden desarrollar aplicaciones para la IoT y así poder obtener y analizar información útil de los datos generados por los nodos sensores.

- **Bloque de host:** es el encargado de enviar y recibir tráfico hacia y desde el nodo sensor por medio de una dirección IP que tiene asignada dentro de la red, mediante conexión Wi-Fi o Ethernet con el bloque de punto de acceso del diagrama descrito anteriormente, por lo tanto, todas las computadoras, *tablets*, *smartphones*, portátiles, entre otros; que estén conectados y participando directamente de las comunicaciones de la red LoRaWAN en esta etapa, se conocen también con el nombre informático de “*hosts*”.

- **Bloque de aplicación:** es el programa del tipo *software* donde se visualiza los datos provenientes del nodo sensor, es decir, aquellos datos mencionados en los requerimientos para la implementación del dispositivo IoT, los mismos que se muestran en la plataforma web de IoT Ubidots.
- **Bloque de almacenamiento:** en la tendencia tecnológica de la IoT, es necesario el tratamiento de los datos que se reciben para futuros estudios, es por ello por lo que este bloque hace alusión al uso de un programa de *software* de bajos requerimientos en cuanto a capacidad de procesamiento y almacenamiento que pueda demandar de un *host* con respecto a una base de datos como tal, se trata de la herramienta avanzada de análisis y visualización de datos, Microsoft Excel.



Figura 5-2: Diagrama de bloques de la etapa de supervisión y control

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5 Elementos *hardware* del dispositivo IoT

Para la implementación del dispositivo IoT es necesario seleccionar los elementos *hardware*, donde cada uno de ellos desempeña un papel importante al momento de construir el prototipo, estos elementos o componentes son elegidos en base a sus características principales y se mencionan en el siguiente apartado.

2.5.1 *LoRaWAN Gateway Dragino DLOS8*

DLOS8 es un *gateway* o puerta de enlace para exteriores, se caracteriza por admitir la conexión de la red inalámbrica LoRa a una red IP ya sea a través de Wi-Fi, Ethernet o señal celular 3G/4G/LTE, como se muestra en la figura 6-2. Teniendo en cuenta que la tecnología LoRa permite enviar y recibir datos a largas distancias y a velocidades de datos bajas, el *gateway* posee un reenviador de paquetes Semtech y es compatible con el protocolo de comunicación LoRaWAN, por lo cual este *hardware* contiene un concentrador LoRaWAN SX1301 que provee 10 rutas de demodulación en paralelo programables. Además, trabaja en las bandas de frecuencia ISM permitidas en el país. Una ventaja importante que presenta el DLOS8 es que tiene la alternativa de comunicarse con el nodo final ABP sin el servidor LoRaWAN. Ver anexo A. Las características técnicas principales de la puerta de enlace DLOS8 se muestra en la tabla 1-2 (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020).



Figura 6-2: LoRaWAN Gateway Dragino DLOS8

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 1-2: Características principales LoRaWAN Gateway Dragino DLOS8

Características	Rango
Potencia de consumo	12 V (300-500) mA
Tipo de gateway	Exteriores
Nº de rutas	10 rutas de demodulación paralelas programables
Puertos	RJ45 10M / 100M x 1; 1 x puerto de <i>host</i> USB
Bandas de frecuencia	US915, AU915, AS923, KR920 (MHz)
Antena	Fibra de vidrio externa
Estándar	802,3af PoE
Protección	IP65

Fuente: (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.2 Módulo Dragino LoRa Shield

Es un Arduino *Shield* que trabaja con tecnología LoRa, en donde el usuario envía datos a velocidades bajas, pero con rangos de alcance muy extendidos. En este módulo está incorporado el conocido chip de Semtech SX1276 o SX1278, y es destinado para aplicaciones de redes de sensores inalámbricos como, por ejemplo: ciudades inteligentes, automatización, agricultura, entre otras aplicaciones. Dragino LoRa *Shield* como se muestra en la figura 7-2 presenta una sensibilidad de -148 dBm que en conjunto con un amplificador de potencia integrado de +20 dBm se convierte en un *hardware* óptimo para cualquier aplicación que necesite rango o robustez.

Además, aceptan modulación por desplazamiento de frecuencia de alto rendimiento para sistemas que incluyen WMBus, IEEE 802.15.4g, su consumo de energía es mínimo y presenta inmunidad a interferencias (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020). Ver anexo B. Las principales características técnicas de este módulo de RF se especifican en la tabla 2-2.



Figura 7-2: Módulo Dragino LoRa *Shield*

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 2-2: Características técnicas principales Dragino LoRa *Shield*

Características	Rango
Voltaje de entrada	3,3 a 5 V
Tasa de bits programable	300 kbps
Componentes chip	SX1276 o SX1278
Protocolo de comunicación	LoRaWAN
Bandas de frecuencia ISM	868 MHz/915 MHz/433 MHz
Alcance	13 km zonas rurales
Compatibilidad	Arduino UNO, MEGA, Leonardo
Modulación	FSK, GFSK, MSK, LoRaTM

Fuente: (DRAGINO TECHNOLOGY, 2020)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.3 Tarjeta embebida Arduino MEGA 2560

Hay que tener en cuenta que el módulo Dragino LoRa *Shield* se puede conectar con un Arduino UNO, Leonardo o MEGA, es por ello que se utiliza la tarjeta embebida de desarrollo Arduino MEGA 2560 como se muestra en la figura 8-2, este Arduino contiene puertos de entrada, salida y comunicación, los cuales son necesarios para la comunicación con los sensores fisiológicos, el módulo GNSS, botón de auxilio y alerta sonora (ATMEL, 2021). Esta tarjeta microcontroladora tiene 54 terminales de entradas y salidas digitales, 16 terminales de entradas analógicas y trabaja con un voltaje de operación de 5 V. Ver anexo C. Las características técnicas principales de esta tarjeta embebida de desarrollo se detallan en la tabla 3-2.

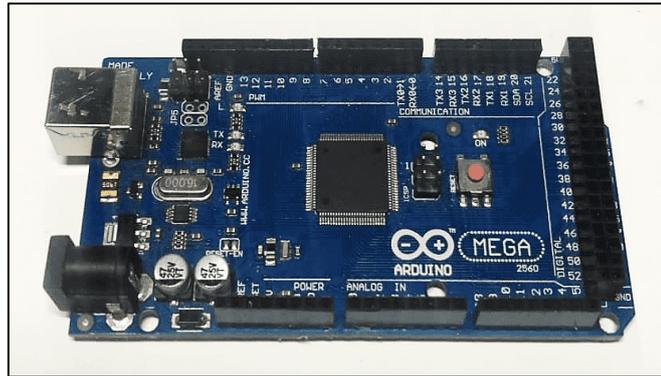


Figura 8-2: Tarjeta embebida Arduino MEGA 2560

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 3-2: Características técnicas principales Arduino MEGA 2560

Características	Rango
Voltaje de operación	5 V
Microcontrolador	ATmega 2560
I/O digitales	54
Entradas analógicas	16
Voltaje de entrada mín. y máx.	6-20 V
Memoria <i>flash</i>	256 KB

Fuente: (ATMEL, 2021)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.4 Módulo GNSS NEO-M8N-0-01

Este módulo de posicionamiento GNSS es de alta precisión y la potencia que consume es baja, además contiene una antena cerámica que se puede instalar sobre una placa de circuito impreso (PCB, por su sigla en inglés). La comunicación es a través de puerto serial, tiene 4 terminales, VCC, TX, RX y GND (U-BLOX COMPANY, 2021 pág. 15). Ver anexo D. Para poder obtener la ubicación geográfica de la persona es necesario contar con un módulo de posicionamiento el cual va a proporcionar los datos geográficos con un determinado margen de error, es por ello por lo que se utiliza el módulo en cuestión indicado en la figura 9-2 fruto de la comparativa realizada en la tabla 14-1, donde se pudo evidenciar que el rendimiento con respecto a la obtención de la ubicación geográfica es favorable. En la tabla 4-2 se detalla las características técnicas principales de este módulo.

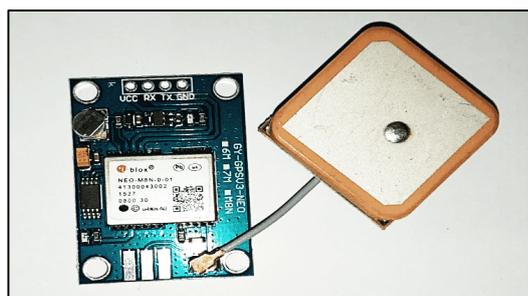


Figura 9-2: Módulo GNSS NEO-M8N-0-01

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 4-2: Características técnicas principales módulo GNSS NEO-M8N-0-01

Características	Rango
Voltaje de alimentación	3,5-5 V
Interfaz	I2C, SPI, UART, USB
Frecuencia	1,575 GHz
Memoria	EEPROM
Error de posición	2,5 m
Baud rate	9600 bps

Fuente: (U-BLOX COMPANY, 2021 págs. 4-5)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.5 Módulo MP1584

Este módulo como se muestra en la figura 10-2 es un convertidor de voltaje DC/DC del tipo *buck* de alta frecuencia con un regulador de conmutación integrado Mosfet de potencia, este módulo proporciona una salida máxima de 3 A y presenta una alta eficiencia con respecto a la conversión de energía mediante una extensa gama de cargas. Hay que considerar también que el repliegue de frecuencia protege al inductor del excedente de corriente que se produce en el arranque y apagado térmico. Además, el módulo reductor es capaz de evitar señales EMI o problemas de ruido (MONOLITHICPOWER, 2017). Ver anexo E. Las principales características técnicas del módulo reductor DC/DC MP1584 se detalla en la tabla 5-2.

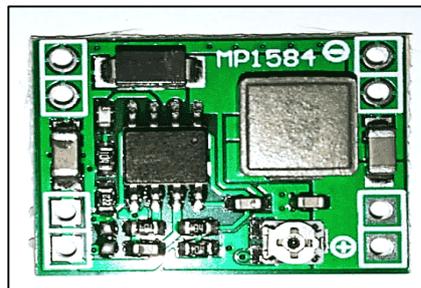


Figura 10-2: Módulo MP1584

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 5-2: Características técnicas principales módulo MP1584

Características	Rango
Voltaje de operación	4,5 a 28 V
Voltaje de salida	0,8 a 20 V
Corriente de salida	3 A
Frecuencia de conmutación programable	1,5 MHz
Temperatura	-20 a 85 °C
Potencia	10 W

Fuente: (MONOLITHICPOWER, 2017 págs. 1-2)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.6 Sensores fisiológicos

Es importante considerar los sensores fisiológicos que están incorporados en el nodo sensor, para lo cual en el siguiente apartado se detallan las características principales del sensor de temperatura corporal periférica (TCP) y del sensor de frecuencia cardíaca (FC), mismos que son utilizados

para medir los signos vitales de las personas que visiten la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCH).

2.5.6.1 Sensor de temperatura MLX90614

Es un sensor de tipo no invasivo o también conocido como termómetro infrarrojo para mediciones de temperatura sin contacto con la piel. Está compuesto de un chip de silicio con una fina membrana micromecanizada perceptible a la radiación infrarroja de un objeto remoto e internamente contiene una etapa de amplificación de bajo ruido y digitalización ADC de 17 bits y un procesador de señales digitales (DSP, por sus siglas en inglés) como se muestra en la figura 11-2. La salida de este sensor de temperatura es lineal, es decir, es una interfaz de comunicación digital tipo SMBus (*System Management Bus*), la cual es un subconjunto del protocolo I2C, también permite realizar una configuración de salida de modulación por ancho de pulso (PWM, por su sigla en inglés) de 10 bits destinado para transferir la temperatura medida (MELEXIS, 2017 págs. 1-2). Ver anexo F. Las características técnicas principales del sensor MLX90614 se detallan en la tabla 6-2.



Figura 11-2: Sensor de temperatura MLX90614

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 6-2: Características técnicas principales sensor de temperatura MLX90614

Características	Rango
Voltaje de operación	3,3 a 5 V
Rango de temperatura objeto y ambiente	-70 °C a 380 °C, -40 °C a 170 °C respectivamente
Error	+/- 0,5 °C
Protocolo de comunicación	SMBus subconjunto I2C
ADC	17 bits

Fuente: (MELEXIS, 2017 págs. 1-2)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.6.2 Sensor de frecuencia cardíaca MAX30102

Este sensor permite medir la saturación de oxígeno en la sangre y también la frecuencia cardíaca, además incluye leds internos fotodetectores, elementos ópticos y circuitos electrónicos de bajo ruido con repercusión a la luz ambiental, como se muestra en la figura 12-2. El sensor MAX30102 brinda una solución de sistema completo el cual suministra el proceso de diseño para dispositivos móviles y portátiles. Opera a niveles de energía ultra baja, es decir, el monitor de frecuencia

cardíaca consume menos de 1 mW y la capacidad de salida de datos es rápida (MAXIM INTEGRATED, 2017 pág. 1). Ver anexo G. Además, las características técnicas principales del sensor de frecuencia cardíaca MAX30102 se detallan en la tabla 7-2.

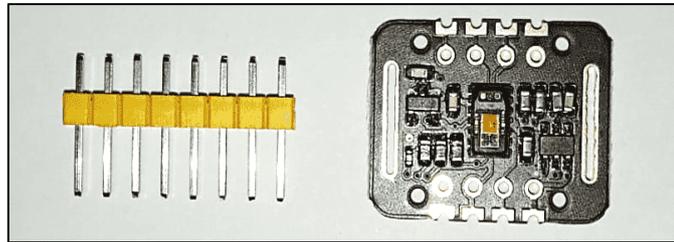


Figura 12-2: Sensor de frecuencia cardíaca MAX30102

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 7-2: Características técnicas principales sensor de frecuencia cardíaca MAX30102

Características	Rango
Voltaje de operación	3,3 a 5 V
Rango de temperatura	-40 a 85 °C
Potencia máxima	0,3 W
Interface de salida	I2C
Corriente de apagado	0,7 μ A típico

Fuente: (MAXIM INTEGRATED, 2017)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.7 Transistor 2N2222A

Es un dispositivo electrónico semiconductor NPN de señal, comúnmente suele utilizarse para conmutación o para amplificar una señal. En el funcionamiento del dispositivo IoT, este transistor se comporta como un *switch* electrónico de control, en donde una pequeña señal proveniente de la tarjeta Arduino MEGA 2560 es aplicada al terminal de la base, activando de esa forma el buzzer, sirviendo también como un mecanismo de protección a la terminal de la tarjeta que brinda la señal (DIOTEC, 2017). En la figura 13-2 se puede observar este elemento famoso en la electrónica. En la tabla 8-2 se detalla las características técnicas principales de este transistor.

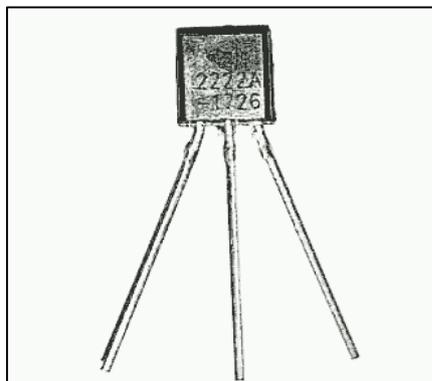


Figura 13-2: Transistor 2N2222A

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 8-2: Características técnicas principales transistor 2N2222A

Características	Rango
Tipo	NPN
Voltaje CE	40 V
Corriente Ic	600 mA
Potencia total	625 mW
Temperatura de funcionamiento	150 °C

Fuente: (DIOTEC, 2017 pág. 1)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.8 Buzzer activo

Es un transductor electroacústico activo que se caracteriza por generar un sonido continuo o intermitente cuando se proporciona una corriente al dispositivo, dicho buzzer como se muestra en la figura 14-2, está compuesto de un sistema electromecánico y son destinados para señalizaciones, avisos, y otros sistemas que requieran alertas (TECNO PURA, 2021). Para poder emitir la señal de alerta hacia la persona que lleva el nodo sensor es necesario contar con el buzzer o también conocido como zumbador. Este dispositivo electrónico activa el sonido de alerta en el momento que el guardaparques disponga emitir cierto comunicado al turista. Las características técnicas principales del buzzer se presenta en la tabla 9-2.



Figura 14-2: Buzzer activo

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 9-2: Características técnicas principales buzzer activo

Características	Rango
Voltaje de operación	3,5 a 5,5 V
Corriente	< 25 μ A
Frecuencia de sonido	2,5 kHz
Salida mínima de sonido	85 dB a 10 cm

Fuente: (TECNO PURA, 2021)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.9 Pulsador NO

El pulsador o botón de 2 terminales como se muestra en la figura 15-2, es aquel que permite o suspende el paso de corriente eléctrica, es por ello que el nodo sensor dispone de un pulsador normalmente abierto denominado botón de pánico, este componente tiene la función de actuar como un botón de auxilio, es decir, si la persona que porta el nodo sensor tiene algún problema o a su vez suscita algún inconveniente en la ruta, este tiene la opción de pedir ayuda presionando el

botón, la alerta emitida es reflejada en la plataforma web de IoT Ubidots y visualizada por la persona encargada del sitio.



Figura 15-2: Pulsador NO

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.5.10 Batería Li-Po

Son baterías de alto rendimiento y sobre todo de gran fiabilidad, es por ello por lo que debido a su autonomía se determinó como la más idónea para alimentar el nodo sensor. La batería Li-Po Turnigy como se muestra en la figura 16-2, posee una capacidad de 1 500 mAh y proporciona un voltaje de salida de 11,1 V (AV ELECTRONICS, 2021). Gracias a la descarga de alta resistencia se puede mantener altas cargas de corriente, además tiene la particularidad de ser recargable por lo que resulta conveniente alimentar al nodo y sus componentes. En la tabla 10-2 se detallan las características técnicas principales de esta batería.



Figura 16-2: Batería Li-Po

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Tabla 10-2: Características técnicas principales Batería Li-Po

Características	Rango
Voltaje de salida	3S1P/11,1 V/3 celdas
Almacenamiento de carga	1 500 mAh
Descarga	20 C constante/30C pico
Conectores	JST-XH carga/XT60 descarga

Fuente: (AV ELECTRONICS, 2021)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.6 Esquemas de conexión electrónica del nodo sensor

Una vez descritas las características técnicas específicas de los elementos *hardware* a utilizarse para la implementación del dispositivo IoT en su conjunto, en el siguiente apartado se reflejan las conexiones electrónicas de dichos elementos para su respectivo funcionamiento.

2.6.1 Conexión de módulos MP1584 y Dragino LoRa Shield a Arduino MEGA 2560

En la figura 17-2 se puede observar la conexión del módulo MP1584 y el módulo de comunicación Dragino LoRa *Shield* a la tarjeta embebida Arduino MEGA 2560, en la figura como se puede apreciar se encuentra un interruptor en la entrada positiva del módulo DC/DC que permite habilitar el funcionamiento de todo el nodo sensor, a la salida de este módulo se tiene 5 voltios previamente ajustados con el potenciómetro incorporado del MP1584 y configurado con la ayuda de un jumper, este voltaje es el que alimenta tanto a la tarjeta Arduino como al módulo Dragino LoRa *Shield*. Hay que tener en cuenta que, en las librerías de los programas de diseño como EAGLE, herramienta *software* de automatización de diseño electrónico (EDA, por su sigla en inglés), en donde además se diseñaron los circuitos, no siempre se dispone de todos los elementos electrónicos a ser ocupados en un esquemático, por lo que se debe realizar el diseño respectivo del mismo, con la ayuda del *datasheet* de cada uno de estos elementos.

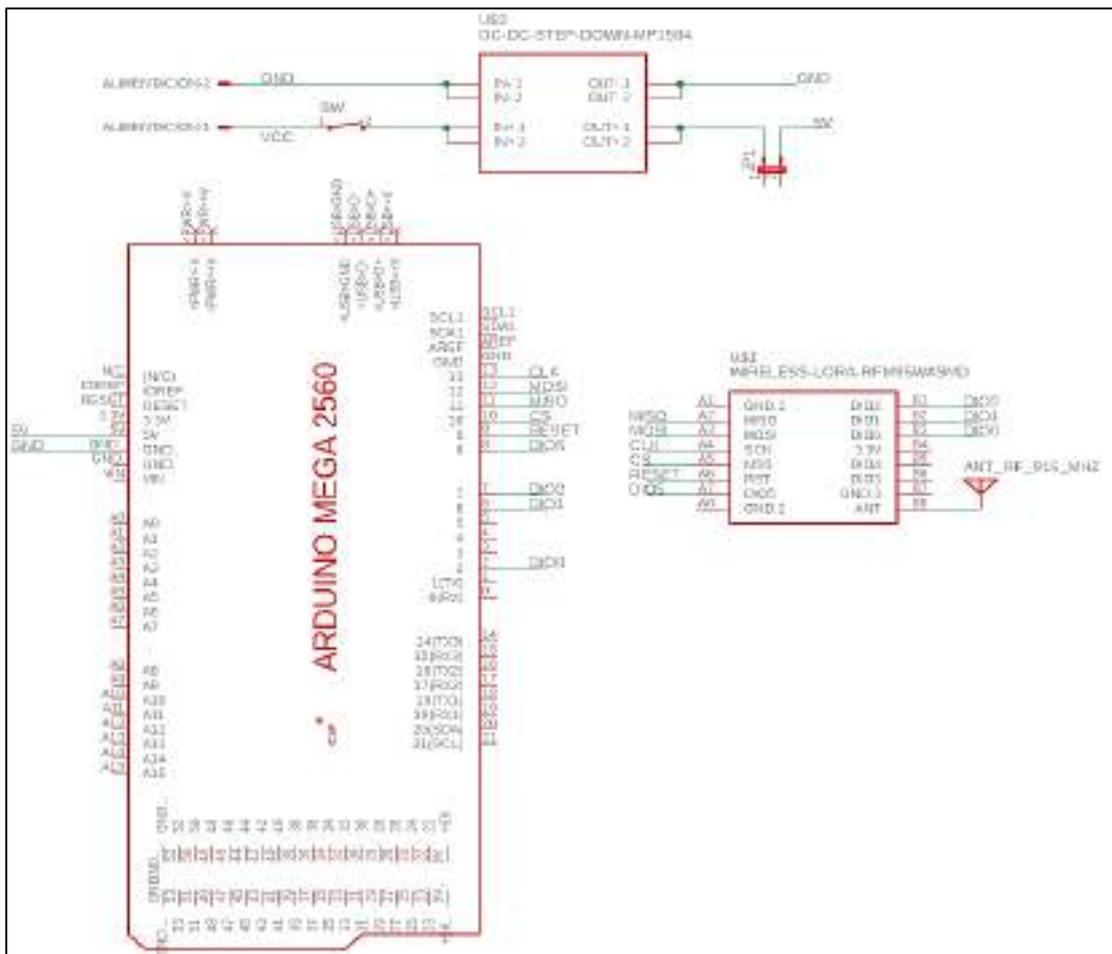


Figura 17-2: Conexión de módulos MP1584 y Dragino LoRa *Shield* a Arduino MEGA 2560

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 11-2 se indica más a detalle las respectivas conexiones entre los módulos tanto de alimentación como de comunicación con la tarjeta embebida de desarrollo Arduino MEGA 2560.

Tabla 11-2: Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con módulos de alimentación y comunicación

Tarjeta Arduino MEGA 2560	Módulo MP1584	Módulo Dragino LoRa Shield
Terminal (5 V)	Terminal (OUT+)	
Terminal (GND)	Terminal (OUT-)	
Terminal (2)		Terminal (DIO0)
Terminal (6)		Terminal (DIO1)
Terminal (7)		Terminal (DIO2)
Terminal (8)		Terminal (DIO5)
Terminal (9)		Terminal (RST)
Terminal (10)		Terminal (NSS)
Terminal (11)		Terminal (MISO)
Terminal (12)		Terminal (MOSI)
Terminal (13)		Terminal (SCK)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.6.2 Conexión del módulo GNSS NEO-M8N-0-01 a Arduino MEGA 2560

A continuación, y con la ayuda de la *datasheet* respectiva, se establece la conexión del módulo de posicionamiento GNSS NEO-M8N-0-01 a la tarjeta Arduino MEGA 2560, como se muestra en la figura 18-2.

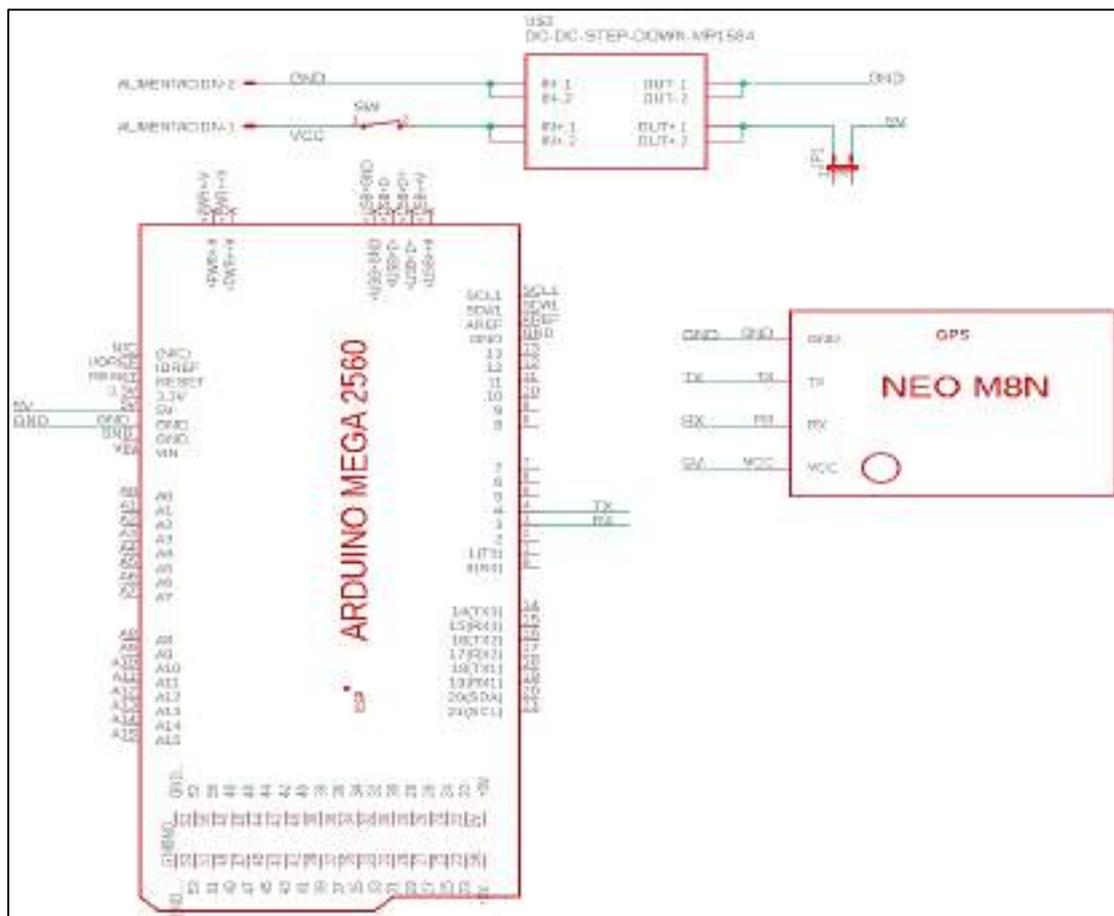


Figura 18-2: Conexión de módulo GNSS NEO-M8N-0-01 a Arduino MEGA 2560

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 12-2 se indica las conexiones de los terminales de la tarjeta Arduino MEGA 2560 con

los terminales del módulo de posicionamiento previamente seleccionado, recordando siempre que el módulo de alimentación MP1584 es el que conecta los 5 V al resto de elementos electrónicos.

Tabla 12-2: Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con GNSS NEO-M8N-0-01

Tarjeta Arduino MEGA 2560	Módulo GNSS NEO-M8N-0-01
Terminal (5 V)	Terminal (VCC)
Terminal (GND)	Terminal (GND)
Terminal (4)	Terminal (TX)
Terminal (3)	Terminal (RX)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.6.3 Conexión de los sensores MLX90614 y MAX30102 a Arduino MEGA 2560

En el siguiente esquema, se realiza las conexiones de los sensores fisiológicos encargados de medir los signos vitales de temperatura corporal periférica (TCP) y frecuencia cardíaca (FC) en una persona por medio de los sensores MLX90614 y MAX30102, respectivamente, con la tarjeta embebida de procesamiento Arduino MEGA 2560, tal y como se muestra en la figura 19-2.

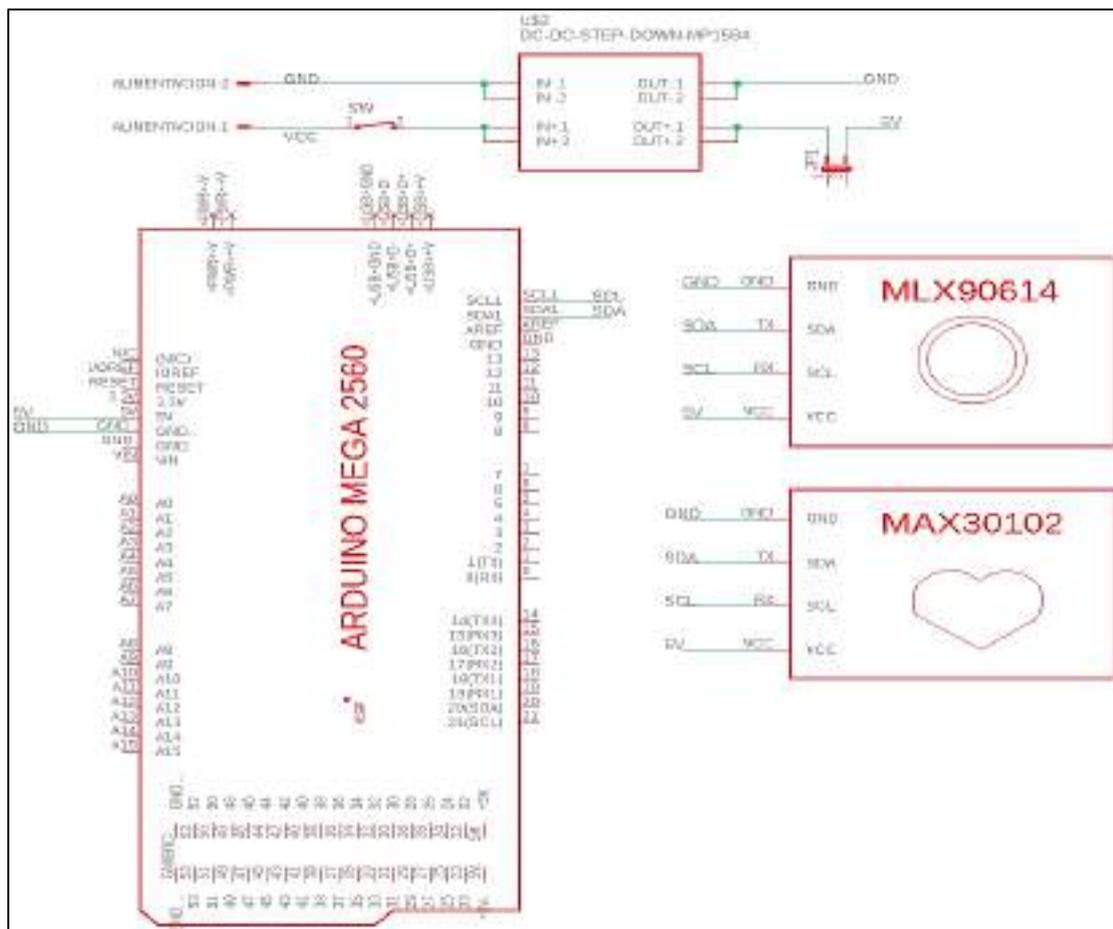


Figura 19-2: Conexión de sensores MLX90614 y MAX30102 a Arduino MEGA 2560

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 13-2, y con base en la *datasheet* de cada uno de los sensores fisiológicos, se proporciona las conexiones de sus terminales con la tarjeta Arduino MEGA 2560, como se puede

observar la comunicación de estos sensores con dicha tarjeta se realiza mediante el protocolo I2C con sus señales de reloj SCL y de datos SDA.

Tabla 13-2: Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con el sensor TCP y FC

Tarjeta Arduino MEGA 2560	Sensor MLX90614	Sensor MAX30102
Terminal (5 V)		Terminal (VCC)
Terminal (GND)		Terminal (GND)
Terminal (SCL1)		Terminal (SCL)
Terminal (SDA1)		Terminal (SDA)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.6.4 Conexión de buzzer activo y pulsador NO a la tarjeta Arduino MEGA 2560

Este esquema de conexión viene a corresponder a los bloques de entrada y salida descritos anteriormente en algunos bloques del nodo sensor, en la figura 20-2 el botón de auxilio se representa con un pulsador NO (*Normally Open*) que está en un arreglo de resistencia *pull-up*, el buzzer activo en cambio se encuentra gobernado por un transistor NPN que sirve de protección al terminal (5) de la tarjeta Arduino MEGA 2560 y también se puede apreciar un diodo LED que indica si el nodo como tal se encuentra encendido.

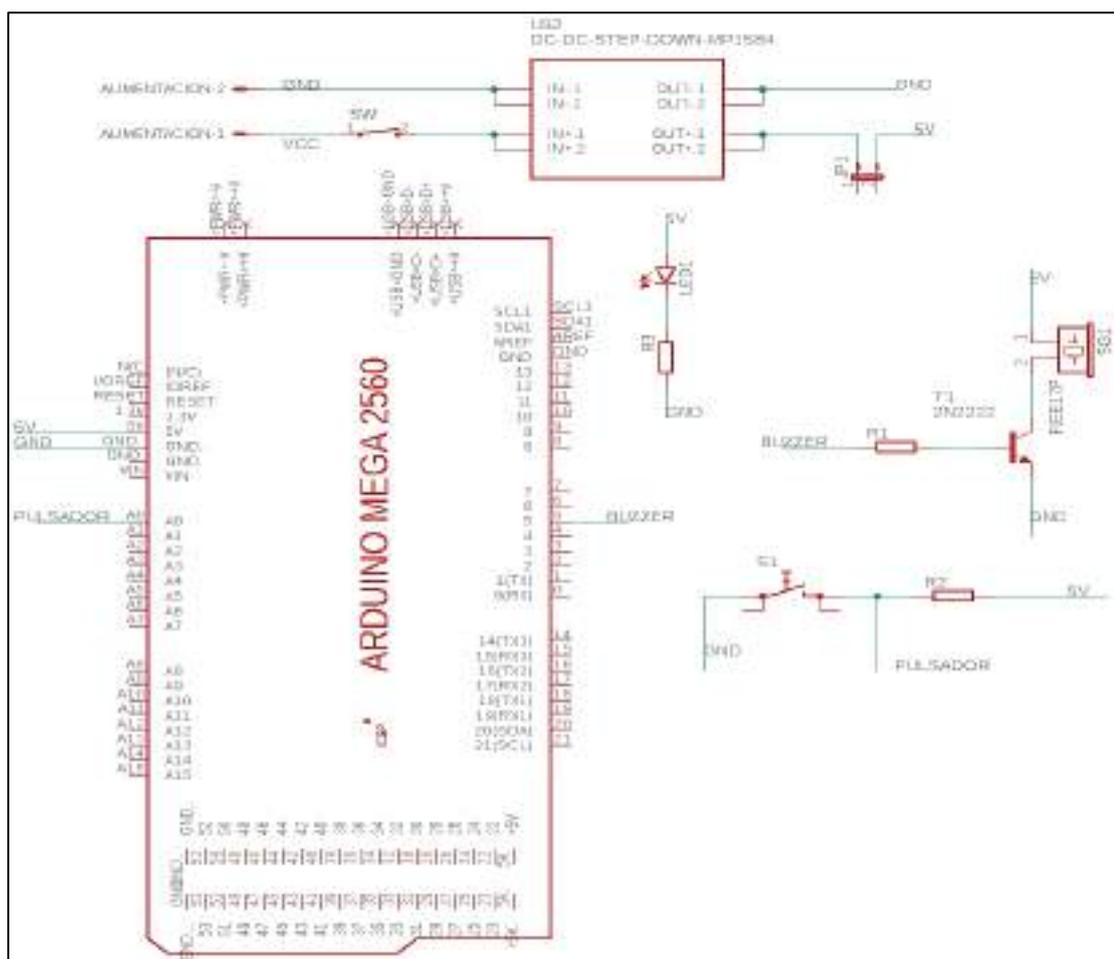


Figura 20-2: Conexión del buzzer activo y pulsador NO a Arduino MEGA 2560

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 14-2 se indica a qué terminales de la tarjeta embebida de desarrollo Arduino MEGA 2560 están conectados el buzzer y el pulsador NO.

Tabla 14-2: Conexión de terminales de Arduino MEGA 2560 con el buzzer y pulsador NO

Tarjeta Arduino MEGA 2560	Buzzer (alarma sonora)	Pulsador NO (botón de auxilio)
Terminal (5 V)	Terminal (1(5 V))	Terminal (R2) (resistencia <i>pull-up</i>)
Terminal (GND)	Terminal (2(GND)) (por activación de 2N2222A)	Terminal (GND)
Terminal (5)	Terminal (Base de 2N2222A)	
Terminal (A0)		Terminal (PULSADOR)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.7 Esquema de conexión general del nodo sensor

La figura 21-2 presenta el esquema electrónico gráfico equivalente del nodo sensor, en donde se puede apreciar la integración de todos los esquemas de conexión anteriormente descritos, como son de sensores fisiológicos, módulo de posicionamiento, botón de auxilio, alarma sonora, módulo DC/DC, batería y botón de encendido general; todos estos componentes son conectados a la tarjeta embebida Arduino MEGA 2560 por medio del módulo Dragino LoRa Shield.

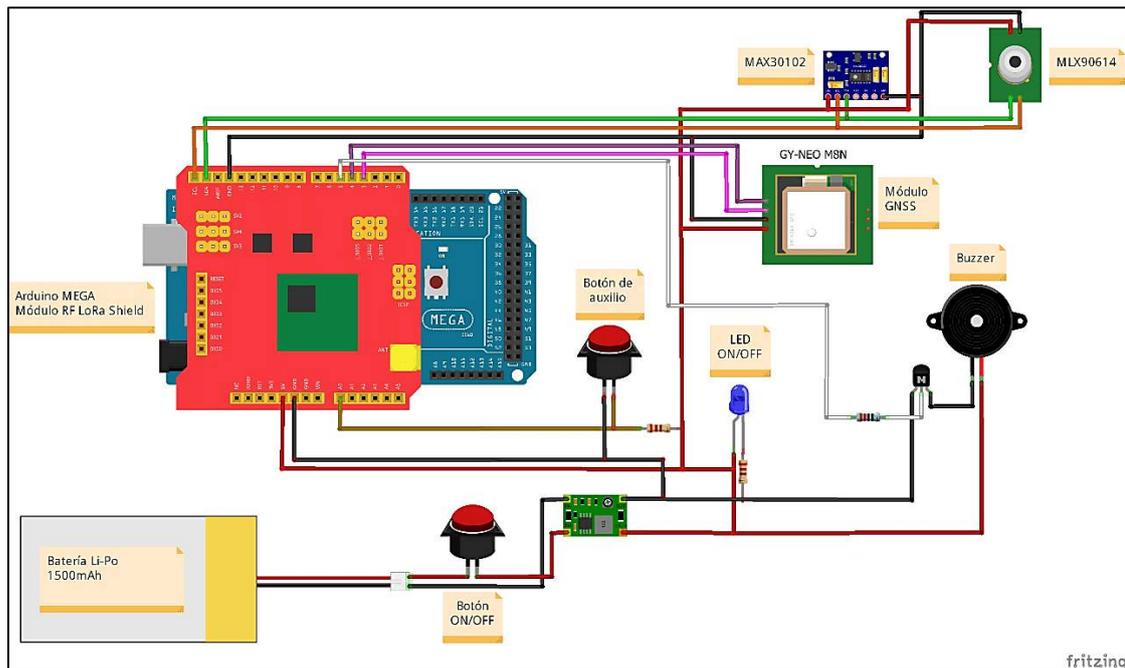


Figura 21-2: Esquema electrónico general del nodo sensor

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Luego de que se ha diseñado el sistema electrónico y seleccionado el *hardware* necesario que compone al nodo sensor, se procedió a realizar la PCB acorde a las dimensiones de cada componente electrónico para después armar sobre la tarjeta Arduino MEGA 2560 el Dragino LoRa Shield con su antena y sobre este ubicar la placa ya mencionada, el resultado de este procedimiento se puede evidenciar en la figura 22-2. Ver anexo H.



Figura 22-2: Resultado de las conexiones en la PCB

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.8 Diseño y fabricación de la estructura del nodo sensor

El diseño de la estructura del nodo sensor se realizó en el *software* de diseño asistido por computador (CAD, por su sigla en inglés) SolidWorks, para lo cual en la figura 23-2 se muestra la estructura modelada en 3D con dimensiones parciales de 91 mm x 130 mm x 50,50 mm, esta estructura aloja en su interior aquellos componentes que conforman el nodo sensor.

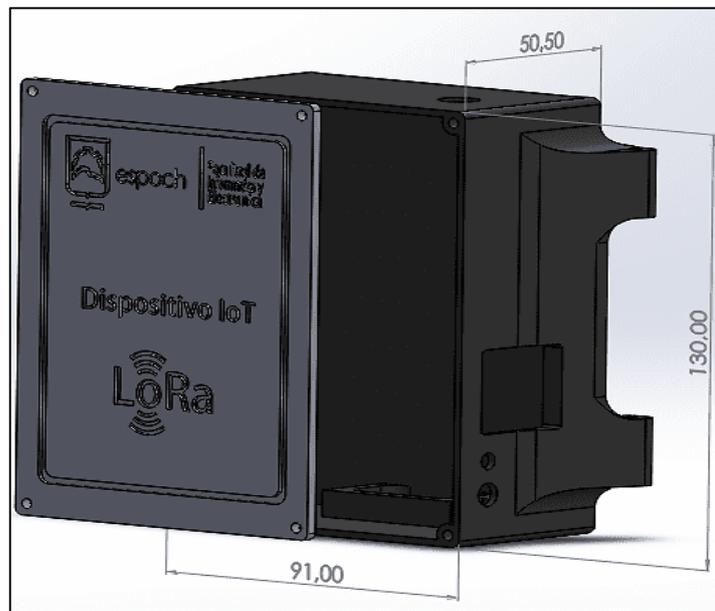


Figura 23-2: Diseño en 3D de la estructura del nodo sensor

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Debido a que los sensores fisiológicos necesitan colocarse en un lugar específico del cuerpo para poder obtener las respectivas mediciones, a partir del estudio realizado a las variables fisiológicas se determinó que la muñeca es una de las partes del cuerpo donde se puede medir dichas variables, para ello se diseñó un brazalete con dos piezas, la primera con dimensiones totales de 26 mm x 26 mm x 6 mm y la segunda con dimensiones totales de 18 mm x 26 mm x 10 mm; en las que se encuentran incorporados los sensores de frecuencia cardíaca (FC) y temperatura corporal periférica (TCP), respectivamente, como se observa en la figura 24-2. Ver anexo I.

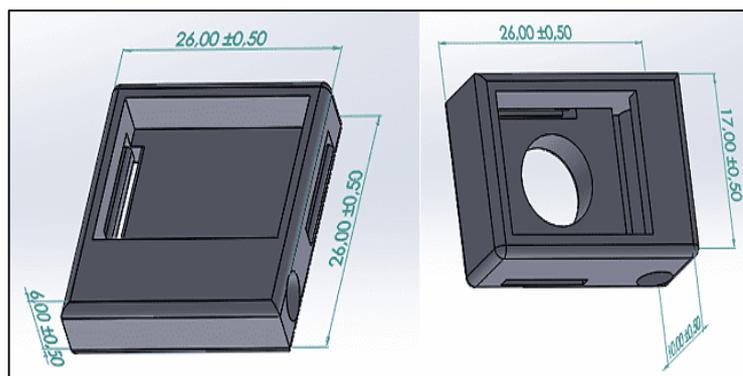


Figura 24-2: Diseño en 3D del brazalete

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la figura 25-2 se muestra el nodo sensor ya integrado la parte de *hardware* y las estructuras previamente diseñadas.



Figura 25-2: Nodo sensor

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.9 Herramientas *software* para el dispositivo IoT

Para el desarrollo del dispositivo IoT tanto para el diseño de la estructura, la programación, el servidor de red, la comunicación, visualización y almacenamiento de la información; se utilizaron 4 herramientas *software*, las cuales se detallan en los siguientes apartados.

2.9.1 *SolidWorks Premiun 2020 SP0.0*

Programa de diseño del tipo CAD que sirve para modelar piezas y realizar ensamblajes en 3 dimensiones y también planos en 2 dimensiones. Además, permite crear, diseñar, simular y gestionar aquellos datos pertenecientes al proceso de diseño (SOLIDWORKS, 2021). Para la

estructura del nodo sensor se utilizó este *software* el cual en ciertas versiones es de uso libre, facilitando el diseño, ensamblaje e impresión de la estructura de las figuras 23-2 y 24-2.

2.9.2 *Arduino IDE 1.8.15*

Es un *software* de entorno de desarrollo integrado (IDE, por su sigla en inglés) de código abierto que permite realizar la escritura de código o programación C++ para después poder cargar la información en el *hardware* Arduino (ARDUINO, 2021a). Este *software* posee numerosas librerías y funciones que son necesarias para desarrollar el algoritmo que permita la adquisición de información de los elementos que corresponden al nodo sensor.

2.9.3 *The Things Network (TTN) 3.16.0*

Es una plataforma del tipo *backend* de uso libre alojada en la nube la cual proporciona un conjunto de herramientas abiertas mismas que permiten crear aplicaciones de IoT a bajo costo con niveles de seguridad máximos en el tratamiento de la información, utiliza el protocolo de red LoRaWAN para integrar a los dispositivos a una red abierta global permitiendo de esa forma la escalabilidad de sus aplicaciones (TTN, 2017).

2.9.4 *Ubidots versión libre*

Es una plataforma web de IoT que mediante comunicación bidireccional permite enviar y recibir información de datos de sensores a la nube, emitir alertas, visualizar mapas, entre otros (UBIDOTS, 2021). Se utiliza este *software* para obtener y gestionar la información proveniente del *hardware* que compone al nodo sensor.

2.10 *Software desarrollado para el funcionamiento del dispositivo IoT*

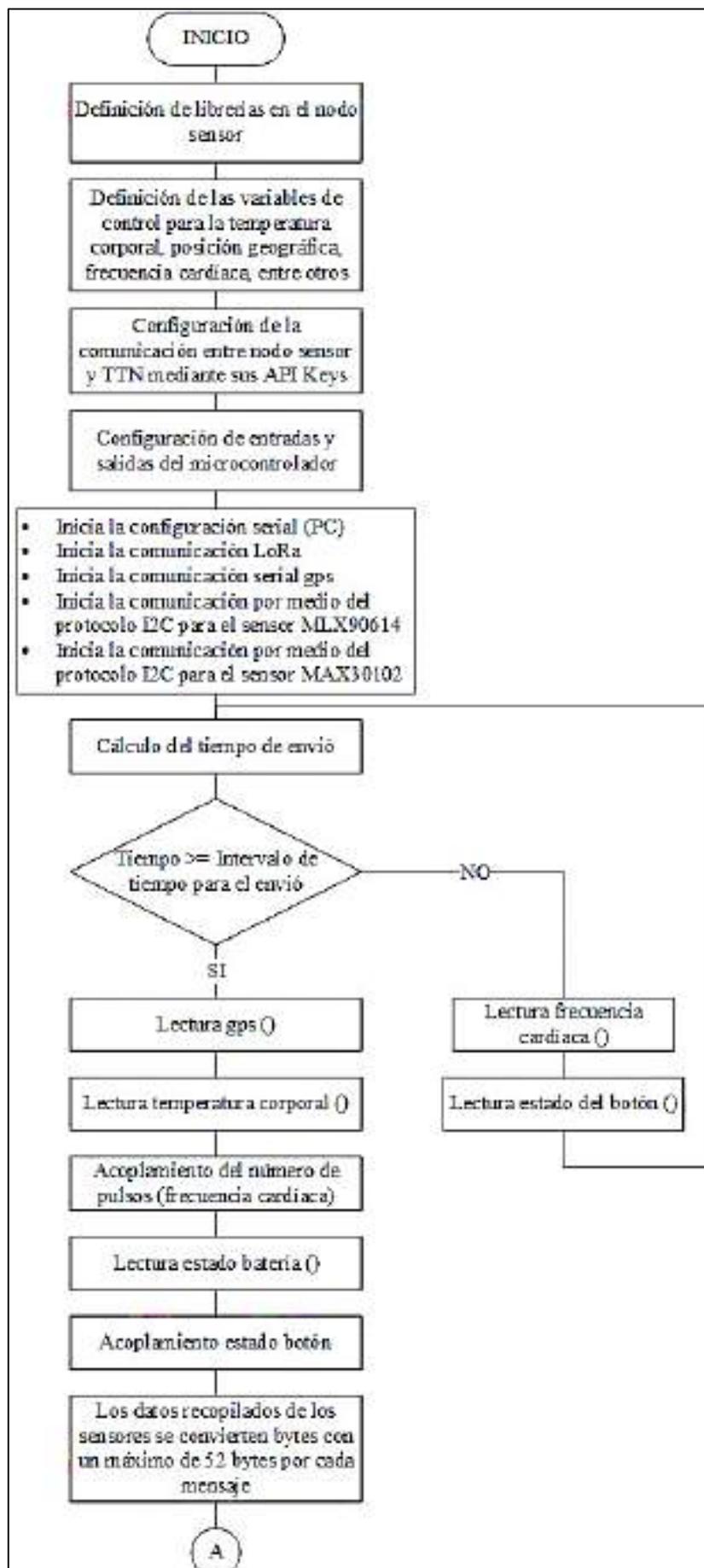
En este punto se indica el *software* de programa desarrollado el cual se representa mediante diagramas de flujo que indican los procesos que se tienen que seguir para que en la implementación del dispositivo IoT se logre alcanzar tanto los objetivos como los requerimientos de funcionamiento ya planteados, también se detallan qué librerías fueron utilizadas para cada uno de estos programas.

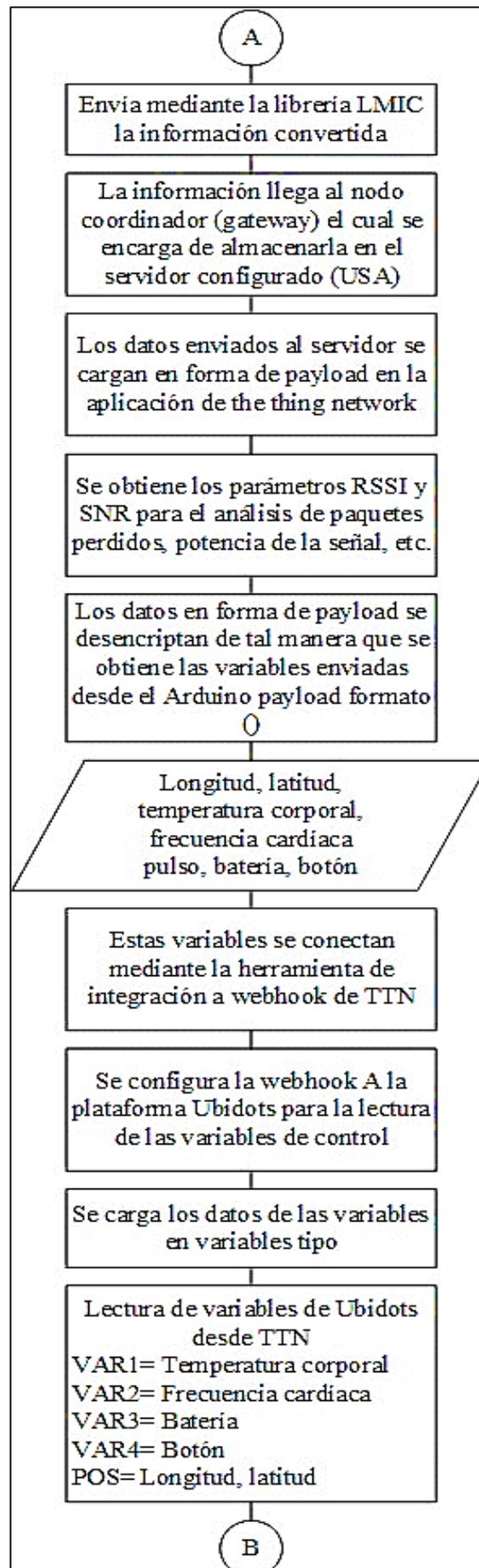
2.10.1 *Diagrama de flujo del programa general*

Este diagrama muestra el algoritmo global que se cumple alrededor de toda la concepción del dispositivo IoT anteriormente descrita, esto es desde el nodo sensor hasta la etapa de supervisión y control. A continuación se describe el algoritmo de la figura 26-2.

- Se declaran librerías y se definen las variables de control para el nodo sensor.

- Se definen las API Keys del servidor de red LoRaWAN The Things Network (TTN) para la recepción de datos del nodo sensor.
- Se configura los terminales de entradas y salidas y se configura la comunicación serial a 9600 baudios.
- Se configura la comunicación de radio LoRa para la transmisión de los datos.
- Se calcula y establece un tiempo de envío de los datos.
- Se lee la información de las variables asignadas y se convierten en un máximo de 52 *bytes* por cada mensaje a transmitirse al servidor TTN.
- La información recibida por el servidor a través del nodo coordinador se descifra y se obtiene los valores de las variables, también se obtiene los parámetros de comunicación inalámbrica como RSSI y SNR.
- Se establece el *webhook* Ubidots disponible en el servidor de red TTN para el reenvío de la información a esta plataforma web de IoT.
- Se cargan los datos en variables tipo para la lectura en Ubidots desde el servidor de red TTN.
- Se crea la aplicación respectiva en Ubidots mediante un *dashboard* en donde se crean y cargan los respectivos *widgets*.
- Se leen las variables de Ubidots y se cargan en los respectivos *widgets* conforme a la variable asociada.





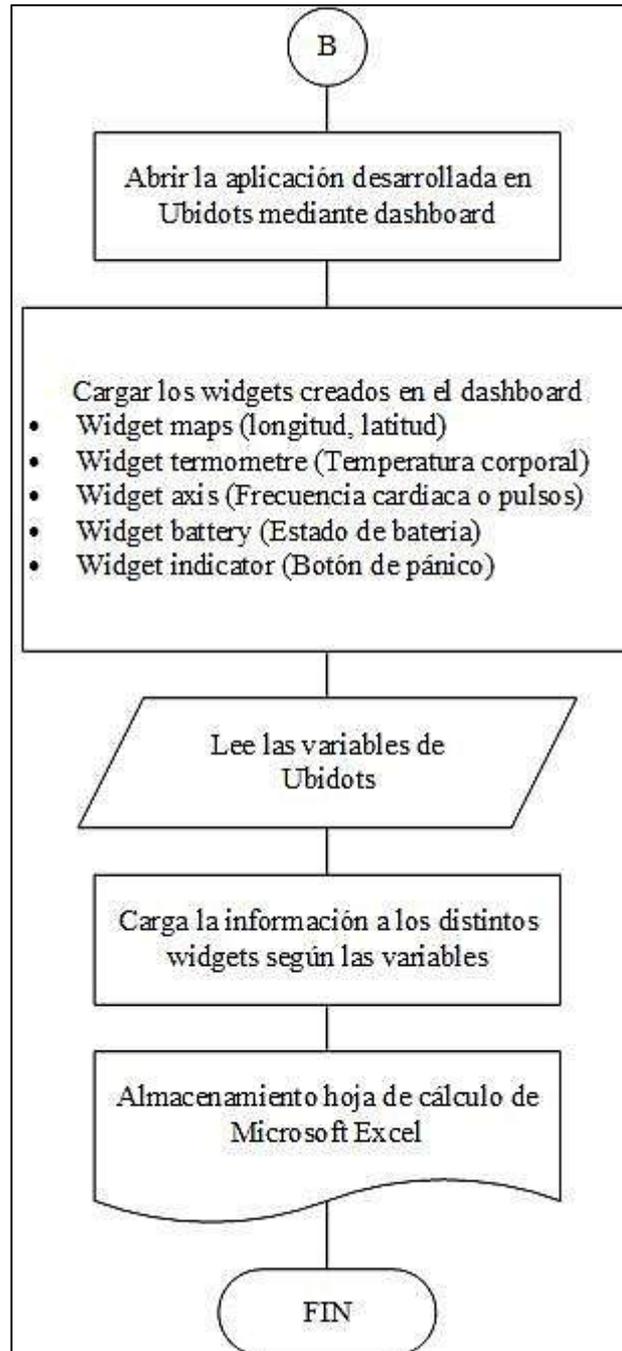


Figura 26-2: Algoritmo general del dispositivo IoT

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Para este algoritmo y a manera general de programa se hizo uso de las siguientes librerías:

- **<Imic.h>**: destinada a ser utilizada con transceptores LoRa simples (GITHUB, 2020a).
- **<hal/hal.h>**: librería perteneciente a la librería Imic, necesaria para el envío de datos por el protocolo de red LoRaWAN (GITHUB, 2020a).
- **<Wire.h>**: permite la comunicación con dispositivos que usen el protocolo I2C (ARDUINO, 2021b).

2.10.2 Diagrama de flujo del programa de posicionamiento GNSS

El programa de la figura 27-2, indica el proceso para obtener el posicionamiento del nodo sensor, en donde primero se realiza la lectura del puerto serial del módulo GNSS NEO-M8N-0-01 para después decodificar solo los datos de interés como la latitud y longitud y finalmente su acoplamiento para el envío de la información.

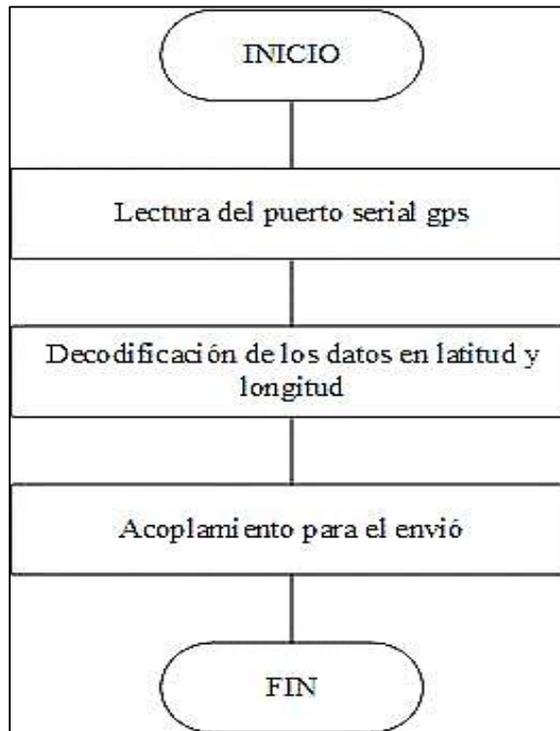


Figura 27-2: Diagrama posicionamiento GNSS

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En el *software*, para esta función se utilizaron las librerías:

- **<TinyGPS++.h>**: decodifica la información proporcionada por el módulo GNSS NEO-M8N-0-01 (GITHUB, 2020b).
- **<SoftwareSerial.h>**: usada para la administración del módulo con comunicación serial RS232 (ARDUINO, 2021c).

2.10.3 Diagrama de flujo del programa para la Temperatura Corporal Periférica (TCP)

Para la programación de esta función reflejada en la figura 28-2, se tomaron en cuenta los rangos de temperatura planteados en los requerimientos de funcionamiento del nodo sensor en comparación con los valores fuera de este rango y que indican mediciones anormales de temperatura en una persona.

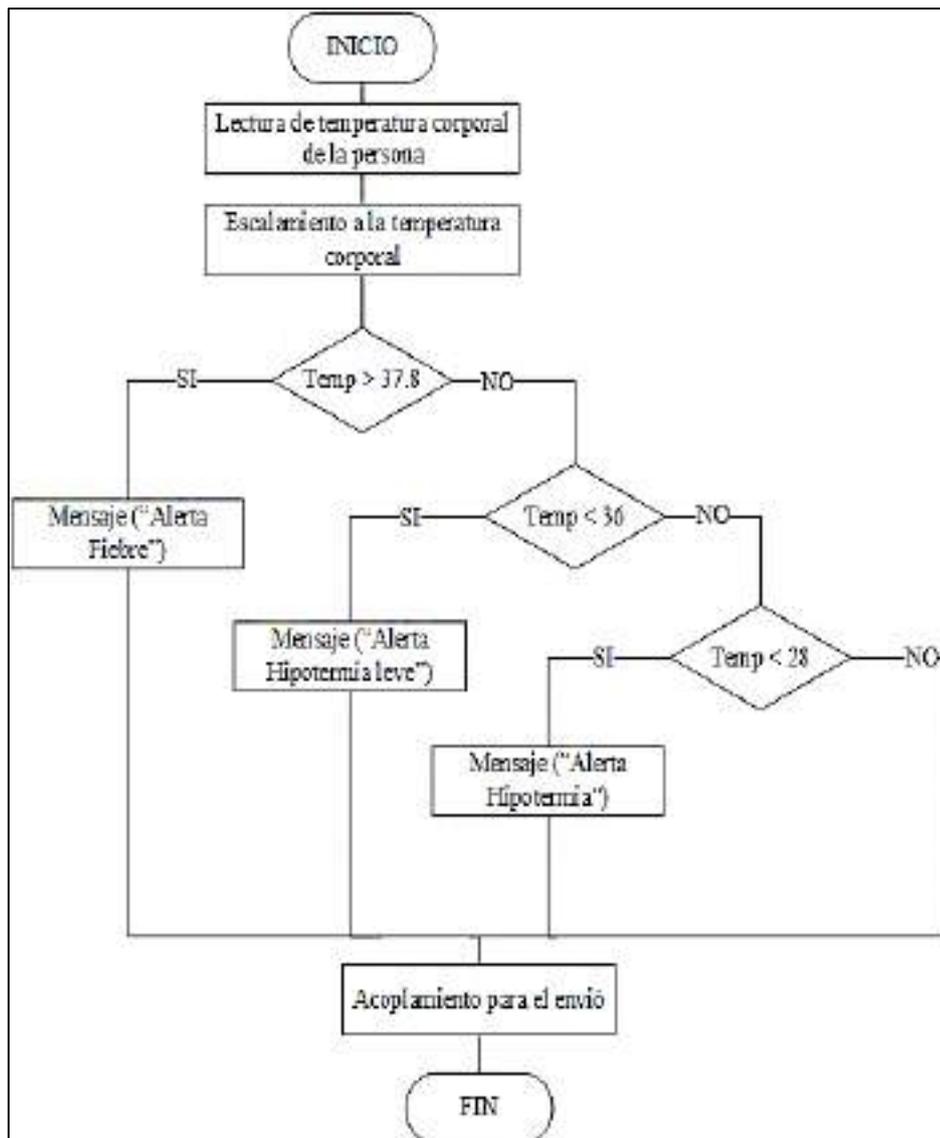


Figura 28-2: Diagrama temperatura corporal periférica (TCP)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

La librería que se utilizó para esta función y que se encarga de la comunicación del módulo de temperatura es <Adafruit_MLX90614.h> (GITHUB, 2020c).

2.10.4 Diagrama de flujo del programa para la Frecuencia Cardíaca (FC)

De la misma forma, para esta función se tomaron en cuenta los valores de medición expuestos como requerimiento para la parte de funcionamiento que tiene esta etapa, en la figura 29-2 se muestra el algoritmo que se ha programado y que mide los valores de frecuencia cardíaca, notificándose una alarma si estas mediciones no corresponden a las normales.

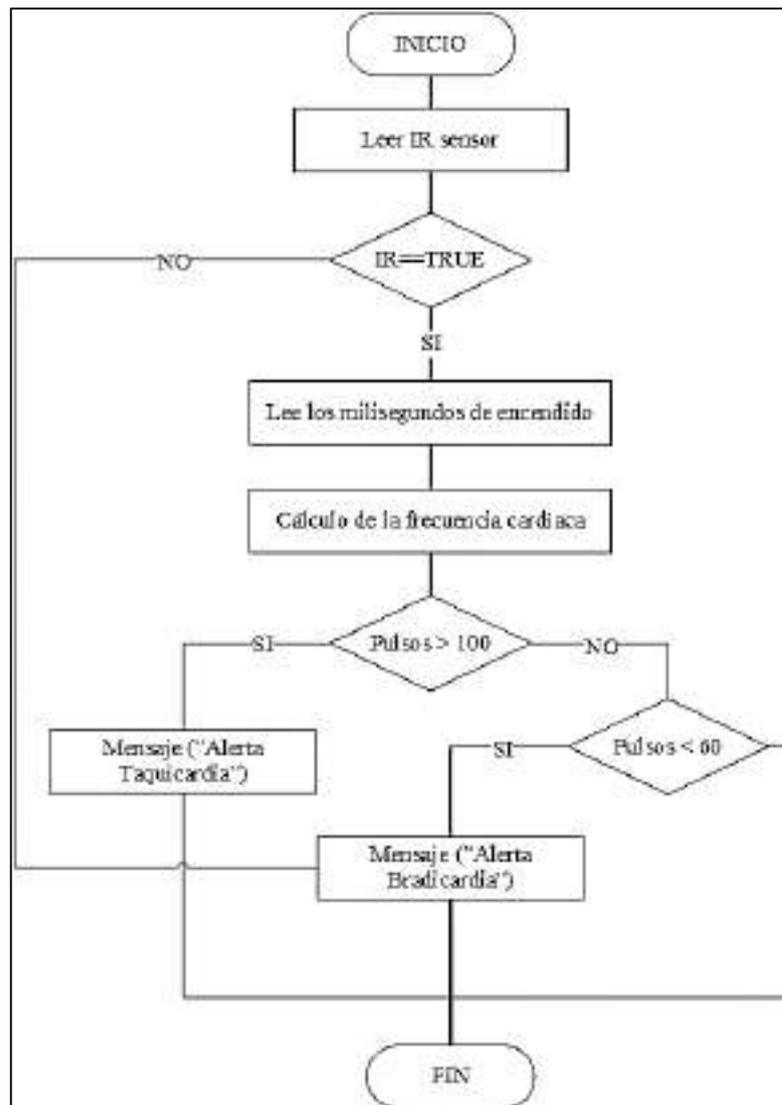


Figura 29-2: Diagrama frecuencia cardíaca (FC)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Las librerías que se usaron en este programa son:

- **“MAX30105.h”**: esta librería funciona con otros sensores de la serie MAX3010x (GITHUB, 2020d).
- **“heartRate.h”**: con un algoritmo por defecto, permite realizar el cálculo de los pulsos por minuto (CREATE ARDUINO, 2020).

2.10.5 Diagrama de flujo del programa para el botón de auxilio

En esta función del programa de la figura 30-2 se tiene un algoritmo pequeño, pero de igual de importante que el resto de las funciones, aquí se lee la terminal digital al que está conectado el pulsador NO y dependiendo de su estado se envía una alerta al centro de supervisión y control.

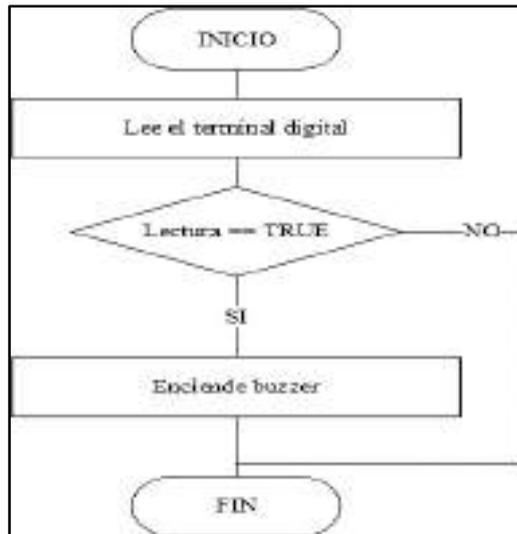


Figura 30-2: Diagrama del botón de auxilio

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.10.6 Diagrama de flujo del estado de carga de la batería

Al ser el nodo sensor portable, para su funcionamiento se necesita de su respectiva batería, la misma que debe tener un tiempo de autonomía tal que pueda funcionar por el transcurso de tiempo que una persona lo lleve consigo, es así que la función de la figura 31-2 describe una lectura del terminal analógico asignado para este efecto y mediante una transformación a valores de porcentaje se determina en qué nivel de carga se encuentra, si el nivel de lectura corresponde a valores menores al 10% se activa la alarma sonora en señal de este evento.

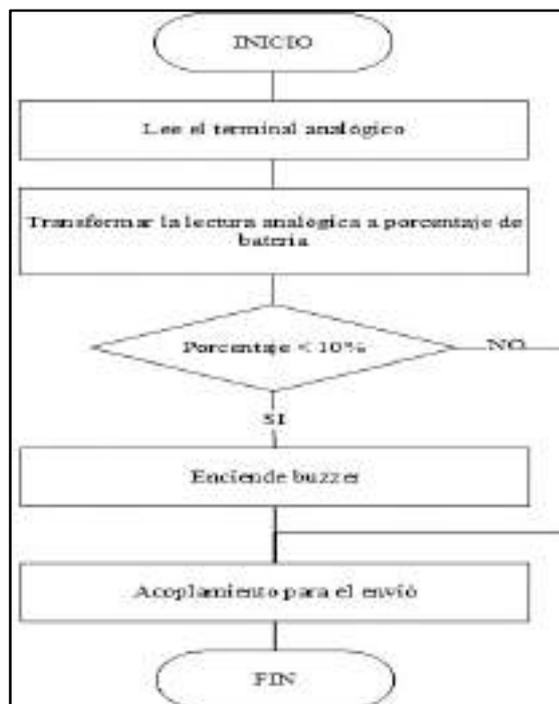


Figura 31-2: Diagrama del estado de carga de la batería

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

2.10.7 Configuración de conexión del nodo coordinador a The Things Network (TTN)

Para reflejar la información del nodo sensor en la plataforma web de IoT Ubidots, se estableció la comunicación del nodo coordinador con el servidor en la nube, específicamente con el servidor de red LoRaWAN TTN. A continuación, se detalla este procedimiento:

- Se conectó el nodo coordinador mediante Ethernet al *host* del centro de supervisión y control para obtener el acceso a Internet.
- Se ingresó la dirección IP que viene asignada para el nodo coordinador en el buscador de Internet, después se configuró la red Wi-Fi para proceder a cambiar el identificador de paquetes de servicios (SSID, por sus siglas en inglés) que trae por defecto el nodo coordinador.
- Se configuró la banda de frecuencia ISM en la que transmite la antena del nodo coordinador, en este caso US915 MHz.
- Luego se procedió a configurar el acceso del nodo coordinador al servidor de red TTN con el fin de crear una cuenta y registrar el mismo por medio del ID que proporciona el fabricante.
- Una vez registrado el nodo coordinador, se procedió a crear virtualmente la aplicación y dispositivo para el envío y recepción de datos entre el centro de supervisión y control y el nodo sensor.

Una vez creada la aplicación y el dispositivo, se obtuvo las API Keys proporcionadas por el servidor TTN, mismas que sirvieron para la programación del nodo sensor a través del *software* Arduino IDE. En la figura 32-2 se muestra el nodo coordinador configurado exitosamente para la comunicación dentro de la red.



Figura 32-2: Nodo coordinador configurado exitosamente

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

CAPÍTULO III

3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se realizaron tanto pruebas de laboratorio como de campo. Es así como en las pruebas de laboratorio se procedió a la respectiva caracterización de los sensores de TCP y FC, pruebas de posicionamiento, comunicación del sistema y autonomía energética; mientras que, en las pruebas de emplazamiento en campo, se llevaron a cabo similares procesos para la verificación del correcto funcionamiento del dispositivo IoT. También se describe los costos de cada uno de los componentes del dispositivo implementado y además se plantea un breve plan de mantenimiento preventivo y correctivo de manera general a todo el sistema.

3.1 Caracterización de sensores

El objetivo de esta prueba consistió en caracterizar aquellos elementos *hardware* de monitoreo del dispositivo IoT para ajustarlos a valores de medición confiables con la ayuda de equipos patrones proporcionados por un profesional de la salud. Estas pruebas permitieron conocer los rangos normales de TCP y FC de una persona en la que se realizó las lecturas demostrando la funcionalidad y fiabilidad del dispositivo IoT.

3.1.1 Caracterización del sensor de Temperatura Corporal Periférica (TCP)

Para este proceso se estableció como objetivo el determinar si en el proceso de diseño del dispositivo IoT fabricado no se ha incorporado un error adicional al error propio del sensor de TCP de acuerdo con la tabla 6-2. En la figura 1-3 se puede observar la prueba respectiva realizada.

El procedimiento para la caracterización de este sensor se basó en cotejar las mediciones obtenidas con los valores arrojados por un termómetro infrarrojo del tipo sin contacto el cual sirvió como equipo patrón y que se encuentra detallado en el Anexo J. Para esta prueba se ubicó el termómetro infrarrojo a 3 cm de la piel en la superficie anterior del antebrazo cercano a la muñeca y el sensor de TCP en la parte anterior de la muñeca colocado en una manilla. Las lecturas de las mediciones se realizaron cada 5 minutos por tres días presentándose valores similares en cada día de trabajo, de esta manera se recopilaban 10 muestras para su análisis.



Figura 1-3: Prueba de la obtención de medidas de la TCP

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 1-3 se presenta los datos recopilados del resultado de las mediciones realizadas con el sensor de TCP asociado al dispositivo IoT implementado. Para evaluar el error del sensor de TCP se tomó en cuenta el equipo patrón mismo que presenta un margen de error en la medición de $\pm 0,2$ °C, ver Anexo J.

Tabla 1-3: Mediciones de temperatura corporal periférica (TCP)

N°	Equipo patrón: termómetro infrarrojo (°C)	Dispositivo IoT implementado (°C)	Error Absoluto (°C)
1	36,5	36,62	0,12
2	36,6	36,5	0,1
3	36,3	36,39	0,09
4	36,4	36,23	0,17
5	36,3	36,5	0,2
6	36,6	36,71	0,11
7	36,2	36	0,2
8	36,6	36,72	0,12
9	36,3	36,2	0,1
10	36,3	36,50	0,2

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

- **Análisis:** a partir de las muestras obtenidas en la tabla 1-3, se puede evidenciar que el error absoluto máximo de las mediciones es de $0,2$ °C, por lo tanto, no superan el margen de error establecido por el sensor respectivo del dispositivo IoT implementado que es de $\pm 0,5$ °C. En conclusión, el dispositivo IoT implementado no supera al error esperado del sensor de TCP, lo que implica que no se incorporó error al sensor y se mantiene el error de $\pm 0,5$ °C. En el gráfico 1-3 se presenta los datos numéricos y gráfica correspondiente de las medidas obtenidas por este sensor.

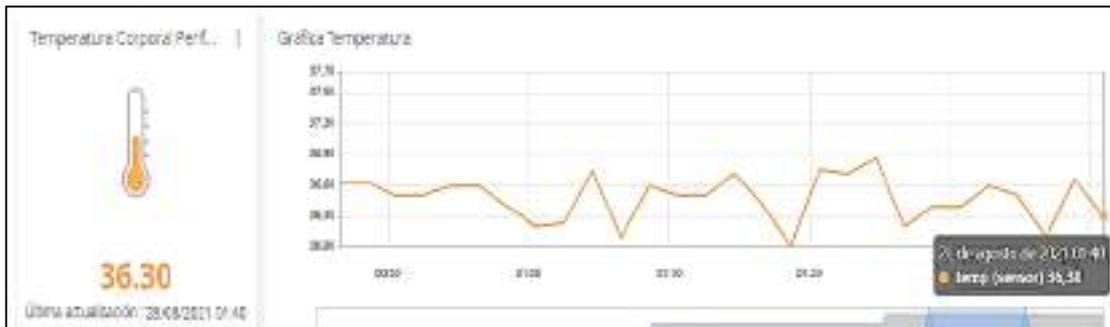


Gráfico 1-3: Datos obtenidos de la temperatura corporal periférica (TCP)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.1.2 Caracterización del sensor de Frecuencia Cardíaca (FC)

El objetivo para esta prueba fue determinar que las mediciones del sensor respectivo del dispositivo IoT fabricado, no sobrepasen al margen de error esperado del equipo patrón utilizado para esta prueba, en vista de que en la *datasheet* de este sensor no se menciona error alguno.

Para la caracterización de este sensor se utilizó un oxímetro de pulso como equipo patrón, indicado en el Anexo K, el cual sirve para obtener las medidas de las pulsaciones por minuto del corazón. La prueba aplicada consistió en colocar el dedo índice de la mano de forma no invasiva en el equipo y el sensor de FC en la zona radio cubital inferior anterior del antebrazo. En la figura 2-3 se muestra la evidencia de la prueba realizada. Las lecturas de las mediciones del funcionamiento para este sensor se realizaron cada 5 minutos por tres días presentándose valores similares en cada día de trabajo, de esta manera se recopilaron 10 muestras para su análisis.



Figura 2-3: Prueba de la obtención de medidas de la FC

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 2-3 se presenta los datos recopilados de las mediciones realizadas con el sensor de FC asociado al dispositivo IoT implementado, este elemento *hardware* al no presentar error alguno de acuerdo con el Anexo G, se procedió a evaluar su funcionamiento con el apoyo del equipo patrón correspondiente, mismo que presenta un margen de error de 2 p. p. m., ver Anexo K.

Tabla 2-3: Mediciones de frecuencia cardíaca (FC)

N°	Equipo patrón: oxímetro de pulso (p. p. m.)	Dispositivo IoT implementado (p. p. m.)	Error Absoluto (p. p. m.)
1	77	78	1
2	85	86	1
3	73	74	1
4	78	79	1
5	71	70	1
6	78	78	0
7	77	79	2
8	77	78	1
9	85	87	2
10	80	78	2

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

- **Análisis:** a partir de las muestras obtenidas en la tabla 2-3, se analiza que el error absoluto máximo de estas es de 2 p. p. m., por lo tanto, se presenta un error similar al margen de error establecido por el equipo patrón. En conclusión, el sensor del dispositivo IoT implementado no sobrepasa al error esperado del equipo patrón que es de 2 p. p. m., lo que implica que la medición del dispositivo IoT implementado es aceptable. En el gráfico 2-3 se presenta los datos numéricos y gráfica correspondiente de las medidas obtenidas por el sensor de FC.

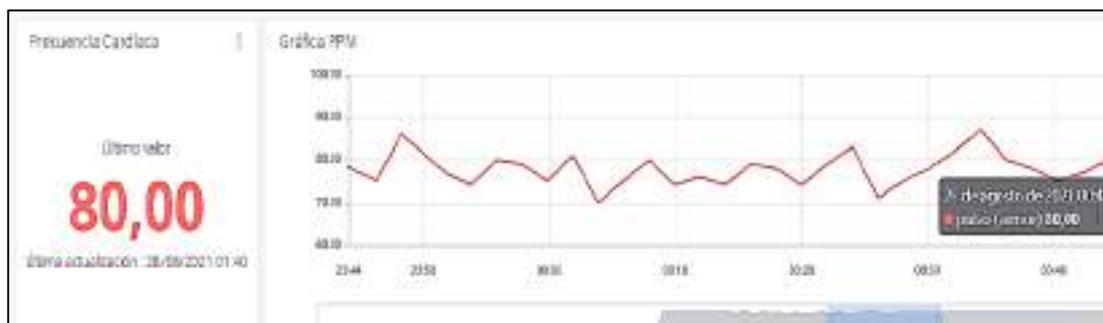


Gráfico 2-3: Datos obtenidos de la frecuencia cardíaca (FC)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.2 Prueba de posicionamiento

El objetivo fue determinar si el sistema de posicionamiento del dispositivo IoT fabricado mantiene el error propio del módulo respectivo utilizado para este caso.

Para la prueba de posicionamiento se utilizó la aplicación móvil denominada ViewRanger en su versión 10.11.56 como equipo patrón, dicha aplicación es manejada por el personal encargado de la RPFCH y se debe tener en consideración que prescinde de la conexión a Internet en su

funcionamiento, por lo que previo a su utilización se debe cargar la información geográfica del sitio en el que se la vaya a usar. Las lecturas de las mediciones del funcionamiento del módulo del dispositivo IoT se realizaron a una distancia de 100 metros aproximadamente. Los datos fueron adquiridos en coordenadas longitud/latitud (decimal) recopilándose así 10 muestras para su análisis. En la figura 3-3 se puede observar la prueba de posicionamiento realizada.

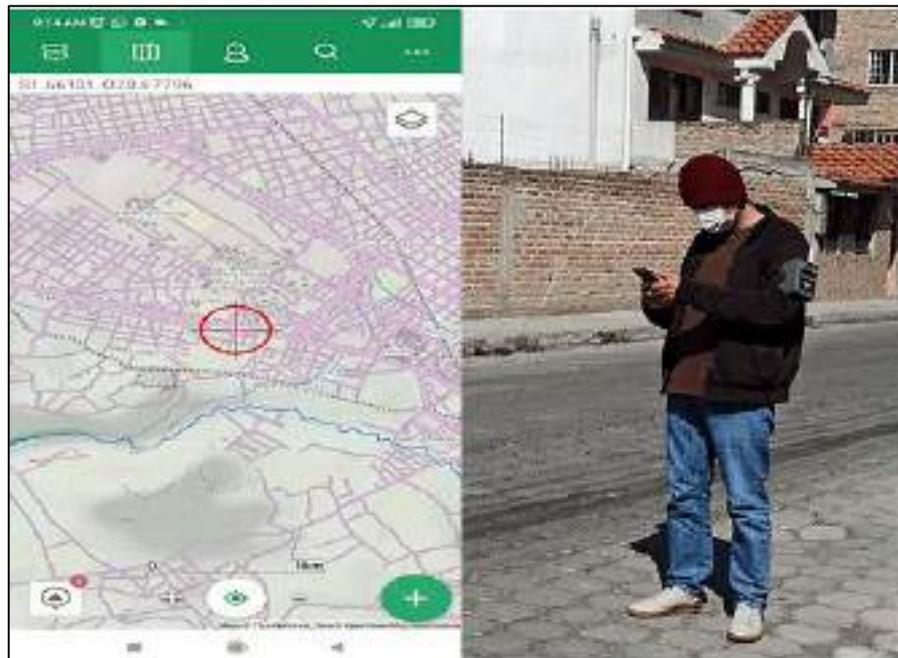


Figura 3-3: Prueba de posicionamiento del dispositivo IoT

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la tabla 3-3 se presenta los datos recopilados del resultado de las mediciones realizadas con el módulo GNSS NEO-M8N-0-01 asociado al dispositivo IoT implementado, dicho elemento *hardware* presenta un margen de error de 2,5 m como se indica en la tabla 4-2.

Tabla 3-3: Coordenadas del sistema de geolocalización

N°	Equipo Patrón: aplicación ViewRanger		Dispositivo IoT implementado		Margen de error (m)
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
1	-1,661308	-78,677963	-1,661324	-78,677958	1,9
2	-1,661074	-78,677899	-1,661082	-78,677889	1,4
3	-1,660101	-78,681273	-1,660113	-78,681262	1,8
4	-1,658426	-78,687174	-1,658440	-78,687165	1,9
5	-1,656482	-78,693262	-1,656490	-78,693275	1,7
6	-1,656171	-78,694163	-1,656157	-78,694175	2,1
7	-1,656152	-78,694336	-1,656146	-78,694322	1,7
8	-1,654428	-78,693882	-1,654412	-78,693871	2,2
9	-1,654221	-78,693660	-1,654240	-78,693657	2,1
10	-1,651871	-78,691767	-1,651861	-78,691749	2,3

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

- **Análisis:** a partir de la prueba realizada en la tabla 3-3 se analizó que el margen de error máximo de una muestra tomada por el módulo de geolocalización del dispositivo IoT implementado es de 2,3 m; por lo tanto, no se supera los 2,5 m que es el margen de error establecido para este módulo. En conclusión, el dispositivo IoT implementado no incluye error al módulo de geolocalización.

3.3 Pruebas de comunicación e integridad de la información

En comunicaciones inalámbricas, lo que determina si una señal de radiocomunicación establece o no conexión satisfactoria con un equipo terminal son, por una parte, el parámetro que indica si una señal radioeléctrica posee o no ruido en el trayecto de su viaje por el espacio libre o SNR, y por otra parte, el indicador que indica con cuanta fuerza una señal es receptada, denominado RSSI (RINCÓN, y otros, 2020 págs. 13-14).

El indicador de intensidad recibida es en realidad la potencia o fuerza con la que una señal es recibida, se mide en dBm. Cuando el nivel del RSSI toma el valor de 0, esto equivale a 1mW dando lugar a una señal ideal, y cuando el nivel del RSSI es de -120 dBm, se considera como un valor de señal débil (GONZÁLEZ, 2019 págs. 65-66). En la figura 4-3 se muestra el rango de valores pertenecientes a una señal ideal y débil de RSSI.



Figura 4-3: Rango de valores de señal RSSI

Fuente: (GONZÁLEZ, 2019 pág. 65)

La relación de señal ruido, es la relación de la potencia de la señal recibida y el nivel de potencia de ruido, se mide en dB. Cuando la señal recibida de SNR es mayor a 0, se dice que se opera por encima del nivel de ruido, y si la señal recibida de SNR es menor a 0, se dice que se opera por debajo del nivel de ruido, considerando que el nivel de ruido es el límite de sensibilidad y que LoRa opera por debajo de dicho nivel, en la figura 5-3 se muestra los valores en dB en los que LoRa trabaja (GONZÁLEZ, 2019 págs. 65-66).



Figura 5-3: Rango de valores de señal SNR

Fuente: (GONZÁLEZ, 2019 pág. 66)

Con esta información previa, se planteó como objetivo de esta prueba determinar si existe comunicación a 2 km de distancia entre el nodo sensor y nodo coordinador en una zona urbana.

El procedimiento por seguir consistió en obtener datos de la transmisión y recepción de la información, para lo cual se tomó en cuenta los indicadores de señal que LoRa utiliza al momento de establecer comunicación entre los elementos *hardware* y *software* que integran su arquitectura, como lo son los parámetros de SNR y RSSI. De la misma manera se consideraron 10 muestras a varias distancias del nodo coordinador, teniendo en cuenta la sensibilidad del nodo sensor que ronda los -148 dBm y del nodo coordinador con un nivel de -140 dBm de sensibilidad. En la figura 6-3 se muestra la instalación del nodo coordinador en las coordenadas geográficas -1,6618618; -78,6788352.



Figura 6-3: Instalación del nodo coordinador en zona urbana

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la figura 7-3 se muestra la ruta que se siguió para realizar esta prueba, dicha ruta se graficó en el *software* de información geográfica Google Earth en su versión 9.150.0.2.

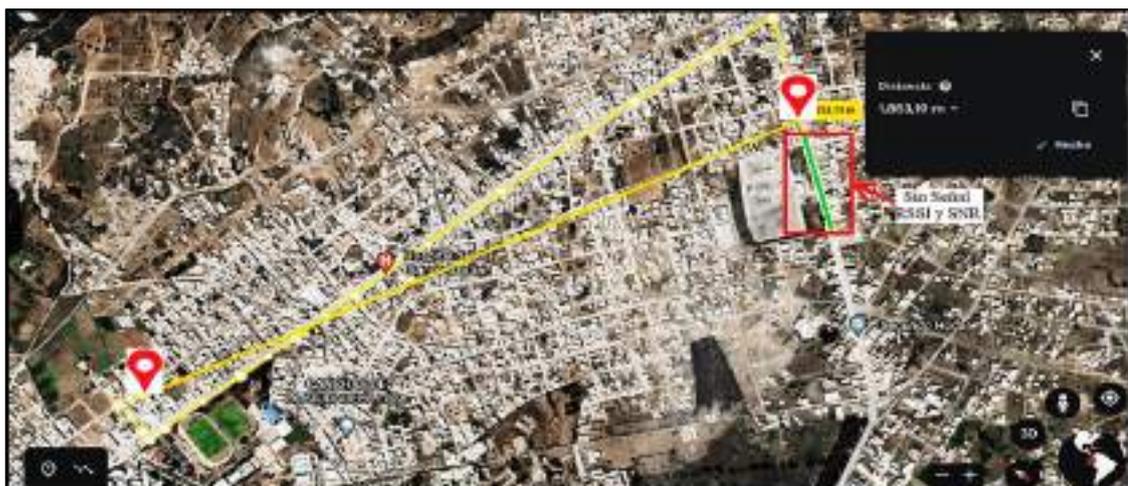


Figura 7-3: Ruta para la prueba de comunicación en una zona urbana

Realizado por Benavides L, Cárdenas B, 2021.

En la tabla 4-3 se muestran los resultados obtenidos de la ruta seleccionada en donde se evidencia que los valores de SNR y RSSI varían debido a que en la zona urbana se presentaron diversos

obstáculos como edificaciones e irregularidades propias del terreno que interrumpieron y empobrecieron la comunicación de la señal y por ende la integridad de la información con la entrega de los paquetes de datos entre los dos nodos involucrados, logrando así alcanzar una distancia de comunicación de 1,85 km como se muestra en la figura 7-3. En conclusión, se comprueba la teoría de que la tecnología LoRa puede establecer comunicación en una zona urbana alcanzando una distancia aproximada de 2 km.

Tabla 4-3: Datos de indicadores de señal de radio enlace SNR y RSSI

N°	Ubicación del nodo coordinador		Ubicación del nodo sensor		SNR (dB)	RSSI (dBm)	Distancia (m)
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			
1	-1,6618618	-78,6788352	-1,661324	-78,677958	9	-103	114,4
2	-1,6618618	-78,6788352	-1,661082	-78,677889	8,2	-93	136,3
3	-1,6618618	-78,6788352	-1,660113	-78,681262	5,3	-109	332,6
4	-1,6618618	-78,6788352	-1,658440	-78,687165	0,5	-113	1 001,3
5	-1,6618618	-78,6788352	-1,656490	-78,693275	-3,2	-115	1 713
6	-1,6618618	-78,6788352	-1,656157	-78,694175	-5,3	-118	1 819,7
7	-1,6618618	-78,6788352	-1,656146	-78,694322	-8,5	-120	1 835,4
8	-1,6618618	-78,6788352	-1,654412	-78,693871	-11,6	-123	1 843,6
9	-1,6618618	-78,6788352	-1,654240	-78,693657	-12	-126	1 853,2
10	-1,6618618	-78,6788352	-1,651861	-78,691749	----	----	1 866,2

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Los datos de la tabla 4-3 detallan los valores obtenidos de RSSI a diferentes distancias del nodo coordinador, y en el gráfico 3-3 se observa la señal de radio enlace RSSI vs. distancia. Por lo tanto, a mayor distancia que se encuentre el nodo sensor del nodo coordinador, la señal RSSI recibida se va haciendo más débil llegando en este caso a un nivel límite de -126 dBm y por ende a la pérdida en la recepción de la información.

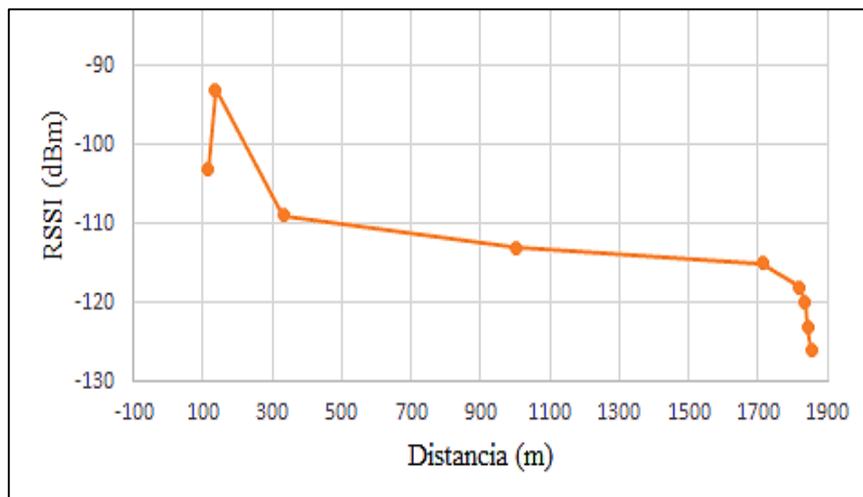


Gráfico 3-3: Datos de la señal de radio enlace RSSI vs. Distancia

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En cambio, los resultados de SNR vs. distancia de la tabla 4-3 se presentan en el gráfico 4-3, por lo tanto, se puede determinar que la distancia máxima de comunicación con entrega de paquetes de información sin pérdida de datos se dio a 1,85 km. Se concluye que a menor distancia que se encuentre el nodo sensor del nodo coordinador, la señal es menos corrompida y caso contrario la señal es más corrompida, es decir, con mayor nivel de ruido y en consecuencia a la pérdida de la información. Finalmente, se concluye que el dispositivo IoT implementado mantiene la característica de comunicación de la tecnología LoRa en un ambiente urbano mediante el análisis de sus parámetros de señal RSSI y SNR cuyos valores de operación se describieron brevemente en las figuras 4-3 y 5-3.

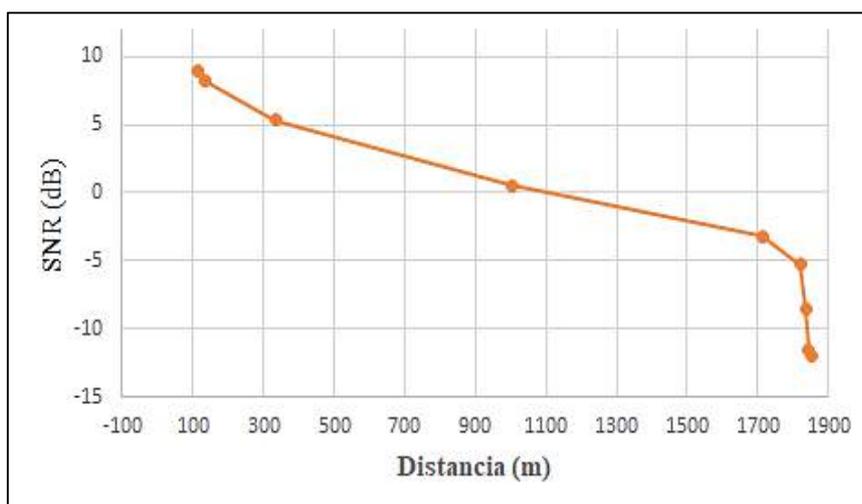


Gráfico 4-3: Datos de la señal de radio enlace SNR vs. Distancia

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.4 Implementación del dispositivo IoT en la RPFCH

Como se muestra en el Anexo L, para poder realizar la implementación del dispositivo IoT se solicitó la autorización correspondiente de las instalaciones de la RPFCH a los funcionarios encargados. En los apartados siguientes, se presentan las pruebas y los resultados que se obtuvieron al momento de poner en funcionamiento el dispositivo IoT en campo, para lo cual el nodo coordinador se ubicó en un punto geográfico tal que la comunicación de extremo a extremo pueda tener salida a Internet, en la tabla 6-3 se muestra con mayor detalle los datos de ubicación del nodo coordinador.

Tabla 5-3: Información de ubicación del dispositivo IoT

Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Parroquia	San Juan
Zona turística	RPFCH
Altura	4 350 m s. n. m.
Coordenadas geográficas	-1,498116, -78,874645

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En la figura 8-3, se puede apreciar la geografía de la información de la tabla antes expuesta, específicamente en el Centro de Servicios Turísticos El Arenal - RPFCH.



Figura 8-3: Ubicación geográfica nodo coordinador

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Una vez en el sitio, el nodo coordinador se instaló en la torre de telecomunicaciones del tipo arriostrada de la RPFCH, a una altura de 25 metros respecto del suelo como se indica en la figura 9-3, por consiguiente, este nodo se configuró para que pueda acceder a la nube mediante Ethernet.



Figura 9-3: Nodo coordinador instalado

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Posteriormente, se procedió a colocar el nodo sensor en el personal de la RPFCH, indicando previamente las características de funcionamiento de este, esto con el objetivo de obtener los datos de los requerimientos planteados en el Capítulo II. En la figura 10-3 se muestra el uso del nodo por un guardaparque de la reserva.



Figura 10-3: Nodo sensor instalado

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En lo referente a las pruebas de funcionamiento del dispositivo IoT implementado en este sitio, estas se dividieron en 8 pruebas las cuales se detallan a continuación:

3.4.1 Zona de cobertura de la red LoRa desplegada

Una vez implementado los elementos *hardware* que intervienen en la comunicación del dispositivo IoT, se estableció como objetivo el de determinar el mapa de la cobertura de la red LoRa desplegada mediante el uso del *software* AirLink Networks versión 1.6.1. Este programa basa su funcionamiento en el relieve del terreno a ser analizado, esto es de gran ayuda al momento de establecer un enlace inalámbrico sin el riesgo de saber si se tendrá o no línea de vista (CIUDAD WISP, 2017).

Para simular la red en el programa, se tuvo que ingresar información referente al nodo coordinador como: coordenadas geográficas de ubicación, instalación a una altura de 25 m, antena omnidireccional con ganancia de 30 dBi, potencia de salida de 27 dBm y una sensibilidad de -

140 dBm tal como lo indica la hoja de datos técnicos del Anexo A. En tanto que para el nodo sensor los datos ingresados al programa fueron: coordenadas geográficas de destino de las rutas establecidas, instalación a 1,5 m de altura, antena omnidireccional con ganancia de 9 dBi con potencia de salida de 20 dBm y una sensibilidad de -148 dBm, esto de acuerdo con la hoja de datos del Anexo B.

Luego de ingresados estos datos al programa de simulación, en la figura 11-3 se indica la zona de cobertura de la red LoRa en donde el nodo sensor puede establecer comunicación con el nodo coordinador.

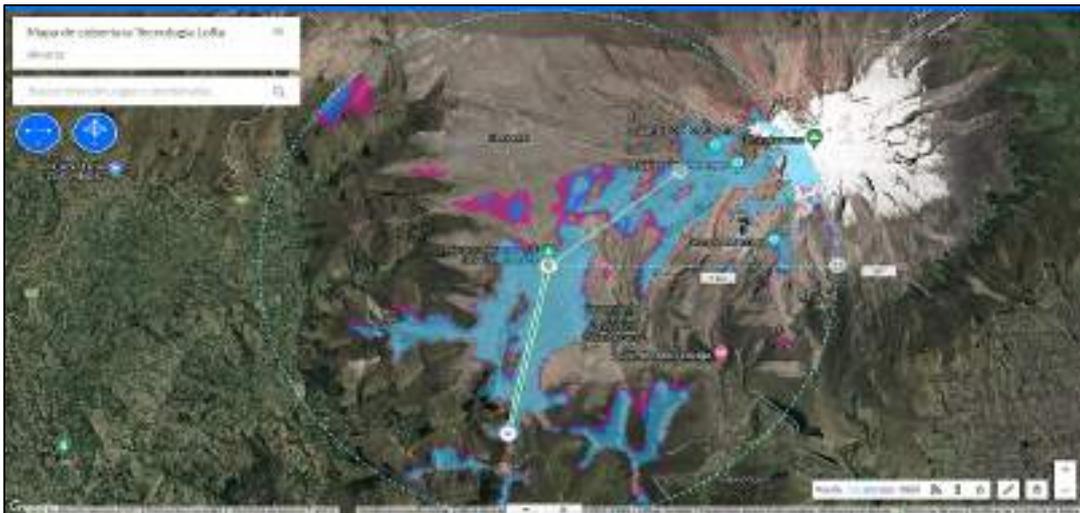


Figura 11-3: Zona de cobertura del dispositivo IoT

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Las zonas en color celeste de la figura 11-3 indica que existe fuerte señal de cobertura para las zonas específicas a cubrirse determinadas en el Capítulo I, en valores de -45 dBm de intensidad de señal, el programa arroja este mapa de acuerdo con los datos de transmisión inalámbrica que posee cada elemento de la red. En conclusión, se determina mediante simulación que en el mapa de cobertura obtenido existe señal de radio LoRa para un radio de cobertura de 7 km abarcando las rutas previamente establecidas.

3.4.2 Enlace de comunicación ruta bosque *Polylepis*

En la tabla 7-3 se detallan los datos obtenidos de la ruta al bosque *Polylepis* en la RPFCH, en donde se consideraron 10 muestras a distancias aleatorias del nodo coordinador. Estas pruebas se llevaron a cabo con el objetivo de determinar si existe comunicación entre el nodo sensor y nodo coordinador hasta llegar al bosque *Polylepis*. Debido a que es una zona rural y presenta pocos obstáculos, el nodo coordinador envía la señal de cobertura hacia el nodo sensor a una distancia de 4,17 km. Al realizar esta prueba se comprobó que la cobertura para la ruta antes señalada está dentro del límite teórico que otorga la tecnología LoRa para zonas rurales.

Tabla 6-3: Datos de señal de radio enlace SNR y RSSI, ruta bosque *Polylepis*

N°	Ubicación del nodo coordinador		Ubicación del nodo Sensor		SNR (dB)	RSSI (dBm)	Distancia (m)
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			
1	-1,49815	-78,87468	-1,498891	-78,875123	9,20	-87	96
2	-1,49815	-78,87468	-1,499890	-78,875891	9,80	-89	235,8
3	-1,49815	-78,87468	-1,505284	-78,876331	8,50	-99	814,4
4	-1,49815	-78,87468	-1,514199	-78,876220	5,50	-110	1 793,3
5	-1,49815	-78,87468	-1,517479	-78,876235	3,50	-112	2 156,8
6	-1,49815	-78,87468	-1,519303	-78,876351	9,20	-109	2 360,1
7	-1,49815	-78,87468	-1,520465	-78,876007	-3,20	-120	2 486,4
8	-1,49815	-78,87468	-1,528675	-78,877807	8,50	-107	3 412,9
9	-1,49815	-78,87468	-1,532042	-78,880928	5,80	-113	3 833,2
10	-1,49815	-78,87468	-1,535109	-78,881256	6,20	-107	4 175,3

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

La señal de radio enlace RSSI vs. distancia se muestra en el gráfico 5-3, en donde es notorio que a medida que se aleja el nodo sensor del nodo coordinador en la ruta establecida, la intensidad de la señal de comunicación recibida por el nodo coordinador decae hasta un valor de -120 dBm, considerando este nivel de señal bajo según el rango de valores establecido por LoRa referente a RSSI (véase la figura 4-3), cabe señalar que este comportamiento en la comunicación se ve compensado en parte por el alto nivel de sensibilidad en la recepción de la señal por parte de las antenas del *hardware* comprometido en esta comunicación. Se evidenció el uso de la técnica de la tasa adaptativa de datos (ADR), por lo que los paquetes de información se presentaron en la plataforma web Ubidots y en donde el tiempo en la transmisión fue más prolongado al llegar estos paquetes de datos al servidor de red TTN. Con esto se concluye que se establece enlace comunicación en dicha ruta logrando presentarse los datos en la plataforma web de IoT Ubidots.

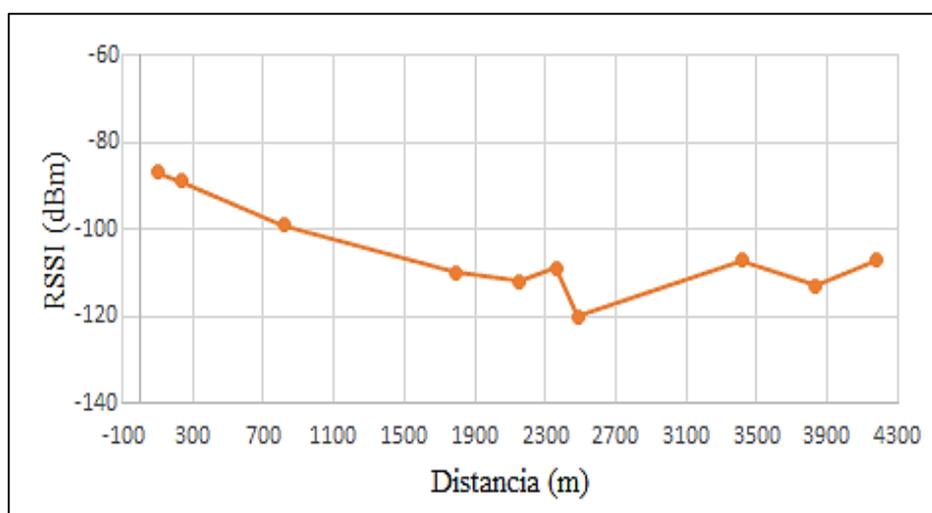


Gráfico 5-3: Datos de radio enlace RSSI vs. Distancia, ruta bosque *Polylepis*

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En cuanto al ruido en la señal recibida para esta ruta y de acuerdo con el gráfico 6-3, se determinó que el comportamiento de este parámetro de comunicación va en concordancia con el gráfico 5-3, puesto que como es de esperarse a mayor distancia en establecer la comunicación, el SNR trabaja a un nivel de ruido mayor. Por lo tanto, para una distancia de 2,36 km con respecto al nodo coordinador el sistema de comunicación trabaja sin nivel de ruido considerable, pero al aumentar esta distancia la señal va adquiriendo un nivel de ruido de -3,20 dB a una distancia de 2,48 km debido a la presencia de obstáculos en la ruta, al continuar el recorrido la señal se recupera hasta un valor de 6,20 dB a una distancia de 4,17 km. Se concluye que se establece enlace comunicación en la ruta seleccionada logrando presentarse los datos en la plataforma web de IoT Ubidots.



Gráfico 6-3: Datos de radio enlace SNR vs. Distancia, ruta bosque *Polylepsis*

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.4.3 Enlace de comunicación ruta a los refugios

Los refugios fue la otra ruta seleccionada para determinar enlace de comunicación entre el nodo sensor y el nodo coordinador, en la tabla 8-3 se visualiza los datos de las 10 muestras adquiridas aleatoriamente. Estas pruebas se llevaron a cabo con el objetivo de determinar si existe comunicación entre el nodo sensor y nodo coordinador hasta los refugios. Debido a que es una zona rural y en diferentes puntos de geolocalización de la ruta se presentan diversos obstáculos, el nodo sensor recibió la señal de cobertura a una distancia de 4,07 km del nodo coordinador. Al realizar esta prueba se comprobó que la cobertura de señal para la ruta mencionada refleja una comunicación favorable hasta la llegada al primer refugio denominado Carrel, en tanto que para el segundo refugio denominado Whympor, no se recepta señal de cobertura LoRa y por ende no se establece la comunicación entre los nodos.

Tabla 7-3: Datos de señal de radio enlace SNR y RSSI, ruta los refugios

N°	Ubicación del Nodo Coordinador		Ubicación del Nodo Sensor		SNR (dB)	RSSI (dBm)	Distancia (m)
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud			
1	-1,49815	-78,87468	-1,497538	-78,871180	9,8	-95	395,1
2	-1,49815	-78,87468	-1,497689	-78,866828	0,8	-118	874,6
3	-1,49815	-78,87468	-1,483506	-78,865779	-9	-130	1 905,9
4	-1,49815	-78,87468	-1,484236	-78,861728	-4,5	-124	2 114
5	-1,49815	-78,87468	-1,482765	-78,859129	6	-111	2 432,7
6	-1,49815	-78,87468	-1,480194	-78,859626	1,5	-115	2 605,8
7	-1,49815	-78,87468	-1,478593	-78,858035	9,5	-103	2 856
8	-1,49815	-78,87468	-1,479151	-78,856787	-9,2	-130	2 902,4
9	-1,49815	-78,87468	-1,473604	-78,849574	0,5	-114	3 904,6
10	-1,49815	-78,87468	-1,474241	-78,846924	-2,8	-122	4 073,9

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En el gráfico 7-3 se indica la señal de radio enlace RSSI vs. distancia, se determinó que a medida que se aleja el nodo sensor del nodo coordinador en la ruta establecida y dependiendo de los obstáculos que se presentan, la intensidad de la señal de comunicación recibida por el nodo coordinador decae hasta un valor de -130 dBm, en donde este valor según LoRa se considera un nivel de señal bajo. El tiempo empleado en la transmisión del *payload* de información fue más prolongado en comparación a la ruta del bosque *Polylepis*, esto debido a que no se conseguía línea de vista en un 100% con el nodo coordinador. Por lo tanto, se concluye que, si existe cobertura de comunicación en dicha ruta, alcanzando hasta 4,07 km debido a la geografía propia del lugar.

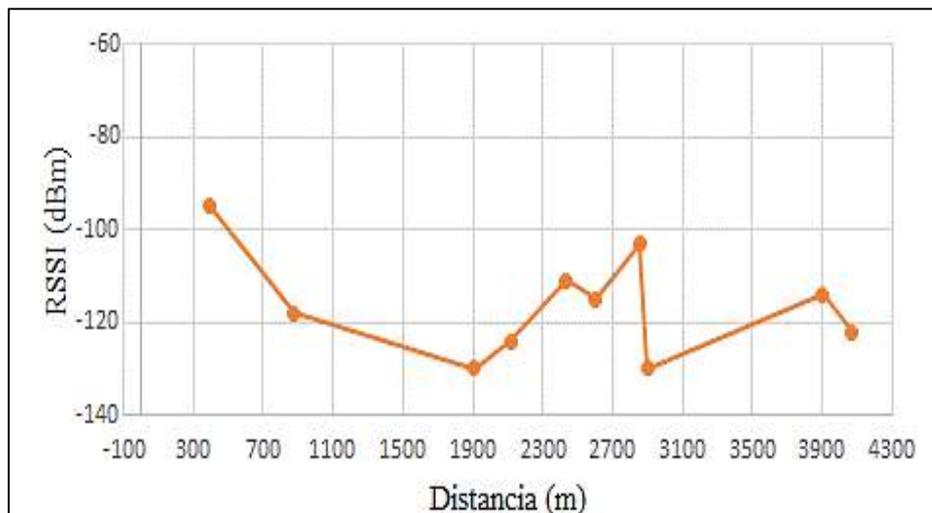


Gráfico 7-3: Datos de radio enlace RSSI vs. Distancia, ruta los refugios

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

En cuanto al ruido en la señal recibida para esta ruta y de acuerdo con el gráfico 8-3, se determinó que el comportamiento de este parámetro de comunicación va en concordancia con el gráfico 7-3, puesto que como es de esperarse a mayor distancia en establecer la comunicación, el SNR

trabaja a un nivel de ruido mayor. Por lo tanto, para una distancia de 395,10 m con respecto al nodo coordinador, el sistema de comunicación trabaja sin nivel de ruido considerable, es decir, el SNR toma un valor de 9,8 dB, considerando este valor como una señal poco corrompida de acuerdo la tecnología LoRa (véase figura 5-3). A ciertas distancias en la ruta se presentaron obstáculos considerables, los cuales se reflejaron en los valores que fue presentando el SNR y que fueron por debajo del nivel de ruido. En conclusión, existe cobertura de comunicación en la ruta seleccionada, receptando la señal de radio LoRa a una distancia de hasta 4,07 km entre el nodo sensor y el nodo coordinador y en donde esta distancia se fue mermando a consecuencia de las características del medio y geografía propia del lugar.

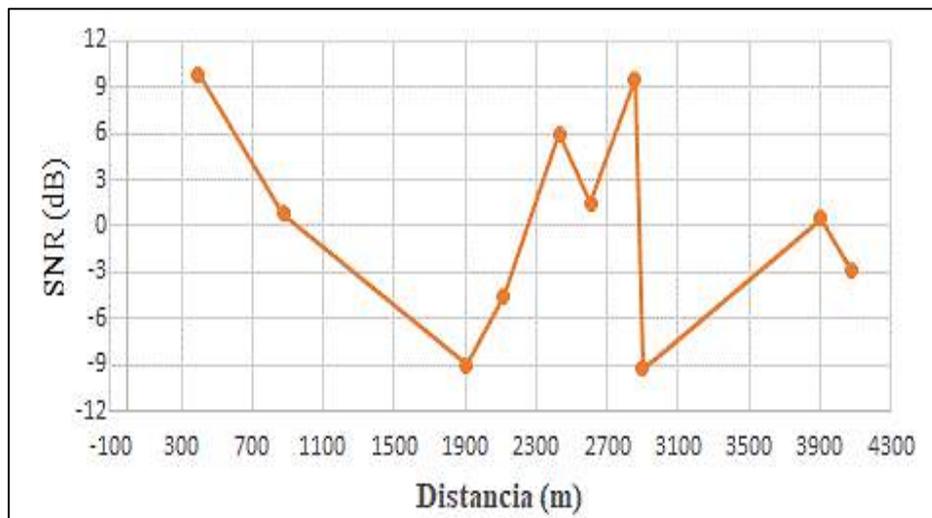


Gráfico 8-3: Datos de radio enlace SNR vs. Distancia, ruta los refugios

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.4.4 Pruebas de autonomía energética del nodo sensor

Las pruebas de autonomía energética consistieron en obtener el consumo de corriente de cada elemento *hardware* del nodo sensor para después obtener el consumo total de ellos como se muestra en la tabla 9-3. Por lo que en base al consumo total y con la Ecuación 1-3 de la duración energética de una batería, se determinó el tiempo en el que el nodo sensor se mantiene en funcionamiento.

Esta prueba se realizó con el objetivo de determinar que el nodo sensor fabricado brinde el funcionamiento adecuado de acuerdo con los tiempos empleados en el recorrido de las rutas. En este proceso, se consideró de un grupo de baterías disponibles en el mercado con diferentes niveles de capacidad de corriente, la batería que mejor se adapte al tiempo de permanencia de los turistas para las rutas previamente establecidas. Conforme a lo calculado, la autonomía teórica con respecto a la duración energética de la batería es de 5,53 horas como se muestra en la Ecuación 2-3, por otra parte, el tiempo empleado en la ruta al bosque *Polylepis* y a los refugios es de 2 y 4

horas, respectivamente, esto de acuerdo con el estudio de la zona realizado en el Capítulo I. Por lo tanto, se concluye que el nodo sensor fabricado proporciona un 63,83% de energía excedente para el tiempo que tarda una persona en el recorrido hacia el bosque *Polylepis* y un 27,67% para el tiempo empleado en el recorrido de la ruta a los refugios.

Tabla 9-3: Consumo energético del *hardware* del nodo sensor

Elemento	Consumo (mA)
Arduino MEGA 2560	93
Dragino LoRa <i>Shield</i>	120
Sensor MAX30102	12
Sensor MLX90614	1,3
GNSS NEO-M8N-0-01	45
CONSUMO TOTAL	271,3

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

$$Duración = \frac{Capacidad\ batería}{Consumo\ total\ corriente} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

$$Duración = \frac{1\ 500\ mAh}{271,3\ mA} = 5,53\ horas \quad \text{Ecuación 2-3}$$

3.4.5 Capacidad de nodos sensores que puede soportar la red

Para determinar este requerimiento, se hizo uso del *software* de simulación para redes específicamente LoRaWAN denominado FLoRa, este programa dispone de un modelo de comunicación en RF preciso en lo que respecta a la capa privativa de la pila de la tecnología, además dispone en su algoritmo la capacidad de administrar dinámicamente los parámetros de los dispositivos *hardware* que intervienen en la comunicación de la red por medio de la tasa de datos adaptable (ADR) (SLABICKI, y otros, 2018). El número de nodos se simuló en base al número de personas que acuden a diario a la RPFCH, esto en máximo de 300 turistas, el nodo coordinador tiene la capacidad de soportar hasta 10 000 nodos sensores puesto que dispone de un chip concentrador SX1301 de múltiples canales de frecuencia y 10 rutas de demodulación paralelas programables (SEMTECH, 2020b), por consiguiente, se configuró este *software* para el número máximo de turistas registrados a diario en la RPFCH, dato suministrado por el personal de la reserva . En la figura 12-3 se indica la simulación de la red.

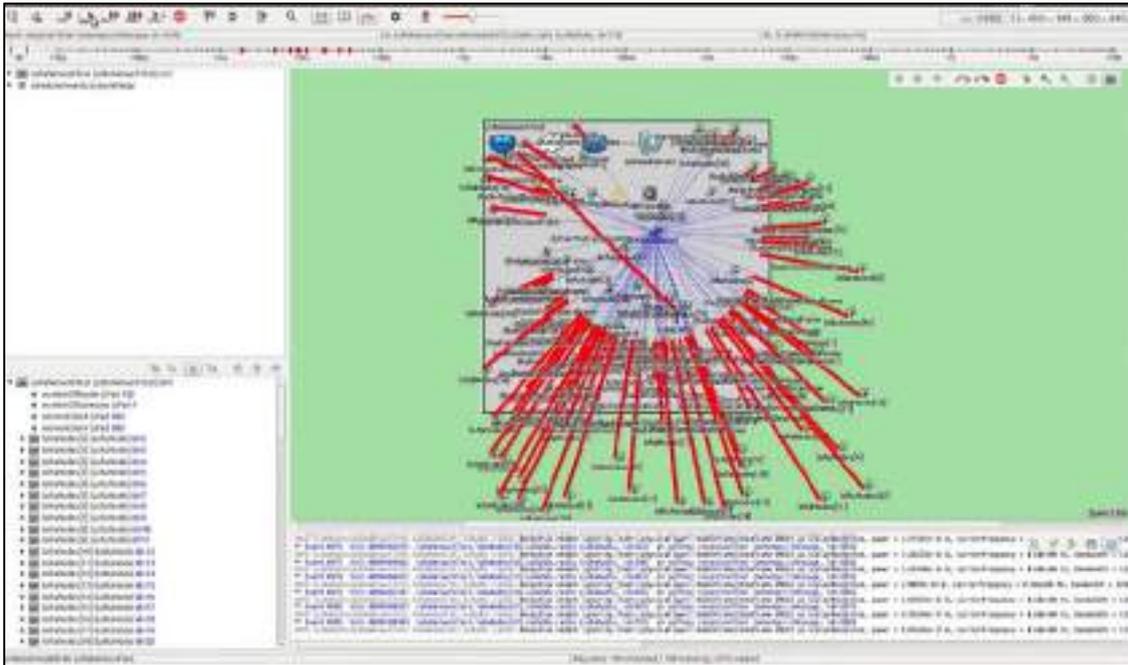


Figura 12-3: Simulación de red LoRaWAN para escenario de 300 nodos sensores

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Se evidencia en la figura 12-3 la simulación respectiva con las características de modulación del nodo coordinador LoRaWAN *Gateway* Dragino DLOS8 y las características del módulo de RF Dragino LoRa *Shield* del nodo sensor propuesto en esta investigación, LoRa tiene alta inmunidad a las colisiones e inmunidad a interferencias que se puedan suscitar al momento de estar comunicando por un determinado canal de frecuencias establecido por Semtech, también como se puede observar en la simulación, es notorio el uso del ADR por parte del protocolo LoRaWAN y con esto la elección de los factores de difusión (SF, por su sigla en inglés) en la frecuencia ISM en los que incurren los nodos sensores para comunicarse con el nodo coordinador obteniendo así tiempos de transmisión más largos en el aire pero sin pérdida de paquetes. Con esto se concluye que se abastece las necesidades de la RPFCH en cuanto al número máximo de turistas que pueden acudir al lugar, permitiendo así la escalabilidad del sistema.

3.4.6 *Interfaz gráfica de usuario en la plataforma web IoT Ubidots*

En la figura 13-3 se observa la interfaz de la plataforma web de IoT Ubidots donde se visualizó los datos obtenidos por el *hardware* que compone el nodo sensor, es decir, esta plataforma muestra los datos adquiridos de la medición del sensor de temperatura MLX90614, sensor de frecuencia cardíaca MAX30102, y son visualizados de manera numérica y gráfica. Además, se visualiza en el mapa las coordenadas proporcionadas por módulo GNSS NEO-M8N-0-01, así como también el dato numérico del porcentaje de la batería que alimenta al nodo sensor, el botón de la alarma sonora y el indicador de auxilio. Hay que tener en cuenta que los datos se actualizan aproximadamente cada 2 minutos en la plataforma Ubidots.

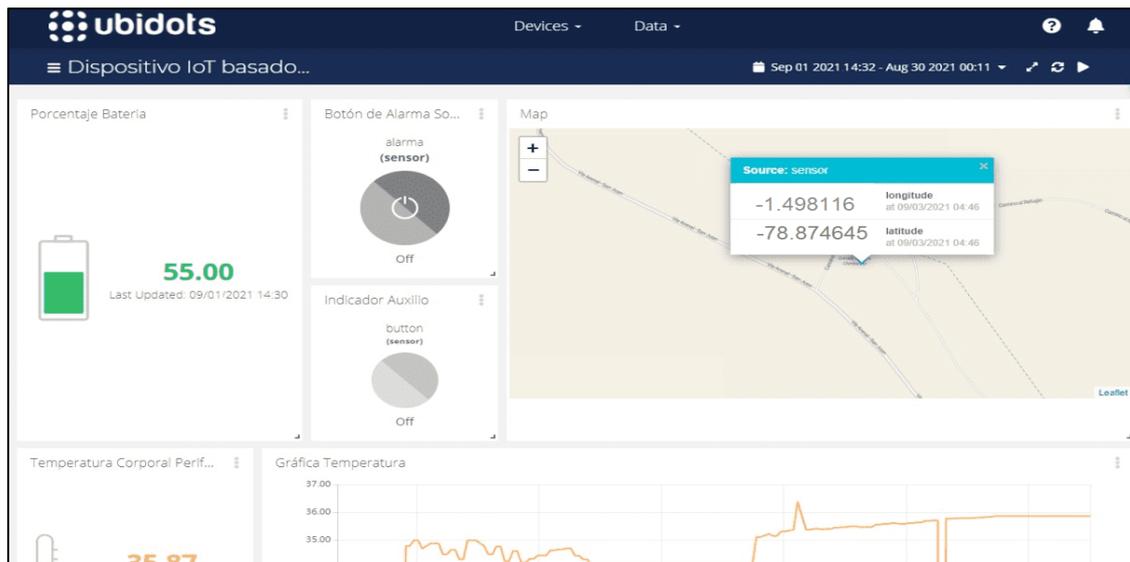


Figura 13-3: Interfaz gráfica de usuario en la plataforma web IoT Ubidots

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.4.7 Generación de mensajes de alerta

En esta prueba se tuvo como objetivo el de verificar que los mensajes de alerta se generen al momento de existir valores de medición anormales en el monitoreo fisiológico de las variables de TCP y FC, para lo cual se programaron eventos de alerta en la plataforma Ubidots teniendo en cuenta los valores normales de medición de las variables fisiológicas establecidos en los requerimientos del dispositivo y mediante la manipulación de los sensores respectivos del nodo sensor se pudo evaluar esta prueba en donde se observó que los mensajes se generaban de manera automática con retrasos de 30 segundos, concluyendo de esta forma que el dispositivo IoT cumple con el requerimiento de generar mensajes de alerta. En la figura 14-3 se puede apreciar el mensaje de alerta generado por el nodo sensor a través de correo electrónico.

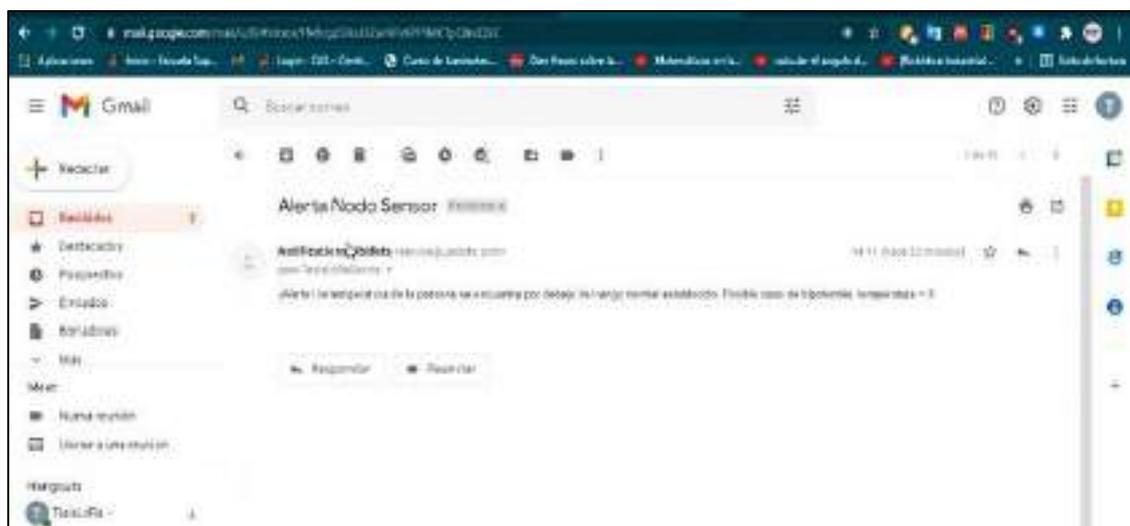


Figura 14-3: Mensaje de alerta generado

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

3.4.8 Exportación de datos a una hoja de cálculo

En la tendencia tecnológica de la IoT, aparte de conectar cosas a la red y que sus datos puedan ser vistos en cualquier parte del mundo, se exige también que para cualquier aplicación que sea desarrollada en este contexto, los datos que se recopilan puedan ser almacenados en una base de datos o cualquier gestor de información dependiendo de la magnitud del proyecto, esto con el fin de realizar estudios a futuro de estos sistemas monitorizados. La información en este caso se puede exportar y almacenar utilizando herramientas que no demandan de muchos recursos *hardware* y *software* de un *host* como al contrario lo haría una base de datos. En la figura 14-3 se aprecia el *payload* obtenido del sistema, visualizado por medio de una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2019, el cual consta de los campos como: ID del nodo sensor, latitud, longitud, SNR, RSSI, TCP, FC, fecha, hora, botón de auxilio, nivel batería.

ID	context_coordenadas	snr	rssi	tcp	fc	temp	pulse	button	battery	date
A464EFFFF3792E	(lat: -1.498315, lng: -76.879426)	11	-69	36.52	33	0	75	2021-09-08 17:12:22.175000-05:00		
A464EFFFF3792F	(lat: -1.498396, lng: -76.879622)	10.1	-67	36.5	30	0	75	2021-09-08 17:12:20.155000-05:00		
A464EFFFF37930	(lng: -76.879388, lat: -1.498308)	9.8	-68	36.19	33	0	75	2021-09-08 17:12:27.180000-05:00		
A464EFFFF37931	(lat: -76.879379, lng: -1.498308)	8.2	-69	36.13	30	0	75	2021-09-08 17:12:25.040000-05:00		
A464EFFFF37932	(lat: -1.498308, lng: -76.879379)	10.2	-67	36.3	37	0	75	2021-09-08 17:12:21.060000-05:00		
A464EFFFF37933	(lng: -76.879388, lat: -1.498308)	9.8	-67	36.75	30	0	75	2021-09-08 17:12:21.060000-05:00		
A464EFFFF37934	(lat: -1.498333, lng: -76.879244)	10.0	-71	36	33	0	75	2021-09-08 17:08:20.000000-05:00		
A464EFFFF37935	(lng: -76.879379, lat: -1.498308)	10.2	-69	36.72	30	0	75	2021-09-08 17:07:35.050000-05:00		
A464EFFFF37936	(lng: -76.879379, lat: -1.498308)	9	-67	36.2	30	0	75	2021-09-08 17:08:17.750000-05:00		
A464EFFFF37937	(lng: -76.879344, lat: -1.498308)	5.8	-67	36.5	33	0	75	2021-09-08 17:06:55.740000-05:00		
A464EFFFF37938	(lng: -76.879368, lat: -1.498308)	10.8	-69	36.62	30	0	75	2021-09-08 17:04:54.000000-05:00		
A464EFFFF37939	(lat: -1.498345, lng: -76.879379)	10.0	-67	36.5	30	0	75	2021-09-08 16:58:47.110000-05:00		
A464EFFFF37940	(lng: -76.879379, lat: -1.498308)	5.5	-69	36.13	34	0	75	2021-09-08 16:57:31.000000-05:00		
A464EFFFF37941	(lat: -1.498344, lng: -76.879379)	5.5	-67	36.23	33	0	75	2021-09-08 16:56:00.000000-05:00		
A464EFFFF37942	(lat: -1.498347, lng: -76.879332)	0.2	-69	36.5	30	0	75	2021-09-08 16:54:35.070000-05:00		
A464EFFFF37943	(lat: -1.498308, lng: -76.879379)	5.5	-67	36.71	30	0	75	2021-09-08 16:52:57.000000-05:00		
A464EFFFF37944	(lat: -1.498308, lng: -76.879332)	5.5	-71	36	33	0	75	2021-09-08 16:52:56.000000-05:00		
A464EFFFF37945	(lat: -1.498358, lng: -76.879332)	11.8	-69	36.72	30	0	75	2021-09-08 16:52:55.000000-05:00		
A464EFFFF37946	(lng: -76.879344, lat: -1.498308)	10.2	-67	36.2	37	0	75	2021-09-08 16:52:52.000000-05:00		
A464EFFFF37947	(lat: -1.500279, lng: -76.879320)	11.5	-90	36.5	30	0	75	2021-09-08 16:49:50.000000-05:00		
A464EFFFF37948	(lat: -1.500185, lng: -76.879379)	10	-104	37	37	0	75	2021-09-08 16:48:46.750000-05:00		
A464EFFFF37949	(lat: -1.500252, lng: -76.879332)	5.2	-112	37	30	0	75	2021-09-08 16:47:40.040000-05:00		
A464EFFFF37950	(lat: -1.500258, lng: -76.879332)	5.5	-108	37	30	0	75	2021-09-08 16:46:34.500000-05:00		
A464EFFFF37951	(lat: -1.511216, lng: -76.879368)	6.2	-118	37	30	0	75	2021-09-08 16:45:42.200000-05:00		
A464EFFFF37952	(lng: -76.879311, lat: -1.500200)	8.8	-110	37	31	0	75	2021-09-08 16:42:35.100000-05:00		
A464EFFFF37953	(lng: -76.879338, lat: -1.500277)	2.2	-118	37	32	0	75	2021-09-08 16:42:34.000000-05:00		

Figura 15-3: Exportación de datos a una hoja de cálculo

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

CAPÍTULO IV

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la construcción e implementación del dispositivo IoT se hizo uso de diferentes equipos y materiales indispensables, dichos elementos se detallan en los siguientes apartados.

4.1 Análisis de costos de equipos

En la tabla 1-4 se detalla la lista de todos los equipos utilizados en la ejecución y desarrollo del dispositivo IoT con sus respectivos precios.

Tabla 1-4: Costos de equipos

Cantidad	Componentes	Costo unitario	Costo total
1	LoRaWAN Gateway Dragino DLOS8	\$329,00	\$329,00
1	Módulo Dragino LoRa <i>Shield</i>	\$45,00	\$45,00
1	Módulo GNSS NEO-M8N-0-01	\$35,00	\$35,00
1	Sensor de frecuencia cardíaca MAX30102	\$10,00	\$10,00
1	Sensor de temperatura MLX90614	\$15,00	\$15,00
1	Módulo MP1584	\$3,00	\$3,00
1	Buzzer DC activo	\$0,80	\$0,80
2	Pulsadores NO	\$0,30	\$0,60
1	Transistor 2N2222A	\$0,10	\$0,10
3	Resistencias	\$0,05	\$0,15
1	Batería Li-Po	\$30,00	\$30,00
TOTAL			\$468,65

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

4.2 Análisis de costos de materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo del dispositivo IoT se detallan en la tabla 2-4, en donde se muestra el costo unitario y costo total respectivamente.

Tabla 2-4: Costo de materiales

Cantidad	Componentes	Costo unitario	Costo total
1	Borneras	\$0,20	\$0,20
4	Conectores	\$0,35	\$1,40
15	Espadines	\$0,35	\$5,25
1	PCB Fibra de vidrio	\$8,00	\$8,00
1	Impresión 3D	\$29,00	\$29,00
	Otros	\$91,90	\$91,90
TOTAL			\$135,75

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

4.3 Costo total del dispositivo IoT

Según la evaluación económica realizada en la tabla 3-4, el dispositivo IoT implementado tiene un costo total de \$604,40, mismo que posee diversas características y lo convierten en un dispositivo tecnológico único.

Tabla 3-4: Costo total del dispositivo IoT

Descripción	costos
Costos de equipos	\$468,65
Costos de materiales	\$135,75
Total	\$604,40

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

No existen equipos comerciales que presenten características similares a las del dispositivo IoT implementado, sin embargo, se considera la necesidad de comparar este prototipo con equipos comerciales de menores características y prestaciones.

4.4 Comparativa del dispositivo IoT implementado con equipos comerciales

Como se puede observar en la tabla 4-4, se realizó la comparativa del dispositivo IoT implementado con otros dispositivos existentes en el mercado y que poseen características similares parciales.

Tabla 4-4: Comparativa del dispositivo IoT implementado con equipos comerciales

Dispositivos	Geolocalización	Medición de TCP	Medición de FC	Costo
Dispositivo IoT implementado	Módulo de posicionamiento que permite obtener y transmitir las coordenadas geográficas a la red con monitoreo en cualquier parte del mundo.	Medición y transmisión de la TCP a la red en base a rangos previamente configurados.	Medición y transmisión de la FC a la red en base a rangos previamente configurados.	\$604,40
SPOT Gen 4	Envía y guarda automáticamente la ubicación y permite a los contactos rastrear su progreso usando SPOT My Globalstar.	No aplica	No aplica	\$195 + suscripción anual (\$181,44)
Termómetro infrarrojo sin contacto BERRCOM JXB-178	No aplica	Medición de la TCP con indicador en <i>display</i> incorporado.	No aplica	\$40
Oxímetro de pulso K&i	No aplica	No aplica	Medición de la FC con indicador en <i>display</i> incorporado.	\$25

Fuente: (GLOBALSTAR, 2021)

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Como se puede apreciar en la tabla 4-4, la comparativa se realiza con equipos comerciales que en conjunto reúnen las características del dispositivo IoT implementado, dando como resultado un costo total de \$441,44 para estos equipos frente a un costo total de \$604,40 para el dispositivo

IoT implementado. En conclusión, el costo del dispositivo IoT implementado supera en un 26,96% al costo de los equipos comerciales analizados, esto debido en cierta medida a las prestaciones propias del dispositivo IoT el cual tiene la capacidad de monitorear y transmitir los datos a la red para ser visualizados en cualquier parte del mundo gracias a la tendencia tecnológica de la Internet de las cosas (IoT), a la tecnología LoRa la cual es accesible al público en general para diversas aplicaciones enfocadas al ámbito del desarrollo, también por la ventaja que se tiene en cuanto a que el sistema no está sujeto a suscripciones de pago engorrosas y basa su funcionamiento en plataformas de *software* libre.

4.5 Plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el dispositivo IoT

En esta sección se indican un conjunto de tareas que son necesarias llevar a cabo con el fin de recuperar las prestaciones perdidas del dispositivo IoT en su conjunto, esto con miras a compensar el desgaste que tendrá la instalación a largo plazo, por lo tanto, se procede a identificar aquellas tareas que se tienen que efectuar en todo el sistema implementado para conseguir retribuir ese desgaste que se pueda tener o para evitar que se puedan suscitar determinados problemas en la instalación del sistema. La forma para determinar estas tareas que son necesarias realizar en la instalación propuesta, consiste en un plan de mantenimiento basado en protocolos genéricos mismos que se presentan en la tabla 5-4 (MUÑOZ, 2017 págs. 20-23).

Tabla 5-4: Plan de mantenimiento preventivo para el dispositivo IoT

Plan de mantenimiento: preventivo		
Equipo: nodo sensor		
N°	Tarea	Frecuencia
1	Inspecciones a nivel sensorial (vista, tacto, oído...)	Diaria
2	Verificaciones estructurales y sujeción de elementos	Semanal
3	Verificaciones electrónicas y de comunicación interna	Quincenal
4	Verificación de presencia de humedad	Semanal
5	Medición de variables con equipos patrones	Semanal
6	Verificación de comunicación GNSS	Semanal
7	Verificación de comunicación inalámbrica LoRa	Quincenal
8	Verificación de condiciones de estado de batería	Quincenal
Equipo: nodo coordinador		
1	Inspecciones a nivel sensorial (vista, tacto, oído...)	Semanal
2	Verificaciones estructurales y sujeción de elementos	Semanal
3	Verificaciones de conexiones eléctricas y electrónicas	Quincenal
4	Verificación de estado de cable de red	Quincenal
5	Comprobaciones de estado de conexión en línea con servidores	Semanal

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Elaborar un plan de mantenimiento basado en protocolos genéricos retiene una clave importante que es el de elaborar precisamente un listado de tareas que se tienen que hacer en un equipo “tipo”, es decir, sin importar el fabricante (MUÑOZ, 2017 pág. 23), por ello en la tabla 6-4 se indican aquellos procesos de carácter correctivo que se deberían ejercer en el momento de que las tareas de mantenimiento preventivas no sean tomadas en cuenta o que se hayan ejecutado sin obtener resultados favorables.

Tabla 6-4: Plan de mantenimiento correctivo para el dispositivo IoT

Plan de mantenimiento: correctivo	
Equipo: nodo sensor	
N°	Tarea
1	Intervenciones a nivel sensorial (vista, tacto, oído...)
2	Cambios estructurales, reemplazo de elementos de sujeción
3	Soldadura de elementos <i>hardware</i> y cambio de borneras
4	Impermeabilización de estructura
5	Calibración de sensores o sustitución de módulos
6	Cambio de módulo GNSS
7	Sustitución de antena o módulo <i>Dragino LoRa Shield</i>
8	Sustitución de batería
Equipo: nodo coordinador	
1	Intervenciones a nivel sensorial (vista, tacto, oído...)
2	Cambios estructurales y cambio de amarras, pernos y tornillos
3	Cambio de enchufes y tomacorrientes, limpieza de puertos de red
4	Reconexión de conectores RJ45
5	Resetear a estado de fábrica el nodo

Realizado por: Benavides L., Cárdenas B., 2021.

Para llevar a cabo estas tareas, es oportuno indicar que para el mantenimiento preventivo es necesario que se capacite a una persona del grupo de trabajo con la finalidad de que se tenga noción de las tareas a desarrollarse, en tanto que para el mantenimiento correctivo se requiere contar con personal especializado en la rama evitando así errores técnicos y de operación al momento de dar mantenimiento al sistema implementado.

CONCLUSIONES

- Se realizó la implementación de un dispositivo IoT mismo que permitió geolocalizar y monitorear las variables fisiológicas de TCP y FC de una persona en la RPFCH, la topología de red desplegada fue en estrella compuesta de un nodo sensor, nodo coordinador, servidor en la nube y la etapa de supervisión y control, soportado y operado en la tecnología LoRa y el protocolo LoRaWAN. La información recopilada se reflejó en la plataforma de IoT Ubidots y se cumplieron los requerimientos de funcionamiento establecidos.
- En las pruebas realizadas al dispositivo IoT implementado, se verificó que no se supera el error esperado de $\pm 0,5$ °C para el sensor de TCP, también que el sensor de FC no sobrepasa en este caso al error esperado del equipo patrón respectivo que es de 2 p. p. m., para la geolocalización no se superó el margen de error dictado por el módulo del dispositivo IoT cuyo valor es de 2,5 m, concluyendo así que el dispositivo IoT implementado no incorpora error al sensor de TCP y al módulo de geolocalización y que las mediciones realizadas por el sensor de FC son aceptables considerando el error del equipo patrón utilizado.
- Se verificó la distancia máxima de comunicación para la tecnología LoRa en una zona urbana, obteniéndose una distancia de 1,85 km sin pérdida de paquetes por medio de la obtención de los parámetros de señal SNR de -12 dB y RSSI de -126 dBm que LoRa utiliza para establecer comunicación en una zona urbana alcanzando una distancia teórica aproximada de 2 km.
- Se determinó mediante simulación el mapa de cobertura de señal de radio de la red LoRa desplegada en la RPFCH para un radio de cobertura de 7 km abarcando las rutas previamente establecidas. En conclusión, existe señal de cobertura para las zonas específicas a cubrirse determinadas en el Capítulo I, con valores de -45 dBm de intensidad de señal de acuerdo con los datos de transmisión inalámbrica que posee cada elemento *hardware* que compone la red.
- Se comprobó la comunicación para las rutas establecidas en la RPFCH; llegando a una distancia de 4,17 km sin pérdida de información para el bosque *Polylepis* y de 4,07 km sin pérdida de información hasta el primer refugio llamado Carrel, mientras que para el segundo refugio llamado Whympet no se estableció comunicación debido a las características geográficas propias del lugar turístico.
- Se determinó la autonomía energética del nodo sensor implementado obteniéndose un valor de 5,53 horas, por lo que se concluye que el nodo sensor fabricado proporciona un 63,83%

de energía excedente para el tiempo que tarda una persona en el recorrido hacia el bosque *Polylepis* y un 27,67% para el tiempo empleado en el recorrido de la ruta a los refugios, esto en conformidad con el tiempo de permanencia de un turista en la ruta al bosque *Polylepis* y a los refugios que es de 2 y 4 horas, respectivamente, de acuerdo al estudio de la zona realizado.

- En el análisis de costos, se tiene que el dispositivo IoT implementado supera en un 26,96% al costo de los equipos comerciales analizados en conjunto, esto debido en cierta medida a las prestaciones propias del dispositivo IoT el cual tiene la capacidad de monitorear y transmitir los datos a la red gracias a la tendencia de la Internet de las cosas (IoT) y a la tecnología LoRa creada para aplicaciones de esta naturaleza.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar inteligencia artificial para las rutas de los diferentes atractivos turísticos de la RPFCH con el fin de que se pueda realizar una selección del camino más corto y poder llegar a la ubicación de la persona en el caso de que esta requiera ayuda del personal encargado del sitio turístico.
- Se recomienda la instalación de más puertas de enlace en puntos específicos con sistemas de alimentación fotovoltaicos *off-grid*, configurándolas como puentes de comunicación entre el nodo sensor y el nodo coordinador principal que tiene acceso y salida a la red, con el fin de ampliar la cobertura de la red instalada y evitar que en ciertos puntos geográficos se pierda la comunicación entre los nodos.
- Se recomienda realizar un estudio que permita obtener un mayor alcance de comunicación y en donde se elimine la necesidad de instalar antenas repetidoras independientemente si existen o no obstáculos en el terreno.
- Se recomienda utilizar *software* licenciado en el caso de implementar el sistema a escala comercial, esto con el fin de brindar mayor confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información en la red y de esta manera permitir que el proyecto sea viable y aporte mayores beneficios a los usuarios en aplicaciones específicas a donde se quiera orientar la tecnología LoRa.
- Se recomienda realizar estudios para la implementación del dispositivo en otras áreas como la industria petrolera, minera, agrícola o de obra civil, así como también en el campo de la medicina, en donde se pueda crear una red LoRa la cual pueda interconectar todos estos escenarios en centros de supervisión y control centralizados.

BIBLIOGRAFÍA

AGUAS, Beatriz. Sensores fisiológicos para la evaluación de aplicaciones interactivas. *Zaguan*. [En línea] 2017. [Citado el: 07 de Junio de 2021.] <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>.

ANALOG DEVICES. Single-Lead , Heart Rate Monitor Front End. *Analog Devices*. [En línea] 2018. [Citado el: 16 de Mayo de 2021.] <https://www.sparkfun.com/products/12650>.

ARCOTEL. Norma técnica de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres. *Arcotel*. [En línea] 2018. [Citado el: 17 de Junio de 2021.] <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/NORMA-ESPECTRO-DE-USO-LIBRE-Y-ESPECTRO-PARA-USO-DETERMINADO-EN-BANDAS-LIBRES.pdf>.

ARDUINO. Software Arduino. *Arduino*. [En línea] 2021a. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://www.arduino.cc/en/software>.

ARDUINO. Wire Library. *Arduino*. [En línea] 2021b. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://www.arduino.cc/en/reference/wire>.

ARDUINO. Libreria SoftwareSerial. *Arduino*. [En línea] 2021c. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial>.

ATMEL. MEGA2560. *Alldatasheet*. [En línea] ATMEL Corporation, 2021. [Citado el: 19 de Junio de 2021.] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/897466/ATMEL/MEGA2560.html>.

AUGUSTIN, Aloÿs; et al. A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things. *Mdpi*. [En línea] 2017. [Citado el: 30 de Mayo de 2021.] <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>.

AV ELECTRONICS. Batería Lipo Turnigy 11.1V. *AV Electronics*. [En línea] 2021. [Citado el: 11 de Agosto de 2021.] <https://avelectronics.cc/producto/bateria-lipo-turnigy-11-1v-1500mah-3s-20c/>.

ÁVILA, Edwin; & PARRA, Miguel. Desarrollo de un prototipo de red LPWAN con tecnología LoRa para la detección de intrusos en las viviendas de una zona residencial. [En línea] 2020. [Citado el: 27 de Mayo de 2021.] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21345>.

CALDERÓN, María José; & ACUÑA, Javier. Conectividad rural y cambio social: Los Infocentros Comunitarios en el Ecuador. *Researchgate*. [En línea] 2017. [Citado el: 18 de Mayo de 2021.] <https://www.researchgate.net/publication/320190912>.

CALONGE, Antonio. Diseño de un módulo pasarela de ModBUS / RS485 a RF en las bandas ISM orientado a IoT. *Upv*. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de Abril de 2021.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109369/CALONGE%20-%20Dise%3%b1o%20de%20un%20m%3%b3dulo%20pasarela%20de%20ModBUS/RS485%20a%20RF%20en%20las%20bandas%20ISM%20orientado%20a%20IoT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CANTUÑA, Katherine; & SATIÁN, Daniela. Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWAN aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba. *Epoch*. [En línea] 2019. [Citado el: 27 de Mayo de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/11026>.

CHIRIBOGA TORRES, Ángel Trajano. Diseño e implementación de una solución con tecnología LORA para el monitoreo de ubicación vehicular con un aplicativo web. *Espe*. [En línea] 2020. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/21864/T-ESPE-043466.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CIUDAD WISP. Como usar AirLink de Ubiquiti. *Ciudad WISP*. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://ciudadwisp.blogspot.com/2014/03/como-usar-airlink-de-ubiquiti.html>.

CREATE ARDUINO. Measure Heart Rate. *Create Arduino*. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://create.arduino.cc/projecthub/SurtrTech/measure-heart-rate-and-spo2-with-max30102-c2b4d8>.

DIOTEC. Transductor 2n2222a. *Alldatasheet*. [En línea] Diotec Semiconductor, 2017. [Citado el: 29 de Abril de 2021.] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1000141/DIOTEC/2N2222A.html>.

DRÄGER. La importancia de la temperatura corporal central Fisiopatología y métodos de medición. *Dräger*. [En línea] Medical GmbH, 2018. [Citado el: 11 de Abril de 2021.] <https://www.draeger.com/Library/Content/t-core-bk-9101301-es-1604-1.pdf>.

DRAGINO TECHNOLOGY. Puerta de enlace LoRaWAN para exteriores DLOS8. *Dragino Technology*. [En línea] 2020. [Citado el: 09 de Junio de 2021.] <https://dragino.com/>.

ECU 911. ECU 911 da recomendaciones a las personas que realizan excursiones en la montaña. *Ecu 911*. [En línea] 26 de Mayo de 2021a. <https://www.ecu911.gob.ec/ecu-911-da-recomendaciones-a-las-personas-que-realizan-excursiones-en-la-montana/>.

ECU 911. Localizador Móvil. *Ecu 911*. [En línea] 2017b. [Citado el: 01 de Abril de 2021.] <https://www.ecu911.gob.ec/localizador-mobil/>.

EL COMERCIO. 136 operativos para rescatar personas extraviadas en montañas se han realizado en este 2020 en Ecuador. *El comercio*. [En línea] 2020. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] <https://www.elcomercio.com/actualidad/operativos-rescate-personas-extraviadas-montanas.html>.

FERNÁNDEZ, Maritza; & UQUILLAS, Jhon. Análisis De Desempeño Del Estándar Lorawan Para Soluciones De Smart Campus, Implementando Un Sistema De Monitoreo Iot En La Universidad De Las Fuerzas Armadas. *Espe*. [En línea] 2018. [Citado el: 06 de Junio de 2021.] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15813/1/T-ESPE-040692.pdf>.

FLORES, Esther. Redes de Sensores Inalámbricas Aplicado a la Medicina (Wireless Sensor Networks Applied to the Medicine). *Unican*. [En línea] 2017. [Citado el: 09 de Junio de 2021.] <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1288/349251.pdf?sequence=1>.

FOMBONA, Javier; & VÁZQUEZ, Esteban. Posibilidades de utilización de la geolocalización y realidad aumentada en el ámbito educativo. [En línea] 2017. [Citado el: 18 de Junio de 2021.]

G2. Mejores plataformas de IoT en 2021: compare opiniones sobre más de 50 soluciones | G2. *G 2*. [En línea] 2020. [Citado el: 31 de Mayo de 2021.] https://www.g2.com/categories/iot-platforms?_cf_chl_jschl_tk__=c324e6ceabaa4a0714d28f55e8f1bc279751029a-1622504184-0-AQVAnipTFBVbNv5lzsAwAZUXNVdW1FJ8KfDjnKyC6e3k_u80T8mpV4wssQNIBwfgOjf-pQSILzeUKywsTMQqwQFWokrZIIOSEL5AJA5tXhlPM6RjhPXBdC3DG-KCnS8nYNLOUGr21.

GADM RIOBAMBA. Turismo Rural. *Goraymi*. [En línea] 2020. [Citado el: 08 de Junio de 2021.] <https://files.goraymi.com/2020/02/25/a19e289ee5fa5dc3654e020969edca6a.pdf>.

GÁLOC, Javier. Diseño e implementación de un sistema de geolocalización en interiores para plataforma Android vía la red enterprise wlan de la pucp. *Pucp*. [En línea] 2017. [Citado el: 16 de Junio de 2021.] <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7156>.

GIEZEMAN, Wienke. The ThingsGateway Design - Gateways / The Things Kickstarter Gateway - The Things Network. *Kickstarter*. [En línea] 2017. [Citado el: 17 de Junio de 2021.] <https://www.kickstarter.com/projects/419277966/the-things-network>.

GITHUB. Biblioteca LoraWAN-MAC in C. *GitHub*. [En línea] 2020a. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://github.com/mcci-catena/arduino-lmic>.

GITHUB. TinyGPSPlus. *GitHub*. [En línea] 2020b. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://github.com/mikalhart/TinyGPSPlus>.

GITHUB. Biblioteca Adafruit-MLX90614. *GitHub*. [En línea] 2020c. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://github.com/adafruit/Adafruit-MLX90614-Library>.

GITHUB. Biblioteca de sensores de partículas SparkFun MAX301x. *GitHub*. [En línea] 2020d. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] https://github.com/sparkfun/SparkFun_MAX3010x_Sensor_Library.

GLOBALSTAR. SPOT Gen4. *Globalstar*. [En línea] 2021. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://www.globalstar.com/es-la/products/spot-for-business/spot-gen4>.

GONZÁLEZ, Laura. Test y despliegue de tecnología de comunicaciones LoRa para aplicaciones de Internet of Things. *Upm*. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de Agosto de 2021.] <https://oa.upm.es/54465/>.

GUAJARDO, Tania; et al. Iot, El Internet De Las Cosas Y La Innovación De Sus Aplicaciones. *Facpya*. [En línea] Vinculatégica EFAN, 2017. [Citado el: 14 de Mayo de 2021.] <http://www.web.facpya.uanl.mx/Vinculategica/Revistas/R2/2313-2340 - Iot, El Internet De Las Cosas Y La Innovacion De Sus Aplicaciones.pdf>.

GUTIÉRREZ, Christopher. Sistema de Monitoreo Continuo de Signos Vitales con Sensores No Invasivos y Transmisión Inalámbrica de Datos. *Udec*. [En línea] 2017. [Citado el: 04 de Mayo de 2021.] <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/1945>.

HERNÁNDEZ, Silvia. Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. *Openaccess*. [En línea] 2020. [Citado el: 17 de Mayo de 2021.] <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>.

HURTADO, Sandra. Diseño de un sistema de medición de frecuencia cardíaca para la determinación del esfuerzo físico en el personal de la línea de faenamiento bovino del camal municipal de riobamba. *Epoch*. [En línea] 2018. [Citado el: 22 de Mayo de 2021.] <http://dspac.e.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/9324/1/20T01120.pdf>.

INOSTROZA, Gabriel; et al. Proyecto de Competitividad del turismo rural comunitario en los Andes en Bolivia, Ecuador y Perú. *Codespa*. [En línea] 2017. [Citado el: 05 de Mayo de 2021.] <https://www.codespa.org/aprende/notas-tecnicas/fortalecimiento-institucional-proyecto-de-competitividad-del-turismo-rural-comunitario-en-los-andes-en-bolivia-ecuador-y-peru/>.

JIMÉNEZ, Daniel. Estudio de la cobertura de la modulación LoRA en la bana 915[MHZ]. *Uchile*. [En línea] 2018. [Citado el: 22 de Mayo de 2021.] <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168163>

LORA ALLIANCE. LoRaWAN Regional Parameters 1.03. *Lora-alliance*. [En línea] 2021a. [Citado el: 02 de Junio de 2021.] https://lora-alliance.org/resource_hub/rp2-1-0-3-lorawan-regional-parameters/.

LORA ALLIANCE. What is LoRaWAN Specification. *Lora-alliance*. [En línea] 2017b. [Citado el: 01 de Mayo de 2021.] <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>.

LOUREIRO, Rubén. Estudio plataformas IoT. *Tandfonline*. [En línea] Lithic Technology, 2017. [Citado el: 12 de Mayo de 2021.] <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615memoria.pdf><http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615memoria.pdf><http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01977261.2003.11721000><http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01977261.2003.11721000>

MACGILL, Markus. Frecuencia cardiaca: ¿Qué es una frecuencia cardíaca normal? *Medical*. [En línea] 2017. [Citado el: 05 de Julio de 2021.] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/291182>.

MARTÍNEZ, Rodrigo. Comparativa y estudio de plataformas IoT. *Upcommons*. [En línea] 2017. [Citado el: 12 de Mayo de 2021.] <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/113622>.

MAXIM INTEGRATED. High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health MAX30102. *Maximintegrated*. [En línea] 2017. [Citado el: 18 de Junio de 2021.] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>.

MEJÍA, Jessica Gabriela. Propuesta de una solución IoT (Internet of things) piloto, para mejorar la movilidad y servicio en las líneas de autobuses del transporte público en la ciudad de Quito. *Puce*. [En línea] 2020. [Citado el: 27 de Mayo de 2021.] <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/18272>.

MELEXIS. MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39. *Sparkfun*. [En línea] 2017. [Citado el: 07 de Junio de 2021.] https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf.

MICROCHIP. Tiny Serial Digital Thermal Sensor TC74. *Microchip*. [En línea] 2017. [Citado el: 13 de Junio de 2021.] <https://www.microchip.com/en-us/product/TC74#:~:text=Tiny%20Serial%20Digital%20Thermal%20Sensor&text=TC74%20is%20a%20serially%20accessible,an%208%20Dbit%20digital%20word..>

MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN. Libro Blanco de Territorios Digitales en Ecuador. *Telecomunicaciones*. [En línea] 2019a. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2019/11/LBTD_actualizado_25-11-2019_a.pdf.

MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN. Plan de servicio universal. *Telecomunicaciones*. [En línea] 2018b. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/Plan-de-Servicio-Universal.pdf>.

MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN. Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador. *Telecomunicaciones*. [En línea] 2016c. [Citado el: 27 de Mayo de 2021.] <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/Plan-de-Telecomunicaciones-y-TI.pdf>.

MINTEL. Libro Blanco de Territorios Digitales en Ecuador. *Telecomunicaciones*. [En línea] 2019a. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2019/11/LBTD_actualizado_25-11-2019_a.pdf.

MINTEL. Plan de servicio universal. *Telecomunicaciones*. [En línea] 2018b. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2018/11/Plan-de-Servicio-Universal.pdf>.

MONOLITHICPOWER. MP1584: 3A, 1.5MHz, 28V Step-Down Converter. *MonolithicPower*. [En línea] 2017. [Citado el: 15 de Junio de 2021.] <https://www.epsglobal.com/Media-Library/EPSGlobal/Products/files/mps/MP1584.pdf?ext=.pdf>.

MONTERO, Ronny. Diseño e implementación de un sistema wireless sensors network personal para el monitoreo constante de signos vitales y visualización en tiempo real en aplicación web.

Espe. [En línea] 2019. [Citado el: 16 de Junio de 2021.] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15813/1/T-ESPE-040692.pdf>.

MUNICIPIO DE RIOBAMBA. Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. *Goraymi*. [En línea] 2020a. [Citado el: 18 de Mayo de 2021.] <https://files.goraymi.com/2020/02/25/bfa6c4f64f7b8a4f87280f1fb788cf83.pdf>.

MUNICIPIO DE RIOBAMBA. Guía de Turismo, Naturaleza y Aventura. *Goraymi*. [En línea] 2020b. [Citado el: 16 de Mayo de 2021.] <https://files.goraymi.com/2020/03/03/6779d4494b773e6caaad187679c5912d.pdf>.

MUNICIPIO DE RIOBAMBA. Información turística. *Riobamba*. [En línea] 2020c. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] <https://riobamba.com.ec/es-ec/chimborazo/riobamba/puntos-informacion/informacion-turistica-aa360193b>.

MUÑOZ, Belén. Mantenimiento Industrial. [En línea] 2017. [Citado el: 05 de Agosto de 2021.] <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf/view>.

NARVAEZ, Julian. Dispositivo logger IoT con tecnologías de comunicación Sigfox y Lora. *Fi*. [En línea] 2019. [Citado el: 07 de Junio de 2021.] <http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Trabajo-Final-CESE-Julian-Bustamente-2019.pdf>.

NARVÁEZ, Karen; & CONTRERAS, Víctor. Diseño y desarrollo de un prototipo de red de sensores IOT utilizando tecnología Lorawan para el monitoreo de parámetros ambientales en interiores y exteriores. *Ups*. [En línea] 2020. [Citado el: 10 de Mayo de 2021.] <https://dspac.e.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19439/1/UPS-GT003019.pdf>.

NEWARK. TTN-UN-915. *Newark*. [En línea] 2021. [Citado el: 10 de Junio de 2021.] <https://mexico.newark.com/the-things-network/ttn-un-915/silicon-manufacturer-microchip/dp/05AC1811#>.

ORTIZ, Michelle. Desarrollo de una red de sensores inalámbricos Utilizando tecnología lora para el monitoreo de un sistema. *Ups*. [En línea] 2020. [Citado el: 03 de Junio de 2021.] <http://dspac.e.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

OSORIO, Alfonso. Mitigación de pérdida de paquetes en una una red LoRaWAN para aplicacion es sin línea de vista. *Uninorte*. [En línea] 2019. [Citado el: 12 de Abril de 2021.] <https://manglar.uninorte.edu.co/flexpaper/handle/10584/9518/140295.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=1>.

OYARVIDE, Harol; et al. Emprendimiento como factor del desarrollo turístico rural sostenible. *Scielo*. [En línea] 2017. [Citado el: 30 de Mayo de 2021.] http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2306-91552016000100006&script=sci_arttext&tlng=pt.

PÉREZ, Daniel; & RISCO, Redy. Implementación de LoRa y LoRaWAN como escenario futuro de la industria 4.0 en el sector agroindustrial peruano. *Aulavirtualusmp*. [En línea] 2020. [Citado el: 12 de Abril de 2021.] <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1829/2155>.

PERURAIL. Soroche: Conoce los tips para vencer el mal de altura . *Perurail*. [En línea] 2017. [Citado el: 02 de Junio de 2021.] <https://www.perurail.com/es/blog/tips-para-vencer-el-mal-de-altura/>.

PICKERING, Paúl. Descripción general de la plataforma LoRa. *Digikey*. [En línea] 2017. [Citado el: 01 de Junio de 2021.] <https://www.digikey.com/es/articles/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>.

PNUD. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio: un pacto entre las naciones para eliminar la pobreza. *Hdr*. [En línea] 2003a. [Citado el: 28 de Mayo de 2021.] http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2003_es.pdf.

PNUD. Informe sobre el desarrollo humano. *Hdr*. [En línea] 2001b. [Citado el: 27 de Mayo de 2021.] http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2001_es.pdf.

PORRAS, Calderón; et al. Implementación de una Red LPWAN de Sensores para el Monitoreo de Condiciones Ambientales. [En línea] 2019. [Citado el: 25 de Abril de 2021.] https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu14/9_RedLPWAN.pdf.

PORTILLA, Karla; & SANTOS, Víctor. *Diseño E Implementación De Un Sistema No Invasivo Para El Monitoreo De Frecuencia Cardiaca Mediante Detección Automática De Una Sección De Piel*. Escuela Politécnica Nacional. Quito : s.n., 2018. pág. 122, Tesis.

RINCÓN, Juan; & LINARES, Fabián. Estudio de cobertura de un servicio de red inalámbrica de IoT sobre protocolo LoRA en entorno metropolitano. *Uniagustiniana*. [En línea] 2020. [Citado el: 22 de Agosto de 2021.] <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1305>.

ROBLES, Pedro. Virtualización y tarjetas embebidas como núcleo de un laboratorio de cómputo. *Library*. [En línea] 2017. [Citado el: 07 de Junio de 2021.] <https://1library.co/document/q060oj9q-virtualizacion-tarjetas-embebidas-nucleo-laboratorio-computo.html>.

RODRÍGUEZ, José Daniel. Dispositivo LoRa de comunicación a largo alcance y bajo consumo energético para aplicaciones del ámbito del desarrollo. *Upm*. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de Abril de 2021.] https://oa.upm.es/44890/1/TFM_JOSE_DANIEL_RODRIGUEZ_MUNCA.pdf.

ROSE, Karen; et al. La Internet de las cosas una breve reseña. *Internetsociety*. [En línea] 2017. [Citado el: 11 de Mayo de 2021.] <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2015/iot-overview/>.

SALAZAR, Jordi; & SILVESTRE, Santiago. Internet de las cosas. *Core*. [En línea] 2017. [Citado el: 11 de Mayo de 2021.] <https://core.ac.uk/download/pdf/81581111.pdf>.

SEMTECH. LoRa and LoRaWAN A Technical Overview. *Semtech*. [En línea] 2020a. [Citado el: 01 de Junio de 2021.] https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf.

SEMTECH. Semtech SX1301. *Semtech*. [En línea] 2020b. [Citado el: 20 de Noviembre de 2021.] <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1301>.

SENPLADES. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida. *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. [En línea] 2017a. [Citado el: 18 de Mayo de 2021.] <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/03/Plan-Nacional-de-Desarrollo-para-publicar-en-web-actualizado.pdf>.

SENPLADES. Plan Nacional del Buen Vivir. *Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo*. [En línea] 2017b. [Citado el: 12 de Mayo de 2021.] <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-del-buen-vivir-2013-2017-de-ecuador>.

SHININ, William. Diseño e implementación de un prototipo multimodal en tiempo real para emergencias ambulatorias utilizando tarjetas de desarrollo. *Epoch*. [En línea] 2018. [Citado el: 01 de Junio de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/9263/5/98T00218.pdf>.

SLABICKI, Mariusz; & PREMSANKAR, Gopika. FLoRa - A Framework for LoRa simulations. *Flora*. [En línea] 2018. [Citado el: 03 de Septiembre de 2021.] <https://flora.aalto.fi/>.

SOLIDWORKS. Soluciones SolidWorks. *SolidWorks*. [En línea] 2021. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://www.solidworks.com/es/solutions>.

TECNOPURA. Buzzer activo. *Tecnopura*. [En línea] 2021. [Citado el: 16 de Agosto de 2021.] <https://www.tecnopura.com/producto/buzzer-zumbador-con-sonido-continuo-de-5v/>.

TEXAS INSTRUMENTS. LM35 Precision centigrade temperature sensors. *Texas Instruments*. [En línea] 2017. [Citado el: 09 de Junio de 2021.] www.ti.com.

TOURISM & LEISURE ADVISORY SERVICES. Diseño del Plan Estratégico de Desarrollo de Turismo Sostenible para Ecuador "Plandetur 2020". *Turismo*. [En línea] 2017. [Citado el: 26 de Mayo de 2021.] <https://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/PLANDTUR-2020.pdf>.

TTN. The Things Network. *The things network*. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://www.thethingsnetwork.org/>.

UBIDOTS. Plataforma IoT, Internet de las cosas, Ubidots. *Ubidots*. [En línea] 2021. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://ubidots.com/>.

U-BLOX COMPANY. Módulo GNSS. *Everythingrf*. [En línea] 2021. [Citado el: 12 de Junio de 2021.] <https://www.everythingrf.com/products/gps-gnss-modules/u-blox-ag/667-315-zed-f9r>.

UDDIN, Mohammad. Dispositivo de monitoreo de pacientes Covid-19 basado en redes LoRa. *Humanizationoftechnology*. [En línea] 2021. [Citado el: 28 de Octubre de 2021.] <https://humanizationoftechnology.com/dispositivo-de-monitoreo-de-pacientes-covid-19-basado-en-redes-lora/revista/2021/volumen-2-2021/05/2021/>.

UIT. Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). *Itu*. [En línea] 2020. [Citado el: 02 de Junio de 2021.] <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR-2020/es>.

UIT-D. Evolución de las herramientas de gestión del espectro para abordar las necesidades de desarrollo. *Itu*. [En línea] 2017. [Citado el: 02 de Junio de 2021.] <https://www.itu.int/pub/D-STG-SG01.RES09.2-2017/es>.

VERA, Lourdes; & ZAVALA, Byron. Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas. *Espol*. [En línea] 2018. [Citado el: 21 de Mayo de 2021.] <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/132258/D-CD106675.pdf>.

VINUEZA, Wilma; & RIVERA, Diana. Diseño e Implementación de una red BAN, para la obtención de datos de signos vitales utilizando el protocolo 802.15.4. *Espe*. [En línea] 2017. [Citado el: 11 de Junio de 2021.] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10789/1/T-ESPE-048976.pdf>.

WALKTHROUGH. XD-58C. *Walkthrough*. [En línea] 2018. [Citado el: 19 de Junio de 2021.] <https://electrocrea.com/products/sensor-de-pulso-cardiaco-xd-58c>.

YÁNEZ, Diana; & SUNTA, Pablo. Desarrollo de un entrenador inalámbrico de plantas de control mediante una herramienta de programación IoT. *Ups*. [En línea] 2021. [Citado el: 19 de Junio de 2021.] <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: DATOS TÉCNICOS DE LORAWAN GATEWAY DRAGINO DLOS8



Outdoor LoRaWAN Gateway

DLOS8



OVERVIEW:

The DLOS8 is an open source outdoor LoRaWAN Gateway. It lets you bridge LoRa wireless network to an IP network via WiFi, Ethernet, 3G or 4G cellular. The LoRa wireless allows users to send data and reach extremely long ranges at low data rates.

DLOS8 supports Semtech packet forwarder and LoRaWAN Station connection, it is fully compatible with LoRaWAN protocol. DLOS8 includes a SX1301 LoRaWAN concentrator.

DLOS8 has pre-configured standard LoRaWAN frequency bands to use for different countries. User can also customize the frequency bands to use in their own LoRaWAN network.

DLOS8 can communicate with ABP LoRaWAN end node without LoRaWAN server. System integrator can use it to integrate with their existing IoT Service without set up own LoRaWAN server or use 3rd party LoRaWAN service.

DLOS8 supports auto-provision for mass deployment and long term maintain. System integrator can easily change the settings.

Specifications:

LoRa Interfaces:

- 1 x SX1301 + 2 x 1257 LoRa Transceiver
- Max Output Power: 27dBm
- Sensitivity: -140dBm

General Interfaces:

- 10M/100M RJ45 PoE Port x 1
- 1 x 2.4G WiFi (802.11 bgn)
- 1 x USB host port
- 1 x Mini-PCIe Interface
- Power Input: 12v, 1A
- SMA connector for LoRa Antenna

Features:

- Open Source Embedded Linux system
- Managed by Web GUI, SSH via LAN or Wifi
- Support Semtech UDP packet forwarder
- Support LoRaWAN Station Connection
- Cellular Failover connection [optional]
- Direct Communication to LoRaWAN ABP Node
- LoRaWAN packet filtering
- Fan seeing LED indicator
- Built-in GPS module for location & timing
- External fiber glass antenna
- Auto-Provision
- Remote Monitoring
- 802.3af PoE
- IP65
- Lighting Protection
- Power Consumption: 12v 300 ~500mA

Applications:

- Smart Buildings & Home Automation
- Logistics and Supply Chain Management
- Smart Metering
- Smart Agriculture
- Smart Cities
- Smart Factory

Part Number:

- DLOS8-XXX-YYY:

XXX:

- 868: For EU868, RUS864, IN865
- 915: For US915, AU915, AS923, KR920

YYY:

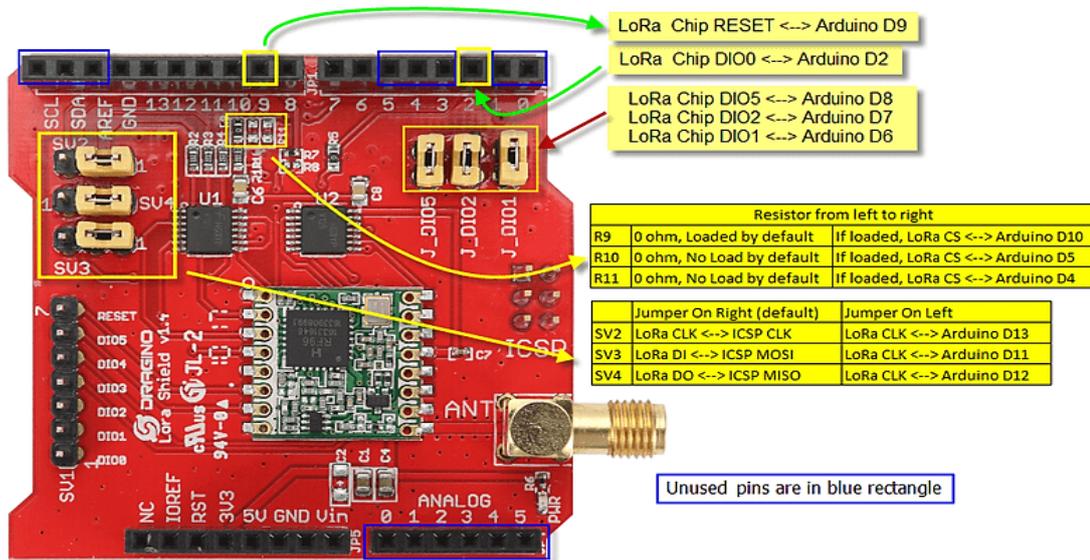
- N/A: none 4G version
- EC25: 4G version

Dragino Technology Co., Limited
Room 202, Block B, BCT Incubation Bases (BaoChengTai), No.8 CaiYunRoad
LongCheng Street, LongGang District, Shenzhen 518116, China
Direct: +86 755 86610829 | Fax: +86 755 86647123

WWW.DRAGINO.COM
sales@dragino.com

ANEXO B: DATOS TÉCNICOS DE MÓDULO DRAGINO LORA SHIELD

Pin Mapping For LoRa



Especificaciones inalámbricas de RFM95W

- Presupuesto de enlace máximo de 168 dB.
- +20 dBm - Salida de RF constante de 100 mW vs.
- PA de alta eficiencia de +14 dBm.
- Tasa de bits programable hasta 300 kbps.
- Alta sensibilidad: hasta -148 dBm.
- Frontal a prueba de balas: IIP3 = -12,5 dBm.
- Excelente inmunidad al bloqueo.
- Baja corriente RX de 10,3 mA, retención de registro de 200 nA.
- Sintetizador totalmente integrado con una resolución de 61 Hz.
- Modulación FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y OOK.
- Sincronizador de bits incorporado para recuperación de reloj.
- Detección de preámbulos.
- 127 dB de rango dinámico RSSI.
- Detección automática de RF y CAD con AFC ultrarrápido.
- Motor de paquetes de hasta 256 bytes con CRC.
- Sensor de temperatura incorporado e indicador de batería baja.

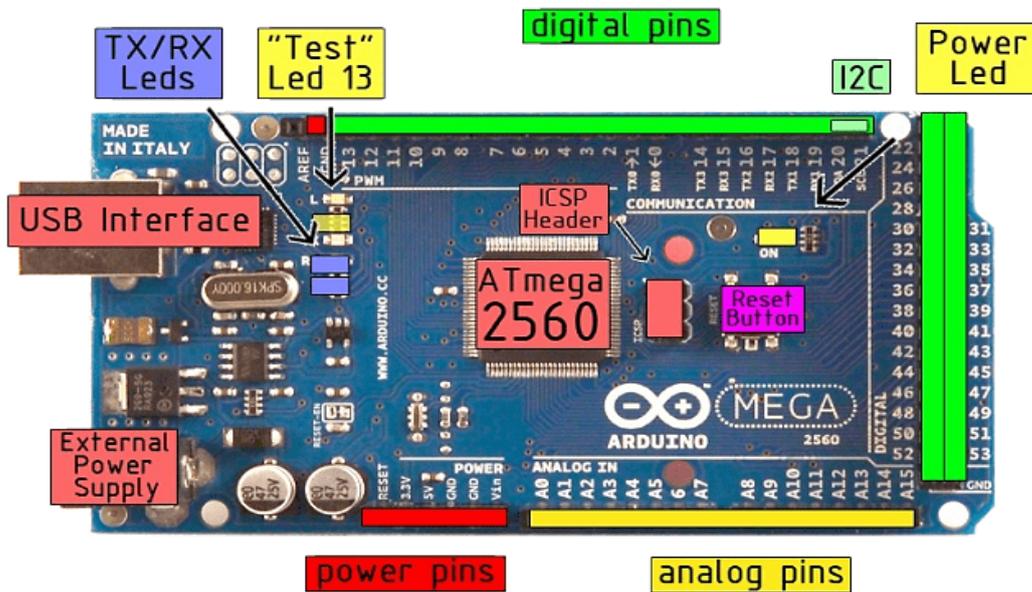
Características

- Compatible con placa Arduino de E / S de 3.3v o 5v.
- Banda de frecuencia: 915 MHZ / 868 MHZ / 433 MHZ (Preconfigurar en fábrica)
- Bajo consumo de energía
- Compatible con Arduino Leonardo, Uno, Mega, DUE
- Antena externa mediante conector I-Pex

Power Consumption Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDSL	Supply current in Sleep mode		-	0.2	1	uA
IDDIDLE	Supply current in Idle mode	RC oscillator enabled	-	1.5	-	uA
IDDST	Supply current in Standby mode	Crystal oscillator enabled	-	1.6	1.8	mA
IDDFS	Supply current in Synthesizer mode	FSRx	-	5.8	-	mA
IDDR	Supply current in Receive mode	LnaBoost Off, band 1 LnaBoost On, band 1 Bands 2&3	- - -	10.8 11.5 12.0	- - -	mA
IDDT	Supply current in Transmit mode with impedance matching	RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin RFOP = +7 dBm, on RFO_LF/HF pin	- - - -	120 87 29 20	- - - -	mA

ANEXO C: DATOS TÉCNICOS DE TARJETA ARDUINO MEGA 2560



Technical Specification



Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board

ANEXO D: DATOS TÉCNICOS DE MÓDULO GNSS NEO-M8N-0-01



NEO-M8 - Data sheet

1.3 Performance

Parameter	Specification					
Receiver type	72-channel u-blox M8 engine GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, QZSS L1 SAIF, GLONASS L1OF, BeiDou B1I, Galileo E1B/C					
Accuracy of time pulse signal	RMS	30 ns				
	99%	60 ns				
Frequency of time pulse signal	0.25 Hz...10 MHz (configurable)					
Operational limits ¹	Dynamics	≤ 4 g				
	Altitude	50,000 m				
	Velocity	500 m/s				
Velocity accuracy ²	0.05 m/s					
Heading accuracy ²	0.3 degrees					
GNSS	GPS & GLONASS	GPS	GLONASS	BeiDou	Galileo	
Horizontal position accuracy ³	2.5 m	2.5 m	4 m	3 m	3 m	
NEO-M8N/Q						
Max navigation update rate	NEO-M8N	5 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz
	NEO-M8Q	10 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz
Time-To-First-Fix ⁴	Cold start	26 s	29 s	30 s	34 s	45 s
	Hot start	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s
	Aided starts ⁵	2 s	2 s	2 s	3 s	7 s
Sensitivity ⁶	Tracking & Navigation	-167 dBm	-166 dBm	-166 dBm	-160 dBm	-159 dBm
	Reacquisition	-160 dBm	-160 dBm	-156 dBm	-157 dBm	-153 dBm
	Cold start	-148 dBm	-148 dBm	-145 dBm	-143 dBm	-138 dBm
	Hot start	-157 dBm	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm	-151 dBm
NEO-M8J/M						
Max navigation update rate	NEO-M8J	5 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz
	NEO-M8M	10 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz	18 Hz
Time-To-First-Fix ⁵	Cold start	26 s	30 s	33 s	39 s	57 s
	Hot start	1 s	1 s	1 s	1 s	1 s
	Aided starts ⁶	3 s	3 s	3 s	7 s	7 s
Sensitivity ⁷	Tracking & Navigation	-164 dBm	-164 dBm	-163 dBm	-160 dBm	-154 dBm
	Reacquisition	-160 dBm	-159 dBm	-156 dBm	-155 dBm	-152 dBm
	Cold start	-148 dBm	-147 dBm	-145 dBm	-143 dBm	-133 dBm
	Hot start	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm	-155 dBm	-151 dBm

Table 1: NEO-M8 performance in different GNSS modes (default: concurrent reception of GPS and GLONASS including QZSS, SBAS)

Interface selection (D_SEL)

At startup, pin 2 (D_SEL) determines which data interfaces are used for communication. If D_SEL is set high or left open, UART and DDC become available. If D_SEL is set low, that is, connected to ground, the NEO-M8 module series can communicate to a host via SPI.

Pin #	D_SEL="1" (left open)	D_SEL="0" (connected to GND)
20	UART TX	SPI MISO
21	UART RX	SPI MOSI
19	DDC SCL	SPI CLK
18	DDC SDA	SPI CS_N

Table 8: Data interface selection by D_SEL



The Future of Analog IC Technology

MPS CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY INFORMATION – INTERNAL USE ONLY

MP1584
3A, 1.5MHz, 28V
Step-Down Converter

DESCRIPTION

The MP1584 is a high frequency step-down switching regulator with an integrated internal high-side high voltage power MOSFET. It provides 3A output with current mode control for fast loop response and easy compensation.

The wide 4.5V to 28V input range accommodates a variety of step-down applications, including those in an automotive input environment. A 100µA operational quiescent current allows use in battery-powered applications.

High power conversion efficiency over a wide load range is achieved by scaling down the switching frequency at light load condition to reduce the switching and gate driving losses.

The frequency foldback helps prevent inductor current runaway during startup and thermal shutdown provides reliable, fault tolerant operation.

By switching at 1.5MHz, the MP1584 is able to prevent EMI (Electromagnetic Interference) noise problems, such as those found in AM radio and ADSL applications.

The MP1584 is available in a thermally enhanced SOIC8E package.

FEATURES

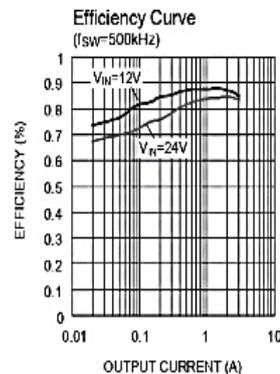
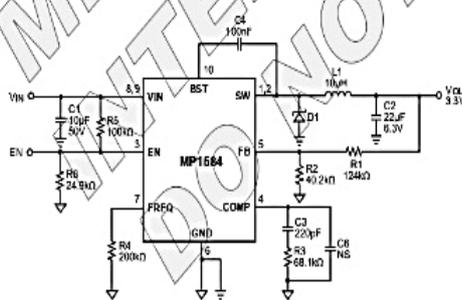
- Wide 4.5V to 28V Operating Input Range
- Up to 1.5MHz Programmable Switching Frequency
- High-Efficiency Pulse Skipping Mode for Light Load
- Ceramic Capacitor Stable
- Internal Soft-Start
- Internally Set Current Limit without a Current Sensing Resistor
- Available in SOIC8E Package.

APPLICATIONS

- High Voltage Power Conversion
- Automotive Systems
- Industrial Power Systems
- Distributed Power Systems
- Battery Powered Systems

MPS and The Future of Analog IC Technology are Registered Trademarks of Monolithic Power Systems, Inc.

TYPICAL APPLICATION



ANEXO F: DATOS TÉCNICOS DE SENSOR MLX90614



MLX90614 family

Single and Dual Zone
Infra Red Thermometer in TO-39

Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
-40 to 125 °C for sensor temperature and
-70 to 380 °C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0..+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8 to 16V applications
- Power saving mode
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements;
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system;
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning;
- Windshield defogging;
- Automotive blind angle detection;
- Industrial temperature control of moving parts;
- Temperature control in printers and copiers;
- Home appliances with temperature control;
- Healthcare;
- Livestock monitoring;
- Movement detection;
- Multiple zone temperature control – up to 100 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay/alert
- Body temperature measurement

Ordering Information



Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code
MLX90614	E (-40°C to 85°C) K (-40°C to 125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)

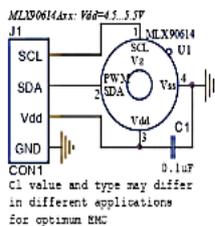
(1) Supply Voltage/
Accuracy
A - 5V
B - 3V
C - Reserved
D - 3V medical accuracy

(2) Number of thermopiles:
A - single zone
B - dual zone

(3) Package options:
A - Standard package
B - Reserved
C - 35° FOV

Example:
MLX90614ESF-BAA

1 Functional diagram



MLX90614 connection to SMBus

Figure 1 Typical application schematics

2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20 to 120 °C, with an output resolution of 0.14 °C and the POR default is SMBus.

ANEXO G: DATOS TÉCNICOS DE SENSOR MAX30102

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

MAX30102

High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health

General Description

The MAX30102 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor module. It includes internal LEDs, photodetectors, optical elements, and low-noise electronics with ambient light rejection. The MAX30102 provides a complete system solution to ease the design-in process for mobile and wearable devices.

The MAX30102 operates on a single 1.8V power supply and a separate 3.3V power supply for the internal LEDs. Communication is through a standard I²C-compatible interface. The module can be shut down through software with zero standby current, allowing the power rails to remain powered at all times.

Applications

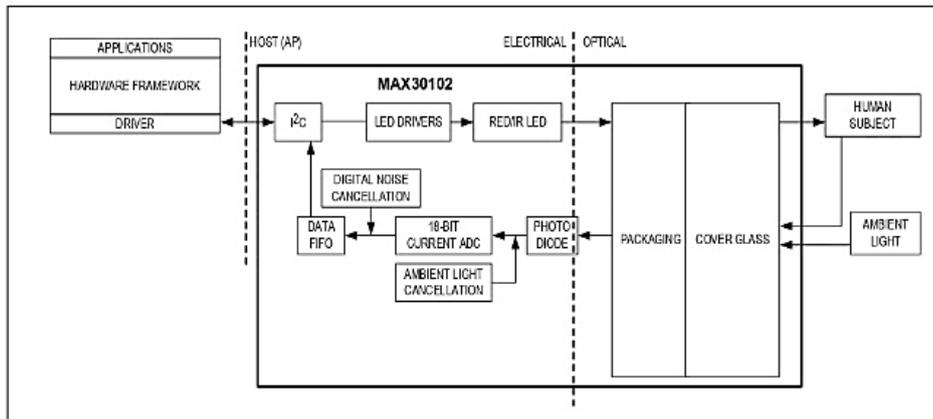
- Wearable Devices
- Fitness Assistant Devices
- Smartphones
- Tablets

Benefits and Features

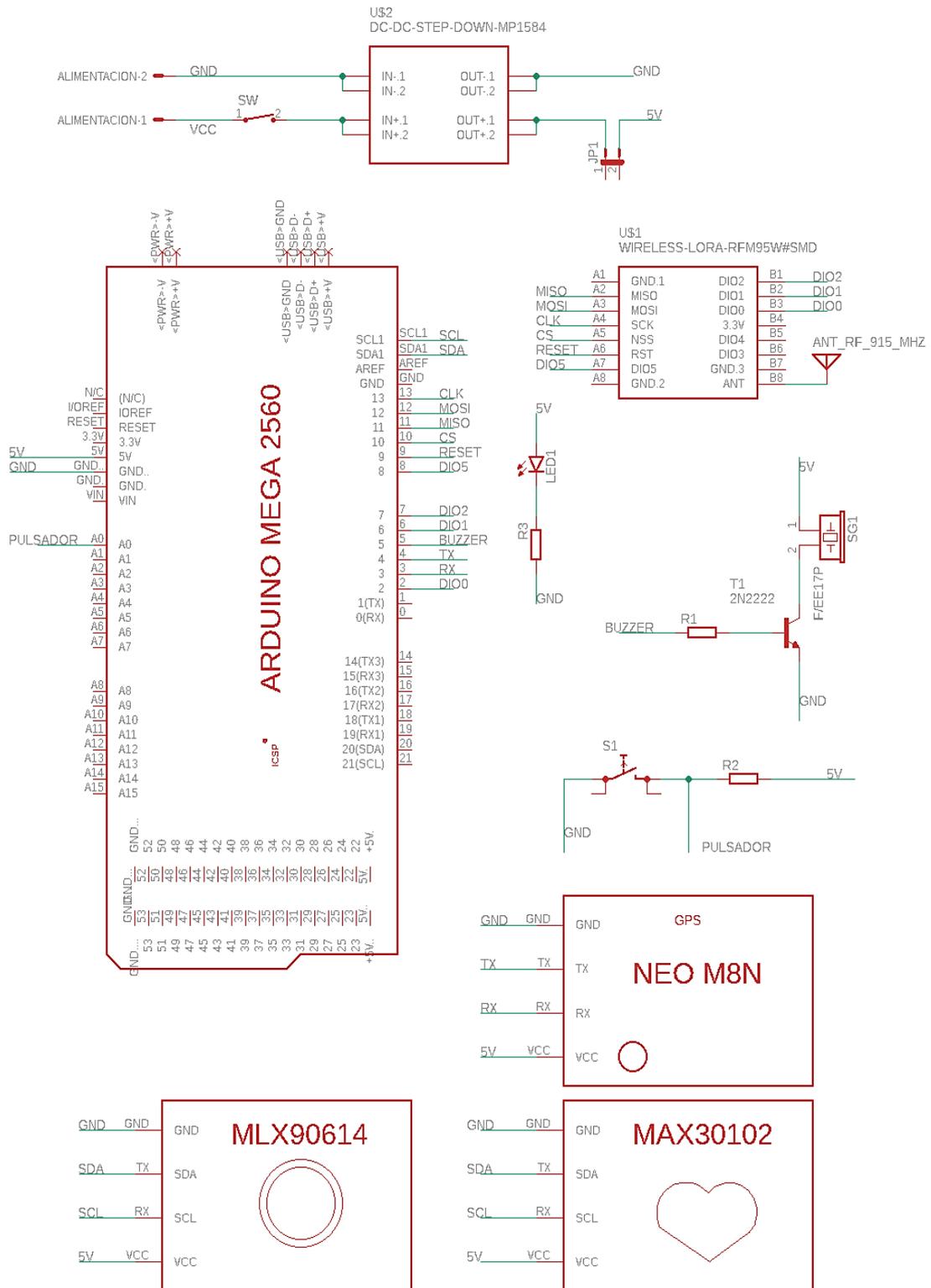
- Heart-Rate Monitor and Pulse Oximeter Sensor in LED Reflective Solution
- Tiny 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module
 - Integrated Cover Glass for Optimal, Robust Performance
- Ultra-Low Power Operation for Mobile Devices
 - Programmable Sample Rate and LED Current for Power Savings
 - Low-Power Heart-Rate Monitor (< 1mW)
 - Ultra-Low Shutdown Current (0.7µA, typ)
- Fast Data Output Capability
 - High Sample Rates
- Robust Motion Artifact Resilience
 - High SNR
- -40°C to +85°C Operating Temperature Range

Ordering Information appears at end of data sheet.

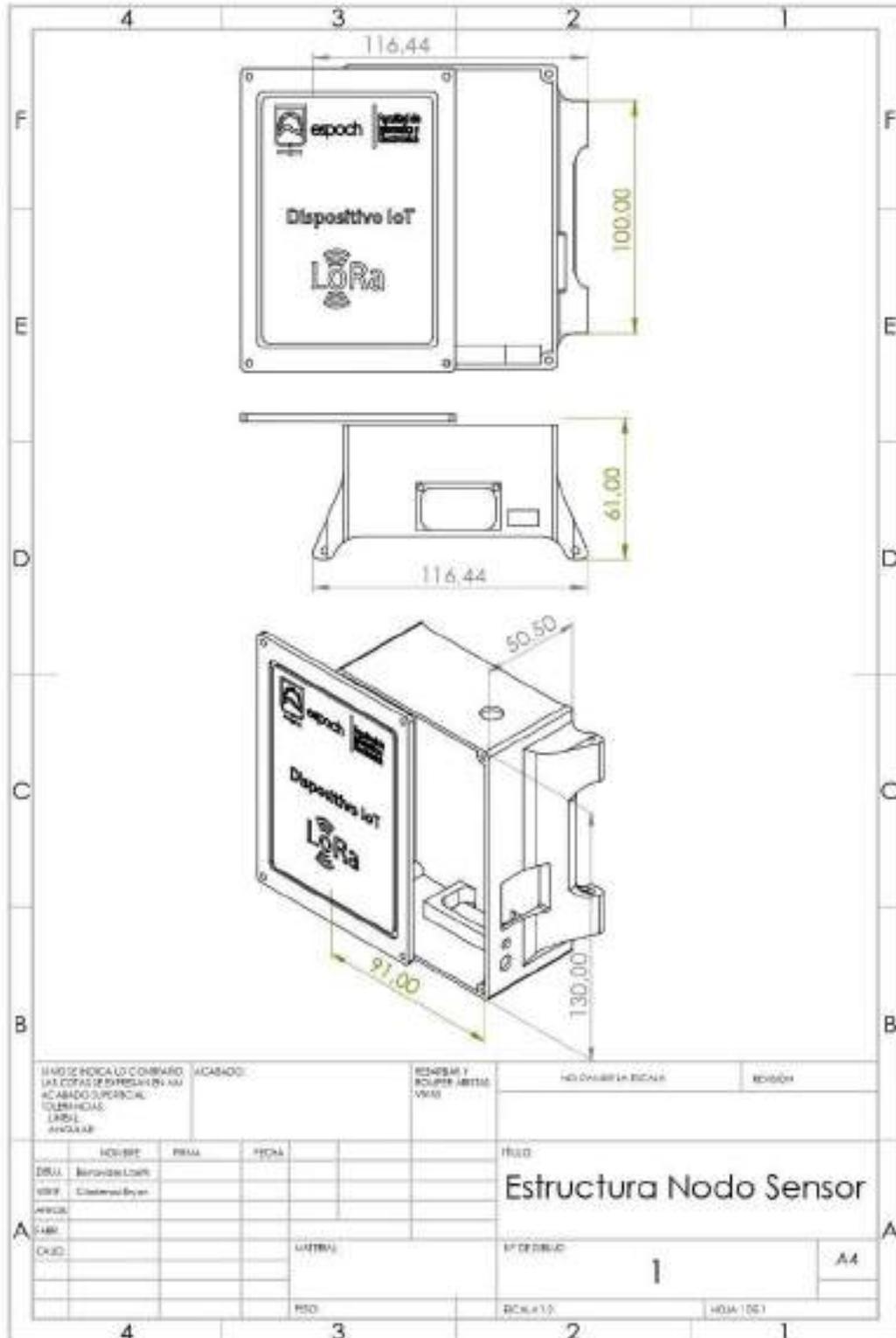
System Diagram

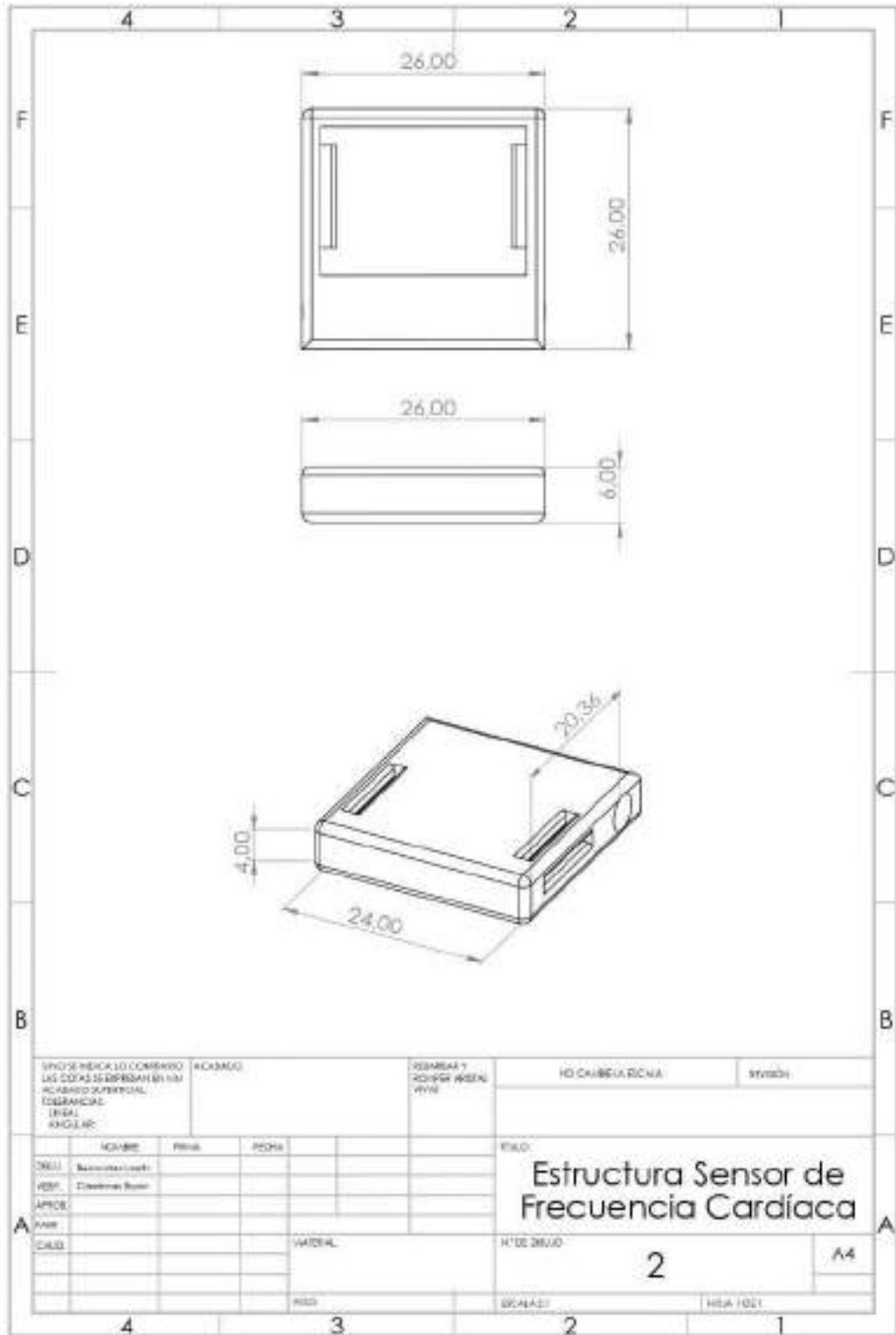


ANEXO H: ESQUEMA DE CONEXIÓN ELECTRÓNICA DEL NODO SENSOR

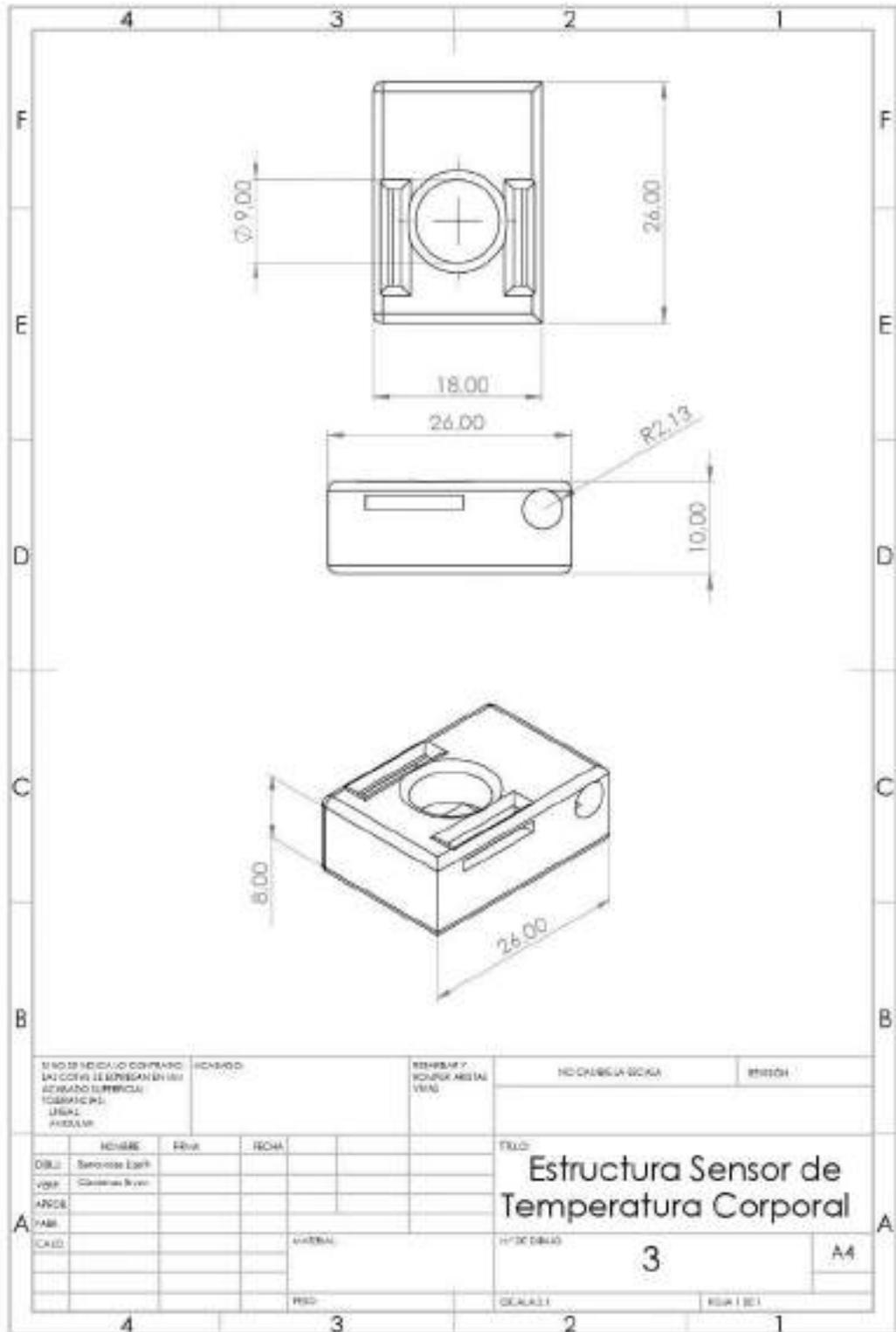


ANEXO I: PLANOS DE LA ESTRUCTURA DEL NODO SENSOR





UNO SE MENCIONA CORRIENDO LAS CÉLULAS SUPERIORES EN UN CÁMERA SUPERIOR (EJEMPLO: UNO) INFERIOR:		CÁMERA		CÁMERA Y CÁMERA INFERIOR		CÁMERA DE CÁMERA		EJEMPLO	
UNO	Superior	INFERIOR	INFERIOR			EJEMPLO			
UNO	Superior					Estructura Sensor de Frecuencia Cardíaca			
UNO									
UNO						NÚMERO DE UNO		A4	
						UNO		UNO	



TIPO DE INDICADOR CONTROLADO LAJOS DE LAS BATERIAS EN UNO AZULADO SUPERIOR TORNILLOS UNOS PAREDES		HONORADO		ESTADISTICO BOMBA ANDAL VASA		NO CONTROLADA BOMBA		BOMBA	
DISEÑO: Servicio Especial VISTA: Construcción AREA: TAMA: CALIB:		FECHA: BOMBA		MATERIAL: BOMBA		TIPO: Estructura Sensor de Temperatura Corporal		HONORADO 3	
		FECHA: BOMBA		MATERIAL: BOMBA		TIPO: 3		HONORADO A4	
		FECHA: BOMBA		MATERIAL: BOMBA		TIPO: 3		HONORADO A4	

ANEXO J: DATOS TÉCNICOS DE TERMÓMETRO INFRARROJO

que la temperatura aumenta unas décimas hacia mediodía. La temperatura de la mujer es 2 décimas superior de media. También varía de acuerdo con su ciclo de ovulación.

- Una persona sentada puede tener 3 o 4 centésimas menos que de pie.

Cómo medir la temperatura

Apunte al centro de la frente a una distancia de entre 3 y 5 cm, presione el botón medidor y la temperatura se mostrará instantáneamente.

Atención la fiabilidad de esta medida no puede ser garantizada si la medición de la temperatura se realiza en otra parte del cuerpo por ejemplo el torso el brazo etcétera.

Indicaciones

Por favor siga las siguientes indicaciones antes de realizar una medición de temperatura para obtener un resultado estable y fiable.

- Retire el cabello de la frente
- Limpie restos de sudor de la piel de la frente
- Evite climatizadores o focos de frío o de calor
- Espere entre 3 y 5 segundos entre 2 mediciones
- Cada vez que haya un cambio significativo en la temperatura ambiente dónde se va a utilizar el JXB-178 darle unos 15 minutos para su aclimatación.

6. Básicos



7. Características

- Diseñado para tomar la temperatura del cuerpo humano de 3 a 5 cm de distancia de la frente.
- Medición fiable y estable gracias al avanzado Sistema de detección infrarrojo.
- Aviso sonoro si la temperatura es superior a 38°C
- Memoriza las 32 últimas temperaturas registradas.
- 3 colores diferentes de iluminación en la pantalla LCD
- La temperatura se puede mostrar en °C o °F.
- Apagado automático después de 30 segundos.
- Tiempo de vida de 100.000 lecturas.
- Práctico y fácil de usar.

Otros usos

El JXB-178 también puede utilizarse para medir la temperatura de un biberón, el agua del baño o la temperatura ambiente de una habitación utilizando el modo habitación.

8. Instrucciones

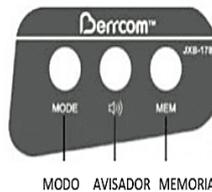
Primer uso: colocar las baterías y esperar de 10 a 15 minutos para que el termómetro se aclimate a la temperatura ambiente de la habitación.

Pulse el botón On/Scan, apunte con el termómetro a la frente a una distancia de 3 o 5 cm. Cuando pulse el botón On/Scan en modo de reposo la medición se realiza cuando la temperatura se muestra en pantalla o la señal acústica suena, la medida tarda un 1 segundo.

Nota no mueva la posición del termómetro mientras está realizando la medición.

Antes de tomar la temperatura asegúrese de retirar el cabello y la sudoración de la piel de la frente

9. Ajustes y funciones del menú



- Encienda el aparato.
- Pulse el botón On/Scan, un segundo después de que la pantalla se ilumine y entrará el modo de reposo con el símbolo --°C o --°F.
- Entonces pulse el botón On/Scan de nuevo y aparecerá resultado de medición en un segundo. Si no hay ninguna otra operación se apagará automáticamente en 30 seg.

Una vez que esté encendido puede cambiar el tipo de medición y realizar el resto de ajustes.

- Pulse el botón Modo, en la pantalla aparecerá: Cuerpo (en el medio) ...°C. Para medición de la temperatura corporal.
- Pulse otra vez Modo, en la pantalla aparecerá: Habitación (abajo) ...°C. Para la medición de la temperatura de una habitación.
- Pulse de nuevo Modo, en la pantalla aparecerá: Superficie (arriba) ...°C. Para la medición de una superficie

Nota tenga en cuenta que la temperatura por defecto está seleccionada en Body (temperatura corporal)

Importante!

La temperatura de superficie difiere de la temperatura interna corporal, para obtener la temperatura interna corporal siempre utilice el modo Cuerpo por favor asegúrese de seleccionar Superficie para una medición de superficies externas.

F1: Selección de la unidad de temperatura (°C o °F).

Pulse MODE durante 2 segundos en la pantalla aparecerá F1 entonces pulse el botón MODE para cambiar de °C a °F. Confirme presionando el botón MEM.

F2: Configuración del avisador.

Pulse MODE durante 2 segundos en la pantalla aparecerá F1 entonces pulse el botón MEM una vez y aparecerá F2 presione el botón MODE para elegir la temperatura a la que sonará la alarma de medición desde los 37,3°C hasta los 39,1°C. Confirme presionando el botón MEM.

Nota: El valor por defecto de la alarma viene fijado en 38°C.



ANEXO K: DATOS TÉCNICOS DE OXÍMETRO DE PULSO

FINGER PULSE OXIMETER

USER'S MANUAL V1.0

Section 1 Safety

1.1 Instructions for the Safe Operation and Use of the Pulse Oximeter

- Do not attempt to service the pulse oximeter. Only qualified service personnel should attempt any needed internal servicing.
- Do not use the oximeter in situations where alarms are required.
- SpO₂ measurements may be adversely affected in the presence of high ambient light. Shield the sensor area (with a surgical towel, or direct sunlight, for example) if necessary.
- The following reasons will cause interference.
 - High-frequency electrosurgical
 - Placement of a sensor on an extremity with a blood pressure cuff arterial catheter, or intravascular line
 - The patient has hypotension severe vasoconstriction severe anemia or hypothermia.
 - The patient is in cardiac arrest or is in shock.
 - Fingernail polish or false fingernails may cause inaccurate SpO₂ readings.

1.2 Warnings

WARNING: EXPLOSION HAZARD — Do not use the oximeter in a flammable atmosphere where concentrations of flammable anesthetics or other materials may occur.

WARNING: Do not throw batteries in fire as this may cause them to explode.

WARNING: Do not use the pulse oximeter in an MRI or CT environment.

CAUTION: Keep the operating environment free of dust, vibrations, corrosive, or flammable materials, and extremes of temperature and humidity.

CAUTION: Do not operate the unit if it is damp or wet because of condensation or spills. Avoid using the equipment immediately after moving it from a cold environment to a warm, humid location.

WARNING: During prolonged periods of use, if you feel discomfort or pain in finger, please take off the oximeter immediately to prevent the finger injuries.

WARNING: Prolonged use or the patient's physical condition may require changing the sensor site periodically. Change sensor site and check skin integrity, circulatory status and correct alignment at most every 4 hours.

WARNING: The oximeter is not intended to use in ICU, because the device's alarm does not meet requirements of EN 60601-1-8

WARNING: Do not attempt to recharge normal dry-cell batteries, they may leak. And may cause a fire or even explode.

CAUTION: Never use sharp or pointed objects to operate the front-panel switches.

CAUTION: The battery must be taken out from the battery compartment if the device will not be used for a long time.

CAUTION: The device shall only be used if the battery cover is closed.

CAUTION: The battery must be proper disposed according to local regulation after their use.

1.3 Definitions and Symbols

Symbol	Description	Symbol	Description
	Type BF Equipment		Information of manufacture, including name and address of a manufacturer
	Refer to the instruction manual/booklet		When the end-user wishes to discard this product, it must be sent to separate collection facilities for recovery and recycling
	Serial NO*		The important information you should know
	The information you should know to protect the equipment from possible damage		The information you should know to protect patients and medical staff from possible injury

Section 2 Introduction

2.1 Brief Device Description

The Oximeter can be used to measure human Hemoglobin Saturation and pulse rate through finger. The product is suitable for family, hospital (including clinical use in internal/surgery, pediatrics, etc), Oxygen Bar, social medical organizations, physical care in sports and etc.

2.2 Intended Use

This product is suitable for the hospital (including surgery, anesthesiology, paediatrics, and clinical use), oxygen bar, sports health (using them before or after sports, do not advise using them during the movement), and community health care, etc.

2.3 Contraindication

It is not for intensive care or person whose finger is injured.

2.4 Product Features

- Lightweight for carrying and Easy-To-Use.
- Manually adjust the direction of interface.
- OLED display, simultaneous display for testing value and plethysmogram.
- Real-time spot-checks.
- Low Battery voltage indicator.
- Automatically standby or sleep.
- Sleep monitoring function.
- Data storing and data analysis function.

Section 3 Installation, Setup, and Operation

3.1 Operation

3.1.1 Install battery

Installing two AAA batteries into battery cassette in correct polarities and cover it (as Figure 3.1.1)



Figure 3.1.1

WARNING: Do not attempt to recharge normal alkaline batteries, they may leak and may cause a fire or even explode.

3.1.2 Turn the Pulse Oximeter on

Put one of fingers into rubber hole of the oximeter (it is best to put the finger thoroughly) with nail surface upward (as Figure 3.1.2), then releasing the clamp.



Figure 3.1.2

Press the button, oximeter will go into the working state.

The oximeter will automatic standby or go asleep after 8 seconds without finger in.

3.1.3 Read correspondent data from display screen (see Figure 3.2.1)

3.2 Description

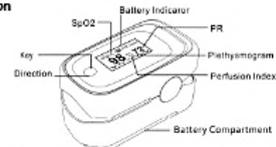


Figure 3.2.1 OLED display

Note: When battery power is at lowest level, the battery capacity indicates symbol of "1" in OLED, remind users of replacement of battery.

3.3 Install Hanging Rope

Let the thin end of the rope go through the rope hole, next let the big point of rope go through the hole, then tighten the rope.



3.3.1 Install Hanging Rope

3.4 Data analysis

There are two ways to operate the button according to the pressing time, long-press is longer than 0.5 second and short press is shorter than 0.5 second. Short-press is used

by moving a light bar to the line of this item, long-press is used to change the item's value, status or open a new page.

Long-press on the power button, the oximeter will display Data Analysis page as shown in Figure 3.4.1. When the bar is on the second row, long-press make the screen display the next page as shown in Figure 3.4.2-3.4.3.

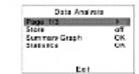


Figure 3.4.1

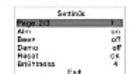


Figure 3.4.2

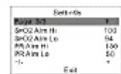


Figure 3.4.3

3.4.1 How to start a new analysis

Just before going to bed, select the item of "Store", change it's status to "on", select "OK" when the display is shown as Figure 3.4.1. Then put the finger into rubber hole of the oximeter to start a new continuous measurement. Take off the oximeter 2 hours later or after getting up, the oximeter will shut down automatically after the finger is taken off. When storing mode working, the oximeter will display "Sto" and battery volume alternately in the same position of screen. The maximum of recording time is 8 hours.

3.4.2 How to see the analysis results

Turn on the oximeter again, long press to enter "Data analysis" page as shown in Figure 3.4.4. Now the status of "Store" is off and "Summary Graph" and "Statistics" is OK. Select the item "Summary Graph", long press to open the graph page as shown in Figure 3.4.5. Each full page display 15 minutes' data. Select "<" or ">" and long press to see the previous or next page, select "<<" or ">>" and long press to see the

ANEXO L: AUTORIZACIÓN RPFCH



Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

Oficio Nro. MAAE-DAPOFC-2021-1428-O

Riobamba, 29 de agosto de 2021

Asunto: AUTORIZACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN - RPFCH

Wilson Armando Zuñiga Vinuesa
En su Despacho

De mi consideración:

En referencia al Oficio s/n, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Carrera de Electrónica y Automatización de fecha 21 de Julio del 2021 en el cual solicita conceder autorización para desarrollar el trabajo de titulación denominado "Implementación de un dispositivo IoT, basado en tecnología Lora para la geolocalización y Monitoreo fisiológico de personas en lugares turísticos" en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo para los tesisistas Lizett Inés Benavides Segura y Bryan Daniel Cárdenas Espinoza bajo la dirección del Dr. Geovanny Estuardo Vallejo Vallejo.

La Administración de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo en atención a su solicitud y luego de haber mantenido una reunión con los tesisistas del trabajo a desarrollar y con sujeción a la normativa ambiental vigente para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y al Plan de Manejo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, agradece la observancia y cumplimiento de las siguientes estipulaciones: Como el desarrollo de este trabajo de titulación implica la visita al área protegida y después de la coordinación con miembros del equipo de trabajo, de acuerdo a la normativa se solicita al finalizar:

- Presentar 2 copias (Digital e impresa) del trabajo final de titulación.
- Facilitar una presentación de los Resultados del Trabajo de Investigación al personal de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo.

Con el cumplimiento de lo expuesto, la Administración de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo **AUTORIZA**, el desarrollo del trabajo de titulación en mención a partir del 30 de Agosto del 2021, este documento debe ser presentado al ingreso del área protegida al personal de turno para su desarrollo, por temas inherentes a la coordinación se solicita tomar contacto con la Ing. María Luisa Cuadrado (maria.cuadrado@ambiente.gob.ec) Cel. 09933 16424

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Ing. Paul Eduardo Tito Guanoche
ESPECIALISTA EN ÁREAS PROTEGIDAS PROVINCIAL

Copia:

Señorita
María Luisa Cuadrado Ayala
Especialista de Áreas Protegidas Pro



Firmado electrónicamente por:
PAUL EDUARDO
TI TO GUANOCH E


```

        Serial.println(F(" bytes of payload"));
    }
    os_setTimedCallback(&sendJob, os_getTime()+sec2osticks(TX_INTERVAL), do_send);
    break;
case EV_LOST_TSYNC:
    Serial.println(F("EV_LOST_TSYNC"));
    break;
case EV_RESET:
    Serial.println(F("EV_RESET"));
    break;
case EV_RECOMPLETE:
    Serial.println(F("EV_RECOMPLETE"));
    break;
case EV_LINK_DEAD:
    Serial.println(F("EV_LINK_DEAD"));
    break;
case EV_LINK_ALIVE:
    Serial.println(F("EV_LINK_ALIVE"));
    break;
default:
    Serial.println(F("Unknown event"));
    break;
}

void do_send(osjob_t* j){
    if (LMIC.opmode < OP_TXRXPEND) {
        Serial.println(F("OP_TXRXPEND, not sending"));
    } else {
        long pulsos=pulse;
        long temperatura=temp*100;
        long bateria;
        long boton;
        mydata[0] = (byte) ((latitude & 0xFF000000) >> 24);
        mydata[1] = (byte) ((latitude & 0x00FF0000) >> 16);
        mydata[2] = (byte) ((latitude & 0x0000FF00) >> 8);
        mydata[3] = (byte) ((latitude & 0X000000FF));
        mydata[4] = (byte) ((longitude & 0xFF000000) >> 24);
        mydata[5] = (byte) ((longitude & 0x00FF0000) >> 16);
        mydata[6] = (byte) ((longitude & 0x0000FF00) >> 8);
        mydata[7] = (byte) ((longitude & 0X000000FF));
        mydata[8] = (byte) ((pulsos & 0X000000FF));
        mydata[9] = (byte) ((temperatura & 0x00FF0000) >> 16);
        mydata[10] = (byte) ((temperatura & 0x0000FF00) >> 8);
        mydata[11] = (byte) ((temperatura & 0X000000FF));
        mydata[12] = (byte) ((bateria & 0X000000FF));
        mydata[13] = (byte) ((boton & 0X000000FF));

        LMIC_setTxData2(1, mydata, sizeof(mydata)-1, 0);
        Serial.println(F("Packet queued"));
    }
    const int led=56;
    pinMode(led,OUTPUT);
    digitalWrite(led,1);
}

void setup()

Serial.begin(115200);
Serial.println(F("Starting"));
if(millis() > tiempo + periodo)
{
    tiempo = millis();
    lectura_gps();
    lectura_resp();
    pulsos();
    lectura_bateria();
    boton();
    envia_data();
}

void lectura_temp()
{
    temperatura= mlx.readObjectTempC();
    temperatura=-0.2034*temperatura + 43;
    Serial.print("Temperatura = ");
    message=message+String(temperatura)+"\n";
}

void lectura_pulsos()
{
    long irValue = particleSensor.getIR();

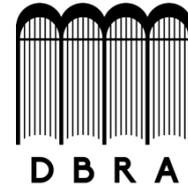
    if(irValue > 7000)
    {
        long delta = millis() - lastBeat;
        lastBeat = millis();
        beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0); //calcular BPM
        if (beatsPerMinute < 255 || beatsPerMinute > 250)
        {
            rates[ratespot++] = (byte)beatsPerMinute; //store this reading in the array
            ratespot %= RATE_SIZE; //wrap variable

            //Take average of readings
            beatAvg = 0;
            for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
                beatAvg += rates[x];
            beatAvg /= RATE_SIZE;
        }
    }
}

```




**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09 / 12 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: LIZETH INÉS BENAVIDES SEGURA
BRYAN DANIEL CÁRDENAS ESPINOZA

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

