



Diseño e implementación de un prototipo para monitoreo veterinario de signos vitales y rastreo de mascotas empleando tecnología IoT en la ciudad de Quito.

Lucio Inca, Evelin Pamela

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones

Ing. Sáenz Enderica Fabian Gustavo.

19 de julio del 2022



Tesis_revisar_Lucio_Evelin.pdf

Scanned on: 14:49 July 19, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	699
Words with Minor Changes	220
Paraphrased Words	223
Omitted Words	0



El usuario que realizó esta consulta es:
FABIAN GUSTAVO
SAENZ ENDERICA



Departamento de Eléctrica, Electrónica y
Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño e implementación de un prototipo para monitoreo veterinario de signos vitales y rastreo de mascotas empleando tecnología IoT en la ciudad de Quito" fue realizado por la señorita Lucio Inca Evelin Pamela; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de julio del 2022

Firma



Ing. Sáenz Enderica Fabian Gustavo

C. C. 0102343985



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y
Telecomunicaciones**

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Lucio Inca Evelin Pamela**, con cédula de ciudadanía n° 1724170087, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un prototipo para monitoreo veterinario de signos vitales y rastreo de mascotas empleando tecnología IoT en la ciudad de Quito** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de julio del 2022

Firma

Lucio Inca Evelin Pamela

C.C.: 1724170087



**Departamento de Eléctrica, Electrónica y
Telecomunicaciones**

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Autorización de Publicación

Yo **Lucio Inca Evelin Pamela**, con cédula de ciudadanía n° 1724170087, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un prototipo para monitoreo veterinario de signos vitales y rastreo de mascotas empleando tecnología IoT en la ciudad de Quito** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de julio del 2022

Firma

Lucio Inca Evelin Pamela

C.C.: 1724170087

Dedicatoria

A mi familia principalmente a mis padres por ser las personas que me apoyaron a lo largo de mi carrera universitaria. A mis hermanos por siempre estar para mí cuando lo he necesitado. Este logro es por y para ellos.

Lucio Inca Evelin Pamela

Agradecimiento

Agradezco a mi madre Marianita por siempre apoyarme y estar junto a mí, por haber hecho grandes sacrificios para que culmine mis estudios universitarios de la mejor manera posible, por brindarme un consejo y quererme como soy, por enseñarme que con perseverancia y dedicación todo se puede conseguir. A mi padrastro Walter por confiar en mí. A mi hermana Sara por ayudarme cuando lo he necesitado y a mi hermano Ronny por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A Oscar por formar parte de mi vida a lo largo de mi carrera universitaria y brindarme su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los peores momentos y por ayudarme a ser mejor persona cada día.

A todos mis compañeros que fueron parte de este gran camino por las experiencias y momentos compartidos.

Finalmente agradezco al Ing. Fabian Sáenz por su tiempo, dedicación y paciencia para el desarrollo y culminación de este proyecto de investigación.

Lucio Inca Evelin Pamela

Índice de Contenido

Reporte de verificación de similitud.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de Contenido	8
Índice de tablas.....	10
Índice de figuras.....	11
Resumen	14
Abstract.....	15
Capítulo I: Introducción	16
Antecedentes	16
Trabajos relacionados	17
Justificación e Importancia	19
Alcance	21
Objetivos	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	22
Descripción general del proyecto.....	22
Capítulo II: Marco Teórico	24
Internet de las cosas (IoT)	24
Red de área amplia de baja potencia	26
Sigfox.....	30
LoRa/LoRaWAN	32
LTE-M.....	38
NB-IoT	39
Red de sensores inalámbricos	40
Sistemas de Geoposicionamiento	41
Constantes fisiológicas en mascotas.....	42
Frecuencia cardíaca	43
Temperatura	44
Saturación de oxígeno	44

Capítulo III: Materiales y Métodos	45
Red LPWAN	45
Sensores para monitorización	49
Sensor de temperatura	49
Sensor de desplazamiento.....	52
Sensor de concentración de oxígeno y pulso cardiaco.....	55
Modulo GPS	58
Módulo LoRa	61
Microcontrolador	64
Programador.....	66
Plataforma IoT	67
Capítulo IV: Desarrollo e implementación	69
Arquitectura del sistema de monitorización de signos vitales y rastreo de mascotas.....	69
Dispositivo emisor	69
Pistas, placa y carcasa	73
Desarrollo del software	75
Dispositivo receptor.....	81
Pistas, placa y carcasa	83
Desarrollo del software	85
Aplicación IoT.....	89
Capítulo V: Pruebas y resultados	98
Conclusiones y Recomendaciones	110
Trabajos futuros	112
Acrónimos.....	113
Referencias Bibliográficas.....	115

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Principales aplicaciones de LPWAN</i>	28
Tabla 2 <i>Frecuencia cardíaca en mascotas</i>	43
Tabla 3 <i>Temperatura en mascotas</i>	44
Tabla 4 <i>Principales características de redes LPWAN</i>	45
Tabla 5 <i>Resumen de redes LPWAN</i>	48
Tabla 6 <i>Sensores de Temperatura</i>	49
Tabla 7 <i>Función de pines del sensor MLX90614</i>	52
Tabla 8 <i>Sensores de Desplazamiento</i>	52
Tabla 9 <i>Función de pines del acelerómetro ADXL33</i>	55
Tabla 10 <i>Sensores de pulso cardíaco</i>	56
Tabla 11 <i>Función de pines del sensor MAX30102</i>	57
Tabla 12 <i>Dispositivos de navegación por satélite</i>	58
Tabla 13 <i>Función de pines del módulo GTop Gms-g9</i>	60
Tabla 14 <i>Función de pines del transceptor SX1278</i>	62
Tabla 15 <i>Función de pines del microcontrolador ATMEGA328P</i>	65
Tabla 16 <i>Función de pines del módulo FT232</i>	67
Tabla 17 <i>Comparación entre mediciones de sensores y elementos veterinarios</i>	100
Tabla 18 <i>Valores de recepción de RSSI y SNR</i>	101

Índice de figuras

Figura 1 <i>Esquema ilustrativo de los diversos componentes IoT</i>	24
Figura 2 <i>Modelo de referencia de IoT</i>	26
Figura 3 <i>Topologías LPWAN</i>	28
Figura 4 <i>Pila de comunicación Sigfox</i>	31
Figura 5 <i>Arquitectura de Sigfox</i>	32
Figura 6 <i>Estructura trama LoRa</i>	33
Figura 7 <i>Arquitectura de la capa física LoRa</i>	35
Figura 8 <i>Topología de red LoRaWAN</i>	37
Figura 9 <i>Topologías WSN</i>	41
Figura 10 <i>Comparación de las principales tecnologías LPWAN</i>	47
Figura 11 <i>Ventajas de redes LPWAN</i>	48
Figura 12 <i>Distribución de pines del sensor MLX90614</i>	51
Figura 13 <i>Distribución de pines del acelerómetro ADXL335</i>	54
Figura 14 <i>Distribución de pines de sensor MAX30102</i>	57
Figura 15 <i>Distribución de pines del módulo GTop Gms-g9</i>	60
Figura 16 <i>Distribución de pines del transceptor SX1278</i>	62
Figura 17 <i>Distribución de pines del microcontrolador ATMEGA328P</i>	65
Figura 18 <i>Distribución de pines del módulo FT232</i>	67
Figura 19 <i>Planes de la plataforma IoT Blynk</i>	68
Figura 20 <i>Diagrama de bloques del sistema de monitorización</i>	69
Figura 21 <i>Diagrama de conexiones físicas del emisor</i>	71
Figura 22 <i>Diagrama esquemático del dispositivo emisor</i>	72
Figura 23 <i>Diagrama de pistas del emisor</i>	73
Figura 24 <i>Dispositivo emisor PCB</i>	74
Figura 25 <i>Carcasa del dispositivo emisor</i>	75

Figura 26 <i>Diagrama de flujo del dispositivo emisor</i>	76
Figura 27 <i>Declaración de variables a usar</i>	77
Figura 28 <i>Establecimiento de comunicación</i>	78
Figura 29 <i>Configuración sensor de concentración de oxígeno y ritmo cardíaco</i>	78
Figura 30 <i>Configuración acelerómetro</i>	79
Figura 31 <i>Configuración sensor de temperatura</i>	79
Figura 32 <i>Configuración de GPS</i>	80
Figura 33 <i>Configuración de RSSI y SNR</i>	80
Figura 34 <i>Envío de información</i>	81
Figura 35 <i>Diagrama de conexiones físicas del receptor</i>	82
Figura 36 <i>Diagrama esquemático del dispositivo receptor</i>	83
Figura 37 <i>Diagrama de pistas del receptor</i>	84
Figura 38 <i>Dispositivo receptor PCB</i>	84
Figura 39 <i>Carcasa del dispositivo receptor</i>	85
Figura 40 <i>Diagrama de flujo del dispositivo receptor</i>	86
Figura 41 <i>Declaración de variables a usar</i>	87
Figura 42 <i>Declaración de variables a usar</i>	87
Figura 43 <i>Establecimiento de comunicación</i>	87
Figura 44 <i>Recepción del paquete de datos y separación de los mismos</i>	88
Figura 45 <i>Impresión de datos en el puerto serial</i>	89
Figura 46 <i>Página inicial de Blynk para móviles</i>	90
Figura 47 <i>Inicio en la aplicación Blynk</i>	90
Figura 48 <i>Creación de un nuevo proyecto</i>	91
Figura 49 <i>Tipos de widgets disponibles en Blynk</i>	91
Figura 50 <i>Configuración del Widget Map</i>	92
Figura 51 <i>Configuración del Widget Gauge para mostrar la temperatura</i>	93

Figura 52 Configuración del Widget Value Display para mostrar el número de pasos, las pulsaciones y la concentración de oxígeno.....	94
Figura 53 Configuración de widgets Notify y Email.....	95
Figura 54 Aplicación completa	96
Figura 55 Token para conexión con la aplicación.....	96
Figura 56 Conexión entre el receptor y la aplicación.....	97
Figura 57 Información enviada a la aplicación Blynk.....	97
Figura 58 Configuración de notificación y envío a correo electrónico	97
Figura 59 Toma de signos vitales en la mascota.....	98
Figura 60 Mediciones obtenidas en la aplicación	99
Figura 61 Ubicación del receptor.....	101
Figura 62 Distancia máxima que se puede alcanzar	102
Figura 63 Variación de RSSI en función de la distancia	103
Figura 64 Variación de SNR en función de la distancia.....	104
Figura 65 Adecuación de dispositivo final en la mascota.....	104
Figura 66 Valores de temperatura.....	105
Figura 67 Valores de Concentración de Oxígeno.....	106
Figura 68 Valores de pulsaciones	106
Figura 69 Valores de pasos.....	107
Figura 70 Ubicación GPS.....	108
Figura 71 Notificación cuando un valor excede el rango establecido.....	109

Resumen

A lo largo de los años la tecnología ha ido avanzando a pasos agigantados, ya que existen nuevos productos y mejores servicios que hacen más fácil la vida del ser humano debido a que existe una infinidad de servicios tecnológicos disponibles, un claro ejemplo es que con la evolución del internet es posible que el Internet de las Cosas (IoT) sea una realidad, ofreciendo así un sin número de aplicaciones relacionadas principalmente con la salud, educación, transporte y seguridad. De esta manera se debe tener en cuenta que los problemas relacionados con la seguridad no solo afectan a las personas sino también a sus mascotas, por lo tanto, es importante conocer los principales signos vitales de las mascotas para poder tomar futuras decisiones con respecto a su salud. Por lo cual para solventar estas problemáticas se propone implementar un monitor de signos vitales y rastreador GPS empleando tecnología LoRa. El dispositivo final realizado permite conocer la temperatura, concentración de oxígeno y ritmo cardíaco, así como también la ubicación y el número de pasos de una manera no invasiva en la mascota y la información recolectada el usuario final la puede observar mediante la aplicación Blynk que es una plataforma IoT. También se reciben alertas ya sea en el dispositivo móvil donde se encuentre esta aplicación o mediante un correo electrónico, cuando uno de los parámetros se encuentre fuera del rango establecido, es así que se tiene un monitoreo constante de la mascota.

Palabras clave: monitorización, LoRa, mascotas, signos vitales.

Abstract

Over the years, technology has been advancing by leaps and bounds, since there are new products and better services that make life easier for human beings due to the fact that there are an infinity of technological services available, a clear example is that with the evolution of the internet it is possible that the Internet of Things (IoT) is a reality, thus offering a number of applications related mainly to health, education, transportation and security. In this way, it must be taken into account that security-related problems not only affect people but also their pets, therefore, it is important to know the main vital signs of pets in order to make future decisions regarding their care. Health. Therefore, to solve these problems, it is proposed to implement vital signs monitor and GPS tracker using LoRa technology. The final device made allows to know the temperature, oxygen concentration and heart rate, as well as the location and the number of steps in a non-invasive way in the pet and the information collected by the end user can be observed through the Blynk application that is an IoT platform. Alerts are also received either on the mobile device where this application is located or by email, when one of the parameters is outside the established range, so that the pet is constantly monitored.

Key words: monitoring, LoRa, pets, vital signs.

Capítulo I: Introducción

Antecedentes

Con el desarrollo tecnológico se puede solventar un sin número de necesidades, así pues, el Internet de las Cosas (IoT) está basado en la interconexión digital entre varios dispositivos a internet, desde objetos comunes como lámparas hasta dispositivos médicos, permitiendo así el intercambio de información entre ellos, obteniendo datos importantes como uso y rendimiento para poder establecer patrones, recomendaciones y mejorar la eficiencia (Mendieta, Herrera, & Jimenez, 2019).

De esta manera se prevé que el número de dispositivos conectados a internet casi se triplique a nivel mundial durante los próximos años, según Transforma Insights. De esta forma, se pasaría de aproximadamente 8.740 millones en 2020 a más de 25.400 millones en 2030 (Fernández, 2021).

El crecimiento continuo de las redes inalámbricas ha producido nuevas soluciones de conectividad, un ejemplo de esto es la tecnología IoT centrada en LoRaWAN y en LPWAN, siendo redes de largo alcance y bajo consumo (Buestán, 2019).

Actualmente existen una infinidad de sistemas de rastreo y monitoreo satelital aplicados en diferentes campos como lo son en transportes terrestres, aéreos, marítimos, para uso militar y de uso personal, siendo uno de los más utilizados el sistema de posicionamiento global GPS (Yuquilema Muñoz, 2017).

Así como los seres humanos desarrollan diversas técnicas, métodos y medicinas para su bienestar y de ser posible poder detectar de manera oportuna alguna enfermedad, surge la necesidad de querer que las mascotas, que forman parte de su vida, estén sanas provocando el desarrollo de nuevos métodos y de la tecnología necesaria para poder monitorear a la mascota

ya sea conociendo sus principales signos vitales como su ubicación (García, Hernández Bautista, & Hernández Gutiérrez, 2018).

Trabajos relacionados

Poder monitorizar a la mascota para conocer sus principales signos vitales y su ubicación ayuda a evitar posibles enfermedades así como también a evitar la pérdida de la misma, de esta manera para (Yuquilema Muñoz, 2017) la tecnología que se emplea principalmente para la localización de mascotas es GPS, para este estudio se empleó el modelo GPS Tracker TK102 y para la transmisión de la información se emplea GSM, de esta manera se realiza una llamada al chip colocado en el dispositivo de rastreo obteniendo como respuesta un mensaje de texto con las coordenadas de la ubicación y un link para la visualización en Google Maps; así como también se puede visualizar la información obtenida en la página web creada para ser visualizados ya sea mediante un teléfono móvil o un computador. Se obtuvo como tiempo de respuesta en cada llamada que se realizó para conocer la ubicación del dispositivo, un promedio de 8.67segundos.

Además, en (Gavilanes, 2018) se desarrolla un prototipo electrónico de bajo costo para la localización de mascotas en caso de pérdida, empleando un módulo Xadow GSM+BLE para la transmisión de la información que funciona conjuntamente con un módulo Xadow GPS v2 permitiendo capturar las coordenadas geográficas, toda esta información se almacena en una base de datos para luego ser observada tanto en una página web como en una aplicación móvil empleando APIS propias de Google Maps para la visualización del paseo de la mascota. Se obtuvo como resultado que el margen de error que genera el dispositivo al momento del envío de la información al servidor es de 11.84% pues de cada 152 coordenadas enviadas se perdían 18 paquetes por la cobertura de la operadora empleada.

A su vez, en (Molina, 2020) se realiza un sistema para la geolocalización de ganado bovino en los páramos de Cotopaxi para lo cual se emplea un módulo GPS Neo6mv2 como

sistema de posicionamiento, un módulo wifi ESP8266 para conexión a internet y un módulo NodeMcu ESP8266, como esta investigación se desarrolla en un ambiente rural se emplea internet satelital, implicando un costo adicional, así como también un Router y una antena Nano Station M2 para completar el sistema. Toda la información obtenida se puede visualizar en una aplicación móvil.

Por otro lado, en (Roa & Rojas, 2019) se desarrolla un sistema electrónico para el monitoreo de bovinos hembra en su ciclo estral tomando diversas variables como la temperatura, el ritmo cardíaco y la velocidad de movimiento para lo cual se emplean diversos sensores cuya información recopilada es enviada a la nube mediante Wi-Fi para luego poder ser visualizada en una página web o aplicación móvil. Para su realización se emplea una placa NodeMCU v3, un sensor de temperatura DS18B20, un sensor de ritmo cardíaco SEN11574, un sensor de desplazamiento MPU6050 y la plataforma ThingSpeak para visualización de resultados. Se obtuvo un error del 1.84% al momento de utilizar el sensor de ritmo cardíaco, un error del 26% con la utilización del sensor de desplazamiento mientras que para la medición de temperatura el error obtenido es menor al 1% y la aplicación de ThingSpeak recibe los datos después de 15 a 20 segundos de haber sido tomados.

De la misma manera en, (García, Hernández Bautista, & Hernández Gutiérrez, 2018) se describe el desarrollo de un sistema para el monitoreo de variables fisiológicas en caninos denominado Measy-Pet, de esta manera se emplea el fotodiodo BPW34 para la medición de valores relacionados con la oxigenación en la sangre trabajando con las longitudes de onda, para la medición de temperatura se emplea el sensor MA100GG103A y la placa de desarrollo ESP32, de esta manera la información obtenida se envía mediante Wi-Fi a la página web desarrollada, para la visualización de datos.

En el trabajo de investigación de (Buestán, 2019) se desarrolla una red IoT para detección de automóviles, en el cual se recopila información de diversos sensores básicos de

un automotor como temperatura, velocidad, nivel de gasolina, nivel de agua y monitoreo GPS, toda la información recopilada es enviada a la nube mediante la tecnología LoRa para ser visualizada en la plataforma ThingSpeak ; empleando el módulo Shield LoRa GPS, el módulo Repetidor Shield de LoRa – GPRS y como Gateway se emplea Dragino LoRA/GPS Shield. Se observa que en la prueba con línea de vista entre el transmisor y el receptor se demora 2 segundos en enviar la información a la nube, pero para que se visualice en la página tiene un rango entre 15 a 40 segundos para su visualización.

Además de los trabajos relacionados, existen dispositivos comerciales como Petlink Ecuador que permite conocer la ubicación de la mascota en tiempo real, cuenta con una aplicación móvil y página web para visualización de datos, además se puede configurar para tener zonas seguras y enviar diversas alertas, cuenta con una batería cuya duración es de 100 horas aproximadamente y es 100% resistente al agua (Petlink Ecuador, 2019). También se tiene a Voyce, empresa estadounidense, que presenta un dispositivo para monitorear la salud de perros, obteniendo datos como frecuencia cardíaca y respiratoria, patrones de descanso y calorías quemadas, así como también consta con un dispositivo GPS, todos los datos obtenidos son observados en la aplicación móvil o página web (OneHealthGroup, 2022).

Justificación e Importancia

Es común encontrar publicaciones en redes sociales que muestran fotos de mascotas y ofrecen recompensas para los que proporcionen algún tipo de información sobre el paradero de la misma, pero debido a que no existen personas honestas muchas de las veces estas logran estafar o extorsionar a los dueños de las mascotas extraviadas, la pérdida de las mascotas se puede ocasionar por varios factores dando como resultado búsquedas sin éxito (Gavilanes, 2018).

Según la compañía PetHub, dedicada a la realización de etiquetas de identificación de mascotas, indica que una de cada tres mascotas se pierde en algún momento de su vida, pero

menos del 2% de gatos y del 20% de los perros extraviados logran volver con su familia, lo cual también ayuda a incrementar el número de mascotas sin hogar que se encuentran en la calle (Gavilanes, 2018).

Según el reporte de Euromonitor Internacional la industria de mascotas crece a un ritmo anual de 6% en América Latina y para el año 2022 prevé un aumento mundial de \$2.000 millones en la venta de productos para mascotas, mientras que un informe sobre animales domésticos realizado por la agencia GFK asegura que más del 56% de la población mundial tiene por lo menos una mascota en casa (Primicias, 2020). Por lo cual al ser un mercado muy rentable existe una gran variedad de productos y servicios para mascotas desde comida y vestimenta hasta hoteles.

En 2015 el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) indicó que los ecuatorianos gastan \$7,7 millones al mes en productos para animales domésticos y en 2017 publicó que solo en cortes de pelo, y productos de veterinaria y guardería, el gasto mensual llega a \$1,6 millones (Primicias, 2020).

Para la construcción del dispositivo a realizar se cuenta con una variedad de sensores que van a transmitir información de manera inalámbrica, por lo tanto, las redes LPWAN permiten realizar este tipo de interconexión gracias a su bajo consumo de energía y amplia cobertura son usadas principalmente para aplicaciones IoT. De esta manera la tecnología LoRa, que es parte de las redes LPWAN, es una alternativa para la realización de este proyecto, pues tiene una elevada tolerancia a la interferencia y permite la conexión con diferentes sensores existentes en el mercado (Romero, 2020).

Actualmente las mascotas son consideradas un miembro más de la familia por lo cual juegan un papel fundamental en la vida de las personas, de hecho, tener mascotas es una buena manera de prepararse para la paternidad o maternidad, por lo cual los dueños siempre

buscan darles lo mejor a sus mascotas, de esta manera es muy importante conocer la salud de las mismas y hasta su ubicación en todo momento y que mejor si esta información está a un solo clic de los dueños, pues este proyecto busca no solo tener la localización si no también presentar un reporte de los principales signos vitales de una mascota ofreciendo un sistema eficiente y con costos reducidos al emplear tecnología IoT.

Alcance

En este proyecto de investigación se desarrolla un prototipo de monitorización de signos vitales y rastreo de mascotas en la ciudad de Quito, para de esta manera conocer futuros problemas de salud, así como también evitar la pérdida de las mismas. Para el diseño de este prototipo se emplean diversos sensores tanto para temperatura, movimiento, concentración de oxígeno, pulso cardiaco y GPS, cuya información va a ser enviada mediante tecnología LoRa y posteriormente el usuario puede observar la información recibida en una plataforma IoT.

Para la comunicación LoRa se emplea los transceptores SX1276 tanto para emisor como para receptor con el microcontrolador ATMEGA328 y un módulo ESP32 para la conexión inalámbrica mediante WiFi para el envío de datos a la plataforma de software libre Blynk.

Para la realización del proyecto de investigación, se proponen los siguientes objetivos:

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar e implementar un prototipo haciendo uso de sensores que permitan realizar el monitoreo de signos vitales y rastreo de mascotas empleando tecnología Lora y que mediante una plataforma IoT se realice la visualización por parte del usuario.

Objetivos específicos

- Realizar el estudio del estado del arte sobre la implementación de dispositivos de rastreo y monitorización de signos vitales en animales revisando artículos científicos, tesis y publicaciones para conocer la tecnología que se emplea actualmente.
- Realizar una revisión de sensores que existen actualmente que permitan medir los parámetros fisiológicos de animales domésticos para determinar el que mejor se adapte a la solución del proyecto.
- Diseñar la red de sensores empleando tecnología Lora que permita obtener los signos vitales y la ubicación de la mascota.
- Integrar la red de sensores con una plataforma de IoT para la visualización de datos.

Descripción general del proyecto

La organización del proyecto de investigación se presenta de la siguiente manera:

En el primer capítulo se encuentra una descripción general del trabajo de investigación como los antecedentes, trabajos relacionados, justificación e importancia, alcance y objetivos que sustentan esta investigación.

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico presentando diversos conceptos tales como IoT, redes de área amplia de baja potencia, tecnología LoRa, red de sensores inalámbricos y sistemas de geoposicionamiento, para que de esta manera se tengan claros los conceptos que se van a emplear en el desarrollo del proyecto.

En el tercer capítulo se explica los materiales y métodos empleados en donde se detalla la red IoT escogida, así como también los sensores que existen en el mercado y cuáles son los que más se adaptan para la realización de este proyecto de investigación

En el cuarto capítulo se presenta el desarrollo del prototipo y las pruebas realizadas para la verificación del funcionamiento del mismo en diversos escenarios.

Posteriormente se generan las conclusiones y recomendaciones, así como también diversos trabajos futuros que se encuentran dentro del área de investigación planteada.

La capacidad de computación en los diversos dispositivos IoT se encuentra definida por unidades de procesamiento, como lo son los microprocesadores, microcontroladores y aplicaciones de software. Se debe tener en cuenta que las aplicaciones de IoT se ejecutan en diferentes plataformas de hardware, como Arduino, Friendly ARM, Intel Galileo, Raspberry PI, Beagle Bone, entre otras (Mamoon , Ishrat , Zeba, & Sachin , 2020).

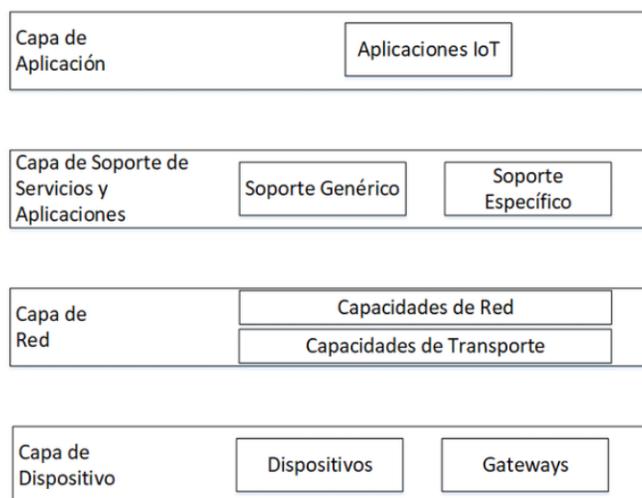
La escalabilidad, interoperabilidad, seguridad, control y gestión de recursos, eficiencia energética y calidad de servicio son los principales requisitos para la implementación de una red IoT (Burhanuddin, Basiron, Mohammed, & Ismail, 2017)

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), de acuerdo a su recomendación ITU-T Y.2060, la arquitectura para una aplicación IoT está compuesta de cuatro capas como se observa en la Figura 2 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012):

- Capa de aplicación: cuenta con aplicaciones que permiten la manipulación de una gran cantidad de datos, para su visualización mediante una interfaz que facilite la comprensión del usuario final.
- Capa de apoyo a servicios y aplicaciones: se tiene en cuenta la infraestructura y su localización dentro de la arquitectura, brindando soporte durante el almacenamiento y procesamiento de información.
- Capa de red: se presenta la infraestructura de comunicaciones end-to-end, proporcionando conectividad para el transporte de información.
- Capa de dispositivo: en donde se tiene los sistemas embebidos con sensores y actuadores.

Figura 2

Modelo de referencia de IoT



Nota. La figura representa la arquitectura que se emplea para IoT. Obtenido de (Saade, Gomez, Nieto, & Volentini, 2018).

Las diversas aplicaciones de IoT requieren nodos de baja eficiencia energética y baja complejidad para ser implementadas en redes escalables. Las tecnologías inalámbricas como WLAN (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.3) y LR-WPAN son utilizadas para aplicaciones de sensores en entornos de corto alcance. Mientras que WLAN y Bluetooth fueron diseñadas principalmente para tener una comunicación de datos de alta velocidad, ZigBee y LR-WPAN son empleadas para comunicación de datos de baja velocidad en entornos locales. Teniendo en cuenta también que las redes celulares inalámbricas como son 2G, 3G y 4G fueron diseñadas principalmente para comunicaciones de voz, datos y video, pero no para aplicaciones de sensores inalámbricos (Chaudhari, Zennaro, & Borkar, 2020).

Red de área amplia de baja potencia

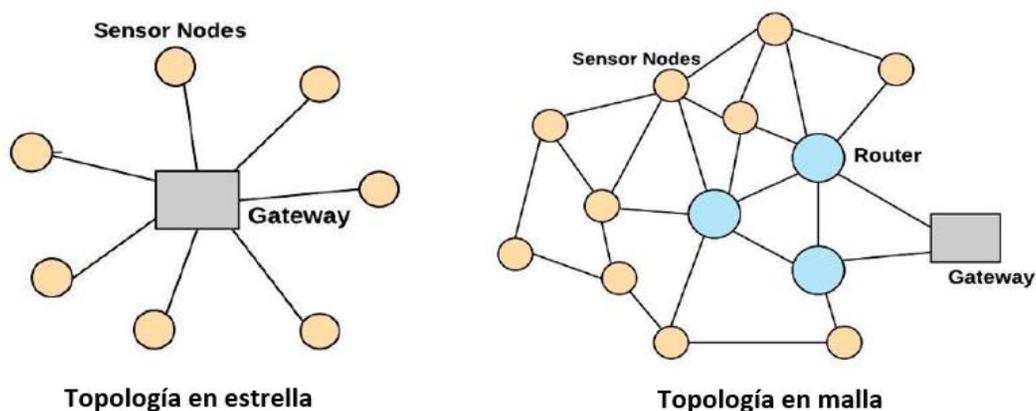
La red de área amplia de baja potencia conocida como LPWAN está formada por diversos estándares y soluciones de comunicación inalámbrica de IoT, estas redes abarcan

grandes áreas de cobertura, bajas velocidades de transmisión con paquetes de datos pequeños y una larga duración en la operación de la batería.

Los dispositivos que emplean esta tecnología llegan a tener un valor entre el rango de \$3 a \$7, tamaños de paquetes de 10 a 1000 bytes con velocidades de enlace ascendente de hasta 200 kbps, duración de la batería de más de 10 años, soporte para más de 100000 dispositivos y cobertura de 2 km a 1000 km dependiendo de la zona ya sea urbana o rural (Rouse, 2017).

Para LPWAN se tiene principalmente dos tipos de topologías las cuales son estrella y malla, de esta manera la red en estrella consta de un Gateway al que se conectan todos los nodos existentes, estos solo se pueden comunicar entre sí a través del mismo Gateway, cada nodo final transmite los mensajes al Gateway y este los reenvía al servidor de red, para las comprobaciones tanto de redundancia como de errores y seguridad, por lo cual esta topología es más rápida y confiable, si existe algún nodo defectuoso se lo puede identificar y aislar de una manera rápida, pero si el Gateway falla o presenta problemas todos los nodos conectados son inalcanzables (Chaudhari , Zennaro, & Borkar, 2020).

Mientras que la red en malla consta de un Gateway, nodos de sensores y de enrutamiento conectados directamente entre sí, presentándose redundancia aumentando la latencia y el costo comprometiendo la eficiencia energética de la red, estos dos tipos de topologías se observan en la Figura 3. Por lo cual se prefiere trabajar con redes en estrella que en malla pues esto permite conservar la energía de la batería y aumentar el rango de comunicación.

Figura 3*Topologías LPWAN*

Nota. Topologías más empleadas en redes LPWAN. Obtenido de (Chaudhari , Zennaro, & Borkar, 2020).

Existe un sin número de aplicaciones que pueden ser empleadas utilizando la tecnología LPWAN las principales se observan en la Tabla 1.

Tabla 1*Principales aplicaciones de LPWAN*

Campo	Aplicaciones
Ciudades inteligentes	Estacionamiento inteligente, medición de la calidad del aire, congestión del tráfico, control de semáforos, monitoreo de tapas de alcantarilla, entre otros.
Medio ambiente inteligente	Monitoreo de nivel de nieve, detección temprana de terremotos, calidad del aire, rastreo de animales, entre otros.
Medición inteligente	Medidores inteligentes de electricidad, de gas, de flujo de agua, entre otros.
Energía y red inteligente	Equilibrio de carga eléctrica, monitoreo remoto del estado del transformador, de instalaciones de energía solar, entre otros.

Campo	Aplicaciones
Seguridad y emergencia	Control de acceso perimetral, niveles de radiación, detección de gases explosivos, entre otros.
Retail	Control de la cadena de suministro, aplicaciones de compras inteligentes, gestión inteligente de productos, entre otros.
Automovilismo	Gestión de vehículos compartidos, seguimiento de flotas, trenes inteligentes, entre otros.
Agricultura y ganadería inteligente	Medición de temperatura, humedad y alcalinidad, mejora en los invernaderos, automatización y robótica agrícola, hidroponía, monitoreo y seguimiento del ganado, entre otros.
Hogares y edificios inteligentes	Detección de incendios, control remoto de electrodomésticos, uso eficiente de la energía y el agua, sistema de detección de intrusos, entre otros.
Salud y wearables	Salud del paciente y parámetros fisiológicos, entorno médicos conectados, telemedicina, cuidado de deportistas, seguimiento de enfermedades crónicas, dispositivos portátiles para el cuidado de la salud, entre otros.

Nota. Principales aplicaciones empleando LPWAN. Obtenido de (Chaudhari , Zennaro, & Borkar, 2020)

En la tecnología LPWAN se tiene servicios sin licencia como Sigfox y LoRa, y servicios con licencia como LTE-M y NB-IoT. En todo el mundo las diferentes operadoras de telefonía móvil están construyendo tanto redes LTE-M como NB-IoT, las cuales son altamente seguras pues son basadas en estándares apoyando de esta manera el rápido crecimiento de un sin número de aplicaciones IoT. Se prevé que estas redes reemplacen a los servicios 2G y 3G poco a poco en el transcurso de los siguientes años, por lo cual las nuevas aplicaciones se deben diseñar con módulos combinados tanto para LTE-M, NB-IoT y funcionar con las redes 2G y 3G existentes.

Mientras que las tecnologías como LoRa y Sigfox se despliegan generalmente en áreas de alta densidad ofreciendo muchos de los beneficios que se tiene en LTE-M y NB-IoT no son diseñadas con el mismo nivel de seguridad, interoperabilidad o servicio que ofrecen las operadoras celulares (wireless logic, s.f.).

Sigfox

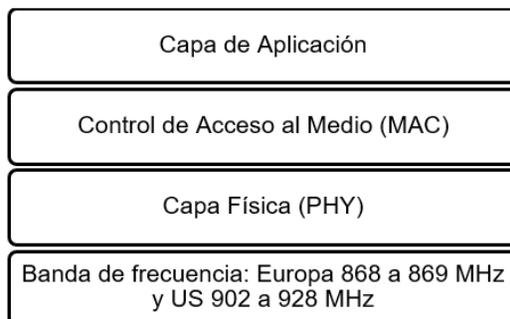
Es una tecnología LPWAN que hace uso de la modulación D-BPSK que es parte del tipo de modulación UNB, por lo cual al utilizar esta banda ultra estrecha permite una tasa de modulación lenta lo que permite que el receptor escuche solo una pequeña parte del espectro y de esta manera el efecto del ruido pueda mitigarse, al emplear esta tasa de modulación ayuda a tener una mayor área de cobertura (Chaudhari , Zennaro, & Borkar, 2020).

Como se emplea una modulación D-BPSK el mensaje transmitido tiene un ancho de banda fijo de 100 Hz y se envía con una velocidad de 100 bps, para Europa, o 600 bps, para Estados Unidos, también utiliza la portadora de banda ultra estrecha de las bandas ISM dentro de un espectro de frecuencia sin licencia que está por debajo de 1 GHz, para Europa 868 MHz y para la región de Estados Unidos 915 MHz (Lavric, Petrariu, & Popa, 2019).

Sigfox cuenta con una capa de radiofrecuencia que presenta los canales de comunicación, una capa física que incluye el esquema de modulación empleado, el control de acceso al medio, la detección de errores y el acceso al canal, finalizando con la capa de aplicación que es definida por los necesidades y requerimientos del usuario. Esta pila de comunicación se observa en la Figura 4.

Figura 4

Pila de comunicación Sigfox



Nota. Capas presentes en la tecnología Sigfox. Obtenido de (Islam, Ray, & Pasandideh, 2020).

Se debe tener en cuenta que, para el dispositivo final se restringe las comunicaciones de enlace descendente a 4 transmisiones de 8 bytes de carga útil y las comunicaciones de enlace ascendente a 140 transmisiones de 12 bytes de carga útil (Islam, Ray, & Pasandideh, 2020). Este dispositivo solo puede transmitir 36 segundos por hora, por lo cual se tiene aproximadamente 6 segundos como tiempo al aire por transmisión, dando como resultado que se envían solo 6 mensajes por hora, con una carga útil de 12 bytes, con aproximadamente 2,08 segundos por paquete (Sigfox Technical Overview, 2017).

En la Figura 5 se observa la arquitectura de Sigfox, en la cual el Gateway recibe el paquete una vez enviado y continua su camino hasta Sigfox Cloud. Presenta una arquitectura compuesta por nodos y las puertas de enlace para transmitir los mensajes desde el lado del nodo hasta Sigfox Cloud y el servidor del cliente con la aplicación.

Figura 5*Arquitectura de Sigfox*

Nota. Arquitectura que emplea Sigfox. Obtenido de (AVNET, 2018).

LoRa/LoRaWAN

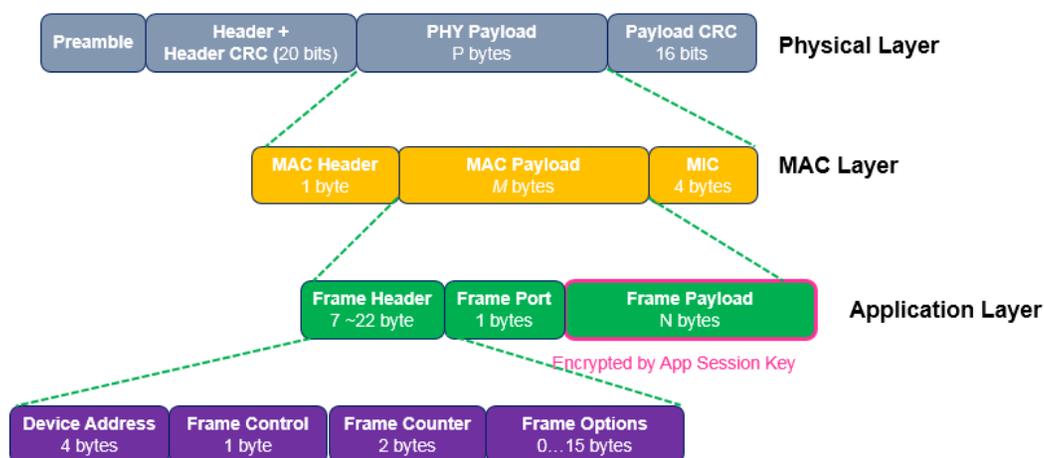
LoRa Alliance desarrolló LoRaWAN como un estándar abierto, por lo cual se debe tener en cuenta que la capa física es LoRa que fue desarrollada por Semtech y LoRaWAN es el protocolo de comunicación el cual es basado en ALOHA (Marais, Malekian, & Abu-Mahfouz, 2017).

La estructura de la trama de LoRa tanto para la capa física, la capa MAC y la capa superior se puede observar en la Figura 6 (Codeplayon, 2019), en donde se tiene:

- Trama de capa física:** en la capa PHY, la trama comienza con el preámbulo que tiene la función de sincronización y de definir el esquema de modulación, hay que tener en cuenta que se modula con el mismo factor de ensanchamiento que el resto del paquete. Este preámbulo va seguido de un encabezado PHY y un CRC con una longitud de 20 bits entre los dos y están codificados con la tasa de código más confiable. El encabezado PHY contiene información como la longitud de la carga útil y si el CRC de 16 bits de carga útil está presente en la trama. Se debe considerar que solo las tramas de enlace ascendente contienen CRC de carga útil y que la carga útil PHY contiene una trama MAC.

Figura 6

Estructura trama LoRa



Nota. Se presenta la estructura de la trama de LoRa para la capa física, la capa MAC y la capa de aplicación. Obtenido de (Codeplayon, 2019)

- Trama de capa MAC:** el paquete procesado en la capa MAC consta de un encabezado MAC, una carga útil MAC y un código de integridad del mensaje o MIC. El encabezado MAC define la versión del protocolo y el tipo de mensaje, es decir, si se trata de una trama de datos o de gestión y si se transmite en enlace ascendente o descendente. El encabezado MAC completo y la porción de carga útil se utilizan para calcular el valor MIC con una clave de sesión de red, se debe tener en cuenta que el valor de MIC se utiliza para evitar la falsificación de mensajes y autenticar el nodo final.
- Paquete de capa de aplicación:** la carga útil de MAC manejada por la capa de aplicación consta de un encabezado de trama, puerto de trama y una carga útil. El valor del puerto de trama se determina según el tipo de aplicación, de la misma manera el valor de la carga útil se cifra con una clave de sesión de aplicación. Mientras que el encabezado de trama contiene la dirección del dispositivo en cuyos 8 primeros bits se identifica a la red, se tiene un control de

tramas de 1 byte para información de control de la red como la velocidad de transmisión de información, también está constituido por con un contador de fotogramas para numeración secuencial y se presentan de 0 a 15 bytes para los comandos utilizados para cambiar la velocidad de datos, la potencia de transmisión y la validación de la conexión, entre otros.

Se debe tener en cuenta que LoRa es la modulación que emplean los diversos dispositivos para conseguir una alta cobertura con baja potencia mientras que LoRaWAN es el protocolo que establece como se envían los paquetes, de esta manera se tiene:

Capa física – LoRa. LoRa emplea la modulación Chirp Spread Spectrum o CSS con corrección de errores de reenvío, también emplea bandas ISM inferiores a 1 GHz pues en Asia emplea la banda de frecuencia 433 MHz, en Europa 868 MHz y 915 MHz en Estados Unidos; al ser de banda ancha permite que LoRa compense mejor una baja relación señal a ruido o SNR permitiendo que se demodule las señales incluso cuando están 19,5 dB por debajo del ruido existente en el canal, también se debe tener en cuenta que el uso de bandas que no son demasiado estrechas permite que LoRa muestre cierta robustez frente a algunas características propias del canal como la selectividad de frecuencia, efecto Doppler, entre otros.

Al emplear CSS permite un mayor rango de comunicación que la modulación FSK, empleada en la mayoría de sistemas inalámbricos, sin tener un aumento en el consumo de energía (Marais, Malekian, & Abu-Mahfouz, 2017).

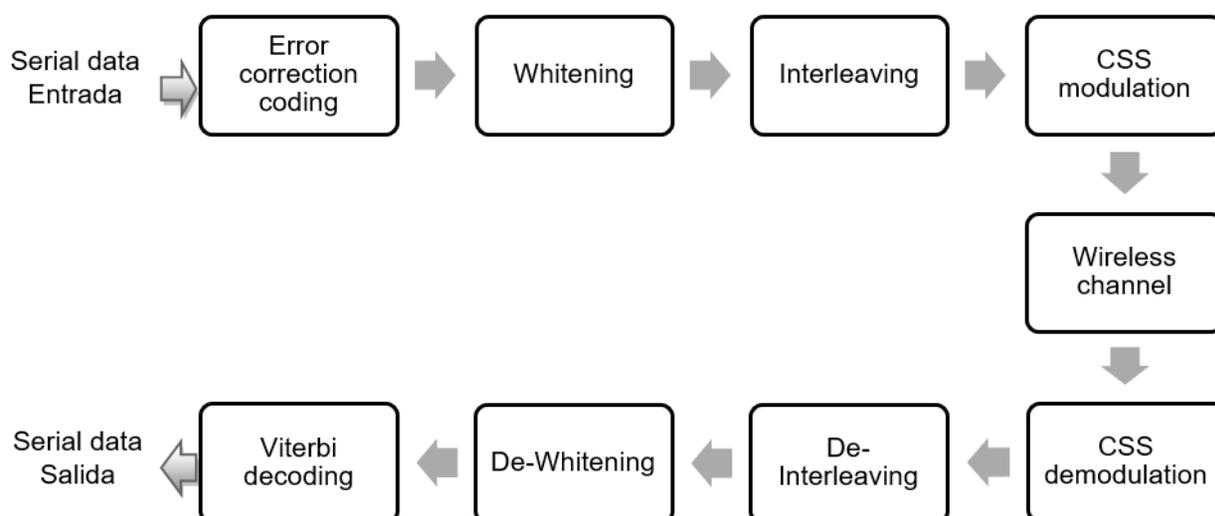
Las características principales de la modulación LoRa dependen de SF, CR y BW. En donde se conoce como factor de dispersión a SF que representa la relación entre la tasa de símbolo (R_s) y la tasa de chip (R_c), LoRa emplea seis factores de dispersión ortogonales (7 a 12) ofreciendo un equilibrio entre la velocidad de datos y el rango que se puede alcanzar en la transmisión. El factor CR representa la tasa de código que define la cantidad de técnicas de

corrección de errores de reenvío que se van a emplear, LoRa ofrece CR = 0,1,2,3 y 4, en donde tener un CR = 0 representa que no hay codificación. Mientras que BW es el ancho de banda que se emplea para la comunicación, LoRa proporciona tres configuraciones escalables de BW de 125 kHz, 250 kHz y 500 kHz (Pham, Bounceur, Clavier, & Noreen, 2019).

En la Figura 7 se presenta el diagrama de bloques de un transceptor LoRa (Pham, Bounceur, Clavier, & Noreen, 2019).

Figura 7

Arquitectura de la capa física LoRa



Nota. Diagrama de bloque de la arquitectura de la capa física LoRa. Obtenido de (Pham, Bounceur, Clavier, & Noreen, 2019).

- **Encoding:** los bits de entrada de la fuente binaria pasan a través de un codificador y la salida de este depende de la elección del valor CR. LoRa emplea tasas de codificación de 4/5, 2/3, 4/7 y 1/2, indicando que, si la tasa de código se denota como k/n , donde k representa información útil, y el codificador genera n número de bits de salida, entonces $n-k$ son los bits redundantes.

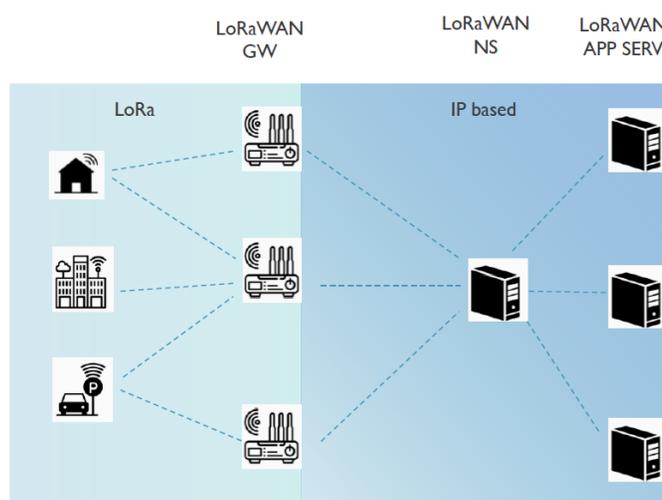
- **Whitening:** la salida del codificador pasa a través del bloque denominado Whiteningblock, este bloque puede ser implementado mediante la codificación Manchester reduciendo la aleatoriedad, para de esta manera asegurarse de que no haya cadenas largas de 0 y 1 en la carga útil.
- **Interleaving:** se emplea el método de colocación en diagonal para poder codificar cada palabra de código en $4+CR$ y es enviada al bloque spreading.
- **Spreading Modulation:** se distribuye cada símbolo sobre un chirp de acuerdo con el valor SF empleado, para LoRa las configuraciones de SF son de naturaleza ortogonal y permiten la transmisión simultánea de múltiples frames en una red. Para que después, los datos dispersos pasen a la modulación se necesita un ancho de banda mucho mayor para la transmisión que el requerido para la velocidad de datos considerada.
- **CSS Demodulation:** el receptor emparejado para un chirp lineal se realiza por multiplicación con el chirp conjugado para luego la señal de salida se analiza para identificar la presencia del pico estrecho y agudo en el dominio de la frecuencia los cuales se producen en el índice de tiempo correspondiente al valor constante del chirp codificado.

LoRaWAN. El protocolo de control de acceso al medio o MAC de LoRaWAN es un protocolo de código abierto que fue estandarizado por LoRa Alliance el cual se ejecuta sobre la capa física de LoRa. La capa LoRaWAN MAC proporciona el mecanismo de control de acceso al medio permitiendo de esta manera la comunicación entre múltiples dispositivos con los Gateway respectivos. LoRaWAN presenta una arquitectura de red que consta de una topología en estrella, en la cual los dispositivos finales solo pueden comunicarse con el Gateway y no directamente entre sí.

De esta manera varios Gateway están conectadas a un servidor de red central y son responsables de reenviar paquetes de datos sin procesar desde los nodos finales hacia el servidor de red encapsulándolos en paquetes ya sea UDP e IP (Haxhibeqiri, De Poorter, Moerman, & Hoebeke, 2018). El servidor de red es el encargado de enviar paquetes de enlace descendente y comandos MAC hacia los dispositivos finales y la comunicación termina en los servidores de aplicaciones. También se pueden conectar varias capas de aplicaciones a un único servidor de red, de esta manera la arquitectura de red LoRaWAN se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Topología de red LoRaWAN



Nota. Arquitectura de red LoRaWAN. Obtenido de (Haxhibeqiri, De Poorter, Moerman, & Hoebeke, 2018).

El estándar LoraWAN define tres clases de dispositivos finales, de los cuales todos los dispositivos finales deben ser compatibles con la Clase A, pero las otras clases son opcionales (Pham, Bounceur, Clavier, & Noreen, 2019), de esta manera se tiene:

- **Clase A:** Para habilitar la comunicación bidireccional, cada transmisión de enlace ascendente de un dispositivo de Clase A es seguida por dos ventanas de

recepción de enlace descendente breves durante las cuales el dispositivo final escuchará el posible tráfico de enlace descendente. Si la transmisión del enlace descendente ocurre durante la primera ventana, entonces el mismo canal que se usa para el enlace ascendente también se usa para el enlace descendente. En caso de que se use la segunda ventana de recepción para la transmisión de enlace descendente empleando el canal de 125 kHz centrado en 869,525 MHz con SF12, que tiene un ciclo de trabajo del 10 % y una alta potencia de transmisión de 24 dBm. Se debe tener en cuenta que los dispositivos finales de clase A consumen menos energía pues la mayor parte del tiempo están inactivos.

- **Clase B:** Para aumentar las posibilidades de enlace descendente, se deben abrir ventanas de recepción adicionales, para conocer cuando se sincronicen y para que el servidor de red sepa cuándo un determinado dispositivo final escuchará el tráfico del enlace descendente. Los dispositivos de clase B consumen más energía en comparación con los dispositivos de clase A, ya que necesitan abrir más ventanas de recepción.
- **Clase C:** Los dispositivos deberán abrir ventanas de recepción continuas, estando prácticamente todo el tiempo disponible para el tráfico de enlace descendente, excepto el momento en que estén transmitiendo.

LTE-M

LTE-M conocida por CAT-M1, es una tecnología basada en el estándar 3GPP que opera en el espectro LTE con licencia y es compatible con las mismas redes, pero también proporciona la conexión para tráfico M2M y brinda mayor cobertura. LTE-M está enfocada principalmente en brindar velocidades de datos variables y soporte para aplicaciones en tiempo real y no real admitiendo aplicaciones de baja latencia. Con bajos requisitos de energía permite

operaciones que van desde un ancho de banda bajo hasta un ancho de banda de 1.4 MHz. También es compatible con dispositivos con una amplia gama de tamaños de mensajes. Como se deriva de LTE como base, la movilidad se admite como parte de la funcionalidad estándar de LTE, pero no en escenarios de cobertura extendida (Chaudhari , Zennaro, & Borkar, 2020).

LTE-M está optimizada para trabajar con un ancho de banda mayor y para conexiones móviles que incluyan voz empleando VoLTE. Se debe tener en cuenta que las redes LTE-M coexistirán con las redes 2G, 3G y 4G, beneficiándose de todas las características de privacidad y seguridad de dichas redes.

NB-IoT

Narrowband IoT basada en el estándar 3GPP se encuentra en la Release 13, ofreciendo la flexibilidad de implementación al permitir el uso de una pequeña porción del espectro disponible en las bandas de LTE. NB-IoT puede coexistir con GSM y LTE en bandas de frecuencia con licencia de 700 MHz, 800 MHz y 900 MHz. Es compatible con la comunicación bidireccional en la que se emplea OFDMA para el enlace descendente, y SC-FDMA para el enlace ascendente. Se requiere un mínimo de 180 kHz de ancho de banda para establecer la comunicación. NB-IoT está diseñado para optimizar y reducir las funcionalidades de LTE para que pueda usarse con transmisiones de datos poco frecuentes y con bajos requisitos de potencia. Admite una velocidad de datos de 200 kbps para enlace descendente y 20 kbps para enlace ascendente. El tamaño máximo de carga útil para cada mensaje es de 1600 bytes. Con un ancho de banda de hasta 200 kHz (Chaudhari , Zennaro, & Borkar, 2020).

Se debe tener en cuenta que los módulos NB-IOT son de menor costo que los de las otras tecnologías de comunicación, así como también cuenta con una excelente penetración bajo tierra y en interiores.

Red de sensores inalámbricos

La red de sensores inalámbricos, conocida como WSN, es un sistema que emplea diversos dispositivos para poder recopilar y transmitir la información en tiempo real de variables ambientales o físicas, haciendo uso de sensores.

WSN está conformada por un nodo sensor o sensor node y un nodo disipador o sink node, en donde el hardware de cada nodo sensor contiene cinco módulos (Zemrane, Baddi, & Hasbi, 2019), los cuales son:

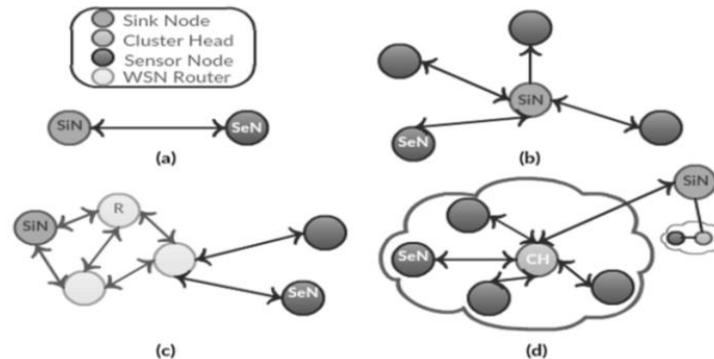
- **Unidad censora:** recoge información en una señal analógica del entorno como: luz, calor, movimiento, entre otras y la convierte en una señal digital.
- **Unidad de potencia:** ofrece la energía a otras partes del nodo.
- **Unidad de procesamiento:** procesa los datos, la señal digital, enviada por la unidad de detección.
- **Almacenamiento externo:** se emplea dos tecnologías de memoria, una memoria de programa que contiene el software del sistema y una memoria de usuario no volátil utilizada para almacenar datos personales.
- **Unidad de radio:** transfiere los datos al centro de control a través de un medio inalámbrico.

Las topologías WSN se presentan como nodos individuales en la red que se conectan entre sí, compuestos por diversos nodos sensores y nodos disipadores, pues todos los datos recopilados por los nodos sensores se envían a un nodo disipador, como se observa en la Figura 9. De esta manera se tiene las siguientes topologías:

- **Punto a punto:** esta topología le da a cada sensor una conexión por cable al nodo disipador, cuenta con una mayor confiabilidad, pero se aumenta la complejidad del cableado.
- **Estrella:** utiliza un nodo disipador conectado a más de un nodo sensor.
- **Malla:** permite comunicaciones punto a punto, la mayor ventaja de esta topología es la disponibilidad, puede establecer y mantener información de enrutamiento entre nodos sin intervención humana.
- **Clúster:** conocido por sus características de escalabilidad, una topología de clúster diseña algunos nodos como cabeza de clúster, y la comunicación entre los nodos sensores y los nodos receptores se puede lograr a través de los nodos de cabeza de clúster.

Figura 9

Topologías WSN



Nota. Topologías WSN: (a) Punto a punto; (b) Estrella; (c) Malla; (d) Clúster. Obtenido de (Zemrane, Baddi, & Hasbi, 2019).

Sistemas de Geoposicionamiento

Al Sistema de Posicionamiento Global o GPS se define como un sistema de localización, el cual fue diseñado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos

principalmente con fines militares para proporcionar estimaciones precisas tanto de posición, de velocidad y de tiempo, este sistema empezó a estar operativo desde el año 1995 utilizando conjuntamente varios ordenadores y una constelación conformada por 24 satélites para de esta manera determinar por triangulación la latitud, longitud y altitud de cualquier objeto que se encuentre en la superficie terrestre, ya sea para viajes por aire, mar y tierra (Pozo, y otros).

El sistema de 24 satélites se distribuye en seis planos orbitales centrados en la Tierra y cada uno con cuatro satélites los cuales orbitan a 20000 Km sobre la Tierra y viajan a una velocidad aproximada de 14000 Km/h. Se debe considerar que el Sistema GPS se compone principalmente por los siguientes segmentos (Geotab Team, 2020):

- **Espacio:** constituido por los satélites que giran alrededor de la Tierra y que envían señales a los usuarios sobre la posición geográfica y la hora.
- **Control terrestre:** compuesto generalmente por estaciones de monitoreo terrestres, estaciones maestras de control y antenas terrestres, se realiza el seguimiento de las transmisiones y la correcta operación de los satélites en el espacio.
- **Equipo de usuario:** compuesto por receptores y transmisores de GPS, pueden ser diversos artículos como relojes, teléfonos inteligentes, dispositivos telemáticos, entre otros.

Constantes fisiológicas en mascotas

Los signos vitales son un conjunto de parámetros clínicos que indican el estado fisiológico del organismo humano ya sea mediante la circulación de la sangre, la respiración, las funciones neurológicas y diferentes estímulos fisiológicos o patológicos. Es decir que los signos vitales permiten la cuantificación de diversas acciones fisiológicas que pueden ser la frecuencia respiratoria, frecuencia cardiaca, presión arterial, temperatura corporal y

concentración de oxígeno, estos valores indican que un individuo está vivo, así como también su estado de salud (Arguedas, 2019).

Los signos vitales tanto en humanos como en mascotas pueden cambiar de un individuo a otro y puede ser diferentes en el transcurso del día. En las mascotas dependen principalmente de su edad, de su tamaño, de su raza o de la actividad física.

Las constantes fisiológicas están conformadas por valores predeterminados, de las cuales las principales son:

Frecuencia cardíaca

Se debe tener en cuenta que los animales pequeños tienen una mayor frecuencia cardíaca en comparación con los animales de razas grandes, de la misma manera los animales jóvenes presentan una mayor frecuencia cardíaca que los animales mayores y al igual que en el ser humano cuando se encuentran en reposo baja su frecuencia cardíaca, de esta manera en la Tabla 2 se presenta el rango de frecuencia cardíaca en mascotas.

Tabla 2

Frecuencia cardíaca en mascotas

Tipo	Pulsaciones por minuto	
	Perros	Gatos
Cachorros	110-120	130-140
Adultos	90-100	120-140
Mayores	70-80	100-120

Nota. Según su tamaño en perros para razas pequeñas se tiene una frecuencia cardíaca de 80-120 y para razas grandes 60-80. Obtenido de (Gutiérrez & Caisa, 2021).

Temperatura

En la mayoría de los casos se toma la temperatura por medio del recto del animal, siendo este un medio invasivo, pues es muy complicado medir su temperatura únicamente tocándolo de esta manera en la Tabla 3 se presenta el rango de temperatura en mascotas.

Tabla 3

Temperatura en mascotas

Tipo	Temperatura	
	Perros	Gatos
Jóvenes	38.5-39.5	38-38.5
Adultos	37.5-39	38-39

Nota. Temperatura en mascotas. Obtenido de (Gutiérrez & Caisa, 2021)

Saturación de oxígeno

La saturación de la hemoglobina debe ser de al menos un 96 % en animales sanos, valores menores 90 % indica la presencia de desaturación de la hemoglobina.

Capítulo III: Materiales y Métodos

Red LPWAN

Como se describió en el Capítulo II las principales redes LPWAN son Sigfox, Lora, LTE-M y NB-IoT las cuales cuentan con sus rasgos propios, así como con sus ventajas y desventajas, de esta manera en la Tabla 4 se presentan las características a nivel general de estas tecnologías.

Tabla 4

Principales características de redes LPWAN

	Sigfox	Lora	LTE-M	NB-IoT
Ancho de banda	100 kHz	125 kHz	1.4 MHz	200 kHz
Frecuencia	Banda ISM 433, 868 y 915 MHz	Banda ISM 433, 868 y 915 MHz (915 MHz en Ecuador)	Frecuencia LTE con licencia	Frecuencia LTE con licencia
Modulación	BPSK	CSS	QPSK y 16- QAM	QPSK
Rango de cobertura	10 km en zonas urbanas	5 km en zonas urbanas	1 km en zonas urbanas	1 km en zonas urbanas
Potencia de salida máxima	40 km en áreas abiertas	11 km en áreas abiertas	5 km en áreas abiertas	10 km en áreas abiertas
	14 dBm	27 dBm	20 dBm	23 dBm

	Sigfox	Lora	LTE-M	NB-IoT
Carga útil	Para subida 12 bytes	243 bytes	Para subida 62.5 bytes	1600 bytes
	Para bajada 8 bytes		Para bajada 27.2 bytes	
Bidireccional	Unidireccional y semidúplex limitado	Si / Semidúplex	Si / Semidúplex y Full dúplex	Si / Semidúplex
Límite de transmisiones	140 paquetes por día	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Velocidad de datos máxima	100 bps	50 kbps	1 Mbps	200 kbps
Consumo de energía	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Seguridad	Baja	Alta	Alta	Alta
Inmunidad a interferencias	Alto	Alto	Medio	Bajo
Estandarización	Sigfox con ETSI	LoRa-Alliance	3GPP	3GPP

Nota. Comparación de las principales características de redes LPWAN. Obtenido de (Ertürk, Aydin, Büyükakkaşlar, & Evirgen, 2019) y (Hernández, 2020)

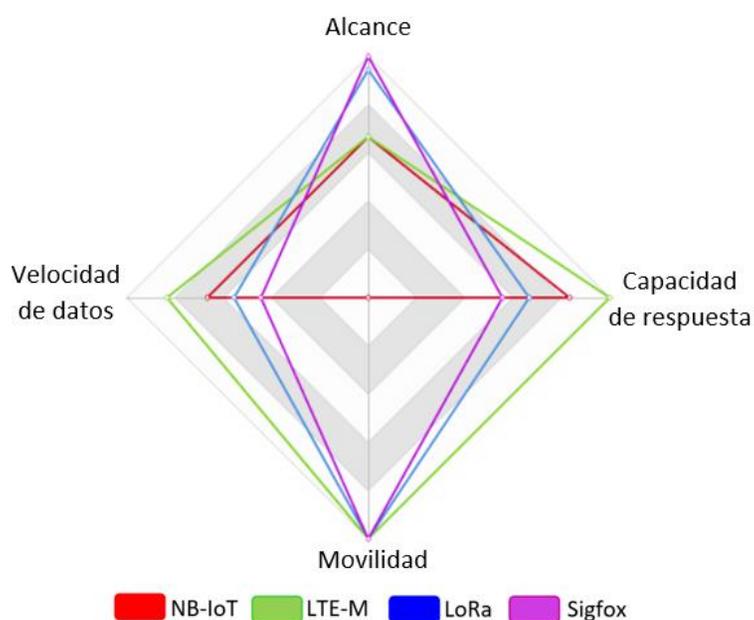
Se debe considerar que las tecnologías celulares como NB-IoT y LTE-M son más apropiadas para escenarios donde exista cobertura celular y donde la calidad del servicio, es decir la baja latencia y una mayor cantidad de datos son más importantes que la potencia, pues el alcance que se puede alcanzar va a ser menor. Mientras que Sigfox se adapta a un

escenario en el que puede contar con una cantidad de datos muy pequeña y a la vez desea transmitir a través de un largo alcance con baja potencia. De la misma manera LoRa permite tener un control mayor pues presenta mayor facilidad para configurar una red privada, así como también una capacidad configurable para enviar grandes conjuntos de datos y con la ayuda de la Clase C permite una latencia mucho más baja (Semtech.com, s.f.).

De esta manera en la Figura 10 se tiene la comparación entre el alcance, capacidad de respuesta, movilidad y velocidad de datos para las tecnologías LPWAN descritas anteriormente.

Figura 10

Comparación de las principales tecnologías LPWAN



Nota. Comparación de alcance, capacidad de respuesta, movilidad y velocidad de datos para las principales tecnologías LPWAN. Obtenido de (Semtech.com, s.f.)

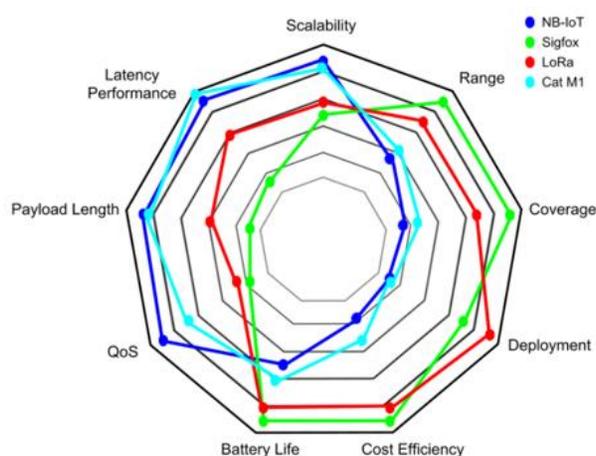
Así en la tabla 5 se presenta un resumen del alcance, capacidad de respuesta, movilidad y velocidad de datos para las tecnologías LPWAN presentadas en la Figura 10.

Tabla 5*Resumen de redes LPWAN*

	Alcance	Capacidad de respuesta	Movilidad	Velocidad de datos
Sigfox	Muy alta	Muy baja	Soportada	Muy baja
LoRa	Alto	Baja	Soportada	Baja
LTE-M	Medio	Muy Alta	Soportada	Muy alta
NB-IoT	Medio	Alta	No soportado	Alta

Nota. Resumen del alcance, capacidad de respuesta, movilidad y velocidad de datos para las tecnologías LPWAN. Tomado de (Semtech.com, s.f.)

En términos del Internet de las Cosas en la Figura 11 se presenta un resumen de las principales ventajas de las redes LPWAN. De esta manera se debe tener en cuenta que en las comunicaciones cuando se gana en algún parámetro se pierde en otro por lo cual se debe trabajar con la tecnología que más prestaciones brinde y mejor se adapte dependiendo de la aplicación IoT a desarrollar.

Figura 11*Ventajas de redes LPWAN*

Nota. Ventajas de redes LPWAN en términos de los factores que implican IoT. Obtenido de (Ubidots, s.f.)

Por lo cual teniendo en cuenta las Tablas 4 y 5, así como también las Figuras 10 y 11, para el desarrollo del presente proyecto se opta por implementar la red LoRa pues presenta un gran alcance con un bajo consumo de energía y para ser accesible a los usuarios su costo de implementación es menor a las otras redes LPWAN. También posee un número de transmisiones diarias ilimitadas dependiendo de la aplicación y cuenta con una alta inmunidad a interferencias mejorando la experiencia del usuario.

Sensores para monitorización

Para la realización de la monitorización de los signos vitales y de rastreo de mascotas se emplean diversos sensores que transmiten la información en tiempo real, los cuales están colocados en el arnés de las mascotas, con lo cual se tiene la medición de diversas variables como la temperatura, la frecuencia cardíaca, el número de pasos en un día y finalmente la ubicación actual empleando GPS. De esta manera a continuación se detallan los principales sensores que se van a emplear para el desarrollo del trabajo de titulación.

Sensor de temperatura

El sensor de temperatura mide la cantidad de energía térmica que puede generar un sistema u objeto produciendo una salida de tipo analógica o digital. De esta manera en la Tabla 6 se presenta una comparación de los principales sensores de temperatura empleados en proyectos electrónicos.

Tabla 6

Sensores de Temperatura

Sensor	DS1922L	KS103J2	MLX90614
Tamaño	17.35 mm	38.1 mm	17.20 mm
Costo	Muy alto	Alto	Bajo
Exactitud	±0.5°C	±0.1°C	±0.5°C

Sensor	DS1922L	KS103J2	MLX90614
Rango	-40 a 85°C	-80 a 135°C	-40 a 125°C
Operación	Contacto	Diferencia de filamento	Longitud de onda
Exterior	Si	No	Si

Nota. Comparación de sensores de temperatura más usados en proyectos electrónicos. Tomado de (Roa & Rojas, 2019)

De esta manera luego de analizar los sensores más usados para medir la temperatura el sensor que se utiliza es el MLX90614 pues es el de menor tamaño, así como también el de menor consumo energético, resistente a exteriores y al emplear longitud de onda es un sensor infrarrojo lo que se adapta a las necesidades de este proyecto.

MLX90614 Sensor Infrarrojo. El Sensor MLX90614 es un termómetro infrarrojo que permite realizar mediciones de temperatura de un objeto sin contacto, fabricado por la empresa Melexis. Es diseñado como un chip de silicio con una membrana muy fina la cual es micro mecanizada lo que le permite ser sensible a la radiación infrarroja que es emitida por un objeto a cierta distancia. En su interior este sensor cuenta con una etapa de amplificación y digitalización de la señal. Se debe tener en cuenta que el sensor presenta una salida lineal la cual se compensa de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente. Este sensor también integra un circuito para la filtración de ruido, un conversor Análogo/Digital con 17 bits de resolución y un procesador digital de señales. Para la salida del sensor se presenta una interfaz de comunicación digital tipo SMBus, siendo un subconjunto del protocolo I2C, así como también se puede configurar una salida PWM de 10 bits (Naylamp Mechatronics, s.f.).

Este sensor cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Melexis, 2007):

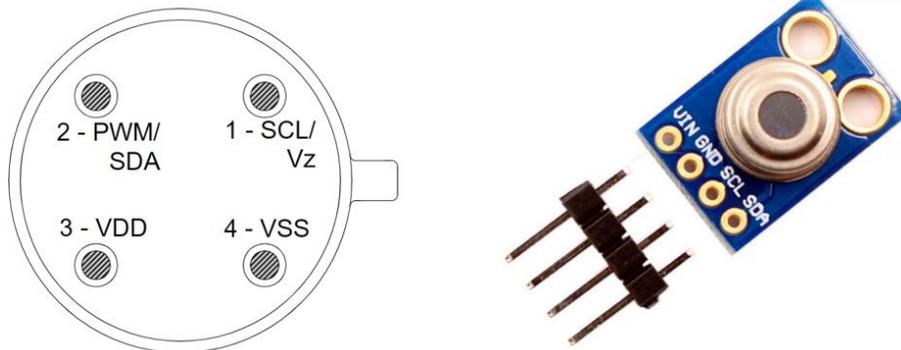
- Módulo GY-906

- Chip sensor MLX90614ESF-BAA
- Voltaje de operación de 3.3V a 5V
- Rango de temperatura ambiente de trabajo va desde -40°C hasta +125°C
- Rango de temperatura de objeto es desde -40°C hasta +125°C
- Precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- Regulador de voltaje 3.3V en placa
- Resistencias Pull-up a VIN en placa
- Distancia entre objeto y sensor de 2cm a 5cm aprox.

En la Figura 12 se observa la distribución de pines del sensor MLX90614 y en la Tabla 7 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 12

Distribución de pines del sensor MLX90614



Nota. Distribución de pines y sensor MLX90614. Obtenido de (Apogeeweb, 2022).

Tabla 7

Función de pines del sensor MLX90614

Pin	Función
SCL/Vz	Entrada de reloj serie para protocolo de comunicación de 2 hilos. Cuenta con un diodo zener de 5,7 V que está disponible en este pin para la conexión del transistor bipolar externo al MLX90614A para alimentar el dispositivo desde una fuente externa de 8 a 16 V.
PWM/SDA	Entrada/salida digital. La temperatura del objeto medido está disponible en este pin modulado por ancho de pulso, en el modo normal. Mientras que en el modo compatible con SMBUS, se configura automáticamente como NMOS de drenaje abierto.
VDD	Voltaje de alimentación externa
VSS	Tierra

Nota. Funcionamiento de pines del sensor MLX90614. Obtenido de (Melexis, 2007)

Sensor de desplazamiento

Los sensores de desplazamiento o conocidos como transductores de desplazamiento, están diseñados para realizar medidas ya sea de desplazamiento lineal o de posición lineal, de una forma proporcional. De esta manera en la Tabla 8 se presenta una comparación de los principales sensores de desplazamiento empleados en proyectos electrónicos.

Tabla 8

Sensores de Desplazamiento

Sensor	SEN13944	MPU6050	ADXL335
Tamaño	3.5 x 3 mm	4 x 4 x 0.9 mm	21 x 16 x 10 mm
Costo	Muy alto	Alto	Bajo

Sensor	SEN13944	MPU6050	ADXL335
Exactitud	±0.09 g	±0.02 g	±0.2 g
Rango	2g, 4g, 8g y 16g	2g, 4g, 8g y 16g	3 g
Operación	Cambio de placas y efecto magnético	Cambio de placas	Cambio de placas
Exterior	No	No	No

Nota. Comparación de sensores de desplazamiento más usados en proyectos electrónicos. Tomado de (Roa & Rojas, 2019)

De esta manera luego de analizar los sensores más empleados para la medición de desplazamiento, el sensor que se va a emplear es el acelerómetro ADXL335-GY-61 pues es el de menor consumo energético pese a su tamaño, cuenta con 3 ejes con salida analógica para los ejes X, Y y Z por lo cual se puede medir los pasos que se den con este sensor lo que se adapta a las necesidades de este proyecto.

ADXL335 Acelerómetro. Un acelerómetro es un dispositivo que mide la fuerza de aceleración debida a la gravedad a lo largo de los ejes X, Y y Z y en su superficie tiene la capacidad de medir la aceleración para producir un voltaje proporcional a esta aceleración. Este acelerómetro consta de dos tipos de placas una placa que es fija y la otra que está sostenida por un resorte de poli silicio, que se desvía por la aceleración. Por lo cual esta estructura tiene la capacidad de desviarse cada vez que se aplica aceleración en cualquier eje en particular, por lo cual se tiene como resultado de esta desviación que cambia la capacitancia entre las placas fijas y las placas suspendidas por resortes. De esta manera la cantidad de cambio producido en la capacitancia es proporcional a la cantidad de aceleración o desviación causada a lo largo de cualquier eje (Cassibba, 2022).

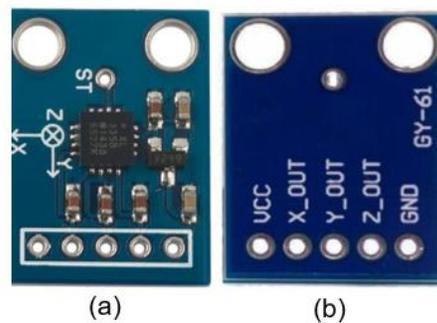
Este sensor cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Analog Devices, 2010):

- Modelo GY-61
- Chip sensor ADXL335
- 3 ejes de censado
- Bajo consumo 350uA
- Voltaje de trabajo de 1.8V a 3.6V
- Interfaz de salida de cantidad analógica
- Rango de escala completa de $\pm 3g$
- Sensibilidad de 300mv /g
- Sensibilidad de precisión de ± 10 (%)

En la Figura 13 se observa la distribución de pines del acelerómetro ADXL335 y en la Tabla 9 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 13

Distribución de pines del acelerómetro ADXL335



Nota. Distribución de pines del acelerómetro ADXL335: (a) Parte delantera (b) Parte posterior. Obtenido de (Cassibba, 2022)

Tabla 9*Función de pines del acelerómetro ADXL33*

Pin	Función
VCC	Pin de alimentación de 3,3 V o 5 V
X_OUT	Salida con valor analógico producido en proporción a la aceleración a lo largo del eje X
Y_OUT	Salida con valor analógico producido en proporción a la aceleración a lo largo del eje Y
Z_OUT	Salida con valor analógico producido en proporción a la aceleración a lo largo del eje Z
GND	Tierra
ST	Autoprueba para verificar si el sensor está funcionando o no

Nota. Funcionamiento de pines del acelerómetro ADXL335. Obtenido de (Analog Devices, 2010)

Sensor de concentración de oxígeno y pulso cardíaco

Se debe tener en cuenta que la pulsioximetría es un método no invasivo, el cual permite medir el porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en la sangre empleando un circuito fotoeléctrico. También el sensor de pulso cardíaco es un dispositivo que puede ser utilizado por medio de encoders para su correcto funcionamiento. De esta manera en la Tabla 10 se presenta una comparación de los principales sensores de concentración de oxígeno y pulso cardíaco empleados en proyectos electrónicos.

Por lo cual luego de analizar los sensores más empleados para la medición del pulso cardíaco, el sensor que se va a emplear es el MAX30102 pues es el de menor consumo energético, menor tamaño, trabaja con variaciones de longitud de onda y también permite medir la concentración de oxígeno lo que se adapta a las necesidades de este proyecto.

Tabla 10*Sensores de pulso cardíaco*

Sensor	SEN11574	MAX30102
Tamaño	15.8 mm	14 x 17 mm
Consumo	3 a 4 mA	1.2 mA
Exactitud	±1 BPM	±10 nm
Rango	0 a 200 BPM	600 a 900 nm
Operación	Emisión y recepción de luz	Longitud de onda
Exterior	No	Si

Nota. Comparación de sensores de pulso cardíaco más usados en proyectos electrónicos. Tomado de (Roa & Rojas, 2019)

MAX30102. Es un módulo integrado de un biosensor de oxímetro de pulso y monitor de frecuencia cardíaca. Cuenta con un led rojo (660nm) y un led infrarrojo (920nm) que actúan como fotodetectores pues son dispositivos ópticos y circuitos electrónicos de bajo ruido con supresión de luz ambiental. El sensor MAX30102 emplea una fuente de alimentación de 1,8 V y una fuente de alimentación independiente de 5,0 V para el led interno, que es aplicado a dispositivos para medir y detectar el ritmo cardíaco y la concentración de oxígeno en la sangre. La interfaz de comunicación estándar compatible con I2C es alta para transmitir los valores recopilados.

Este sensor cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Maxim Integrated, 2015):

- Voltaje de operación de 5 V
- Regulador de voltaje de 3.3 V y 1.8 V
- Filtro de luz entre 50 Hz y 60 Hz

- Protocolo de comunicación I2C
- ADC delta sigma de hasta 16 bits
- Temperatura de trabajo de -40°C hasta +85°C
- Monitor de frecuencia cardíaca de bajo consumo < 1 mW
- Rango de temperatura de funcionamiento de -40 °C a +85 °C

En la Figura 14 se observa la distribución de pines del sensor MAX30102 y en la Tabla 11 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 14

Distribución de pines de sensor MAX30102



Nota. Distribución de pines del sensor MAX30102. Obtenido de (ElectronicWings, 2021)

Tabla 11

Función de pines del sensor MAX30102

Pin	Función
VIN	Pin de alimentación de 1.8 V a 5 V
SCL	Bus de reloj I2C
SDA	Bus de datos I2C
INT	Interrupción
IRD	Cátodo led infrarrojo (No conectar)

RD	Cátodo led rojo (No conectar)
GND	Tierra

Nota. Funcionamiento de pines del sensor MAX30102. Obtenido de (Maxim Integrated, 2015)

Modulo GPS

El sistema de posicionamiento global emplea datos de varios satélites para poder ubicar un punto específico en la Tierra llamado trilateración o triangulación. Los sistemas de navegación por satélite más conocidos son GPS (Estados Unidos), BDS o Beidou (China), GLONASS (Rusia) y GALILEO (Unión Europea).

De esta manera en la Tabla 12 se presenta una comparación de los principales dispositivos de navegación por satélite en proyectos electrónicos.

Tabla 12

Dispositivos de navegación por satélite

Sensor	GPS UBLOX NEO	GTop Gms-g9
Tamaño antena	22x22mm	Incluida
Tamaño módulo	23x30mm	19.5x19.5x7.2mm
Sensibilidad de captura	-148dBm	-148dBm
Sensibilidad de rastreo	-161dBm	-165dBm
Consumo de corriente	67mA	35mA
Tiempo de inicio primera vez	38s	<35s
Tiempo de inicio	35s	<33s

Nota. Comparación de dispositivos de navegación por satélite. Tomado de (GlobalTop Technology Inc., 2012) y (u-blox).

De esta manera luego de analizar los dispositivos de navegación por satélite más empleados, el dispositivo que se va a emplear es el GTop Gms-g9 pues es el de menor

consumo energético, menor tamaño y menor tiempo de respuesta lo que se adapta a las necesidades de este proyecto.

GTOP GMS-G9. Es un módulo GNSS ultra compacto que emplea GPS + GLONASS, con una antena de quinta generación que permite que tanto GPS como GLONASS dupliquen la cantidad de satélites visibles, reduciendo así el tiempo de fijación inicial y aumentando la precisión de posicionamiento, especialmente en entornos urbanos.

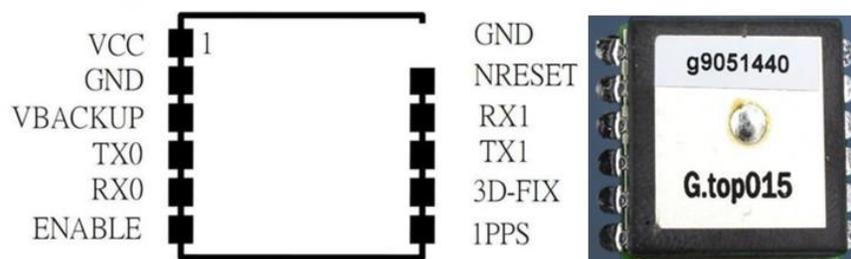
Este módulo cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (GlobalTop Technology Inc., 2012):

- Solución GPS MTK MT3333, 99 Canales
- Frecuencia GPS L1, 1575,42 MHz, GLONASS L1, 1598,0625~1605,375 MHz
- Sensibilidad de adquisición -148 dBm y de seguimiento -165 dBm
- Precisión de temporización (salida 1PPS) ± 10 ns RMS
- Protocolo NMEA 0183
- Interfaz 2 UART
- Tasa de actualización de 1 a 10 Hz
- Fuente de alimentación: VCC: 3,0 V a 4,3 V, VBACKUP: 2,0 V a 4,3 V
- Consumo de corriente de adquisición: 35 mA y de seguimiento 29 mA
- Temperatura de trabajo: -40 °C a +85 °C

En la Figura 15 se observa la distribución de pines del módulo GTop Gms-g9 y en la Tabla 13 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 15

Distribución de pines del módulo GTop Gms-g9



Nota. Distribución de pines del módulo GTop Gms-g9. Obtenido de (GlobalTop Technology Inc., 2012).

Tabla 13

Función de pines del módulo GTop Gms-g9

Pin	Función
VCC	Pin de alimentación
GND	Tierra
VBACKUP	Entrada de energía de respaldo y mantenimiento de datos de navegación
TX0	Salida de datos en serie A para NMEA
RX0	Entrada de datos en serie A para actualización de firmware
ENABLE	Se activa en alto, o funciona como un flotante
1PPS	Salida de marca de tiempo de 1PPS con un nivel de CMOS de 2.8V
3D-FIX	Indicador 3D-Fix
TX1	Salida de datos en serie
RX1	Entrada de datos en serie
NRESET	Se activa en bajo
GND	Tierra

Nota. Funcionamiento de pines del módulo GTop Gms-g9. Obtenido de (GlobalTop Technology Inc., 2012).

Módulo LoRa

Se emplea el Transceptor de largo alcance y baja potencia SXTEC SX1278, por ser de menor tamaño a las tarjetas de adquisición LoRa. Este transceptor permite una distancia de comunicación máxima de 10000 metros, cuenta con una alta sensibilidad de -148 dBm, cuya potencia de salida es de 20 dBm, admitiendo una larga distancia de transmisión y una gran confiabilidad. También proporciona diversas técnicas de modulación ayudando de esta manera a la inmunidad de interferencias pues admite modos FSK de alto rendimiento con sistemas que incluyen WMBus, IEEE802.15.4G (Semtech, 2020).

Este transceptor cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Semtech.com, s.f.):

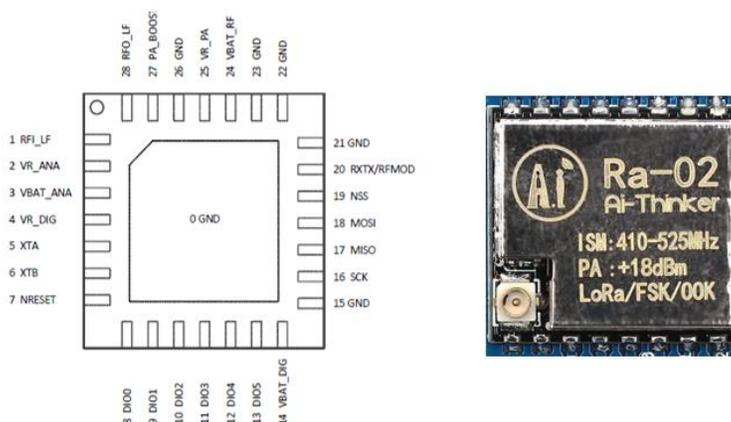
- Presupuesto de enlace máximo de 168 dB
- Salida de RF constante frente a suministro de voltaje 20dBm - 100mW
- PA de alta eficiencia de 18 dBm
- Tasa de bits programable hasta 300 kbps
- Alta sensibilidad hasta -148 dBm
- Excelente inmunidad de bloqueo
- Baja corriente Rx de 9,9 mA y retención de registro de 200 nA
- Sintetizador totalmente integrado con una resolución de 61 Hz
- Modulación FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa® y OOK
- Sincronizador de bits incorporado para la recuperación del reloj

- Detección de preámbulo
- RSSI de rango dinámico de 127 dB
- Motor de paquetes de hasta 256 bytes con CRC
- Rango de frecuencia 410 – 525MHz

En la Figura 16 se observa la distribución de pines del transceptor SX1278 y en la Tabla 14 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 16

Distribución de pines del transceptor SX1278



Nota. Distribución de pines del transceptor SX1278. Obtenido de (Semtech.com, s.f.).

Tabla 14

Función de pines del transceptor SX1278

Pin	Función
GROUND	Almohadilla de tierra expuesta
RFI_IF	Entrada RF para bandas 2 y 3
VR_ANA	Tensión de alimentación regulada para circuitos analógicos
VBAT_ANA	Tensión de alimentación para circuitos analógicos

VR_DIG	Tensión de alimentación regulada para bloques digitales
XTA	Conexión XTAL o entrada TCXO
XTB	Conexión XTAL
NRESET	Restablecer entrada de disparo
DIO0	E/S digitales, software configurado
DIO1/DCLK	E/S digital, software configurado
DIO2/DATA	E/S digital, software configurado
DIO3	E/S digital, software configurado
DIO4	E/S digital, software configurado
DIO5	E/S digital, software configurado
VBAT_DIG	Tensión de alimentación para bloques digitales
GND	Tierra
SCK	SPI Entrada de reloj
MISO	SPI Salida de datos
MOSI	SPI Entrada de datos
NSS	SPI Entrada de selección de chip
RXTX/RF_MOD	Control de interruptor Rx/Tx: alto en Tx
RFI_HF (GND)	Entrada RF para banda 1 (Tierra)
RFO_HF (GND)	Salida RF para banda 1 (Tierra)
GND	Tierra
VBAT_RF	Tensión de alimentación para bloques RF
VR_PA	Suministro regulado para el PA
GND	Tierra
PA_BOOST	Salida PA de alta potencia opcional, todas las bandas de frecuencia
RFO_LF	Salida RF para bandas 2 y 3

Nota. Funcionamiento de pines del transceptor SX1278. Obtenido de (Semtech.com, s.f.).

Microcontrolador

Para poder usar el transceptor SX1278 se emplea el microcontrolador ATMEGA328P, pero como se necesita el menor tamaño posible se emplea este microcontrolador en su versión SMD. Este microcontrolador ATmega328-SMD es fabricado por Microchip® y forma parte de la familia de microcontroladores AVR® con arquitectura RISC de 8-bit, con un formato de encapsulado superficial o SMD (Microchip, 2020).

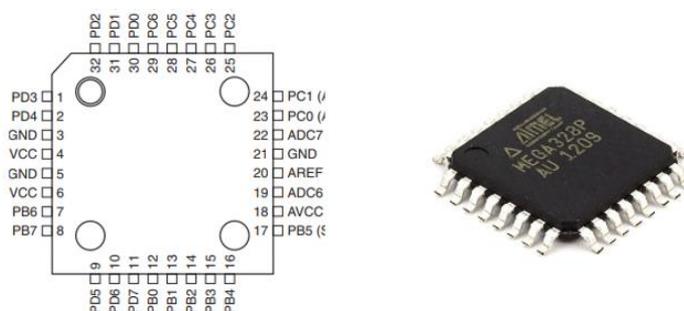
Este microcontrolador cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Microchip, 2020)

- Formato encapsulado SMD 32-VQFN
- Memoria FLASH de 32KB
- Memoria RAM de 2KB
- Memoria EEPROM de 1KB
- Frecuencia de funcionamiento 20MHz máximo
- CPU de 8-bit AVR
- 8 entradas analógicas (ADC 10-bit)
- Voltaje de alimentación 3.3V-5V DC
- Voltaje entradas/salidas 5V TTL máximo

En la Figura 17 se observa la distribución de pines del microcontrolador ATMEGA328 y en la Tabla 15 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 17

Distribución de pines del microcontrolador ATMEGA328P



Nota. Distribución de pines del microcontrolador ATMEGA328P. Obtenido de (Microchip, 2020).

Tabla 15

Función de pines del microcontrolador ATMEGA328P

Pin	Función
VCC	Voltaje de alimentación
GND	Tierra
Puerto B (PB0-7)	XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2 Puerto de E/S bidireccional de 8 bits
Puerto C (PC0-5)	Puerto de E/S bidireccional de 7 bits
PC6/RESET	Si el fusible RSTDISBL está programado, PC6 se usa como pin de E/S. Si el fusible RSTDISBL no está programado, PC6 se usa como entrada de reinicio.
Puerto D (PD0-7)	Puerto de E/S bidireccional de 8 bits
AV_cc	Pin de voltaje de suministro para el convertidor A/D, PC3:0 y ADC7:6. Debe estar conectado externamente a VCC, incluso si no se utiliza el ADC.
AREF	Pin de referencia analógico para el convertidor A/D.

ADC7:6	En el paquete TQFP y VQFN, ADC7:6 sirven como entradas analógicas al convertidor A/D. Estos pines sirven como canales ADC de 10 bits
---------------	--

Nota. Funcionamiento de pines del microcontrolador ATMEGA328P. Obtenido de (Microchip, 2020).

Programador

Para programar el microcontrolador ATMEGA328P se emplea el módulo FT232 que es un programador conversor serial de Arduino, que pertenece a la compañía Future Technology Devices International. Está constituido por el microcontrolador Atmega8U2 que está programado como un convertidor desde USB a serial.

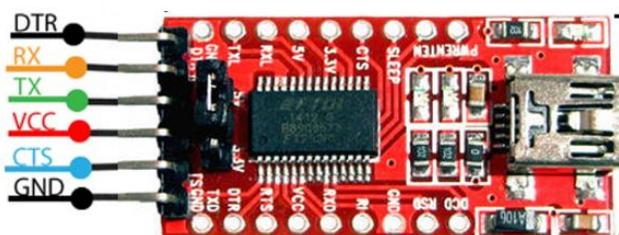
Este módulo cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Rajguru Electronics , 2019):

- Acceso a señales GND, CTS, VCC, TX, RX y DTR.
- El protocolo esta manejado por completo en el chip pues no se requiere programación de firmware específica para USB.
- UART soporta 7 u 8 bits de datos, 1 o 2 bits de parada, y paridad
- Operación a 3.3 V o 5 V configurable
- USB 2.0 Full speed
- Buffer transmisión de 256 bytes y de recepción de 128 Bytes

En la Figura 18 se observa la distribución de pines del microcontrolador ATMEGA328 y en la Tabla 16 se presenta el funcionamiento de cada pin.

Figura 18

Distribución de pines del módulo FT232



Nota. Distribución de pines del módulo FT232. Obtenido de (Rajguru Electronics , 2019).

Tabla 16

Función de pines del módulo FT232

Pin	Función
DTR	Terminal de datos listo, salida utilizada para control de flujo
RX	Recepción de datos en serie
TX	Transmisión de datos en serie
VCC	Entrada de alimentación
CTS	Borrar para enviar, entrada utilizada para control de flujo
GND	Tierra

Nota. Funcionamiento de pines del módulo FT232. Obtenido de (Rajguru Electronics , 2019).

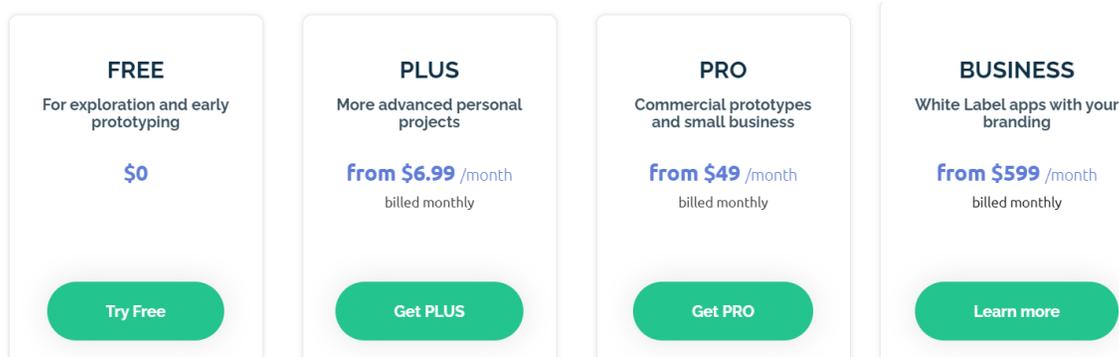
Plataforma IoT

Para la visualización de datos por parte del usuario final se emplea la plataforma IoT Blynk, siendo una plataforma gratuita y de paga se puede usar tanto en computadoras como en teléfonos móviles. Se puede construir y administrar el hardware conectado, permite la visualización de datos de sensores, el control remoto con aplicaciones móviles y web, actualizaciones de firmware por aire, nube segura, análisis de datos, administración de acceso y usuarios, alertas, automatizaciones, entre otras funciones (Blynk Inc, 2022).

En la Figura 19 se observa los planes con los que cuenta esta plataforma, pero para el desarrollo de este proyecto se emplea la versión móvil y gratuita que ofrece dicha plataforma.

Figura 19

Planes de la plataforma IoT Blynk



Nota. Planes de la plataforma IoT Blynk. Obtenido de (Blynk Inc, 2022).

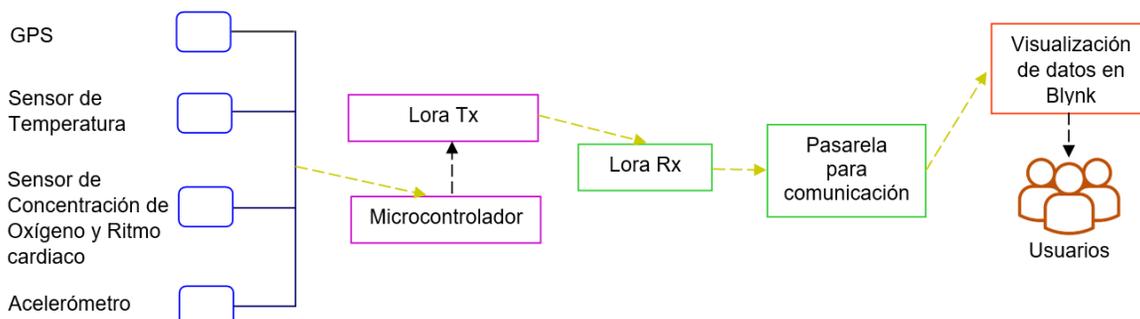
Capítulo IV: Desarrollo e implementación

Arquitectura del sistema de monitorización de signos vitales y rastreo de mascotas

Para una mejor comprensión del sistema de este proyecto de titulación, en la Figura 20 se presenta la estructura del mismo descrita mediante un diagrama de bloques. Para lo cual se presenta el emisor que consta de GPS, sensor de temperatura, sensor de concentración de oxígeno, ritmo cardiaco y un acelerómetro, que son los encargados de capturar las diversas variables y empleando el módulo transmisor de LoRa se pueda enviar esta información. Para transmitir estos datos al módulo LoRa receptor y este a su vez mediante WiFi envíe la información respectiva a la plataforma Blynk para que el usuario final pueda visualizar los datos en su teléfono móvil.

Figura 20

Diagrama de bloques del sistema de monitorización



Nota. Etapas que forman parte de la arquitectura del sistema de monitorización.

Dispositivo emisor

El dispositivo emisor encargado de enviar la información se encuentra conformado por los siguientes elementos:

- Módulo GPS GTop Gms-g9

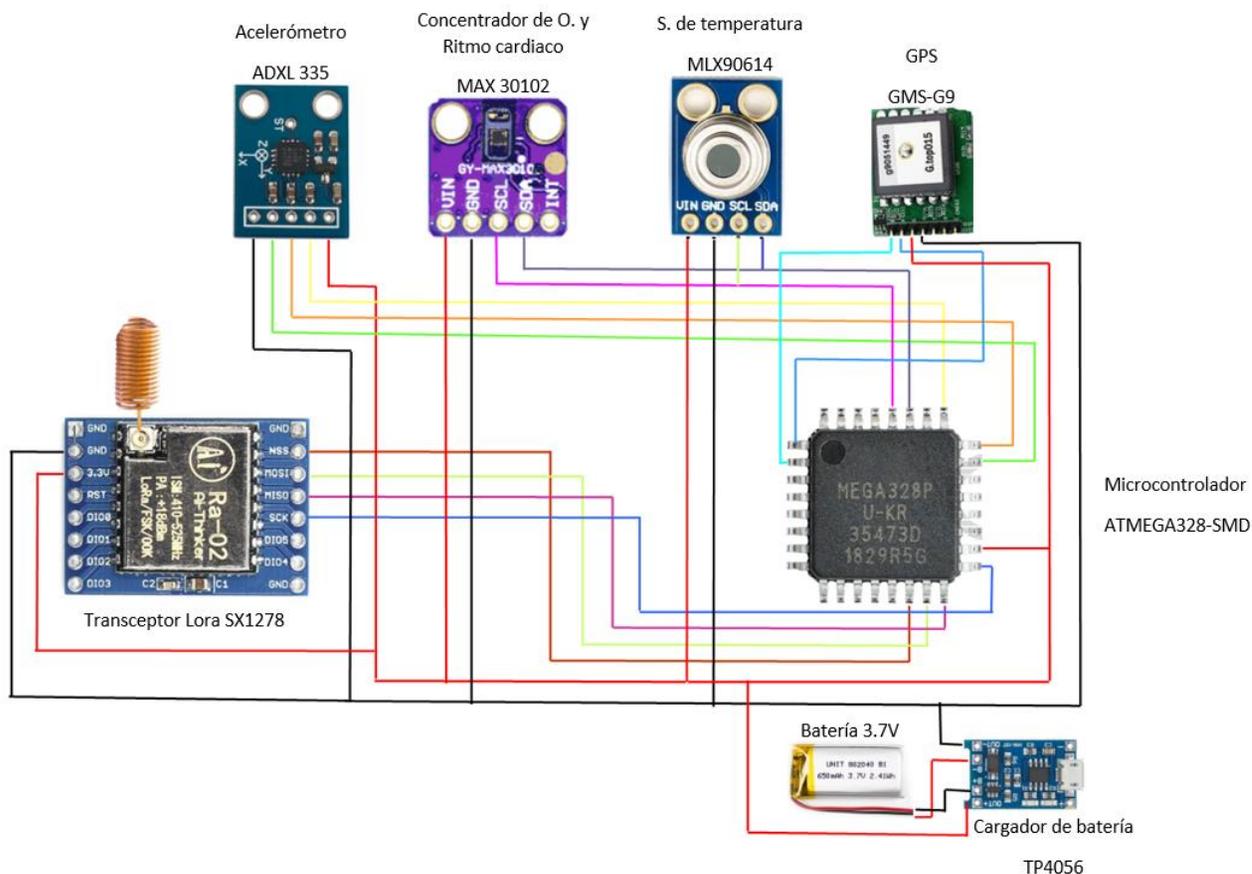
- Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614
- Acelerómetro ADXL335
- Sensor de concentración de oxígeno y ritmo cardiaco MAX30102
- Transceptor LoRa SX1278
- Microcontrolador ATMEGA328P - SMD
- Módulo de carga TP4056
- Batería de litio de 3.7V – 500mA
- Módulo FT232

De esta manera el dispositivo emisor está compuesto principalmente por un microcontrolador ATMEGA328 que es el mismo microcontrolador presente en un Arduino uno pero como para el desarrollo del proyecto se requería que el emisor sea del menor tamaño posible, se emplea solo este microcontrolador pero en SMD y este es el encargado de controlar los sensores tanto de temperatura, el acelerómetro, el de concentración de oxígeno y ritmo cardiaco, así como también el GPS y el transceptor que permite la comunicación LoRa. Todo este dispositivo emplea una batería de litio de 3.7V con su respectivo módulo de carga. Para realizar de una manera más practica la programación de este dispositivo en general, se emplea el módulo FT232.

En la Figura 21 se presenta un diagrama con las conexiones y materiales respectivos.

Figura 21

Diagrama de conexiones físicas del emisor



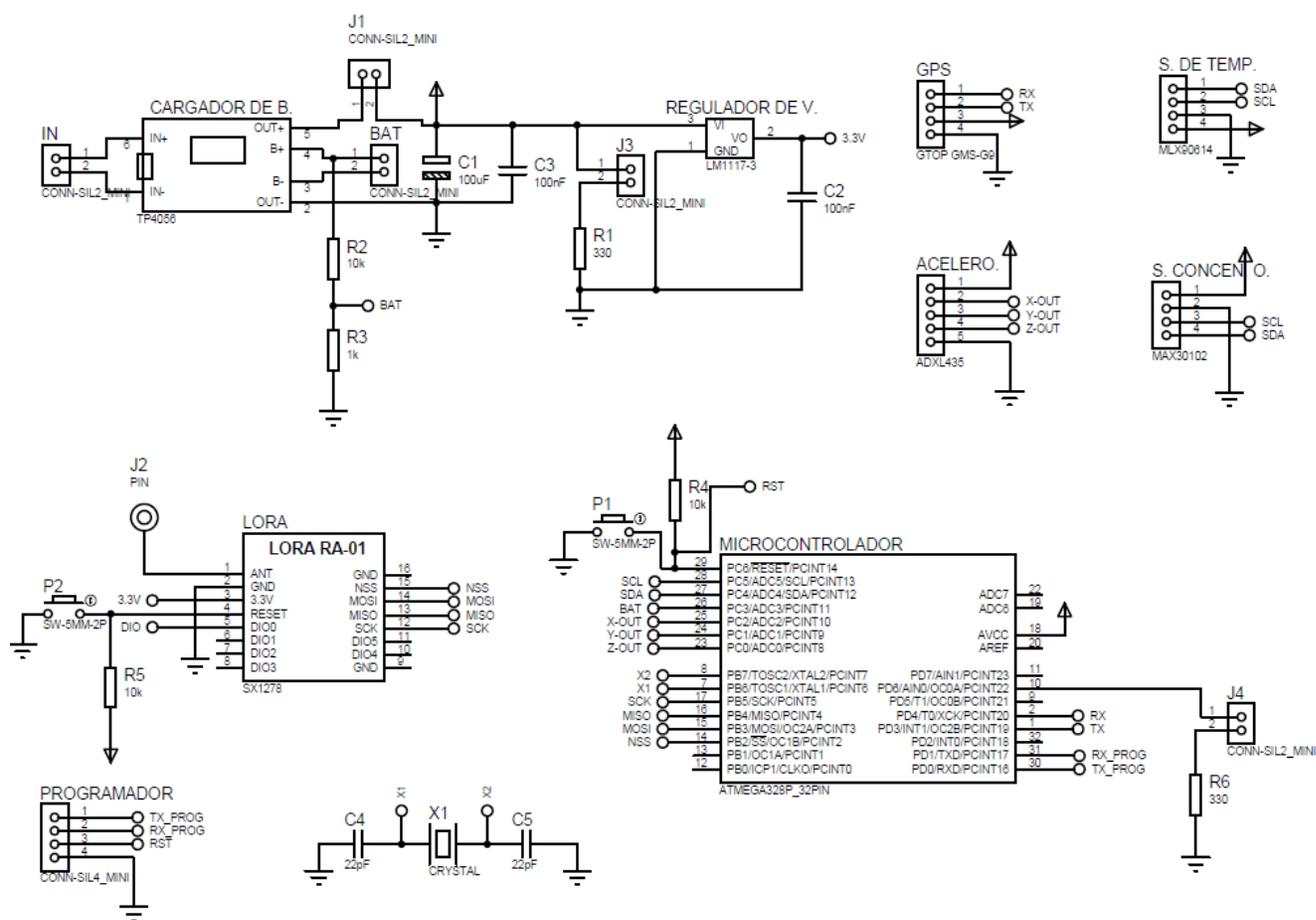
Nota. Diagrama con las conexiones y los principales materiales respectivos en el emisor. Se debe tener en cuenta que el programador no se encuentra en este esquema pues no es un elemento permanente del circuito y no se muestran las resistencias y capacitores empleados.

Antes de realizar las pistas del circuito, en la Figura 22 se presenta un diagrama esquemático realizado en Proteus 8.13, en el cual se muestra en la parte superior el circuito para el cargador de la batería en el cual se enciende un led rojo cuando se está cargando la batería y un led azul cuando ya se encuentra completamente cargada, se presenta un divisor de tensión para alimentar al microcontrolador y un regulador de voltaje con una salida de 3.3V lo que permite energizar el transceptor LoRa.

El transceptor LoRa SX1278 cuenta con una antena helicoidal de 5dBi, un circuito de reset y está conectado mediante comunicación SPI con el microcontrolador ATMEGA328P. Este microcontrolador funciona con un cristal de 3MHz, presenta su circuito de reset, cuenta con los pines de programación para lo cual se utiliza el módulo FT232 y evitar de esta manera estar conectando y desconectando de un Arduino, aquí también se conectan todos los sensores respectivos y el GPS.

Figura 22

Diagrama esquemático del dispositivo emisor



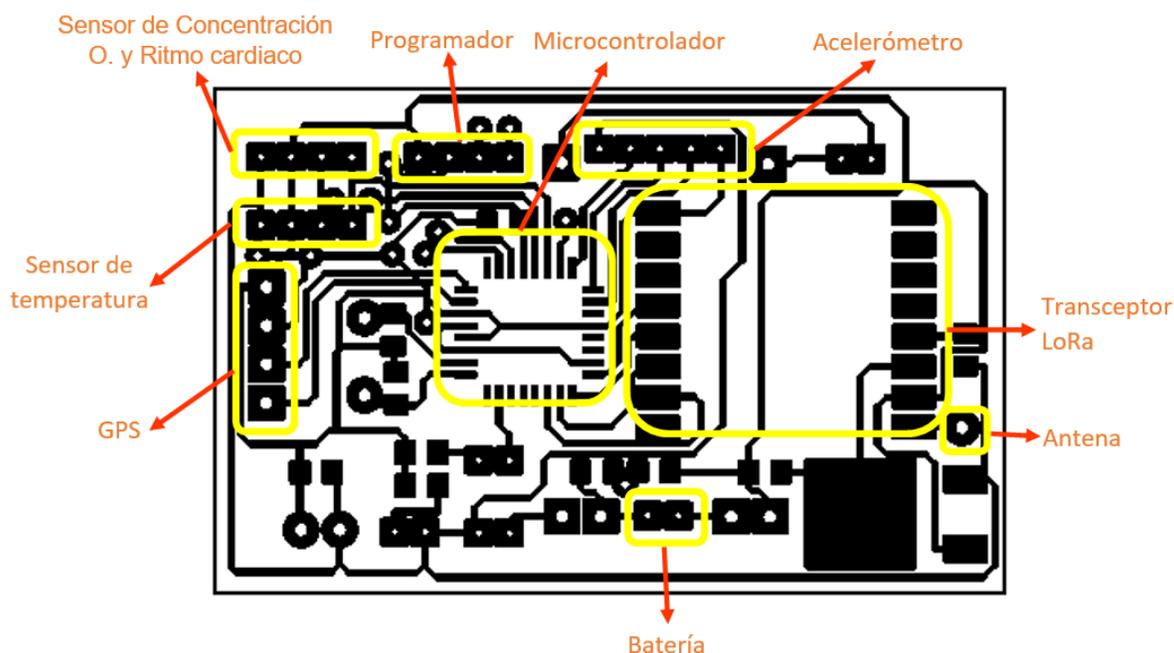
Nota. Diagrama esquemático del dispositivo emisor empleado para la realización de las pistas.

Pistas, placa y carcasa

Una vez se tiene todos los elementos electrónicos conectados entre sí y funcionando correctamente se realiza el diseño de la placa PCB, para lo cual se emplea el programa Proteus 8.13 como se observa en la Figura 23.

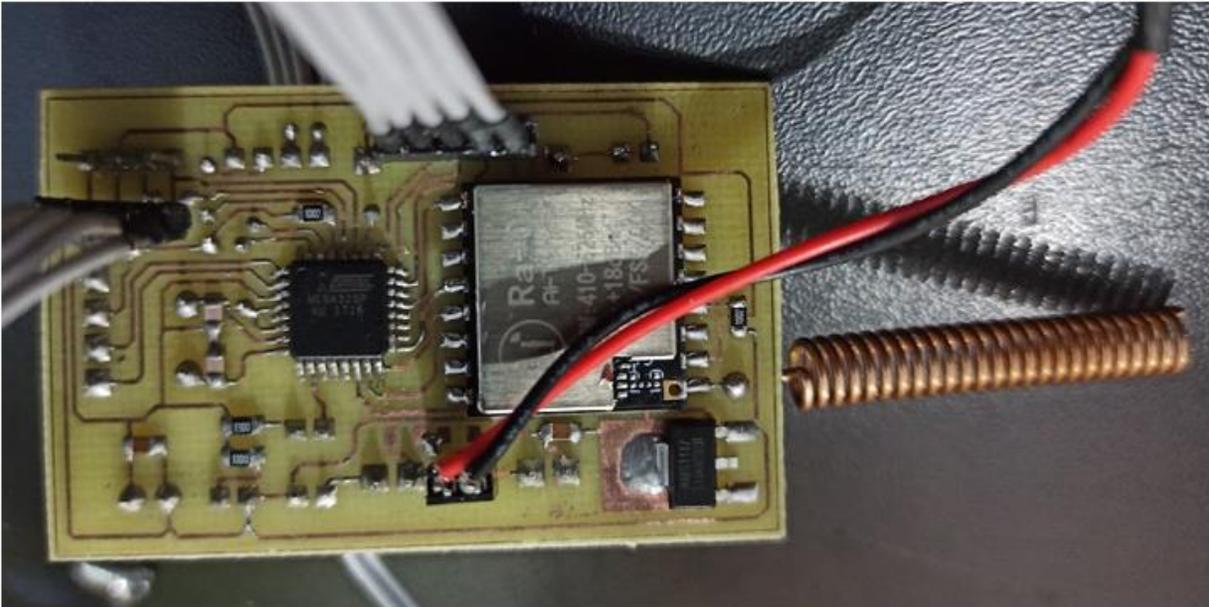
Figura 23

Diagrama de pistas del emisor

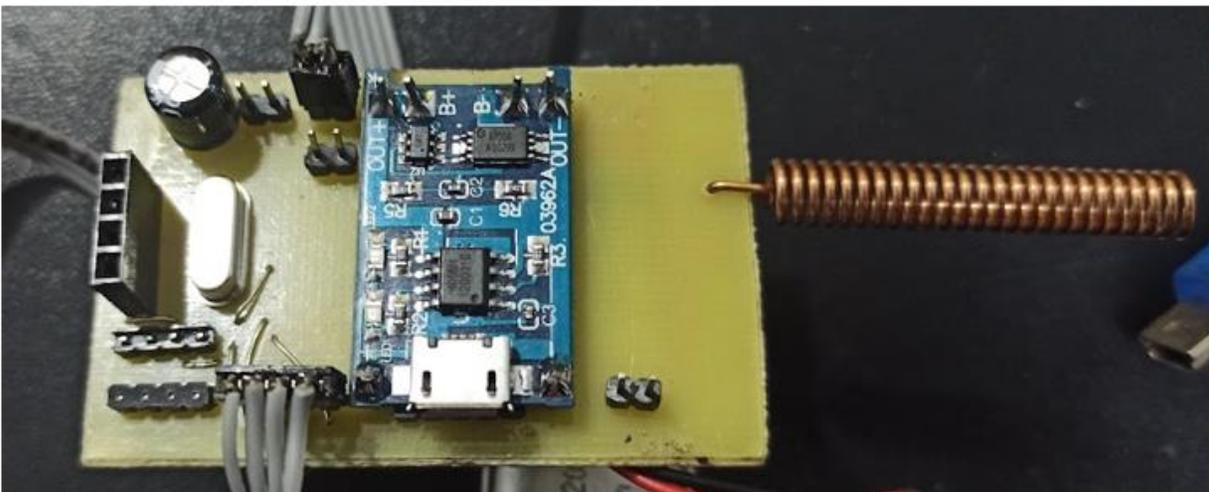


Nota. Diagrama de pistas del emisor con sus nombres respectivos, se debe tener en cuenta que la placa se la debe imprimir a espejo y con las escalas respectivas.

Una vez se tenga impresa las pistas en la baquelita se procede a soldar los respectivos elementos en su posición respectiva como se observa en la Figura 24.

Figura 24*Dispositivo emisor PCB*

a)



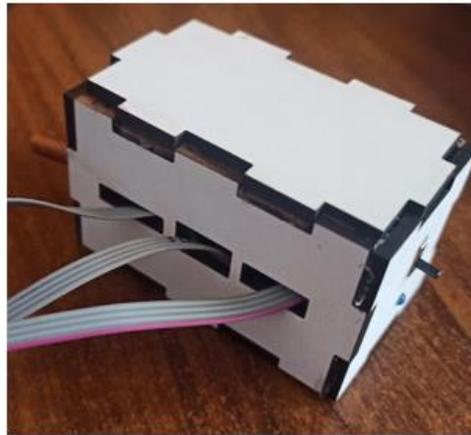
b)

Nota. Dispositivo emisor PCB. a) Vista inferior de la placa impresa y soldada. b) Vista superior de la placa impresa y soldada

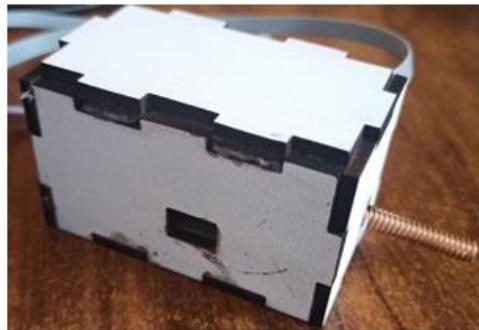
Una vez se tenga más medidas respectivas de la placa PCB soldada con todos los sensores y elementos a utilizar se diseña una carcasa intentando ocupar el menor espacio posible, empleando MDF con corte a láser, como se observa en la Figura 25.

Figura 25

Carcasa del dispositivo emisor



a)



b)

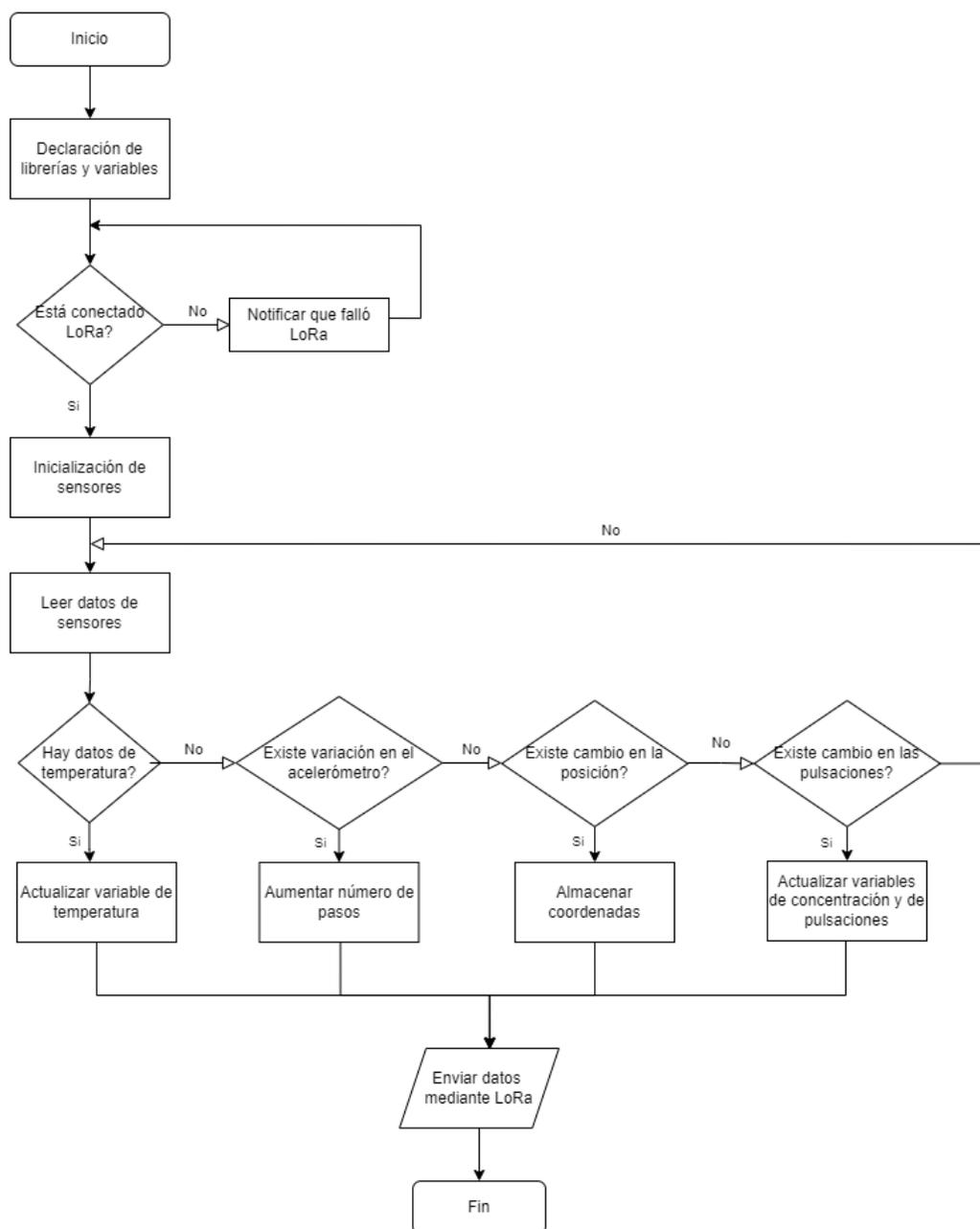
Nota. Carcasa del dispositivo emisor con los compartimientos y espacios necesarios. a) Vista frontal. b) Vista posterior.

Desarrollo del software

Antes de empezar con la programación respectiva se realiza el diagrama de bloques respectivo el cual se observa en la Figura 26, en el cual una vez se tenga valores en los diversos sensores y GPS se enviarán en una sola trama hacia el receptor.

Figura 26

Diagrama de flujo del dispositivo emisor



Nota. Diagrama de flujo del dispositivo emisor

Para empezar la programación en Arduino se necesita las siguientes librerías:

- **LoRa.h**: permite la transmisión y recepción con comunicación LoRa.

- **Adafruit_MLX90614.h:** permite obtener la temperatura de sensor infrarrojo MLX90614 en grados Celsius.
- **SoftwareSerial.h:** permite la comunicación serie mediante UART.
- **TinyGPS.h:** permite obtener la latitud, la longitud, hora GMT, velocidad en nudos, orientación en grados, entre otros parámetros de un módulo GPS.
- **Separador.h:** permite separar una cadena de caracteres mediante un carácter especial.
- **Wire.h:** permite la comunicación con dispositivos por bus I2C.

Una vez se tenga instaladas todas las librerías necesarias se procede a declarar las variables a utilizar como se observa en la Figura 27.

Figura 27

Declaración de variables a usar

```

//TEMPERATURA
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
//GPS
TinyGPS gps;
SoftwareSerial ss(3, 4);
float flat, flon;
float flat_fin, flon_fin;
//// CONTADOR DE PASOS
int counter = 0;
int x,y;
int pasos=0;
int tempMlx;
/////CONC. DE O Y RITMO C.
String dato_in;
int int_dato_oxi;
int int_dato_spo;
Separador s;

```

Se establece la comunicación LoRa como se observa en la Figura 28, se debe tener en cuenta que el transceptor empleado trabaja a 525MHz.

Figura 28

Establecimiento de comunicación

```

Serial.begin(9600);
Serial.setTimeout(10);

ss.begin(9600);

while (!Serial);

Serial.println("Comunicación LoRa establecida");

if (!LoRa.begin(525E6)) {
  Serial.println("Comunicación LoRa falló!");
  while (1);
}

```

La configuración del sensor MAX30102 se observa en la Figura 29, en la cual en dato_oxi se guarda la información de la oxigenación en la sangre y en dato_spo se guarda el número de pulsaciones cardiacas recibidas y como se recibe una cadena de estos dos valores se los separa con el método s.separa y se guarda la información en int_dato_oxi y int_dato_spo para su envío posteriormente.

Figura 29

Configuración sensor de concentración de oxígeno y ritmo cardiaco

```

if(Serial.available()>0){
  dato_in = Serial.readString();
  Serial.println(dato_in);

  String dato_oxi = s.separa(dato_in, 'a' ,0);
  String dato_spo = s.separa(dato_in, 'a' ,1);
  int_dato_oxi = dato_oxi.toInt();
  int_dato_spo = dato_spo.toInt();

  Serial.print("OXI: ");
  Serial.println(int_dato_oxi);
  Serial.print("SPO: ");
  Serial.println(int_dato_spo);
}

```

Para realizar la cuenta de pasos se toma en cuenta los ejes x y y estableciendo un rango de movimiento como se observa en la Figura 30 y se almacena la información en pasos para su envío posteriormente.

Figura 30

Configuración acelerómetro

```
x = analogRead(A2); // MOVIMIENTO EN X
y = analogRead(A1); //MOVIMIENTO EN Y

if ( x >= 360 && y<=480) //SI CUMPLE ESTOS PARAMETROS DE MOVIMIENTO, SE CONSIDERA UN PASO
{
pasos++;
delay(300);
}
```

Para realizar la medición de temperatura mediante el sensor infrarrojo gracias a la librería Adafruit_MLX90614.h se lee la temperatura de un objeto, como se observa en la Figura 31 y se guarda la información en tempMlx para su envío posteriormente.

Figura 31

Configuración sensor de temperatura

```
tempMlx = mlx.readObjectTempC();
Serial.print("Temp: ");
```

La configuración del GPS se observa en la Figura 32, en la cual se declaran las variables a emplear en esta función, de esta manera cuando se conecte al satélite se guarde la información en NewData y mediante el uso de la librería TinyGPS tome los datos de latitud y longitud con 6 números para tener mayor precisión, y guardarlos en flat_fin y flon_fin, para su envío mediante LoRa.

Figura 32

Configuración de GPS

```

bool newData = false;
unsigned long chars;
unsigned short sentences, failed;

for (unsigned long start = millis(); millis() - start < 10;)
{
  while (ss.available())
  {
    char c = ss.read();
    if (gps.encode(c))
      newData = true;
  }
}

if (newData){
  //float flat, flon;
  unsigned long age;
  gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
  Serial.print("LAT=");
  Serial.print(flat == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flat, 6);
  Serial.print(" LON=");
  Serial.println(flon == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flon, 6);
  flat_fin = flat;
  flon_fin = flon;
}

```

Para poder tener las mediciones de los parámetros como RSSI y SNR se emplea la librería LoRa esto se observa en la Figura 33.

Figura 33

Configuración de RSSI y SNR

```

int relacionRSSI(){
  int RSSI_1 = LoRa.packetRssi();
  return RSSI_1;
}

float relacionSNR(){
  float SNR_1 = LoRa.packetSnr();
  return SNR_1;
}

```

Finalmente se llama a todas las subrutinas respectivas y se envía la información mediante LoRa, esto se observa en la Figura 34.

Figura 34

Envío de información

```

mlx30();
tempe();
pascont();
gpsdata();

LoRa.beginPacket();
LoRa.print(pasos);
LoRa.print("$");
LoRa.print(int_dato_oxi);
LoRa.print("$");
LoRa.print(int_dato_spo);
LoRa.print("$");
LoRa.print(tempMlx);
LoRa.print("$");
LoRa.print(flat_fin, 6);
LoRa.print("$");
LoRa.print(flon_fin, 6);
LoRa.print(RSSI_1);
LoRa.print("$");
LoRa.print(SNR_1);
LoRa.endPacket();

```

Se debe tener en cuenta que después de cada dato se envía el símbolo \$ para poder separar la trama en el receptor de la manera correcta

Dispositivo receptor

El dispositivo receptor encargado de recibir la información se encuentra conformado por los siguientes elementos:

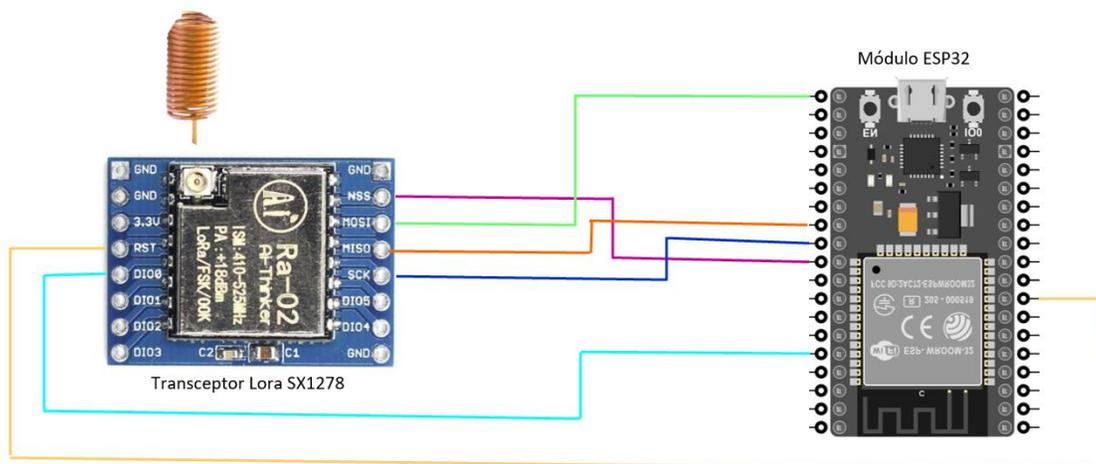
- Transceptor LoRa SX1278
- Módulo ESP32

De esta manera el dispositivo receptor cuenta con un regulador de voltaje para el transceptor LoRa y un módulo ESP32 lo que va a permitir su programación y envío de datos a la nube mediante WiFi

En la Figura 35 se presenta un diagrama con las conexiones y materiales respectivos.

Figura 35

Diagrama de conexiones físicas del receptor



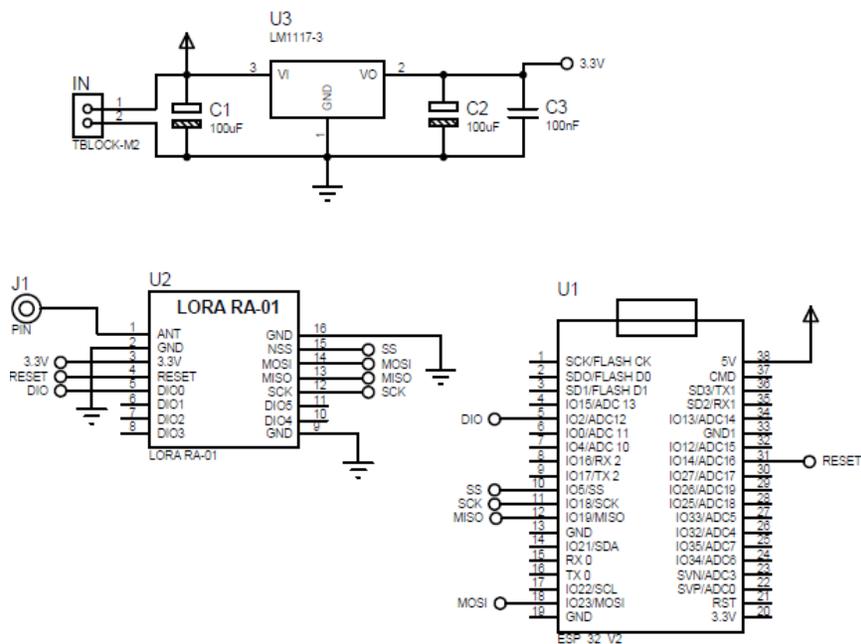
Nota. Diagrama con las conexiones en el receptor. Se debe tener en cuenta que no se encuentran las conexiones a Vcc y Tierra.

Antes de realizar las pistas del circuito, en la Figura 36 se presenta el diagrama esquemático del circuito empleado en el cual se emplea un regulador de voltaje LM1117 para poder alimentar al transceptor LoRa con 3.3V pues si se excede este valor este elemento se quemaría y dejaría de funcionar.

También se tiene las conexiones respectivas entre el transceptor y el módulo ESP32 para el envío de información de datos a la aplicación.

Figura 36

Diagrama esquemático del dispositivo receptor

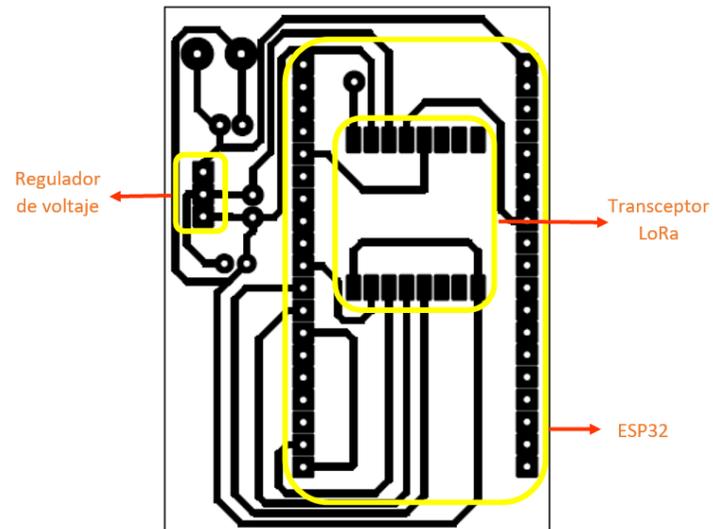


Nota. Diagrama esquemático del dispositivo receptor empleado para la realización de las pistas.

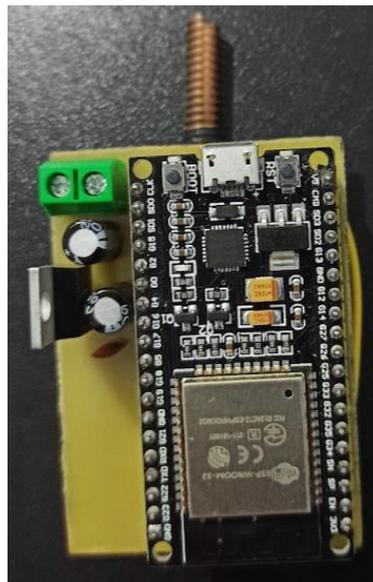
Pistas, placa y carcasa

Una vez se tiene todos los elementos electrónicos conectados entre sí y funcionando correctamente se realiza el diseño de la placa PCB, para lo cual se emplea el programa Proteus 8.13 como se observa en la Figura 37.

Una vez se tenga impresa las pistas en la baquelita se procede a soldar los respectivos elementos en su posición respectiva como se puede observar en la Figura 38.

Figura 37*Diagrama de pistas del receptor*

Nota. Diagrama de pistas del receptor, se debe tener en cuenta que la placa se la debe imprimir a espejo y con las escalas respectivas.

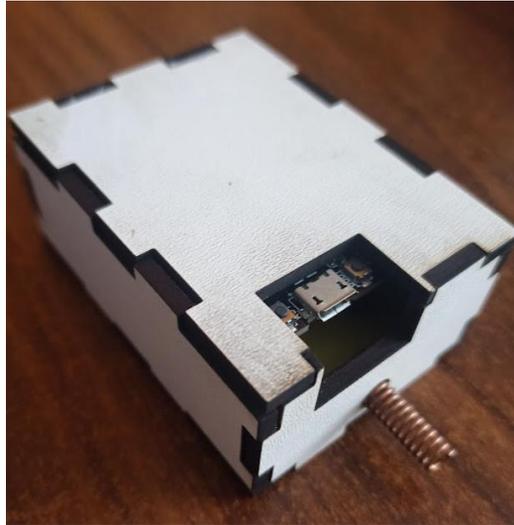
Figura 38*Dispositivo receptor PCB*

Nota. Dispositivo emisor PCB. Vista superior de la placa impresa y soldada

Una vez se tenga las medidas respectivas de la placa PCB soldada con todos los elementos a utilizar se diseña una carcasa, empleando MDF con corte a láser, como se observa en la Figura 39.

Figura 39

Carcasa del dispositivo receptor



Nota. Carcasa del dispositivo receptor con el compartimiento respectivo. Vista superior

Desarrollo del software

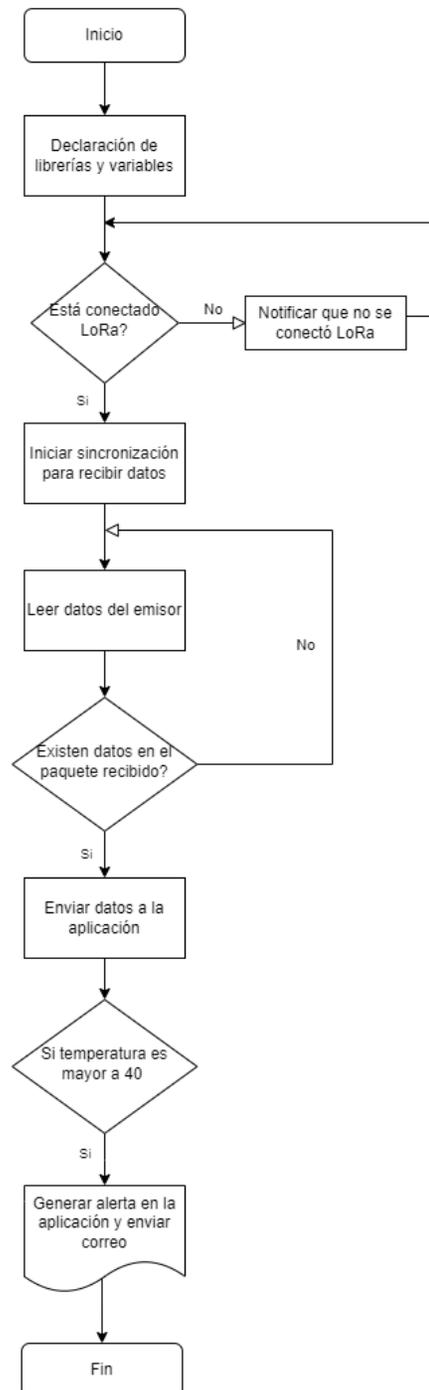
Antes de empezar con la programación se realiza el diagrama de bloques respectivo al igual que en el emisor, este diagrama se observa en la Figura 40.

Para empezar la programación en el receptor se necesita las siguientes librerías:

- LoRa.h: permite la transmisión y recepción con comunicación LoRa.
- Separador.h: permite separar una cadena de caracteres mediante un carácter especial.
- SPI.h: permite utilizar el puerto SPI para la comunicación.
- BlynkSimpleEsp32.h: permite la conexión con la aplicación IoT Blynk mediante un módulo ESP32.

Figura 40

Diagrama de flujo del dispositivo receptor



Nota. Diagrama de flujo del dispositivo receptor

Se debe tener en cuenta que las librerías Lora.h y Separador.h también son empleadas en el transmisor. Se procede a declarar las variables a utilizar y establecer los pines para la comunicación SPI como se observa en la Figura 41.

Figura 41

Declaración de variables a usar

```
#define ss 5
#define rst 14
#define dio0 2

/////
String LoRaData;
Separador s;
/////
```

Para poder conectarse a internet y enviar la información obtenida a la aplicación Blynk se establece el nombre de la red y la contraseña de la misma, esto se observa en la Figura 42.

Figura 42

Declaración de variables a usar

```
const char *ssid = "Redmi";
const char *pass = "12345678";
```

Se establece la comunicación LoRa como se observa en la Figura 43, se debe tener en cuenta que los pines para la comunicación SPI.

Figura 43

Establecimiento de comunicación

```
Serial.begin(9600);
while (!Serial);
Serial.println("Comunicación LoRa establecida");
LoRa.setPins(ss, rst, dio0);
while (!LoRa.begin(525E6)) {
  Serial.println(".");
  delay(500);
}
LoRa.setSyncWord(0xF3);
Serial.println("Inicialización de LoRa OK!");
```

Para la recepción de datos se lee toda la trama que es enviada mediante un paquete y con la ayuda de la librería `separator.h` se separa los datos con ayuda del signo `$` y el valor de la temperatura se convierte a entero para su correcta visualización, esto se observa en la Figura 44. En elemento 1 se tiene los pasos, en elemento 2 la concentración de oxígeno, en elemento 3 el número de pulsaciones, en `temp` el valor de la temperatura del objeto, en elemento 5 la latitud y en elemento 6 la longitud.

Figura 44

Recepción del paquete de datos y separación de los mismos

```
int packetSize = LoRa.parsePacket();
if (packetSize) {
  Serial.print("Receiving Data: "); //IMPRIMIR POR EL SERIAL QUE SE RECIBEN LOS DATOS
  while (LoRa.available()) {
    LoRaData = LoRa.readString();//LECTURA DEL DATO COMO TAL
    Serial.println(LoRaData);
    String elemento1 = s.separa(LoRaData, '$',0);
    String elemento2 = s.separa(LoRaData, '$',1);
    String elemento3 = s.separa(LoRaData, '$',2);
    String temp = s.separa(LoRaData, '$',3);
    String elemento5 = s.separa(LoRaData, '$',4);
    String elemento6 = s.separa(LoRaData, '$',5);
    String elemento7 = s.separa(LoRaData, '$',6);
    String elemento8 = s.separa(LoRaData, '$',7);

    int tempe = temp.toInt();
```

Para poder leer la información recibida se emplea tanto la aplicación Blynk como el monitor serie de la aplicación Arduino, como se observa en la Figura 45.

Figura 45

Impresión de datos en el puerto serial

```
Serial.print("Pasos: ");  
Serial.print(elemento1);  
Serial.print(" Sp0: ");  
Serial.println(elemento2);  
Serial.print(" BPM: ");  
Serial.println(elemento3);  
Serial.print(" TEMP: ");  
Serial.println(temp);  
Serial.print(" LAT: ");  
Serial.println(elemento5);  
Serial.print(" LON: ");  
Serial.println(elemento6);  
Serial.print(" RSSI: ");  
Serial.println(elemento7);  
Serial.print(" SNR: ");  
Serial.println(elemento8);
```

Una vez se tiene toda la información en el receptor se procede a enviar a la aplicación Blynk.

Aplicación IoT

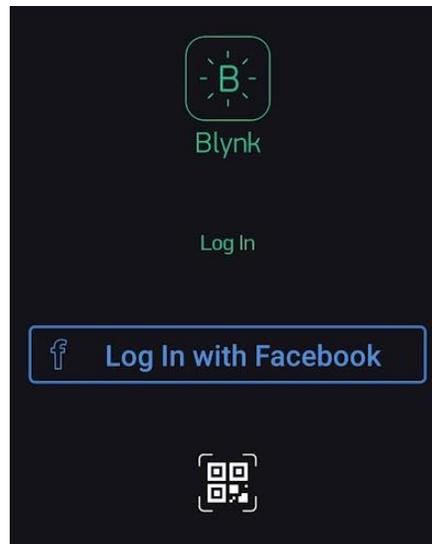
Para la visualización de datos se emplea la plataforma IoT Blynk para teléfonos móviles, esta aplicación se la puede descargar de la Play Store o Apple Store de forma gratuita. Una vez se tenga la descarga de la aplicación se debe registrar para poder utilizarla como se observa en la Figura 46.

Una vez registrado se procede a ingresar con el correo y contraseña creados, como se observa en la Figura 47.

Cuando se ingrese a la aplicación se procede a crear un nuevo proyecto, se escribe un nombre, se selecciona la placa que se va a utilizar en este caso un ESP32, la conexión tipo WiFi y un tema preferido ya sea claro y oscuro, esto se observa en la Figura 48.

Figura 46

Página inicial de Blynk para móviles



Nota. Para el registro se lo puede hacer mediante el correo que se mantiene con Facebook o con otro correo personal.

Figura 47

Inicio en la aplicación Blynk

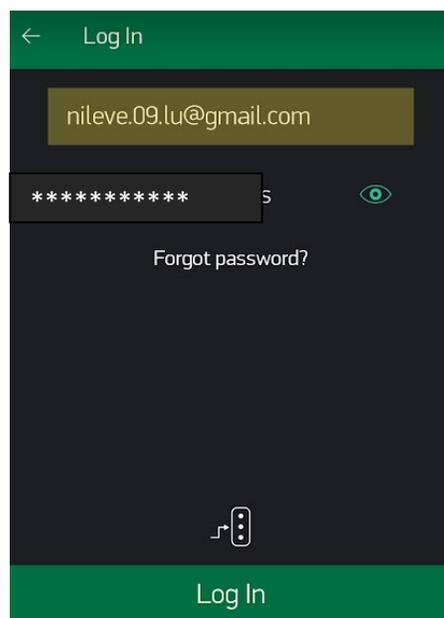
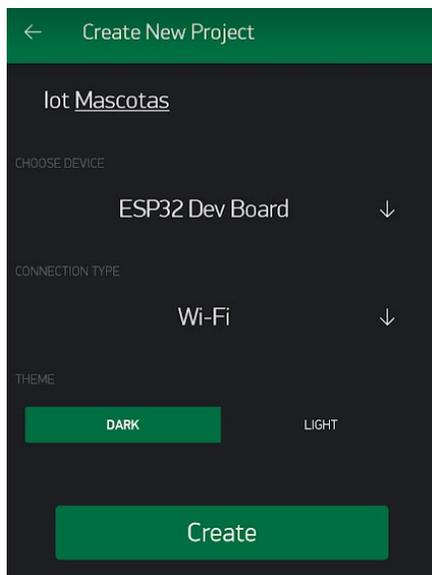


Figura 48

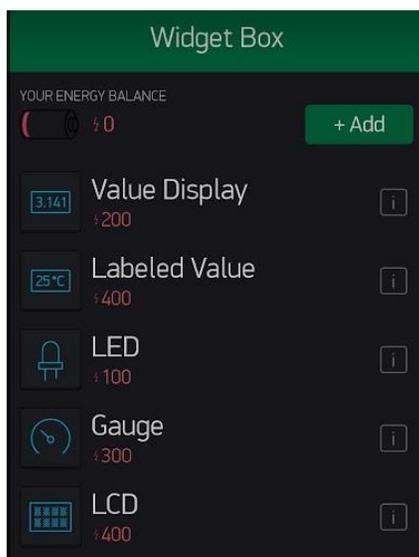
Creación de un nuevo proyecto



Esta aplicación dispone de una gran cantidad de widgets para ser utilizados como se observa en la Figura 49.

Figura 49

Tipos de widgets disponibles en Blynk

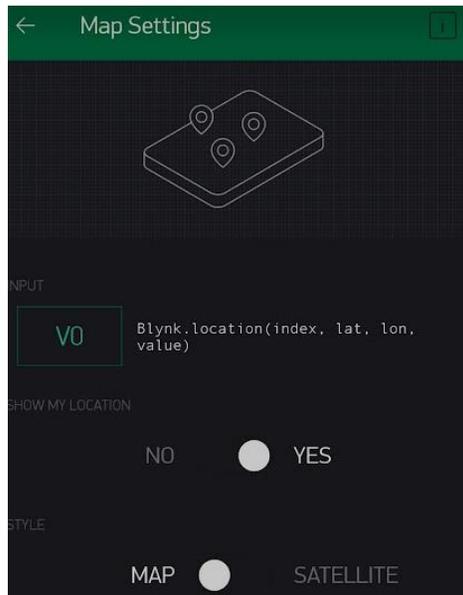


Nota. Los widgets que se usan son Value Display, Gauge, Map, Notification y Email

Para la visualización de la ubicación se emplea el widget map, en el cual se selecciona el puerto virtual V0 y recibe la latitud y longitud, también se visualiza la localización del dispositivo móvil, esto se observa en la Figura 50.

Figura 50

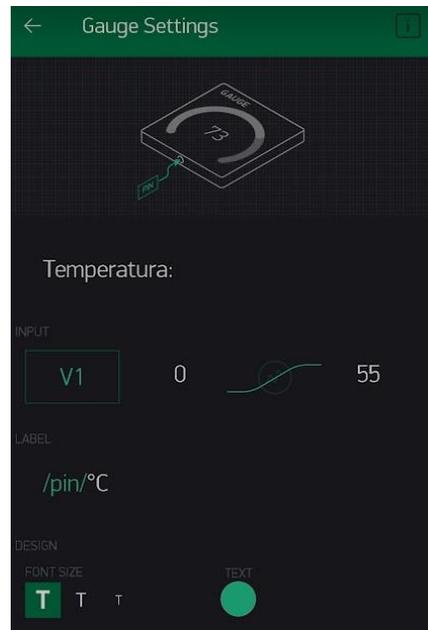
Configuración del Widget Map



Para la visualización de la temperatura se emplea el widget Gauge, en el cual se selecciona el puerto virtual V1, en un rango de 0 a 55 y se muestra con unidades en °C, se puede observar en la Figura 51.

Figura 51

Configuración del Widget Gauge para mostrar la temperatura

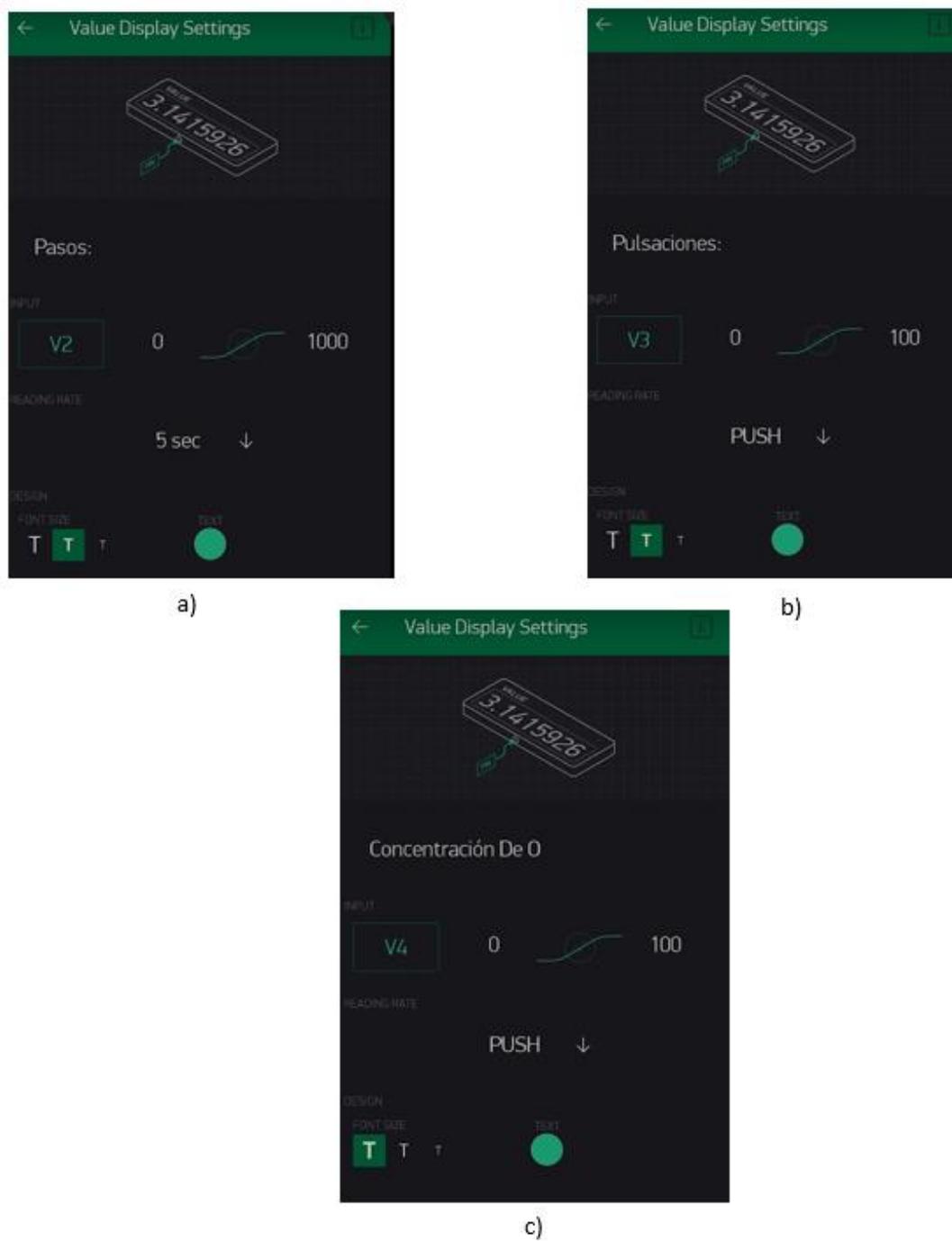


Para la visualización del número de pasos, las pulsaciones y la concentración de oxígeno se emplea el widget Value Display, en el cual se selecciona el puerto virtual V2, V3 y V4 respectivamente, esto se puede observar en la Figura 52.

Una vez se tiene todos los widgets para recibir y mostrar la información se realiza la configuración de una notificación cuando un valor se encuentre fuera del rango, en este caso se configura una notificación push y un mensaje al correo electrónico, para lo cual se usan los widgets Notify y Email, como se observa en la Figura 53.

Figura 52

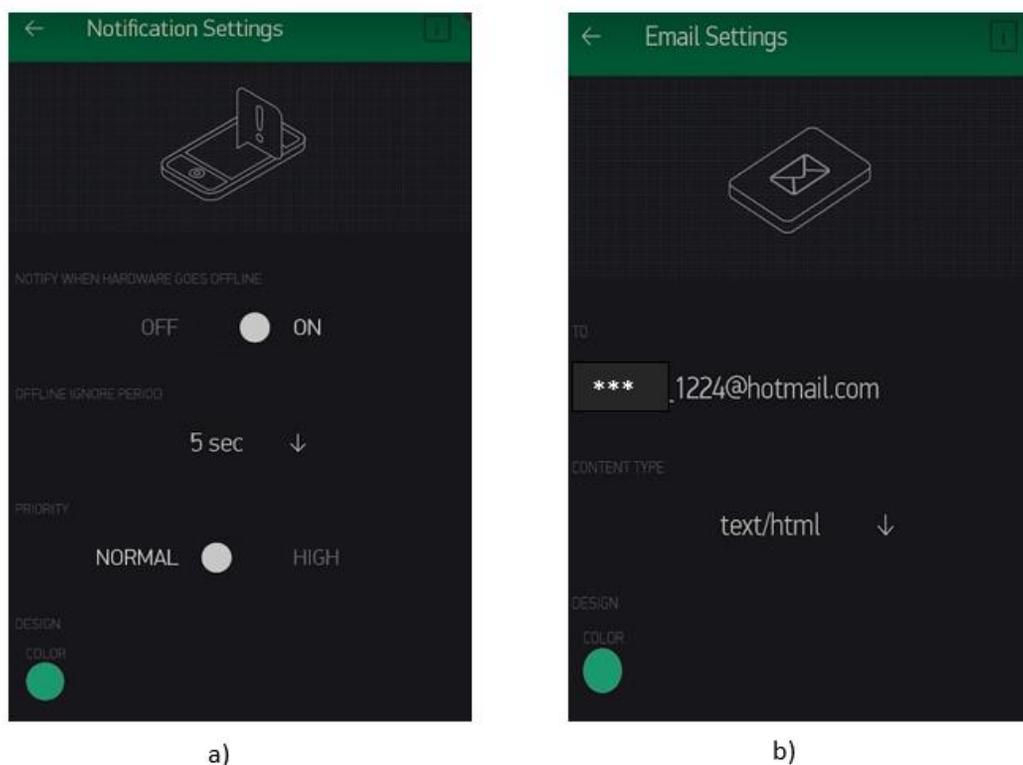
Configuración del Widget Value Display para mostrar el número de pasos, las pulsaciones y la concentración de oxígeno



Nota. Configuración del Widget Value Display. a) Número de pasos. b) Pulsaciones. c) Concentración de oxígeno.

Figura 53

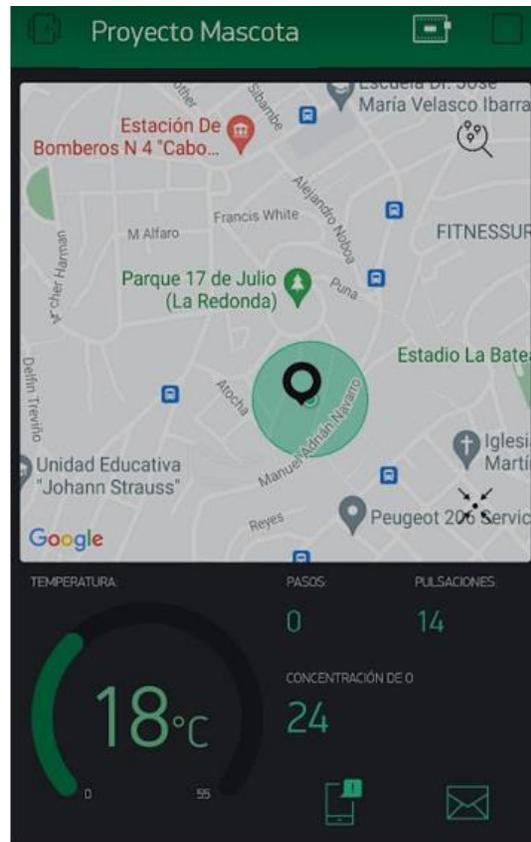
Configuración de widgets Notify y Email



Nota. Configuración del Widget Notify y Email. a) Configuración de notificación. b) Configuración de correo al cual llegara el mensaje de alerta. Por seguridad no se muestra el correo completo.

La visualización de toda la aplicación completa con los widgets respectivos se observa en la Figura 54.

Una vez que se tiene toda la aplicación desarrollada se realiza la programación para el envío de datos a la misma, para lo cual se necesita un token único que proporciona esta aplicación y este token se lo guarda en el programa creado en el receptor como se observa en la Figura 55.

Figura 54*Aplicación completa***Figura 55***Token para conexión con la aplicación*

```
char auth[] = "-6cMwMhRcFnTXx3cUtTZ-DA2VJeBQhUp";
```

Para la conexión entre receptor y la aplicación se emplea el token obtenido, el nombre de la red a la que se va a conectar y la contraseña de la misma, como se observa en la Figura 56, y siempre se está escribiendo en el mapa para visualizar la información.

Figura 56

Conexión entre el receptor y la aplicación

```
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
Blynk.virtualWrite(V0, "clr");
```

Para que la información se guarde en los widgets respectivos se realiza la configuración con el número del puerto virtual el elemento que se va a enviar, de esta manera se tiene en el puerto virtual V1 la temperatura, en V2 los pasos, en V3 las pulsaciones, en V4 la concentración de oxígeno, y en V0 la latitud y la longitud, como se observa en la Figura 57.

Figura 57

Información enviada a la aplicación Blynk

```
Blynk.virtualWrite(V1,temp);
Blynk.virtualWrite(V2,elemento1);
Blynk.virtualWrite(V3,elemento2);
Blynk.virtualWrite(V4,elemento3);
Blynk.virtualWrite(V0, 1, elemento5, elemento6 , "Location");
```

La aplicación Blynk presenta la configuración de notificaciones para conocer cuando un elemento se encuentra fuera de rango y de la misma manera esta notificación es enviada al correo electrónico, en caso de que no se esté dentro de la aplicación. De esta manera a manera de prueba se configura para tener una alarma cuando la temperatura este sobre los 40°C, esto se observa en la Figura 58.

Figura 58

Configuración de notificación y envío a correo electrónico

```
if(tempe > 40){
  Blynk.ema(1, "lu_1224@hotmail.com", "La temperatura es demasiado alta");
  Blynk.notify("Temperatura es demasiado alta");
}
```

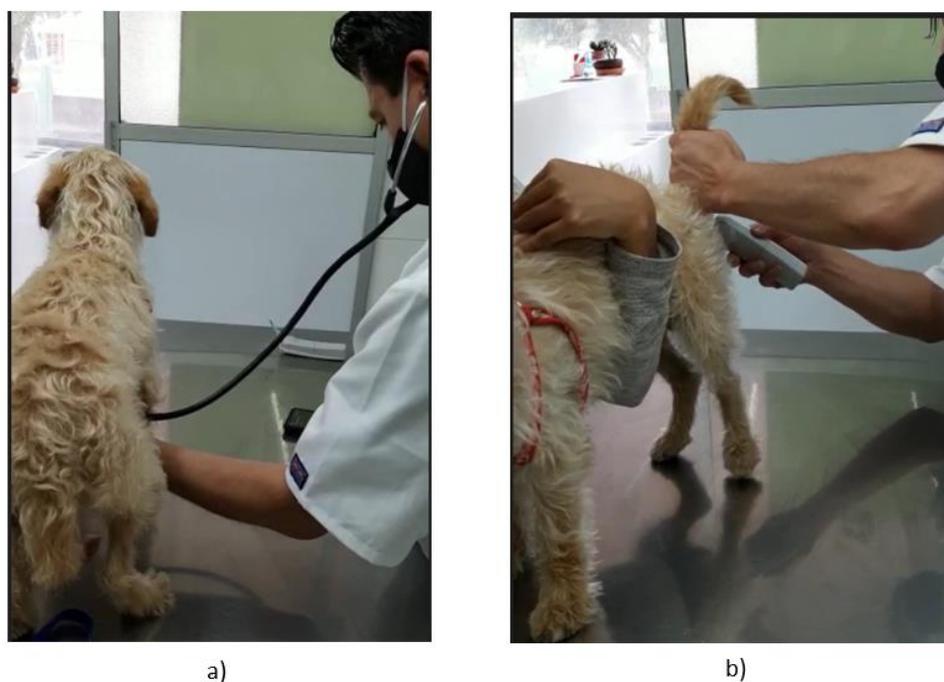
Capítulo V: Pruebas y resultados

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se utilizó la tecnología LoRa a una frecuencia de 525Mhz; los parámetros que permiten la configuración por software de este enlace de radio frecuencia son los establecidos predeterminadamente en donde se tiene un Factor de Alcance o SF de 12, un Ancho de Banda de 7.8kHz y una Tasa de codificación de errores o CR de 8, según lo establecido en datasheet del transceptor SX1278.

Para las pruebas se las realiza con un perro de raza mediana para lo cual se acondiciona un bolso para colocar dentro el receptor y sujetarlo en la correa del perro, se debe tener en cuenta que los sensores de temperatura y concentración de oxígeno y ritmo cardiaco se encuentren en el pecho de la mascota y el acelerómetro se debe colocar en la pata del mismo para poder contar los pasos.

Figura 59

Toma de signos vitales en la mascota

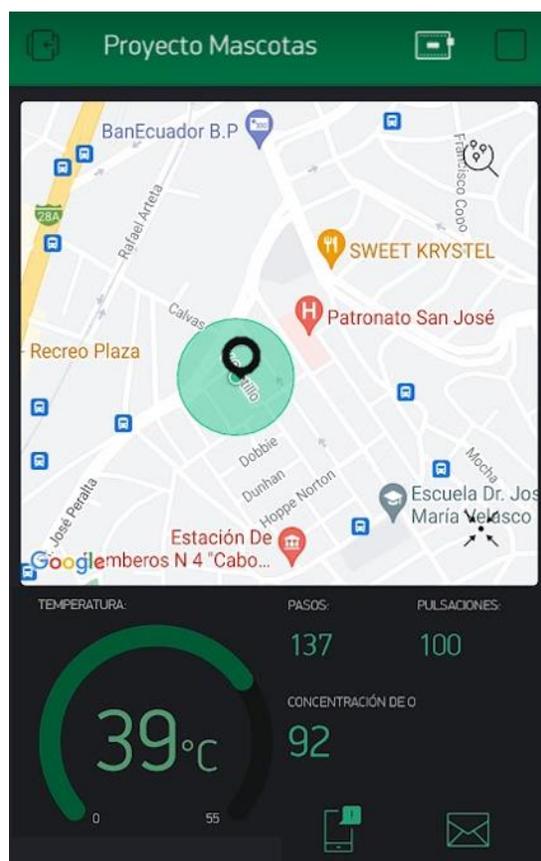


Nota. Signos vitales tomados en la mascota de prueba. a) Toma de pulsaciones. b) Medición de temperatura

Para poder determinar el correcto funcionamiento de los sensores de temperatura, concentración de oxígeno y pulsaciones cardiacas se realiza una comparación con los dispositivos empleados en la Veterinaria "Amigos con Cola" ubicada en el sur de Quito en las calles Andrés Pérez E2-52 y Virgilio Castillo. En la Figura 59 se observa cómo se mide el número de pulsaciones y se toma la temperatura. Se debe tener en cuenta que la temperatura se la mide en el recto de la mascota, las pulsaciones de manera manual y la concentración de oxígeno con un oxímetro digital en la oreja de la misma. Los datos obtenidos mediante la aplicación se observan en la Figura 60.

Figura 60

Mediciones obtenidas en la aplicación



Nota. Signos vitales tomados mediante la aplicación, también se observa la ubicación del dispositivo y el número de pasos dados.

En la Tabla 17 se presenta los valores obtenidos de las respectivas mediciones. De esta manera se obtienen errores menores al 10% por lo cual son valores aceptables pues no varían mucho y se debe tener en cuenta que se realiza la medición de los parámetros con los sensores de una manera no invasiva y mientras la mascota no realiza movimientos bruscos. Se presenta un valor alto de pulsaciones cardiacas esto se debe a que las mascotas siempre se ponen nerviosas cuando asisten al veterinario.

Tabla 17

Comparación entre mediciones de sensores y elementos veterinarios

	Veterinaria	Sensores implementados	% Error
Temperatura	39.5	39	1.28
Concentración de Oxígeno	100	92	8.00
Pulsaciones cardiacas	108	100	7.40

Nota. Comparación de las mediciones con los sensores empleados y elementos veterinarios.

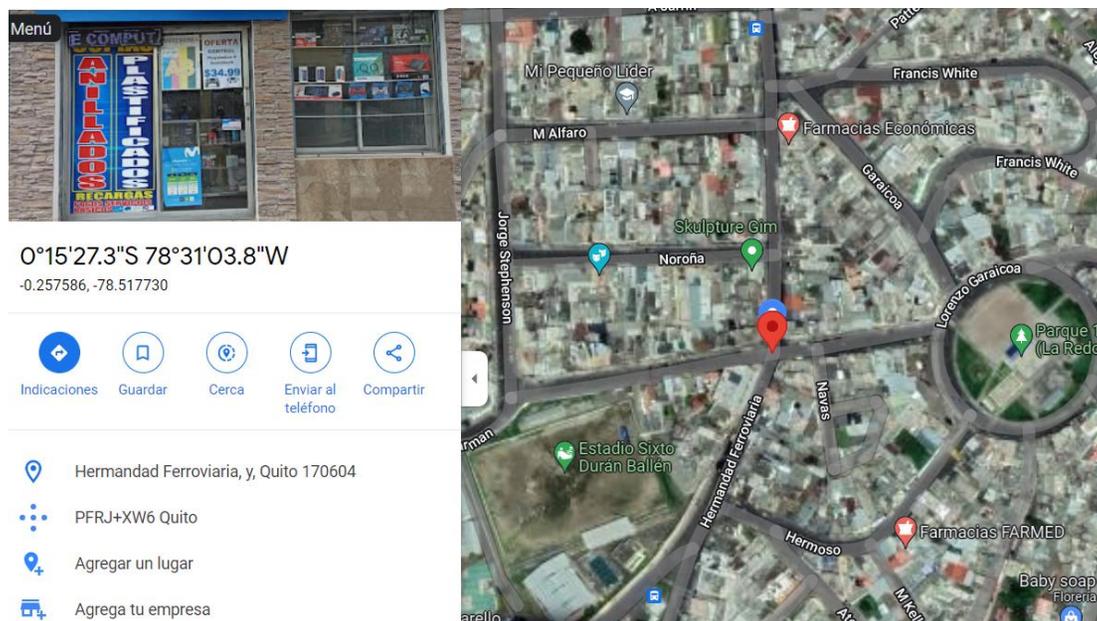
Una vez se comprueba el funcionamiento correcto de los sensores, se establece un escenario de prueba estático y solo con el dispositivo final tomando como punto de recepción la ubicación que se observa en la Figura 61 y se registran los valores de RSSI y SNR para variaciones de distancia como se observa en la Tabla 18.

Se debe tener en cuenta que el parámetro RSSI define la indicación de intensidad de la señal recibida, es decir que tan bien el receptor puede escuchar la señal del emisor y se mide en dBm, el valor mínimo que puede tomar es de -120 dBm, mientras que un valor de -30 dBm indica que la señal es fuerte.

Mientras que el SNR mide la relación entre la potencia recibida y la potencia del ruido, un rango considerable para trabajar con los dispositivos LoRa es de 10dB hasta -20dB.

Figura 61

Ubicación del receptor



Nota. Ubicación equipo receptor

Tabla 18

Valores de recepción de RSSI y SNR

Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
0.5	-30	10.02
10	-32	10.71
40	-45	10.15
80	-56	10.25
120	-63	9.18
160	-74	9.37
200	-89	8.16
240	-97	7.49
280	-101	6.09

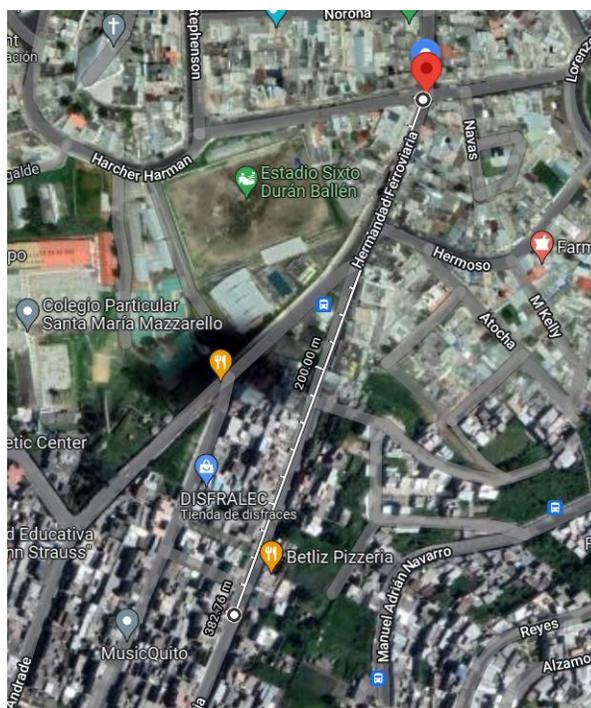
320	-107	-1.52
360	-112	-4.25
382	-119	-11.43
400	-125	-13.12

Nota. Valores de RSSI y SNR cuando la distancia varia.

Esta prueba se realiza hasta la perdida de conexión entre el emisor y receptor, se debe tener en cuenta que se realiza en una zona urbana y que en la transmisión se tiene diversos obstáculos como casas, buses, entre otros. De esta manera en la Figura 62 se observa la distancia máxima en Google Maps.

Figura 62

Distancia máxima que se puede alcanzar



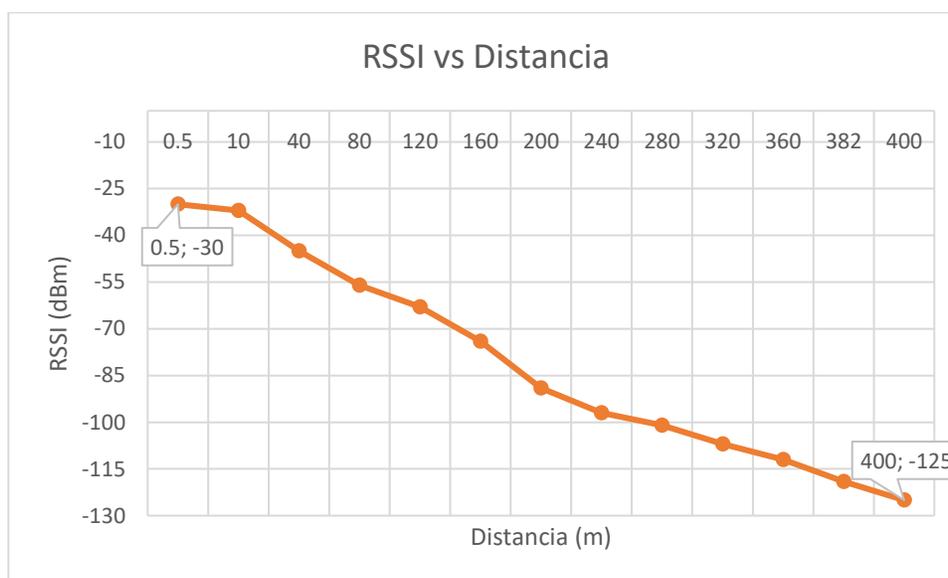
Nota. La distancia máxima que se puede alcanzar es de 382m.

Por lo cual según los datos de la Tabla 18 se tiene un alcance máximo de 382m con valores de RSSI de -119dBm y SNR -11.43dB siendo estos valores suficientes para la

comunicación sin que exista una pérdida de paquetes muy grande, pues a 400m se tiene un nivel de RSSI de -125dBm y de SNR de -13.12dB los cuales no son suficientes para la correcta comunicación entre el emisor y el receptor y van a existir un sin número de pérdida de paquetes.

Figura 63

Variación de RSSI en función de la distancia



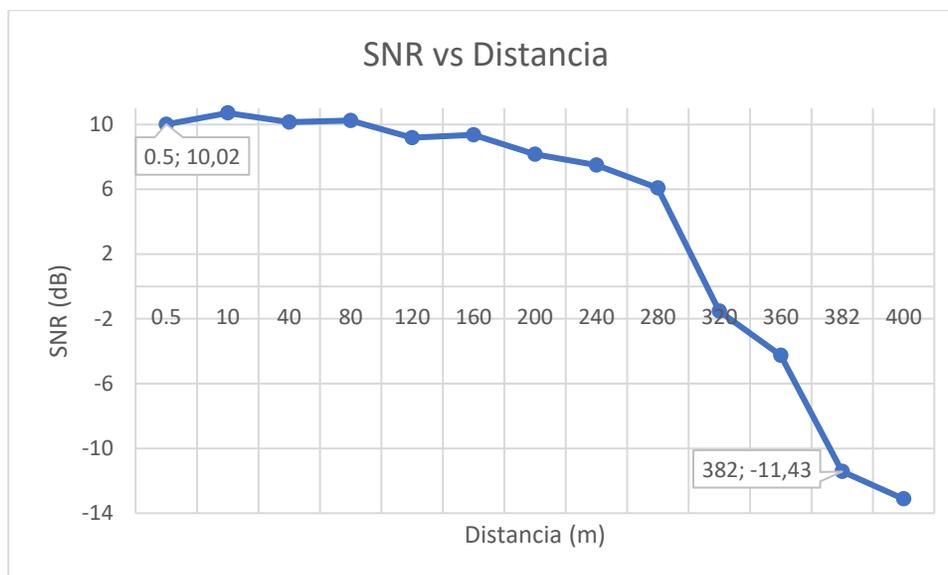
Nota. Parámetro RSSI en función de la distancia.

En la Figura 63 se observa cómo va variando el RSSI en función de la distancia mientras que en la Figura 64 se tiene los valores del SNR en función de la distancia. En las dos figuras se observa como los valores de RSSI y SNR van disminuyendo conforme el emisor se aleja del receptor.

Una vez analizados los parámetros RSSI y SNR se procede a tomar información los sensores de temperatura, concentración de oxígeno y ritmo cardiaco y número de pasos, mientras que la ubicación únicamente se la observa en el mapa presentado en la aplicación. Para lo cual se adecua a la mascota el dispositivo final como se observa en la Figura 65.

Figura 64

Variación de SNR en función de la distancia



Nota. Parámetro SNR en función de la distancia.

Figura 65

Adecuación de dispositivo final en la mascota



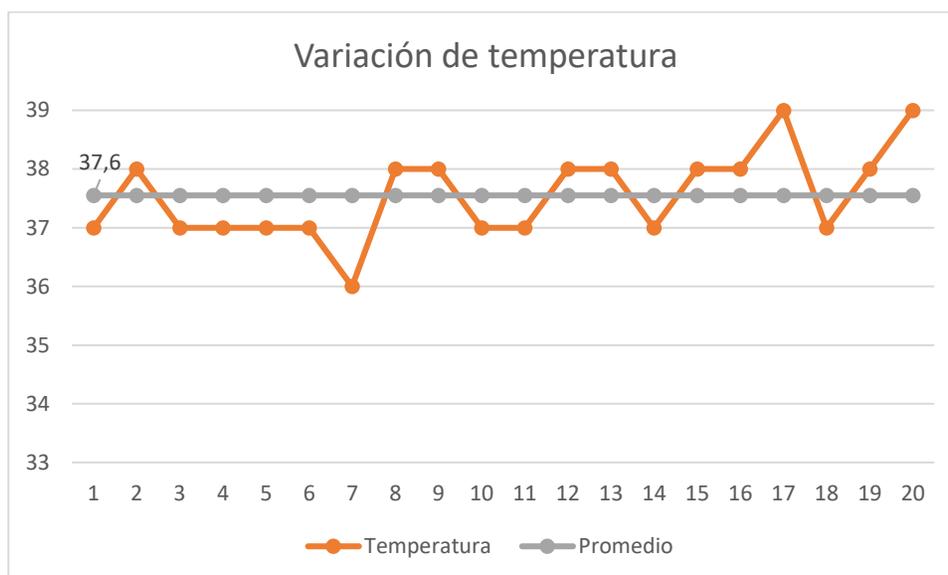
Nota. Se realiza un bolso para colocar en su interior el dispositivo y se lo amarra a la mascota y se lo asegura con la correa de la misma, colocando los sensores de la mejor manera posible para evitar malas mediciones

Una vez se tiene la adecuación del dispositivo final se realiza un paseo con la mascota en la ubicación de la Figura 62 con el fin de obtener las diversas mediciones y validar el correcto funcionamiento de los sensores. Para el análisis de datos se emplean gráficos de dispersión para observar el comportamiento de los mismos, además se presenta el valor de la media, estos datos fueron tomados mientras la mascota se encuentra en movimiento.

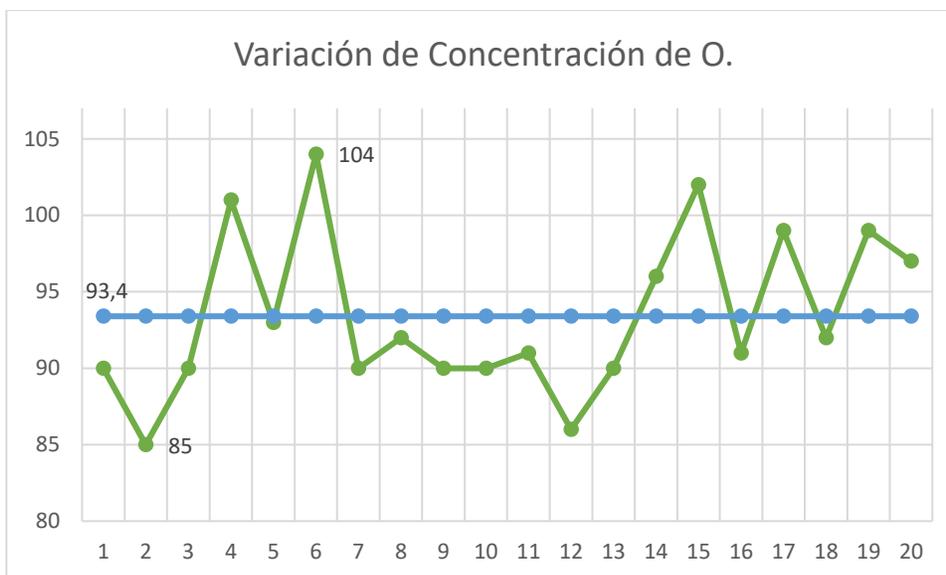
De esta manera para los valores de temperatura los datos tomados se los observa en la Figura 66, en la cual se presenta una media de 37.6°C, se debe tener en cuenta que la temperatura normal de un perro es de 37 a 39°C por lo cual se encuentra dentro del rango.

Figura 66

Valores de temperatura



Para los valores de concentración de oxígeno los datos tomados se los observa en la Figura 67, en el cual se presenta una media de 93.4, un valor máximo de 104 y un mínimo de 85, se debe tener en cuenta que la oxigenación normal de un perro es mayor a 96, por lo cual se observa que existen valores inferiores a este y esto se debe a que el sensor se encuentra en movimiento y al perro tener mucha lana no se realizan correctas las mediciones.

Figura 67*Valores de Concentración de Oxígeno***Figura 68***Valores de pulsaciones*

De la misma manera para los valores de las pulsaciones los datos tomados se los observa en la Figura 68, en el cual se presenta una media de 94.2, un valor máximo de 111 y un mínimo de 65, se debe tener en cuenta que el número de pulsaciones normales de un perro

debe estar entre 90 y 100, es así como los valores inferiores a este rango presentan la misma dificultad que los valores de concentración de oxígeno, pues se emplea el mismo sensor para obtener estas mediciones, es decir el sensor al estar en movimiento toma valores erróneos o fuera del rango normal.

En la Figura 69 se presenta una gráfica de la variación de pasos en la cual se observa que se comporta de una manera exponencial pues va creciendo con cada paso de la mascota, pero se debe tener mucho cuidado en colocar el sensor correctamente caso contrario el número de pasos se dispararía.

Figura 69

Valores de pasos



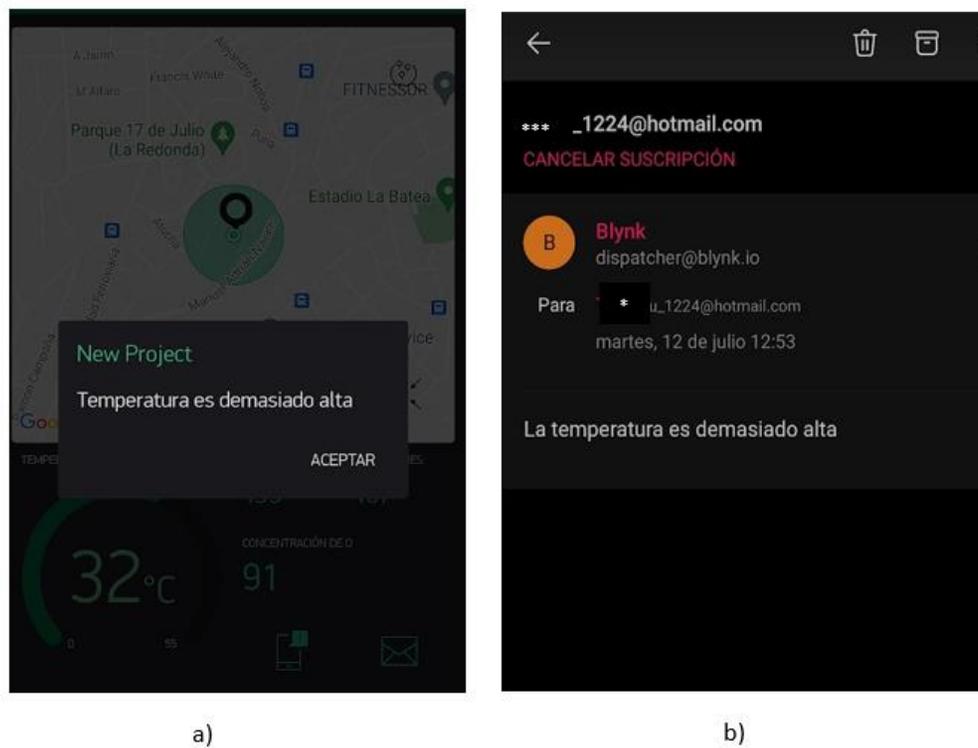
En la Figura 70 se presenta la ubicación generada en la aplicación mediante el GPS instalado en el dispositivo emisor, como se observa se presenta un símbolo color negro lo cual indica la ubicación del dispositivo, mientras que el círculo de color verde representa la localización del dispositivo móvil en donde se está ejecutando la aplicación. De esta manera el símbolo de color negro coincide con el círculo verde por lo cual está tomando la posición correcta.

Figura 70*Ubicación GPS*

Para el envío de notificaciones se realiza una prueba cuando la temperatura sea mayor a 30, esto se observa en la Figura 71 que se presenta una notificación push y de la misma manera se envía una notificación al correo registrado indicando que la temperatura es demasiado alta. De esta manera se puede tener una notificación en cualquier momento cuando alguno de los parámetros sea mayor al normal.

Figura 71

Notificación cuando un valor excede el rango establecido



Nota. Notificaciones recibidas cuando un valor excede el rango. a) Notificación push en el teléfono móvil.

b) Notificación al correo electrónico registrado.

Conclusiones y Recomendaciones

Se diseñó una red de sensores para la monitorización de los principales signos vitales de las mascotas como son temperatura, concentración de oxígeno y ritmo cardiaco de una manera no invasiva, así también permite conocer el número de pasos y la ubicación, teniendo un control completo de la mascota y así estar al tanto si se presenta algún valor extraño o fuera de un rango establecido.

Esta red de sensores fue diseñada empleando tecnología LoRa que cuenta con grandes prestaciones como son envío de datos ilimitados, autonomía al momento de escoger un servidor, no es necesario una licencia para su utilización, su frecuencia de operación es en bandas libres y al ser una red LPWAN abarca grandes distancias con un bajo consumo de potencia.

Se realizó la comparación de diversos sensores con las mismas prestaciones y se escogió los que mejor se adaptan a la realización de este proyecto, ya sea por su tamaño o por su consumo energético, de esta manera para la medición de temperatura se empleó el sensor MLX90614, para la medición de concentración de oxígeno y ritmo cardiaco el sensor MAX30102, para el número de pasos el acelerómetro ADXL335 y para la localización se empleó el módulo GMS-G9.

Para la visualización de datos se emplea la aplicación IoT Blynk en la cual se observan los valores medidos en tiempo real y cuando algún parámetro se encuentra fuera del rango normal genera alertas permitiendo así conocer el estado actual de la mascota.

Al ser un proyecto enfocado en el rastreo de mascotas y a la medición de signos vitales se necesita que el dispositivo final sea del menor tamaño posible, por lo cual no se emplean las tarjetas de adquisición LoRa disponibles en el mercado pues cuentan con muchas otras prestaciones como LCD, WiFi, entre otros, lo cual aumenta su tamaño, entonces debido a esto

se usó el transceptor de largo alcance y baja potencia Sx1278, cuya antena tiene una ganancia de 5dBi, por lo cual no se tiene un alcance muy grande ya que se sabe que en Telecomunicaciones cuando se gana en algún parámetro se pierde en otro. Como resultado de este análisis se obtuvo una caja de 7x4x4cm para ser colocada en el lomo de la mascota.

Al momento de medir los signos vitales en una mascota se debe tener en cuenta que constan de bastantes lanas por lo cual se debe cortar la mayor cantidad posible de las mismas justo en el lugar en donde van a ir los sensores para tener mediciones más exactas y acercadas a la realidad.

Para encender el dispositivo es aconsejable hacerlo en exteriores, pues el módulo GPS empleado necesita observar como mínimo cuatro satélites para poder calcular las coordenadas y de esta manera brindar la ubicación más precisa.

Se debe fijar los sensores de la mejor manera a la mascota pues como están en constante movimiento se pueden romper o dejar de medir, por lo cual se debe tener mucho cuidado con el manejo de los mismos y hacer uso de un arnés para mascotas o de alguna vestimenta.

Si se desea obtener los valores a una mayor distancia se puede emplear antenas de mayor ganancia para obtener mayor cobertura.

Trabajos futuros

Obtener todos los datos mediante un reporte para realizar un análisis integral de los valores obtenidos de la monitorización de signos vitales y de esta manera crear diversos modelos de predicción para la prevención de enfermedades en las mascotas, por medio de herramientas de machine learning.

Establecer geocercas para delimitar un área en específico en la cual se pueda mover la mascota o un área en el que se encuentre segura, para de esta manera poder enviar una alerta al dueño o responsable cuando se salga del perímetro establecido, lo que ayudaría a evitar una posible pérdida de la mascota.

Implementar diversos Gateway a lo largo de la ciudad de Quito y realizar diversas pruebas para poder establecer un mapa de cobertura con tecnología LoRa.

Acrónimos

- API. Application Programming Interfaces (Interfaz de Programación de Aplicaciones)
- BLE. Bluetooth Low Energy (Bluetooth de baja energía)
- BW. Bandwidth (Ancho de Banda)
- CR. Code Reason (Razón de Código)
- CSS. Chirp Spread Spectrum (Chirp de Espectro Ensanchado)
- D-BPSK. Differential Binary Phase-Shift Keying (Codificación por Desplazamiento de Fase Binaria Diferencial)
- FSK. Frequency-Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia)
- GNSS. Global Navigation Satellite Systems
- GPS. Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
- GSM. Global System for Mobile Communication (Sistema Global de Comunicación Móvil)
- IoT. Internet of Things (Internet de las cosas)
- ISM. Industrial Scientific and Medical (Industrial Científico y Médico)
- LoRa. Long Range (De largo alcance)
- LoRaWAN. Long Range Wide Area Network (Red de Área Amplia de Largo Alcance)
- LPWAN. Low Power Wide Area Network (Red de Área Amplia de Baja Potencia)

- LR-WPAN. Low Rate Wireless Personal Area Network (Redes de Área Personal Inalámbricas de Baja Velocidad)
- LTE-M. Long Term Evolution for Machines (Evolución a Largo Plazo de las Máquinas)
- M2M. Machine to Machine (Máquina a Máquina)
- MAC. Medium Access Control (Control de Acceso al Medio)
- MIC. Message Integrity Code (Código de Integridad del Mensaje)
- NB-IoT. NarrowBand IoT (Internet de las cosas de banda estrecha)
- OFDMA. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal)
- Rc. Chip rate (Tasa de chip)
- Rs. Symbol rate (Tasa de símbolo)
- SC-FDMA. Single-Carrier Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Una Sola Portadora)
- SF. Spreading Factor (Factor de Ensanchamiento)
- SMBUS. System Management Bus (Bus de gestión del sistema)
- SMD. Surface Mounting Device (Dispositivo de Montaje Superficial)
- UNB. Ultra-Narrow Band (Banda ultra estrecha)
- WLAN. Wireless Local Area Network (Redes de Área Local Inalámbrica)

Referencias Bibliográficas

- Lavric, A., Petrariu, A., & Popa, V. (2019). Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis Under Large-Scale, High-Density Conditions. *IEEEExplore*, 35816-35819.
- Analog Devices. (2010). *Small, Low Power, 3-Axis ± 3 g Accelerometer*. Obtenido de <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl335.pdf>
- ApogeeWeb. (26 de Enero de 2022). *ApogeeWeb*. Obtenido de <https://www.apogeeWeb.net/circuitry/MLX90614-temperature-sensor.html>
- Arguedas, E. (2019). Constantes fisiológicas cardiovasculares y respiratorias en perros (*canis lupus domesticus*) de la ciudad de Puno. (*Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Médico Veterinario y Zootecnista*). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno.
- AVNET. (12 de Febrero de 2018). Obtenido de Sigfox is the world's leading provider of connectivity for the Internet of Things (IoT): <https://www.avnet.com/wps/portal/apac/resources/article/sigfox-is-the-worlds-leading-provider-of-connectivity-for-the-internet-of-things/>
- Blynk Inc. (2022). *Blynk*. Obtenido de <https://blynk.io/>
- Buestán, J. (2019). Desarrollo de una red IoT con tecnología Lora para detección de automóviles. (*Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico*). Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Burhanuddin, M., Basiron, H., Mohammed, A., & Ismail, R. (2017). Internet of Things Architecture: Current Challenges and Future Direction of Research. *ResearchGate*, 7.
- Cassibba, G. (13 de Abril de 2022). *Accelerometer with Arduino Uno*. Obtenido de <https://peppe80.com/accelerometer-with-arduino-uno-adxl335-gy-61-wiring-and-code/>
- Chaudhari, B., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations. *future internet*, 25.
- Codeplayon. (30 de Enero de 2019). Obtenido de LoRa- (Long Range) Network and Protocol Architecture with Its Frame Structure: https://www.codeplayon.com/2019/01/lora-long-range-network-and-protocol-architecture-with-its-frame-structure/#Frame_Structure
- ElectronicWings. (2021). Obtenido de <https://www.electronicwings.com/components/max30102-pulse-oximeter-and-heart-rate-sensor>
- Ertürk, M., Aydin, M., Büyükakkaşlar, T., & Evirgen, H. (2019). A Survey on LoRaWAN Architecture, Protocol and Technologies. *ResearchGate*. doi:10.3390/fi11100216
- Fernández, R. (23 de Noviembre de 2021). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/517654/prevision-de-la-evolucion-de-los-dispositivos-conectados-para-el-internet-de-las-cosas-en-el-mundo/>
- Franco, J. (23 de 08 de 2020). *The Internet of Things (IoT), The result of an interconnected world*. Obtenido de Medium: <https://medium.com/@julianfrancor9/iot-the-result-of-an-interconnected-world-37558e681865>

- García, J., Hernández Bautista, R., & Hernández Gutiérrez, J. (2018). Sistema para el monitoreo de variables fisiológicas en caninos (MEASY-PET). (*Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico*). UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, México.
- Gavilanes, A. (2018). Sistema electrónico de detección y rastreo de mascotas. (*Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones*). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Geotab Team. (22 de Mayo de 2020). *Geotab Inc.* Obtenido de What is GPS?: <https://www.geotab.com/blog/what-is-gps/>
- GlobalTop Technology Inc. (2012). Gms-g9 GNSS Module Datasheet. En G. T. Inc..
- Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). Introduction to IoT. *Researchgate*, 4.
- Gutiérrez, A., & Caisa, H. (2021). Diseño de un prototipo wearable para el monitoreo de signos vitales a través de sensores y alerta de anomalías en canes mediante una aplicación móvil. (*Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Networking y Telecomunicaciones*). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Haxhibeqiri, J., De Poorter, E., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2018). A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *MPDI*, 38.
- Hernández, S. (2020). Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico. (*Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicaciones*). Universidad Oberta de Catalunya.
- Islam, N., Ray, B., & Pasandideh, F. (2020). IoT Based Smart Farming: Are the LPWAN Technologies Suitable for Remote Communication? *2020 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)*, 270-276.
- Mamoon , R., Ishrat , N., Zeba, K., & Sachin , K. (2020). Internet of Things- Architecture, Challenges and Future Directions. *Research Gate*, 87-104.
- Marais, J., Malekian, R., & Abu-Mahfouz, A. (2017). LoRa and LoRaWAN Testbeds: a Review. *IEEE Africon 2017 Proceedings*, 1496-1501.
- Maxim Integrated. (2015). *High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable HealthSystem Diagram*. Obtenido de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/859400/MAXIM/MAX30102.html>
- Melexis. (2007). *MLX90614 Datasheet*. Obtenido de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/218975/ETC2/MLX90614.html>
- Mendieta, T., Herrera, J., & Jimenez, A. (18 de Septiembre de 2019). *Revista AVENIR*. Obtenido de La Capacidad del IOT de Transformar el Futuro: <https://fundacionavenir.net/revista/index.php/avenir/article/view/79>
- Microchip. (2020). megaAVR® Data Sheet. En *ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P*.

- Molina, D. (2020). Desarrollo de un sistema para geolocalización de ganado bovino en los páramos de Cotopaxi utilizando software y hardware libre. (*Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero en Informática y Sistemas Computacionales*). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). *SENSOR DE TEMPERATURA INFRARROJO MLX90614*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html>
- OneHealthGroup*. (2022). Obtenido de OneHealth: <https://onehealthgroup.com>
- Petlink Ecuador*. (2019). Obtenido de <https://petlinkecuador.com>
- Pham, C., Bounceur, A., Clavier, L., & Noreen, U. (2019). Investigating and Experimenting Interference Mitigation by Capture Effect in LoRa Networks. *ResearchGate*, 6.
- Pozo, A., Ribeiro, A., García Alegre, M., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. (s.f.). *Peoplematters*. Obtenido de Sistema de Posicionamiento Global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro: <https://www.peoplematters.com/Archivos/Descargas/GPS.pdf>
- Primicias*. (2020). Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/negocios/animales-ventas-inversiones-industria-mascotas/>
- Rajguru Electronics . (2019). *Rajguru Electronics* . Obtenido de <https://5.imimg.com/data5/XL/VE/MY-1833510/ft232rl-usb-to-ttl-5v-3-3v-convertor.pdf>
- Roa, K., & Rojas, L. (2019). Sistema electrónico para el monitoreo de bovinos hembra en su ciclo estral. (*Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Romero, L. (2020). Monitoreo de indicadores durante el transporte de un. (*Trabajo de titulación previo a la obtencion del título de Ingeniero en Electrónica*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Rouse, M. (Septiembre de 2017). *TechTarget*. Obtenido de LPWAN (low-power wide area network): <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>
- Saade, S., Gomez, M., Nieto, L., & Volentini, E. (2018). IoT Architecture Prototype. *ResearchGate*, 5.
- Semtech. (2020). WIRELESS & SENSING PRODUCTS. En *SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver*.
- Semtech.com. (s.f.). *Lora Developer Portal*. Obtenido de The Ins and Outs of LPWAN Technologies: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lpwan-technologies>
- Sigfox Technical Overview*. (2017). Obtenido de www.sigfox.com

Ubidots. (s.f.). *Ubidots*. Obtenido de Connectivity Now and Beyond; exploring Cat-M1, NB-IoT, and LPWAN Connections: <https://ubidots.com/blog/exploring-cat-m1-nb-iot-lpwan-connections/>

u-blox. (s.f.). NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012). *Serie Y: Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo internet y redes de la próxima generación*. Obtenido de <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=11559&lang=es>

wireless logic. (s.f.). Obtenido de Redes de baja potencia y área amplia (LPWAN): <https://www.wirelesslogic.com/es/conectar/conectividad-sim/redes-de-baja-potencia-y-area-amplia-lpwan/>

Yuquilema Muñoz, M. D. (2017). *Estudio de un sistema de monitoreo y control de posicionamiento vía GPS aplicado a mascotas*. Guayaquil.

Zembrane, H., Baddi, Y., & Hasbi, A. (2019). Ehealth smart application of WSN on WWAN. *Proceedings of the 2nd International Conference on Networking, Information Systems & Security*.