

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO
DE LA UBICACIÓN DE UNA BICICLETA CON UN ENFOQUE IOT.

MAURICIO ALEJANDRO ALMANZA VALENCIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2021

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO
DE LA UBICACIÓN DE UNA BICICLETA CON UN ENFOQUE IOT.

MAURICIO ALEJANDRO ALMANZA VALENCIA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

DIRECTOR

JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ

Magister en Potencia Eléctrica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por tener la oportunidad de llegar hasta esta etapa de mi vida.

A mis padres que han sido los gestores de mi formación como persona y como profesional, por sus consejos, enseñanzas, y amor. A mis hermanos Mariángel, Alexandra y Fabian Andrés por motivarme a luchar por mis metas.

A la Universidad Industrial de Santander por la formación académica y personal recibida en estos años, en especial a mi director Jaime Guillermo Barrero, por estar atento a mi investigación, brindándome asesoría, corrección y ayuda.

A Katherine por su paciencia y ayuda idónea, lo que me ha permitido ser un mejor hombre.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO..... | 15 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 15 |
| 1.2 FORMULACIÓN DE PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 16 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.3.1 Objetivo General | 16 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 16 |
| 1.4 ALCANCE | 17 |
| 1.5 ESTADO DEL ARTE..... | 18 |
| 2. SISTEMA IOT Y GPS EN EL PROTOTIPO | 24 |
| 2.1 INTERNET DE LAS COSAS | 24 |
| 2.1.1. LoRA..... | 27 |
| 2.2. GPS | 28 |
| 2.2.1 Fuentes de error en el GPS | 29 |
| 3. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE | 31 |
| 3.1 COMPONENTES DEL PROTOTIPO EN LA BICICLETA, ESTACION MOVIL | 31 |
| 3.1.1 Tarjeta de desarrollo | 32 |
| 3.1.2 Módulo de LoRa..... | 34 |
| 3.1.3 Sensor GPS | 35 |
| 3.2 FUNCIONAMIENTO DEL GPS NEO 6M | 36 |
| 3.2.1. Satélites del GPS | 37 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2. Pruebas con el sensor GPS | 38 |
| 3.2.3. Adquisición de datos de la posición en la tarjeta de desarrollo | 41 |
| 3.3. TRANSMISIÓN LOCAL A TRAVÉS DE LoRa | 42 |
| 3.3.1. Frecuencia en la transmisión | 43 |
| 3.3.2. Diseño de la programación en la estación móvil | 43 |
| 3.3.3. Datos enviados en el prototipo..... | 43 |
| 3.3.4 Diagrama de flujo del prototipo | 44 |
| 3.4. ALIMENTACIÓN DEL PROTOTIPO | 46 |
| 3.5 COMPONENTES DE LA ESTACIÓN BASE | 47 |
| 3.5.1 Tarjeta de desarrollo de la estación base | 48 |
| 3.5.2. Conexión interna estación base | 49 |
| 3.5.3. Diseño de la programación en la estación base | 50 |
| 3.5.4. Datos recibidos en la estación base..... | 50 |
| | |
| 4. SOFTWARE..... | 52 |
| 4.1 SOPORTE DE ALMACENAMIENTO | 52 |
| 4.1.1. Almacenamiento de la información | 52 |
| 4.1.2. Diseño de la programación del almacenamiento | 54 |
| 4.1.3. Archivo de texto | 55 |
| 4.2 APLICACIÓN MÓVIL IOT | 55 |
| 4.2.1 Blynk Libraries | 56 |
| 4.2.2 Blynk Server..... | 57 |
| 4.2.3 Blynk APP | 58 |
| 4.2.4 Aplicación de la bicicleta inteligente..... | 59 |
| 4.2.5 Funcionalidades de la aplicación | 59 |
| 4.2.6 Diseño de la programación de la aplicación..... | 60 |
| 4.2.7 Interfaz Final | 60 |
| 4.2.8 Acceso compartido de la aplicación móvil..... | 61 |

| | |
|--|----|
| 5. PRUEBAS FINALES | 63 |
| 5.1 PRUEBAS DEL PROTOTIPO | 63 |
| 5.2 PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA | 63 |
| 5.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO..... | 64 |
| 5.4 PRECISIÓN GPS..... | 65 |
| 5.5 PRUEBAS CON LA APP | 66 |
| 5.5.1 Notificaciones iniciales | 66 |
| 5.6 ESTADO DE BATERÍA | 67 |
| 5.7 MONITOREO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO | 67 |
| 5.7.1 Campus Universitario..... | 67 |
| 5.7.2 Estado de la bicicleta | 68 |
| 6. CONCLUSIÓN | 70 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 71 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 72 |
| ANEXO | 75 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Interacción del usuario con el componente web | 19 |
| Figura 2. Pruebas de alcance entre nodo central y Gateway | 20 |
| Figura 3. Modelo de capas para el sistema piscícola inteligente | 22 |
| Figura 4. Velocidad de datos vs alcance de las tecnologías de comunicación de radio, con un enfoque de redes LPWAN..... | 25 |
| Figura 5. Red punto a punto del sistema de monitoreo..... | 27 |
| Figura 6. Trilateración para el caso de 4 satélites..... | 28 |
| Figura 7. Funciones del prototipo..... | 31 |
| Figura 8. Componentes del prototipo del vehículo | 32 |
| Figura 9. Tarjeta de desarrollo TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276..... | 35 |
| Figura 10. Sentencias de protocolos de NMEA | 36 |
| Figura 11. Conexiones en el sensor GPS y el microcontrolador..... | 37 |
| Figura 12. Posicionamiento de la posición en u-center y comprobación de la ubicación en Google maps..... | 39 |
| Figura 13. Magnitud de la potencia de la recepción de las señales de los satélites. | 39 |
| Figura 14. Ubicación aproximada de satélites cercanos con recepción del sensor GPS | 40 |
| Figura 15. Altitud, velocidad, fecha y hora registrada por el sensor..... | 41 |
| Figura 16. Variables mostradas en el monitor serial. | 42 |
| Figura 17. Conexión interna entre ESP32, NEO 6M y TTGO LoRa..... | 43 |
| Figura 18. Paquete transmitido a través de LoRa | 44 |
| Figura 19. Diagrama de flujo utilizado en el prototipo. | 46 |
| Figura 20. Batería 18650 | 47 |
| Figura 21. Componentes de la estación Base | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 22. Tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V2.0 OLED..... | 49 |
| Figura 23. Conexión entre ESP32 y TTGO LoRa | 50 |
| Figura 24. Datos recibidos en la estación base | 51 |
| Figura 25. Tarjeta de desarrollo de la estación base con la microSD. | 53 |
| Figura 26. Protocolo SPI utilizado en la estación base. | 54 |
| Figura 27. Archivo texto de la información de la bicicleta. | 55 |
| Figura 28. Estructura en Blynk..... | 58 |
| Figura 29. Interfaz final del usuario..... | 61 |
| Figura 30. Acceso compartido de la aplicación móvil a través del código QR. | 62 |
| Figura 31. Prototipo final..... | 63 |
| Figura 32. Notificación de inicio del monitoreo al correo electrónico. | 66 |
| Figura 33. Notificación de inicio del monitoreo al teléfono móvil..... | 66 |
| Figura 34. Notificaciones del estado de batería..... | 67 |
| Figura 35. Área aproximada del campus universitario | 68 |
| Figura 36. Alerta por desplazamiento indebido de la bicicleta en la Universidad Industrial de Santander | 69 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Comparación de tecnologías LPWAN..... | 26 |
| Tabla 2. Ponderación de las características de la tecnología LPWAN por parte del autor..... | 26 |
| Tabla 3. Fuentes de error de los GPS | 30 |
| Tabla 4. Comparación de tarjetas de desarrollo | 33 |
| Tabla 5. Ponderación de las características de las tarjetas de desarrollo por parte del autor | 33 |
| Tabla 6. Comparación de módulos de LoRa..... | 34 |
| Tabla 7. Ponderación de las características de los módulos de LoRa por parte del autor | 34 |
| Tabla 8. Especificaciones del sensor GPS | 35 |
| Tabla 9. Especificaciones de tarjetas de desarrollo en la estación base. | 48 |
| Tabla 10. Ponderación de las características de las tarjetas de desarrollo en la estación base. | 49 |
| Tabla 11. Voltaje de operación de la batería..... | 64 |
| Tabla 12. Voltaje de operación de la batería en estado de Deep sleep..... | 64 |
| Tabla 13. Cálculo de la precisión GPS. | 65 |
| Tabla 14. Voltajes de Batería según sus estados. | 67 |

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE LA UBICACIÓN DE UNA BICICLETA CON UN ENFOQUE IOT*.

AUTOR: MAURICIO ALEJANDRO ALMANZA VALENCIA**

PALABRAS CLAVE: Internet de las cosas, GPS, lora, sistemas embebidos, bicicleta, monitoreo.

DESCRIPCIÓN

El presente proyecto proporciona un sistema que obtiene la posición de una bicicleta en el campus de la Universidad Industrial de Santander. Se diseñó un sistema que cuenta con dos tarjetas de desarrollo con sus microcontroladores, dos módulos de IoT y un módulo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Adicionalmente, toda la información de la bici-usuario será recolectada cuando estos se movilicen por el campus.

La estación móvil trabaja con un primer microcontrolador en la bicicleta, donde su función es enviar los datos de su posicionamiento global; la transmisión está dada por la tecnología IoT. Por otra parte, la segunda tarjeta de desarrollo recibe la información del vehículo, siempre y cuando se presente línea de vista. Esta estación base debe estar conectada a Internet, debido a que toda la información (latitud y longitud) es almacenada, y estos a su vez se remiten a la aplicación que tiene incluido el paquete de mapas (Google maps).

Finalmente, la aplicación permite enviar alertas si la bicicleta monitoreada se encuentra por fuera del campus, notificaciones del estado de batería; los usuarios remotos pueden acceder a esta plataforma desde cualquier parte del mundo. El sistema cuenta con un respaldo de memoria para tener un histórico del recorrido de la misma.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez. Magister En Potencia Eléctrica

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A SYSTEM FOR MONITORING THE LOCATION OF A BICYCLE WITH AN IOT APPROACH.

AUTHOR: MAURICIO ALEJANDRO ALMANZA VALENCIA**

KEYWORDS: BICYCLE, EMBEDDED SYSTEMS, INTERNET OF THINGS, GPS, LoRa, MONITORING.

DESCRIPTION

This project provides a system that obtains the position of a bicycle on the campus of the Industrial University of Santander. A system was designed that has two development boards with their microcontrollers, two IoT modules and a Global Positioning System (GPS) module. In addition, all the information of the bike users Will be collected when they move around the campus

The mobile station works with a first microcontroller on the bicycle, where its function is to send the data of its global positioning; the transmission is given by IoT technology. On the other hand, the second development card receives the vehicle information, as long as line of sight is present. This base station must be connected to the Internet, since all the information (latitude and longitude) is stored, and these in turn are sent to the application that has the map package (Google maps) included.

Finally, the application allows to send alerts if the monitored bicycle is outside the campus and notifications of the battery status; remote users can access this platform from anywhere in the world. The system has a memory backup to have a history of the journey of the same.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez. Magister En Potencia Eléctrica

INTRODUCCIÓN

La bicicleta es un vehículo versátil y asequible que tiene poco más de 200 años y que está presente tanto en la recreación y el deporte como en el contexto urbano; desempeña un rol significativo como modo de transporte de personas, bienes y servicios en varios lugares del mundo, incluido Colombia.

En Colombia la bicicleta se ha utilizado como medio de transporte desde hace más de 100 años, incluso en varias ciudades se hacen más del 10% de los viajes en este medio¹. En el área metropolitana de Bucaramanga las bicicletas han tenido un uso predominantemente recreativo y deportivo. Sin embargo, ésta también se ha usado como medio de transporte para varios sectores de la sociedad, como, por ejemplo, el sector estudiantil. La ciudad y su área metropolitana tienen varios instrumentos regulatorios que ya incluyen la bicicleta de manera explícita, es por esto que se crearon los planes maestros de movilidad de cada uno de los municipios que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga, producto del trabajo conjunto de la Universidad Industrial de Santander con el Área Metropolitana².

Sin embargo, pese a que en Bucaramanga se tiene las medidas necesarias para incentivar y motivar al mayor uso de la bicicleta, promover constantemente el uso de la misma los domingos y festivos, así como la ciclo-vía nocturna en algunas fechas especiales; no será posible generar un aumento considerable de personas que hagan uso de la bicicleta en su vida diaria si no se hace algo para disminuir la tasa de hurto, la cual es la mayor problemática y obstáculo que impide el uso constante de este vehículo.

¹ Programa de las naciones unidas para los asentamientos humanos, alcaldía de Bucaramanga, área metropolitana de Bucaramanga. La bicicleta como medio de transporte: Estrategia 2019-2030 para Bucaramanga y su Área Metropolitana [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/wp-content/uploads/2018/04/Estrategia-de-la-Bicicleta-para-el-AMB-Publicada.pdf>

² *Ibid.*, p 2.

En los últimos años, la ciudad de Bucaramanga ha presentado gran aumento en los robos de bicicletas. Cada día estas cifras aumentan alarmantemente sin que a la fecha haya alguna clara solución a dicha problemática. Varios de los colectivos establecidos en la ciudad entorno al ciclismo destacan los esfuerzos de la Policía; sin embargo, desde hace varios años solicitan crear como mínimo “el registro único nacional de bicicletas como herramienta de control y seguimiento a la propiedad de las bicicletas”³, sin que a la fecha exista un sistema eficiente para combatir este delito. Por lo anterior, se propone crear un sistema de monitoreo de seguridad que permita dar solución efectiva a la problemática expuesta.

El Internet de las cosas o *Internet of things* (IoT) en inglés, es el concepto de conectar todo tipo de objetos físicos al internet. La importancia en proyectos relacionados con IoT no se enfoca solamente en la conectividad de las “cosas”, sino en la información recolectada y la posibilidad de realizar un gran procesamiento de datos.

En esta investigación se diseñó un sistema IoT para el monitoreo de la ubicación de las bicicletas en la Universidad Industrial de Santander, que cuenta con la implementación de un prototipo que permite monitorear remotamente, gracias a que este vehículo está conectado a través del internet de las cosas. Con este sistema inteligente es posible disponer de un soporte de almacenamiento del historial del recorrido del vehículo, además de la visualización de la posición en una aplicación móvil. De esta manera, el usuario podrá actuar de manera rápida y efectiva ante un desplazamiento indebido de la bicicleta.

Por los altos costos, el tiempo empleado y la situación actual de la pandemia generados por el COVID-19, no se puede realizar un diseño propio de los

³ EL TIEMPO. Robo de bicicletas, ¿una pelea perdida? 24 de agosto 2018 [en línea]. [Fecha de consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/bogota/robo-de-bicicletas-una-pelea-perdida-259798>

componentes de la estación móvil y la estación base. En consecuencia, se buscó un diseño en el mercado que se adapte a los requisitos de la investigación. La estación móvil tiene la tarjeta de desarrollo TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 esta cuenta con un módulo GPS y de LoRa. La estación base posee una tarjeta de desarrollo TTGO LORA32 V2.0 + OLED, esta cuenta con un módulo de LoRa.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El constante robo de bicicletas, según las estadísticas, es bastante alta en la ciudad de Bucaramanga; según la Dirección Seccional Santander de la Fiscalía, en lo que fue el año 2018, se registró un incremento del 104% en el índice de casos denunciados por hurto de bicicleta comparado con los años anteriores. Dichos robos se llevan a cabo de diferentes maneras: por ejemplo, el hurto mientras dicho vehículo está estacionado y asegurado con cadenas y candados, seguridad que no es efectiva debido a la facilidad de violentarla. Otra modalidad de hurto de bicicletas es cuando están en movimiento, a través del atraco con un arma blanca y/o fuego, poniendo así en riesgo la vida del conductor.

Existen riesgos que afectan directamente a los ciclistas y sus bicicletas, en la Universidad Industrial de Santander éstos también son latentes. A pesar de la situación actual del país por el confinamiento generado por el covid19, la comunidad de la Universidad Industrial, en meses anteriores, ha sufrido hurtos de bicicletas dentro del campus. Según datos de planta física de esta Universidad, se reportaron 3 pérdidas de las bicicletas en el año 2018, sin contar las bicicletas que han sido hurtados y no se han registrado. Esto ha generado un alto grado de interés de búsqueda de soluciones para esta problemática, analizando una de ellas, surge la siguiente pregunta: ¿Qué sucedería si existiera un dispositivo oculto en algún lugar de la bicicleta que permitiese el rastreo y monitoreo de su localización? Las respuestas son amplias: El ciclista sabría su localización después de un robo y así posteriormente de una denuncia ante la autoridad competente, se podría capturar a los delincuentes o personas que compran bicicletas robadas y el resultado de este rastreo satelital sería parte de un buen elemento material probatorio para desvirtuar

la presunción de inocencia y de esta forma poder condenar el acto del delincuente y la víctima pueda recuperar su bicicleta.

1.2 FORMULACIÓN DE PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible implementar un sistema de monitoreo que pueda brindar mayor seguridad a los biciusuarios?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema IoT para monitorear y transmitir la posición de una bicicleta, utilizando la tecnología satelital de GPS.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener y almacenar la información satelital de la posición (GPS) de una bicicleta usando una tarjeta de desarrollo basado en el microcontrolador ESP32 para tener un respaldo del histórico del recorrido.
- Establecer la comunicación entre el microcontrolador de la bicicleta y el microcontrolador de la estación fija, utilizando la red de LoRa, siempre y cuando haya línea de vista.
- Desarrollar una aplicación móvil IoT que, con base en la información recibida de la bicicleta, le permita a un usuario conocer la posición real y la trayectoria de este vehículo.

1.4 ALCANCE

Esta investigación tiene como alcance el diseño y la implementación de un sistema para ubicar, seguir y monitorear una bicicleta al aire libre del campus de la Universidad Industrial de Santander en un radio aproximado de 1 km, por medio de la tecnología de comunicación LoRa y la tecnología satelital GPS, empleando alarmas según la ubicación que transmita el sistema. El producto final deberá ser un dispositivo de tamaño reducido, que tenga bajo consumo; y adicionalmente, que pueda ocultarse en este medio de transporte, así cualquier persona, no percibirá que la bicicleta está siendo monitoreada y el sistema pueda advertir al usuario sobre el hurto o la disponibilidad de la misma, generando así una disminución significativa en los hurtos y pérdidas de bicicletas dentro de la Universidad Industrial de Santander.

Muchos otros proyectos trabajan sobre el monitoreo de la posición utilizando tecnologías como GSM y GPRS, el presente proyecto tendrá la ventaja respecto a estos, debido a que la transmisión y recepción de la información (latitud y longitud) no tendrá la necesidad de recurrir a un plan de datos que contenga navegación por internet haciendo más fácil y asequible su uso. El prototipo a realizar tiene especificaciones de la tecnología IoT, bajo consumo energético, bajo costo en la conectividad, largo alcance en la cobertura son ventajas considerables que permitirán tener un mejor rendimiento.

Por otra parte, lo realizado en esta investigación será de gran utilidad para posteriores estudios que se realicen en el ámbito de IoT, esto, con el fin de aportar diseños de nuevas estructuras y fomentar el desarrollo de topologías de red LoRa que puedan crear una red con un mayor número de nodos y una mejor cobertura a un bajo costo; resaltando que estas necesidades son claves para la industria colombiana en el desarrollo de prototipos.

1.5 ESTADO DEL ARTE

Para la ejecución de este sistema de monitoreo se debe llevar a cabo una revisión bibliográfica en investigaciones similares para tomarlos como punto de referencia, y de esta forma, se logre escoger cuales aspectos pueden ser útiles en la implementación de este monitoreo.

El “internet de las cosas” ha tomado un papel importante en el mundo, cada vez se conoce nuevos proyectos acerca de este concepto, pero esta idea no conlleva mucho tiempo. En la actualidad, existen varios proyectos realizados en Colombia que se desarrollan en esta área, a continuación, a manera de ejemplos, se mencionarán algunos:

- Relacionado al monitoreo de bicicletas, estudiantes de la Universidad Agustiniana en Bogotá realizaron una investigación⁴ a cerca de la tecnología de GSM/GPRS donde su objetivo es recolectar información de los bici-usuarios en la capital de Colombia. Este sistema funciona con un módulo de GPS para la obtención de la posición. Los módulos embebidos tales como placa Arduino, *Shield Ethernet* y la placa sim 808 son dispositivos que permiten monitorear la bicicleta. Además, el monitoreo permite alertar a través de mensajes de textos si hay un posible caso de robo del vehículo y se muestra la posición actual a través de una página web. Al igual que la presente investigación, el proyecto de la Universidad Agustiniana están orientados en la misma problemática de hurtos a bicicletas y de la investigación soluciones que puedan dar una posible recuperación del vehículo.

El sistema cuenta con un botón de pánico el cual permite enviar la ubicación de la bicicleta a la estación base a través de un mensaje de texto. El receptor que está

⁴ ROMERO GUZMAN, Juan Esteban; GONZALEZ CASTRO, Camilo Andres; JAIME FUENTES, Dany Miller. Mecanismo de monitoreo para bicicletas en movimiento, usando enfoque de IOT. Trabajo de grado Ingeniería en Telecomunicaciones. Bogotá: Universitaria Agustiniana Uniagustiniana, Facultad De Inegneiria. 2018.

conectado por medio de una *Shield Ethernet* a la base de datos creada por el autor y luego esta información se actualiza en Google maps con la API de JavaScript. Las pruebas del funcionamiento se presentan en la siguiente imagen.

Figura 1. Interacción del usuario con el componente web



Fuente: Romero Guzmán, Juan Esteban; González Castro, Camilo Andrés; Jaime Fuentes, Dany Miller. Mecanismo de monitoreo para bicicletas en movimiento, usando enfoque de IOT. Trabajo de grado Ingeniera en Telecomunicaciones. Bogotá: Universitaria Agustiniiana Uniagustiniana, Facultad De Ingeniería. 2018. p. 58.

- Otro proyecto que presenta la situación actual de internet de las cosas es el proyecto⁵ de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, sobre el de monitoreo de cultivos agrícolas, este sistema funciona gracias al protocolo de red LoRaWAN y el uso de sensores con el fin de la supervisión de diferentes cultivos de fresas. Datos como la temperatura, humedad, radiación y pH pueden ser vistos gracias a la interface del usuario. Dispositivos como Arduino UNO, LoRa Shield, y Gateway de LoRa, hacen posible la comunicación entre los sensores y la aplicación

⁵ TRIANA USECHE, Jordan Camilo y RODRIGUEZ, Ronald. Prototipo de solución lot con tecnología Lora en monitoreo de cultivos agrícolas. Trabajo de grado Ingeniería en Telecomunicaciones. Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018.

web. Este trabajo evidencia una gran ventaja de LoRa y es su bajo consumo de energía con un buen alcance.

El autor utiliza una topología estrella entre los nodos y el Gateway en donde se envía la información cada 90 segundos. La implementación del cultivo agrícola fue en Sibaté, Cundinamarca. Se realizaron pruebas de alcance entre el nodo y el Gateway sin línea de vista, está arrojo que la máxima distancia entre comunicación del sistema es de 2.5 km, con esto comprobó que las especificaciones dadas por el fabricante de los dispositivos diferían con la realidad que mostraban la hoja de datos de rangos de 2.5km a 5 km. En la siguiente imagen, el autor presenta la distribución de los nodos y el punto central del Gateway.

Figura 2. Pruebas de alcance entre nodo central y Gateway



Fuente: TRIANA USECHE, Jordan Camilo y RODRIGUEZ, Ronald. Prototipo de solución lot con tecnología Lora en monitoreo de cultivos agrícolas. Trabajo de grado Ingeniería en Telecomunicaciones. Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018. p. 74.

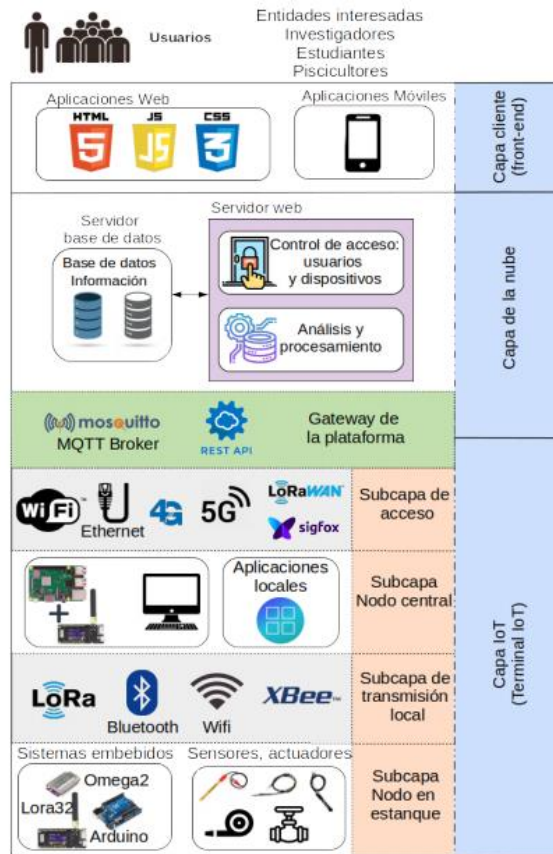
Por último, en un ámbito similar, se encuentra la implementación de la Universidad

Industrial de Santander en un sistema de monitoreo de los estanques piscícolas⁶, el proyecto comprende sensores y actuadores que permiten la lectura de datos de los usuarios por medio de una aplicación web. LoRa una tecnología que cumple con los requisitos de IoT es la empleada para la comunicación local. La tarjeta de desarrollo LoRa32 TTGO y el microcontrolador Raspberry PI 3B+ son los utilizados para el sistema embebido. La escalabilidad y la variedad de las técnicas en los modelos IoT hacen que esta solución sea apropiada para este diseño.

Un aspecto a tener en cuenta en esta investigación es la realización del modelo para un sistema piscícola inteligente, en donde su estructura se basa en el modelo de referencia de IoT planteado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). La capa IoT, el Gateway de la plataforma, la capa de la nube y la capa de la aplicación presentan los componentes del proyecto en un estándar internacional. En la siguiente imagen se presenta el modelo de capas.

⁶ LOZANO, María. Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en estanques piscícolas basado en el Internet de las cosas (IOT). Tesis ingeniero electrónica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. 2019.

Figura 3. Modelo de capas para el sistema piscícola inteligente



Fuente: LOZANO, María. Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en estanques piscícolas basado en el Internet de las cosas (IOT). Tesis ingeniero electrónica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. 2019. p. 29.

Como resultado de esta revisión bibliográfica se puede inferir que cada día se establecen nuevos sistemas de monitoreo que permiten recolectar información en un objeto, un vehículo, un electrodoméstico, un hogar, un estanque, etc. Esto hace que sea necesario el estudio de este concepto debido a que permite implementaciones en busca de garantizar una vida óptima y segura de las actividades que se realizan diariamente. Y es que para el año 2020 se espera que estén conectados más de 50 mil millones de dispositivos a través de señales de

radiofrecuencia⁷. Estos equipos pueden tener una interfaz de usuario bien sea en una página web, aplicación móvil o en los mismos elementos inteligentes que puedan disponer de una pantalla.

Otros dos aspectos a tener en cuenta en el estado del arte, es el análisis de parámetros de la tecnología IoT y la ingeniería de requerimientos. En los parámetros a analizar, el alcance de transmisión es un aspecto fundamental en las tecnologías IoT, pruebas de potencia recibida y recepción de paquetes verifican la cobertura. El consumo de corriente es otro parámetro a observar, debido a la autonomía que puede ofrecer el dispositivo en cualquier aplicación. Y como segundo aspecto, es el de la ingeniería de requerimientos en donde se puede identificar los requisitos a nivel de hardware y la elección del equipo a un bajo costo.

⁷ MEKKI, Kais. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. ICT express, 2019, vol. 5, no 1, p. 1-7. The Korean Institute of Communications and Information Sciences (KICS). P. 1.

2. SISTEMA IOT Y GPS EN EL PROTOTIPO

En el capítulo dos se abordan dos tipos de tecnologías necesarias para la implementación del monitoreo de la bicicleta, la primera es el internet de las cosas que es la interconexión con otros dispositivos a través de diferentes tipos de redes de comunicación. Esto le permite al prototipo transmitir información de la bicicleta a una estación base. La segunda es el sistema de posicionamiento global (GPS), encargada de mostrar la ubicación de la bicicleta. Esto se logra gracias a la conexión con los satélites.

2.1 INTERNET DE LAS COSAS

En la actualidad, con el crecimiento significativo de los sistemas IoT, se pueden encontrar un número creciente de aplicaciones prácticas en el mundo real en los temas de hogares inteligentes, seguridad, monitoreo de cultivos, medición de variables en la industria, etc. La tecnología IoT se caracteriza por ser de largo alcance, bajo consumo de energía, baja transmisión de datos, carga útil reducida y una buena rentabilidad en los sistemas.

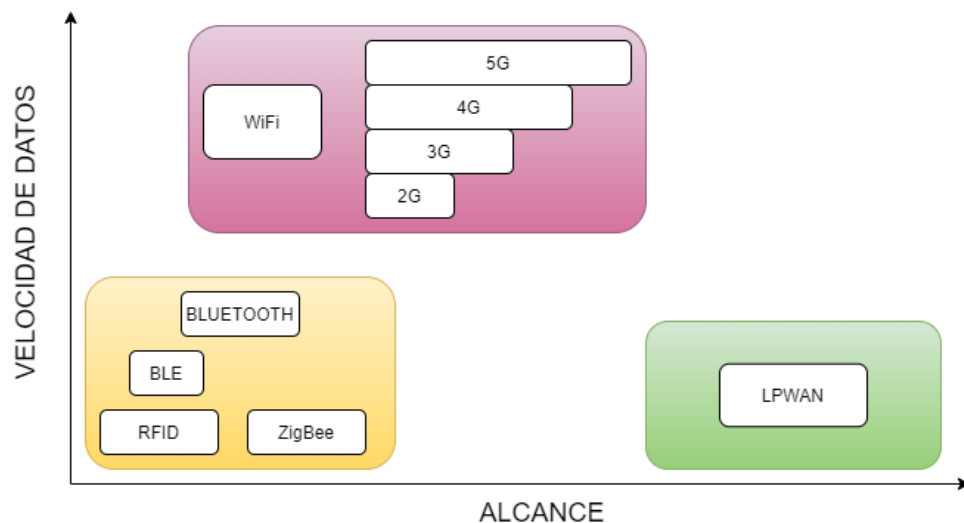
Las tecnologías inalámbricas de corto alcance como WiFi, ZigBee, RFID/NFC, Bluetooth no son adecuadas para manejar este tipo de aplicaciones, debido a que están limitadas por el rango de transmisión que pueden ejercer. Otras soluciones como las redes de celulares tales como: 2G, 3G, 4G, pueden brindar una gran cobertura en rangos muy extensos, pero tienen dos desventajas: el gran consumo de corriente y el pago para navegar en ellas. Esto hace que no sean una tecnología a considerar.

Las redes Low Power Wide Area (LPWAN) son ideales para la realización de aplicaciones IoT debido a que cumplen con sus especificaciones. LPWAN es un tipo

de comunicaciones inalámbricas con características como: bajo consumo energético, el envío reducido en paquetes, bajo costo en la conectividad y largo alcance en la cobertura.

En la actualidad, las redes LPWAN están en su auge de crecimiento en la industria, en la que se han implementado muchos estándares de diferentes especificaciones según cada aplicación. LPWAN presenta 3 redes que tienen una buena proyección y con mayor uso en el Internet de las cosas estas son: LoRaWAN, NB-IoT y Sigfox.

Figura 4. Velocidad de datos vs alcance de las tecnologías de comunicación de radio, con un enfoque de redes LPWAN.



Se realizó una comparativa a nivel general de las tecnologías LPWAN que pueden brindar una solución en la comunicación entre la estación base y el prototipo. Los valores y descripciones obtenidos en la tabla 1, fueron proporcionados gracias a los fabricantes de cada red. Las especificaciones a seguir son: largo alcance, velocidad de transmisión, costo de equipo, costo de servicio y carga útil; por esto, se evaluó estas especificaciones a través de una tabla de puntuación para analizar la mejor opción IoT.

Tabla 1. Comparación de tecnologías LPWAN

| Especificación | LoRa⁸ | NB-IoT⁹ | SigFox¹⁰ |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Modulación | CSS | QPSK | BPSK |
| Frecuencia | Banda ISM (915 MHz en Colombia) | Frecuencia LTE con licencia | Banda ISM (915 MHz en Colombia) |
| Ancho de banda | 150kHz-250kHz | 200 kHz | 100 Hz |
| Velocidad máxima de datos | 50kbps | 100kbps | 100 bps |
| Carga útil | 242 bytes | 1600 bytes | 12 bytes |
| Inmunidad a la interferencia | Alta | Baja | Alta |
| Alcance | 5 km urbano y 15 km rural | 1 km urbano y 10 km rural | 10 km urbano y 40 km rural |
| Corriente promedio en transmisión | 24 mA | 120 mA | 45 mA |
| Sensibilidad[dBm] | -137 | -133 | -129 |
| Banda de frecuencia utilizada | No licenciado | No licenciado | Licenciado(LTE) |

Se procedió realizar la ponderación de las especificaciones a tener en cuenta.

Tabla 2. Ponderación de las características de la tecnología LPWAN por parte del autor.

| Característica | LoRa | NB-IoT | SigFox |
|-----------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| Largo Alcance | 8 | 4 | 10 |
| Velocidad de Transmisión | 8 | 10 | 5 |
| Costo del equipo | 10 | 6 | 2 |
| Carga útil | 8 | 10 | 5 |
| Corriente promedio en transmisión | 10 | 6 | 8 |
| TOTAL: | 44 | 36 | 30 |

⁸ SEMTECH CORPORATION. LoRA and LoRaWan: A technical Overview [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf

⁹ VODAFONE. Narrowband-IoT: A Low Power Wide Area Network [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.vodafone.com/business/iot/managed-iot-connectivity/nb-iot>

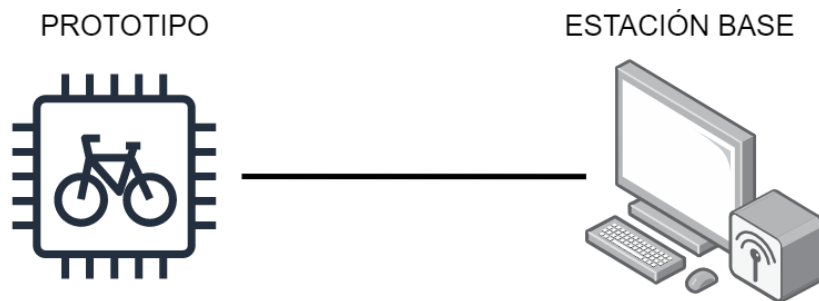
¹⁰ SIGFOX. Sigfox Technical Overview [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ismac-nc.net/wp/wp-content/uploads/2017/08/sigfoxtechnicaloverviewjuly2017-170802084218.pdf>

2.1.1. LoRa. LoRa, acrónimo de “*long range*”, es un tipo de modulación de largo alcance basado en el espectro ensanchado que utiliza la técnica *chirp spread spectrum* (CSS), que consiste en modular la información por medio de una señal que varía con la frecuencia. LoRa es un sistema de telecomunicaciones inalámbricas de bajo consumo, largo alcance y baja carga de bytes. Su infraestructura IoT permite que los dispositivos finales, en especial los sensores puedan comunicarse de manera inalámbrica con la puerta de enlace y este a su vez conectado a internet.

La capa física de LoRa fue desarrollada por Semtech, empresa que tiene también la patente la técnica de modulación de esta tecnología. LoRa opera en las bandas de radio industriales, científicas y médicas (ISM) de 433, 868 y 915 MHz dependiendo de la zona en que se opere, en Colombia la banda de frecuencia es de 915 MHz. La carga útil de cada transmisión puede ser de 2 – 242 bytes y la velocidad de datos puede alcanzar los 50 kbps¹¹.

La topología de red típica para LoRa es la de estrellas, pero en este proyecto se implementa la topología de red punto a punto, en donde se comunican el prototipo y estación base (ver figura 5).

Figura 5. Red punto a punto del sistema de monitoreo.



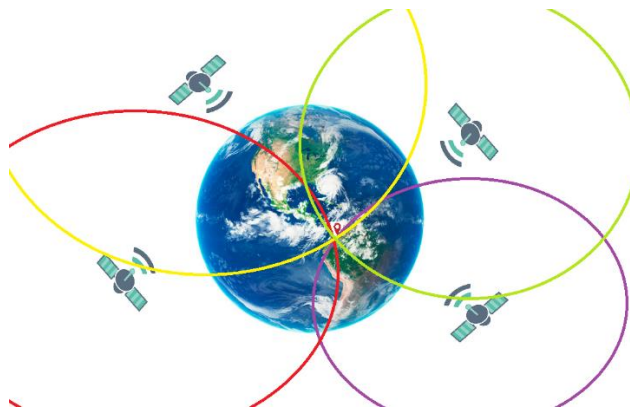
¹¹ AUGUSTIN, Aloys, et al. A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, 2016, vol. 16, no 9, p. 1466. p.4.

2.2. GPS

El sistema de posicionamiento global o GPS, es un sistema global de navegación por satélite que permite conocer la ubicación de una persona u objeto en cualquier parte del mundo. Este sistema fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (*NAVSTAR*); la obtención de esta información de geolocalización es dada por receptores electrónicos. Está compuesto de una constelación de veinticuatro satélites que están en la exosfera y estos objetos se encuentran orbitando la tierra a una altitud de más de 20.200 km.

La tecnología GPS utiliza el concepto matemático de trilateración para conocer cualquier ubicación. En la trilateración se utilizan 4 puntos de referencia conocidos, se traza las cuatro circunferencias en cada punto y la intersección de la circunferencia será el punto donde se puede hallar la localización. Estos puntos de referencia son los satélites que se encuentran orbitando en la exosfera, en una altitud de más de 20.200 km¹².

Figura 6. Trilateración para el caso de 4 satélites



¹² BANDA, Alejandro. Acerca del sistema de posicionamiento global (GPS). Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 1997, vol. 6, no 1, p. 39-59. p.1.

Una vez obtenido la distancia de al menos cuatro satélites, se utiliza la trilateración, donde se obtiene la posición del receptor. Es importante resaltar, que entre más satélites reconozca el receptor, la precisión será mejor y se acercará a la distancia real.

2.2.1 Fuentes de error en el GPS. Las fuentes de error afectan no sólo la precisión de la ubicación en donde se encuentra el sensor, sino también retardan la primera medición del GPS. Entre las principales causas de errores en los GPS se encuentran:

- **Satélites:** El sistema GPS funciona gracias a las señales transmitidas y recibidas en los satélites, estas señales son medidas gracias a unos relojes atómicos de gran exactitud. A pesar de esto, estos osciladores pueden tener pequeños errores asociados. Se calcula que un error en el reloj atómico de solo diez nanosegundos, puede significar 3 metros de error en la posición. La posición y la ubicación de satélites en el espacio también son otra fuente de error en la medición. Los satélites toman órbitas circulares alrededor de toda la Tierra, sin embargo, las órbitas pueden tener algunas variaciones, se estiman que los errores en el satélite pueden llegar a ser de 2.1 metros¹³.
- **Refracción atmosférica:** Estas fuentes de error, son provocadas por las capas de la atmosfera como lo son la ionósfera y la tropósfera. En estas zonas, la velocidad de transmisión de las ondas de la señal de GPS es afectada por la refracción. Las altas temperaturas, presiones bajas, la presencia de otros

¹³ FALLAS, Jorge. Sistema de posicionamiento global. Universidad Nacional., Laboratorio de teledetección y sistemas de información geográfica. Costa Rica: Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales y Programa Regional en Manejo de Vida. 2002.

átomos y el vapor de agua hacen que las señales electromagnéticas produzcan cambios en la velocidad de propagación, causando errores en la medición.

- Efecto multi-trayectoria: Esto ocurre debido a que la señal electromagnética no incide directamente en el receptor del GPS, debido por algunas reflexiones que tienen las señales con los edificios, árboles, montañas, etc.

Existen otras causas que no se profundizan, pero se deberán tener en cuenta en investigaciones más avanzadas. La siguiente tabla 2, muestra lo dicho:

Tabla 3. Fuentes de error de los GPS

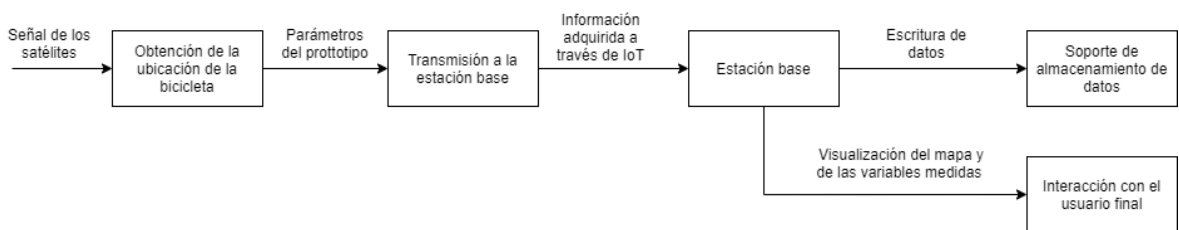
| Clasificación | Fuentes de error |
|-----------------------------|---|
| Satélite | Anti-spoofing(AS) |
| | Disponibilidad Selectiva |
| | Efecto relativista |
| Propagación de la señal | Pérdidas de ciclos |
| Sensor de GPS con su antena | Error en el manejo del equipo |
| | Incertidumbre de medida |
| | Variación y desfase del centro de la antena |

3. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

La selección del hardware del desarrollo de este proyecto estuvo ligada a las funciones generales del producto:

- Obtener la latitud y la longitud para la posición del vehículo, la fecha y hora en que se consiguió la ubicación de la bicicleta, además de datos adicionales como: altitud de la bicicleta, satélites que se conectan en el GPS
- Transmisión de la información desde la estación móvil a la estación base.
- Subir datos recolectados al soporte de almacenamiento de datos ubicado en la estación base.
- Interacción de los usuarios con el aplicativo móvil IoT con el fin de visualizar la posición de la bicicleta en un mapa real.
- Observación de parámetros del prototipo en la aplicación móvil IoT.
- Envío de notificaciones a través del celular y de correos para alertar sobre el posible hurto del vehículo y notificación del estado de la batería.

Figura 7. Funciones del prototipo

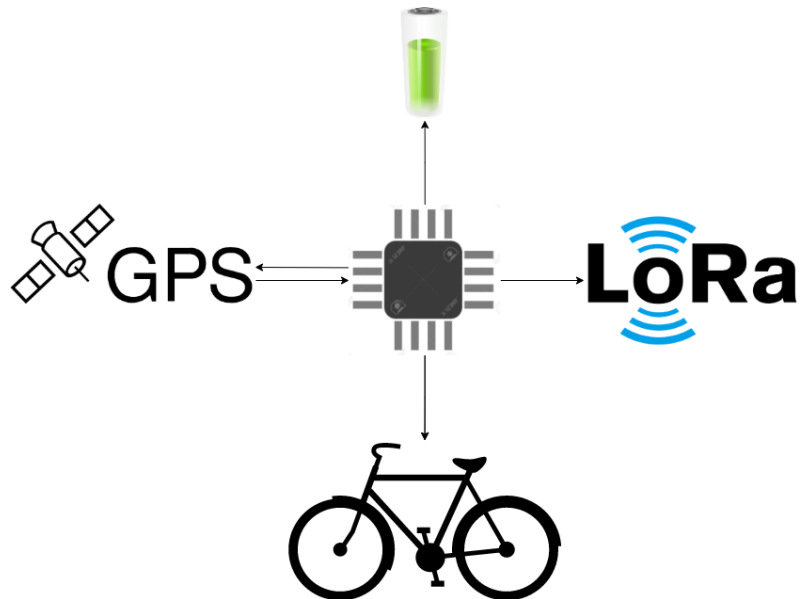


3.1 COMPONENTES DEL PROTOTIPO EN LA BICICLETA, ESTACION MOVIL

- Una tarjeta de desarrollo capaz de comunicarse con el GPS y con LoRa
- Un módulo LoRa con antena de radiofrecuencia.
- Un GPS con antena cerámica.
- Respaldo de batería

NOTA: Las tarjetas de desarrollo pueden incluir el módulo LoRa y/o sensor GPS.

Figura 8. Componentes del prototipo del vehículo



3.1.1 Tarjeta de desarrollo. En la selección de la tarjeta de desarrollo se puede diseñar el sistema embebido que pueda cumplir con los requisitos del hardware o se puede buscar una tarjeta que esté disponible en el mercado. Por cuestiones de costo, tiempo y la limitación de acceder a un laboratorio para realizar las pruebas del diseño debido a la pandemia, se decide adquirir tarjetas de desarrollo comerciales.

Hoy en día existen una gran cantidad de tarjetas de desarrollo con diferentes microcontroladores, interfaces de comunicación, entradas y salidas digitales, con sensores incorporados y varios voltajes de operación. La selección de la tarjeta de desarrollo estuvo ligada al estudio de especificaciones de 3 microcontroladores importantes en el internet de las cosas: TTGO T-BEAM V0.7 ESP32 con módulo GPS (NEO 6M) y módulo LoRa (SX1276), Arduino UNO y por último Raspberry. Se

incluye una tarjeta que tiene todos los módulos necesarios para el prototipo para mirar la viabilidad de la selección.

Tabla 4. Comparación de tarjetas de desarrollo

| Especificación | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 | Arduino Uno | Raspberry PI 3B |
|---|---|-----------------------|--|
| Voltaje de Operación | 1.8-3.7 V | 5 V USB y 7-12 V Jack | 4.7-5.3 V |
| Corriente de operación del microcontrolador | 60 mA | 500 mA | 800 mA |
| Frecuencia del microcontrolador | 160 MHz- 240 MHz | 16 MHz | 1.4 GHz |
| I/O Digitales y Analógicas | 14 | 20 | 24 |
| Interfaces y funciones especiales | I2C, SPI, UART, ADC, DAC | I2C, SPI, ADC, UART | I2C, SPI, UART, SD/SDIO, HDMI, USB 2.0 |
| Tamaño | 3.2 cm x 10 cm | 6.5 cm x 5.3 cm | 8.4 cm x 5.5 cm |
| Conectividad | WiFi, Bluetooth, BLE, LoRa | Ninguna | WiFi, Bluetooth, BLE |
| Opción de batería | Si | No | No |
| Costo | 100.000 [COP] | 25.000 [COP] | 160.000 [COP] |

Se procedió realizar la ponderación de las especificaciones a tener en cuenta. Se puntúa de 1 a 10, donde 1 es deficiente y 10 es excelente.

Tabla 5. Ponderación de las características de las tarjetas de desarrollo por parte del autor

| Característica | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 | Arduino UNO | Raspberry PI 3B |
|-----------------------|---|--------------------|------------------------|
| Procesador | 8 | 4 | 10 |
| Tamaño | 10 | 8 | 6 |
| Conectividad | 10 | 1 | 8 |
| Opción de baterías | 10 | 1 | 1 |
| Voltaje de operación | 10 | 6 | 6 |
| Costo del equipo | 6 | 10 | 4 |
| TOTAL: | 54 | 30 | 35 |

3.1.2 Módulo de LoRa. Se estudió los posibles módulos que puedan brindar una solución para la transmisión por LoRa. Se propone el uso de dispositivos transceptores que puedan cumplir con la función de transmisión o recepción de ser necesario. A continuación, se presenta la comparación entre tres módulos candidatos. Uno de ellos es el que se eligió en el ítem anterior.

Tabla 6. Comparación de módulos de LoRa

| Especificación | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 | RFM95 W | RYLR896 |
|---------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|
| Voltaje de Operación | 1.8-3.7 V | 1.8-3.7 V | 2.8-3.6 V |
| Potencia de transmisión | 20 dBm | 20 dBm | 20 dBm |
| Sensibilidad de recepción | -139 dBm | -148 dBm | -148 dBm |
| Corriente de transmisión | 120 mA | 120 mA | 43 mA |
| Alcance de transmisión | 3-15km | 3-15 km | 3- 15 km |
| Opción de batería | Si | No | No |
| Costo adicional de PCB | No | Si | Si |
| Costo del módulo de LoRa | 30.000[COP] | 20.000 [COP] | 80.000 [COP] |

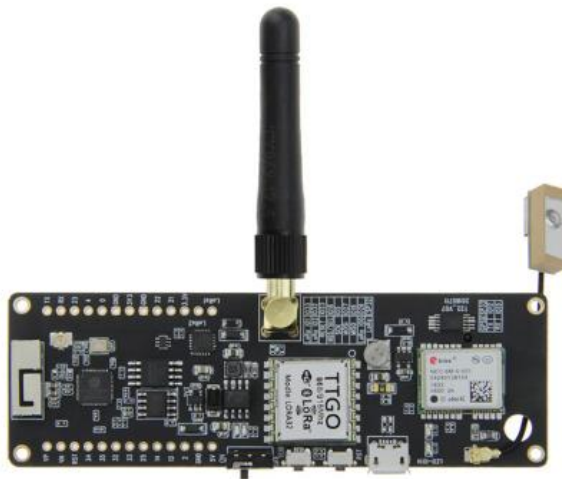
Se procedió a realizar la ponderación de las especificaciones a tener en cuenta. Se puntúa de 1 a 10, donde 1 es deficiente y 10 es excelente

Tabla 7. Ponderación de las características de los módulos de LoRa por parte del autor

| Característica | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 | RFM95 W | RYLR896 |
|--------------------------|------------------------------------|---------|---------|
| Voltaje de operación | 10 | 10 | 8 |
| Corriente de transmisión | 6 | 6 | 10 |
| Alcance de transmisión | 8 | 8 | 8 |
| Opción de Batería | 10 | 1 | 1 |
| Costo total | 8 | 10 | 6 |
| TOTAL: | 42 | 35 | 33 |

Teniendo en cuenta lo anterior, por los requerimientos de hardware en los ítems de tarjeta de desarrollo y módulo de LoRa, en este proyecto se trabajará con el **TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276** en el prototipo. Ver figura 9.

Figura 9. Tarjeta de desarrollo TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276



Fuente: LILYGO. Lilygo® ttgo T-Beam V0.7 ESP32 868/915Mhz WiFi Wireless Bluetooth Module GPS NEO-6M SMA LORA 32 18650 Battery Holder. Disponible en: http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50033&Id=1237

3.1.3 Sensor GPS. Estas son las características del sensor GPS de la tarjeta del prototipo.

Tabla 8. Especificaciones del sensor GPS

| Especificación | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 |
|---|------------------------------------|
| Voltaje de Operación | 2.7- 3.6 V |
| Protocolo | NMEA, UBX, RTCM |
| Conexión con Satélites | NAVSTAR(GPS) |
| Corriente de operación | 50 mA |
| Precisión en posición horizontal en modo SBAS | 2.5 m |
| Tiempo de adquisición: Arranque en frío, cálido y en caliente | 55 s |

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL GPS NEO 6M

El sensor GPS NEO 6M que está en TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276, utiliza el protocolo *National Marine Electronics Association* (NMEA), el cual es la sentencia estándar para la recepción de información del módulo GPS. Hay varias sentencias dentro de este protocolo, pero la sentencia principal que contiene las coordenadas es la de GPRMC.

Figura 10. Sentencias de protocolos de NMEA

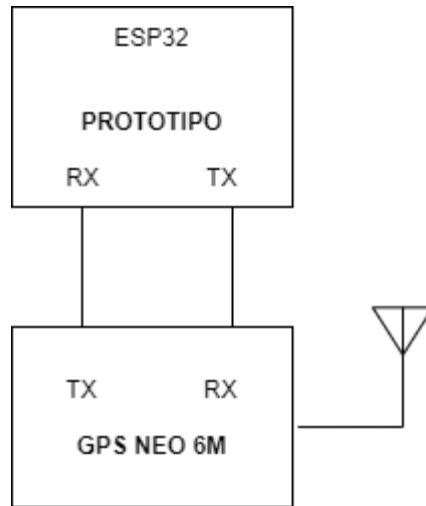
```
20:31:52 $GPGGA,203152.00,0708.47304,N,07307.35597,W,1,04,1.99,1007.0,M,-1.2,M,,*61
20:31:52 $GPGSA,A,3,21,15,24,29,,,,,,,,,4.36,1.99,3.88*0B
20:31:52 $GPGSV,2,1,08,02,10,142,,05,11,083,18,15,30,017,26,20,18,327,13*7B
20:31:52 $GPGSV,2,2,08,21,42,329,26,24,68,089,26,25,13,187,,29,39,213,21*7C
20:31:52 $GPRMC,0708.47304,N,07307.35597,W,203152.00,A,A*79
20:31:53 $GPRMC,203153.00,A,0708.47282,N,07307.35721,W,2.236,,190919,,,A*6D
20:31:53 $GPVTG,,T,,M,2.236,N,4.142,K,A*25
```

De la figura 10 se pueden determinar las siguientes variables:

- **203153.00** representa la hora Greenwich mean time (GMT) 20:31:53
- **A** significa que el dato recibido es válido
- **0708.47282** es la latitud: 07°08'47.282"
- **N** que es la posición Norte con respecto a la latitud
- **07307.35721** es la longitud: 73°07'35.721"
- **W** es la posición Oeste con respecto a la longitud
- **2.236** velocidad en nudos
- **190919** representa la fecha 19 de septiembre del 2019

Este es el esquemático interno que tiene la tarjeta TTGO T-BEAM V0.7 con el sensor GPS NEO 6M.

Figura 11. Conexiones en el sensor GPS y el microcontrolador.



3.2.1. Satélites del GPS. Los sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS), se basan en una constelación de satélites artificiales, los cuales permiten que un usuario pueda conocer su posición, hora y velocidad.

El funcionamiento de los GNSS, están estructurados por tres partes esenciales:

- **Segmento espacial:** los satélites con relojes de buena precisión envían la señal que posteriormente se lleva al segmento de control y de usuario.
- **Segmento de control:** Controla y corrige la información enviada por el segmento espacial con el propósito de verificar si la medición es válida.
- **Segmento de usuario:** Calcula la ubicación final a través de la recepción de los satélites.

En la actualidad, hay cuatro sistemas de monitoreo del posicionamiento con mayor importancia, como lo son:

- **BEIDOU:** Este sistema es desarrollado por la República Popular de China y está asociada con el proyecto Galileo. El 23 de junio del 2020 lanzó su último satélite, de esta forma, completó la red de 30 satélites. Estos son los satélites

del sistema BEIDOU: C01 al C35, exceptuando C15, C17, C18, C31.

- **GALILEO:** Desarrollado por la Unión Europea (UE) en conjunto con la Agencia Espacial Europea (ESA). En este sistema tenemos los satélites: E01 al E27, exceptuando E6, E10, E16, E17, E20, E22, E23.
- **GLONASS:** El sistema de Navegación Global con satélites rusos. Los satélites usados son: R01 al R24.
- **Navstar (GPS):** Sistema de Posicionamiento Global con la intervención de satélites americanos. Es el pionero de los sistemas de monitoreo en ubicación con sus aplicaciones militares. Este sistema cuenta con los siguientes satélites: G01 al G32, exceptuando G14, G23. El sensor GPS NEO 6M trabaja con esta constelación de satélites

3.2.2. Pruebas con el sensor GPS. En la caracterización del GPS, la tarjeta de desarrollo se conectó con un computador por medio del puerto serial TX y RX a través de un conversor USB a Serial.

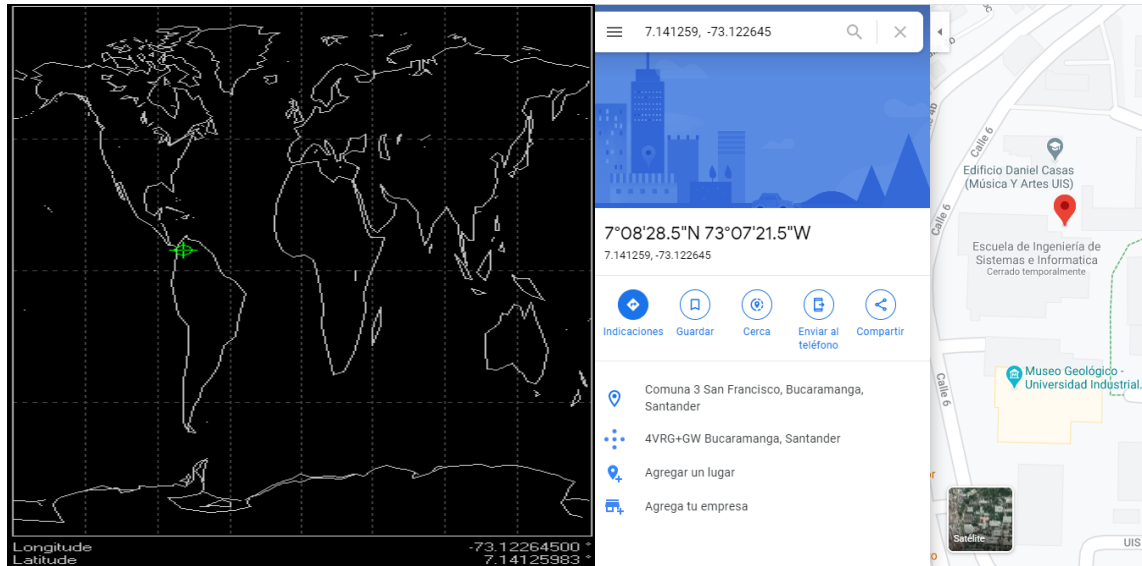
Una vez conectado el computador y la tarjeta de desarrollo, se procedió a abrir la plataforma de u-center¹⁴ de su fabricante u-blox, con el fin de poder analizar los parámetros de este sensor. Además de poder conocer la cantidad y el origen de los satélites. Es por esto, que se realizarán las siguientes pruebas:

- **Primera prueba:** Obtención de la posición y visualización en el mapa de la plataforma. Se comprobará la ubicación tomando la latitud y longitud en el mapa de Google maps (esta prueba se realizó en la Universidad Industrial de

¹⁴ Plataforma disponible en internet en: U-BLOX. u-center GNSS evaluation software for Windows [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>

Santander en uno de los laboratorios).

Figura 12. Posicionamiento de la posición en u-center y comprobación de la ubicación en Google maps.

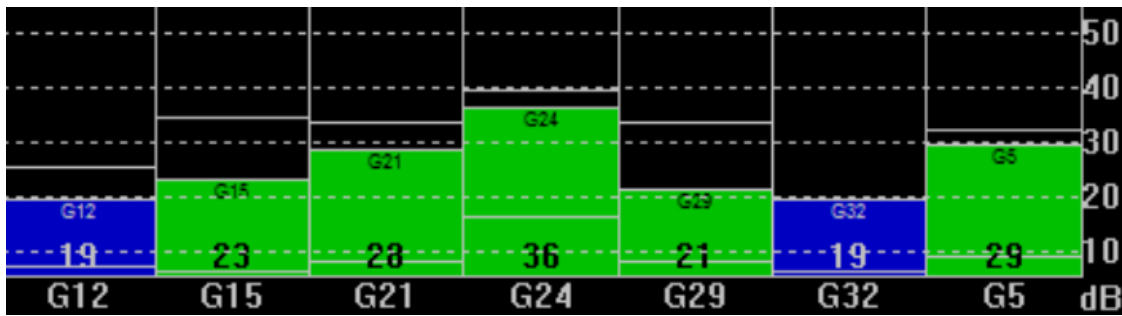


Fuente: Plataforma u-center 19.06 y Google maps.

En estas imágenes se puede comprobar que el módulo está recibiendo la información con una buena precisión. La medición de la latitud y la longitud se demoró alrededor de unos 10 minutos después de haberse conectado la alimentación debido a que el sensor se encontraba en una oficina de un edificio.

- **Segunda prueba:** en esta prueba se reconoció el origen y el sistema de GNSS que recibe el sensor GPS de la recepción de las señales de los satélites. G5, G12, G15, G21, G24, G29 pertenecen a la constelación de satélites NAVSTAR del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Figura 13. Magnitud de la potencia de la recepción de las señales de los satélites.



Fuente: Plataforma u-center 19.06

Figura 14. Ubicación aproximada de satélites cercanos con recepción del sensor GPS



Fuente: Plataforma u-center 19.06

Tercera prueba: El GPS NEO 6M, no sólo tiene la capacidad de localizar la ubicación, sino también otros parámetros como lo son la altitud en metros, la velocidad en m/s o km/h y la fecha y hora en formato UTC.

Figura 15. Altitud, velocidad, fecha y hora registrada por el sensor.



Fuente: Plataforma u-center 19.06

3.2.3. Adquisición de datos de la posición en la tarjeta de desarrollo. Para la adquisición de datos, se recurre a la librería TinyGPS, debido a que el sensor recibe el mensaje a través del protocolo NMEA. Esta librería podrá facilitar la interpretación de las sentencias en los parámetros utilizados para monitorear el vehículo. Los pasos para la programación son los siguientes:

- Incluir librerías de TinyGPS y HardwareSerial.
- Declaración de los pines de transmisión y recepción.
- Iniciar el puerto serial con su respectiva velocidad en baudios.
- Definir las variables a tomar como Latitud, Longitud, Altitud, entre otros.
- Imprimir las variables en el monitor serial para corroborar los datos y remitirlos para su posterior transmisión por LoRa.

Figura 16. Variables mostradas en el monitor serial.

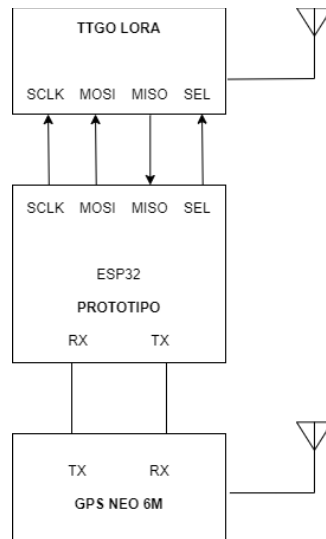
```
LoRa Sender Test
init ok
0
La fecha: 15/10/2020,23:41:21
Latitude : 7.106
Longitude : -73.117
Satellites: 10
Altitude : 957.31M
Volt bat : 4.22
*****
1
```

Fuente: IDE Arduino.

3.3. TRANSMISIÓN LOCAL A TRAVÉS DE LoRa

Luego de haber logrado la adquisición de los datos, se procede a implementar la transmisión del prototipo a la estación base por medio LoRa. En la comunicación del módulo de LoRa con el microcontrolador ESP32, se debe configurar a través del protocolo de comunicación SPI, el cual, se establece como maestro al microcontrolador y esclavo al módulo de TTGO LoRa. En la figura 17 se muestra la conexión de estos elementos.

Figura 17. Conexión interna entre ESP32, NEO 6M y TTGO LoRa.



3.3.1. Frecuencia en la transmisión. Como se mencionó, LoRa usa el espectro de las bandas ISM, en Colombia la frecuencia de transmisión es de 915 MHz, esto debe definirse en la programación gracias a la librería de LoRa.

3.3.2. Diseño de la programación en la estación móvil

- Incluir librerías de LoRa y SPI
- Declaración de los pines de la comunicación de SPI y de LoRa
- Comienzo del puerto serial con su respectiva velocidad en baudios
- Iniciar SPI y LoRa estableciendo los pines
- Enviar paquete donde estará los datos enviados.

3.3.3. Datos enviados en el prototipo. En el sensor GPS y el sistema embebido transmitirán los siguientes datos hacia la estación base a través de LoRa:

- Fecha: Fecha y hora de cada mensaje enviado.
- Latitud: Latitud del prototipo.
- Longitud: Longitud del prototipo.

- Altitud: Altitud del prototipo.
- Satélites: Cantidad de satélites tomados por el prototipo.
- Voltaje Batería: Voltaje de la batería del prototipo.

El paquete de datos tendrá la siguiente estructura:

“Fecha, latitud, longitud, altitud, satélites, voltaje batería”

Figura 18. Paquete transmitido a través de LoRa

`18/10/2020,11:36:46,7.106168,-73.117409,956.311646,11,4.20`

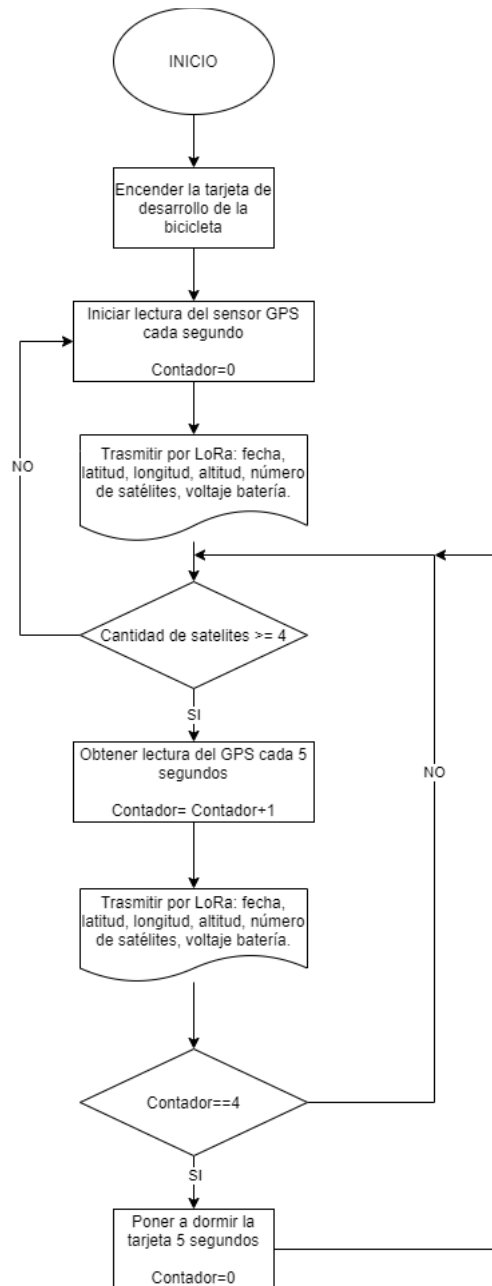
3.3.4 Diagrama de flujo del prototipo. La obtención de los satélites en el sensor GPS puede demorar entre 2 a 15 minutos dependiendo en la zona que se encuentre la bicicleta. Los campos abiertos son los mejores lugares para una medición rápida y precisa. Los factores que mayormente afectan a las antenas, son la refracción atmosférica y el efecto multi-trayectoria. El prototipo debe ser un sistema autónomo en la alimentación, debido a que cuenta con una batería de baja capacidad.

El sensor GPS tiene dos operaciones según el número de satélites conectados:

- 1) Cuando se inicia el sistema y la cantidad de satélites obtenidos por el GPS es menor a 3, la lectura del sensor se realiza cada segundo. Con esta operación, se optimizará el tiempo empleado en la primera lectura de las coordenadas del vehículo.
- 2) El NEO 6M trabaja en modo ahorro de energía cuando este se conecta con 4 o más satélites, esta cantidad es suficiente para calcular la posición de la bicicleta. En este modo, la lectura se realiza cada 5 segundos, y cada 20 segundos se realiza un cambio de operación en la tarjeta de desarrollo en modo sueño profundo (*deep sleep*) con una duración de 5 segundos. Con esta operación se logra bajar el consumo de corriente en el sistema sin afectar el funcionamiento del sensor GPS.

Cada paquete es enviado a través del módulo LoRa y de la antena con el que cuenta la tarjeta de desarrollo. La transmisión de los paquetes se ejecuta en cada lectura del sensor GPS.

Figura 19. Diagrama de flujo utilizado en el prototipo.



3.4. ALIMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

La alimentación a utilizar en el prototipo en la bicicleta, se trata de la batería de litio 18650 con una carga eléctrica de 1200 mAh, el voltaje máximo de esta batería es

de 4.1V, y su voltaje nominal es 3.7 V. En la figura 20, se visualiza la batería junto a la tarjeta de desarrollo del prototipo con su soporte de batería 18650.

Figura 20. Batería 18650



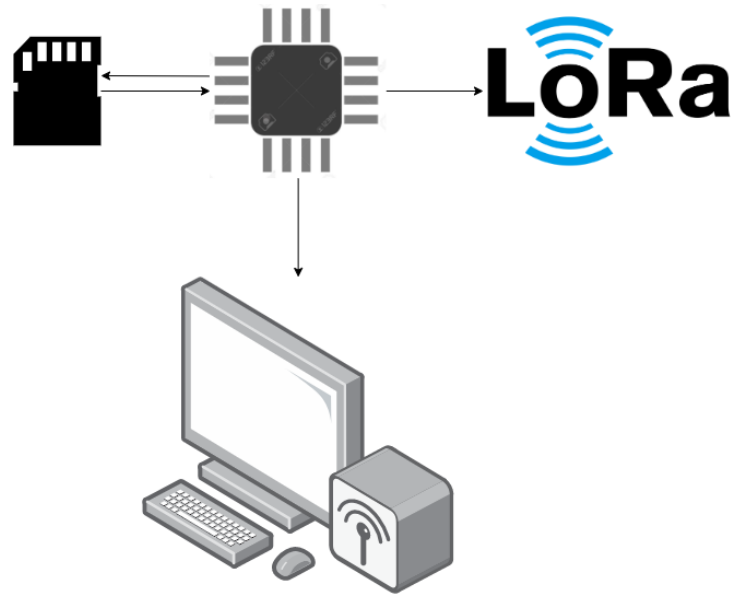
Se realizaron pruebas para revisar la autonomía de la batería y se determinó el siguiente rango donde opera correctamente el sensor NEO 6M, el módulo SX1276 y el microcontrolador ESP32.

Voltaje de operación: [2.8V - 4.1V]

3.5 COMPONENTES DE LA ESTACIÓN BASE

- Un módulo LoRa con antena de radiofrecuencia.
- Una tarjeta de desarrollo con la finalidad de realizar la recepción a través del LoRa. Además de la centralización de la información y llevar a cabo la interfaz del usuario.
- Una micro SD Card.
- Conexión a Internet a través de WiFi

Figura 21. Componentes de la estación Base



3.5.1 Tarjeta de desarrollo de la estación base. Se propone dos tarjetas de desarrollo para la estación base que pueden cumplir con la función de recepción de información del prototipo (ver tabla 9).

Tabla 9. Especificaciones de tarjetas de desarrollo en la estación base.

| Especificación | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 | TTGO LORA32 V2.0 + OLED |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Voltaje de Operación | 1.8- 3.7 V | 1.8-3.7 V |
| Interfaces y funciones especiales | I2C, SPI, UART, ADC, DAC | I2C, SPI, UART, OLED, SD CARD |
| Almacenamiento interno | NO | SD CARD |
| Tamaño | 3.2 cm x 10 cm | 2.6 cm x 5.8 cm |
| Conectividad | WiFi, Bluetooth, BLE, LoRa | WiFi, Bluetooth, BLE, LoRa |
| Opción de batería | Si | No |
| Costo | 100.000 [COP] | 80.000[COP] |

Se procedió realizar la ponderación de las especificaciones a tener en cuenta. Se puntúa de 1 a 10, donde 1 es deficiente y 10 es excelente.

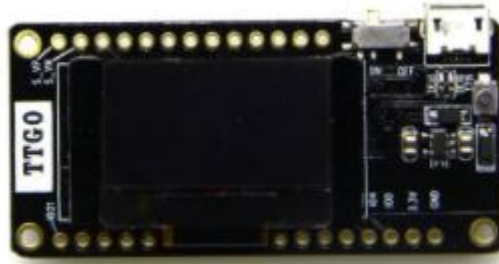
Tabla 10. Ponderación de las características de las tarjetas de desarrollo en la estación base.

| Especificación | TTGO T-BEAM V0.7 + NEO 6M + SX1276 | TTGO LORA32 V2.0 + OLED |
|----------------|------------------------------------|-------------------------|
| Almacenamiento | 1 | 10 |
| Tamaño | 6 | 8 |
| Costo | 5 | 6 |
| Total | 12 | 24 |

Por la ponderación en la tabla, se determina que la tarjeta de desarrollo que estará realizando la centralización de la información recibida del prototipo será la **TTGO LORA32 V2.0 + OLED**.

La estación base debe contar con un buen internet y con línea de vista con el prototipo para tener el monitoreo en todo momento. Esta tarjeta contiene el módulo de LoRa SX1276, acceso a WiFi, y pertenece a la misma familia de microcontroladores ESP32. Ver figura 22.

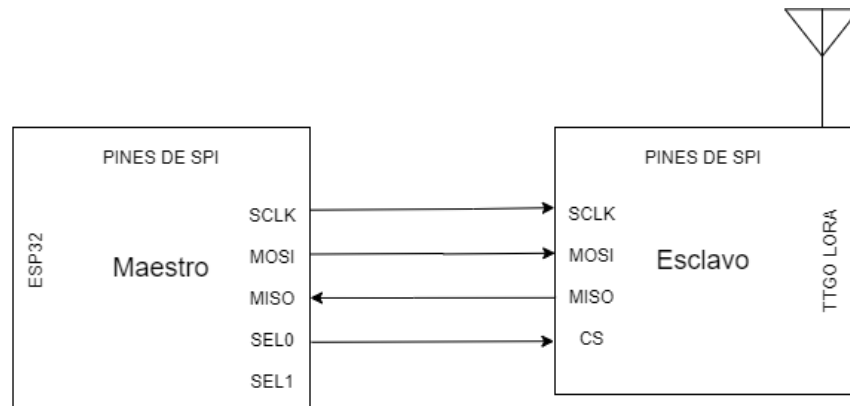
Figura 22. Tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V2.0 OLED



Fuente: ALIEXPRESS. lilygo Official Store [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/32847443952.html>

3.5.2. Conexión interna estación base. La tarjeta de desarrollo incorpora un microcontrolador ESP32, una ranura para la microSD card y un módulo de TTGO LoRa, estos se comunican a través del protocolo de SPI, la figura 23 muestra la conexión.

Figura 23. Conexión entre ESP32 y TTGO LoRa



3.5.3. Diseño de la programación en la estación base

- Incluir las siguientes librerías:

SPI.h: Para utilizar el protocolo de SPI para comunicarse con el módulo de LoRa

LoRa.h: Definir los pines del módulo de LoRa además de la frecuencia de operación

Separador.h: Extrae los datos que están separados por coma

WiFi.h: permite a la tarjeta de desarrollo conectarse con internet a través de WiFi

- Ingresar las credenciales de la zona WiFi(SSID y password).
- Iniciar WiFi.
- Establecer pines de SPI y LoRa.
- Crear las variables de tipo *float* de latitud, longitud y altitud y la variable de tipo entera de satélites.
- Iniciar comunicación serial, SPI y LoRa.
- Recibir paquetes.
- Extraer los paquetes que están separados por coma, y asignarlos a las variables de fecha, latitud, longitud, altitud, satélites, voltaje batería.
- Imprimir las variables en el monitor serial

3.5.4. Datos recibidos en la estación base. Estos son los datos del monitor serial de la tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V2.0 OLED.

4. SOFTWARE

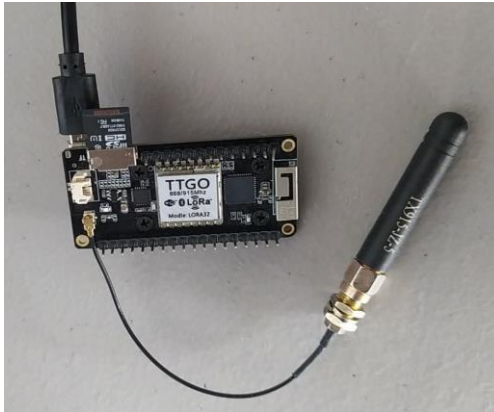
4.1 SOPORTE DE ALMACENAMIENTO

En la actualidad, el monitoreo de sistemas de seguridad, el rastreo de vehículos móviles, la medición inteligente en la agricultura, el ahorro energético, la gestión de mantenimiento, entre otras, son actividades que se realizan de forma restringida en épocas de confinamiento. El soporte del almacenamiento de datos y el tratamiento de estos permite que se cumpla con el objetivo de realizar este tipo de aplicaciones.

La gestión del almacenamiento puede cumplir con funciones de determinar posibles fallos o problemas que afecten al prototipo y buscar una posible solución antes que se pierda la finalidad de poder ubicar la bicicleta en el tiempo que se utiliza. En este capítulo se va a mencionar como se pudo realizar el almacenamiento de toda la información y de cómo utilizar esta capa, no sólo para saber cuántos datos se puede tener, sino qué se puede realizar con ellos.

4.1.1. Almacenamiento de la información. La microSD card SDHC clase 10 es la que se utiliza en la tarjeta de desarrollo de la estación base para el almacenamiento de datos. Su velocidad de escritura puede ser de hasta 80 MB/s. En la figura 25, se presenta la TTGO LoRa32 V2.0 OLED.

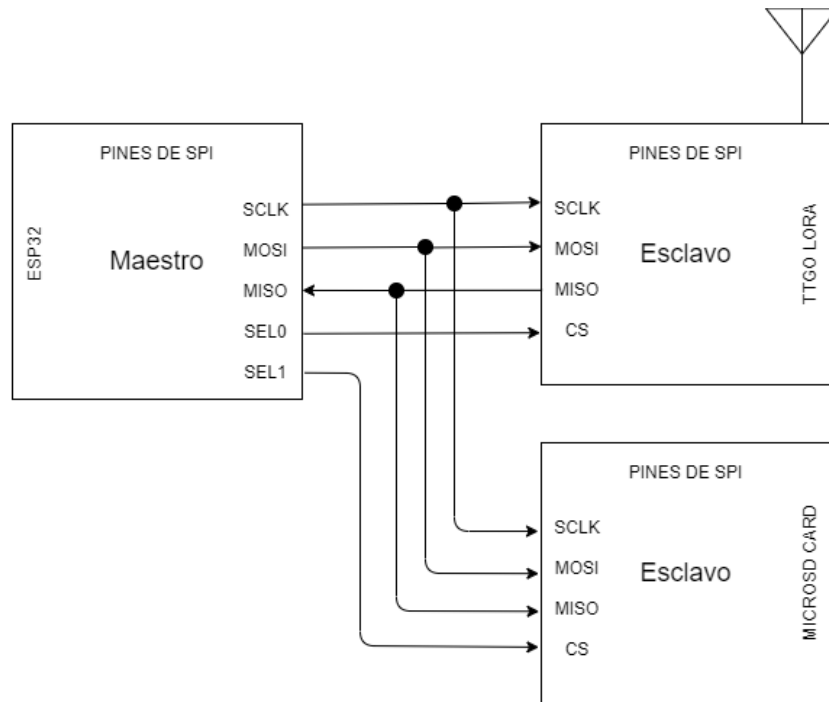
Figura 25. Tarjeta de desarrollo de la estación base con la microSD.



Una de las grandes ventajas en la gestión del almacenamiento a través de este medio, es que la información siempre será almacenada sin importar la conexión de WiFi.

El protocolo de SPI es el utilizado para la comunicación entre el microcontrolador ESP32 y el microSDHC. Este mismo protocolo es utilizado para obtener la información del módulo de LoRa. En la figura 26, se presenta la conexión interna.

Figura 26. Protocolo SPI utilizado en la estación base.



4.1.2. Diseño de la programación del almacenamiento

- Incluir librería las siguientes librerías:

SPI.h

SD.h

FS.h

- Establecer comunicación SPI entre el microcontrolador ESP32 y la microSDHC

- Escribir el archivo almacenamiento.txt a la microSD (Este paso se realiza sólo una vez)

- Agregar cada paquete recibido por parte del prototipo al archivo de almacenamiento.txt

- Extraer los paquetes que están separados por coma, y asignarlos a las variables de fecha, latitud, longitud, altitud, satélites, voltaje batería.

- Agregar la información a la microSD cada vez que se recibe un paquete.

4.1.3. Archivo de texto. Un archivo texto .txt es un documento de texto básico que contiene una información sin formato. Pueden cumplir con la tarea de almacenar datos. El formato de codificación más utilizado en estos archivos es el UTF-8.

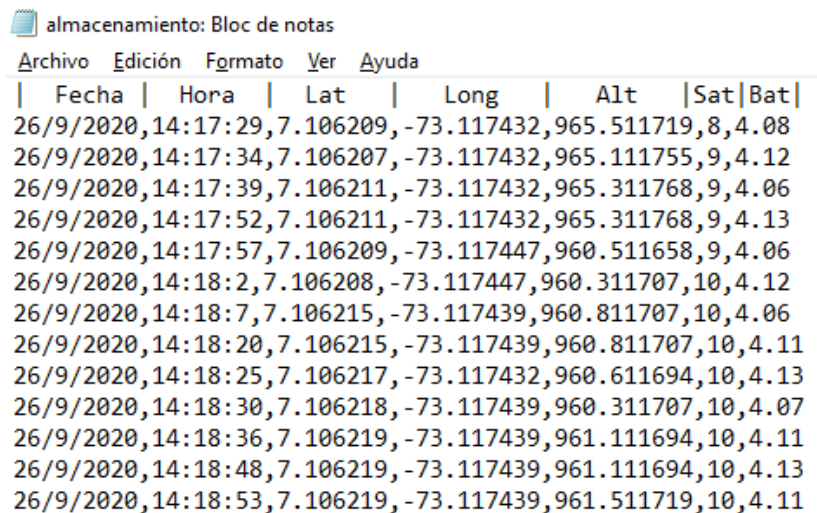
El archivo texto(.txt) escrita en la microSDHC tiene la información separada por comas, su información está distribuida de la siguiente forma:

| Fecha | Hora | Lat | Long | Alt |Sat|Bat|

La extensión .txt le permite ser leído por centenares de programas como Microsoft Notepad, bloc de notas, Apple TextEdit, etc. Además de poder manejar datos numéricos en Matlab, Excel y en lenguajes de programación como Python, C, C++, etc.

En la figura 27, se puede observar la información del prototipo de la bicicleta en el archivo de texto escrito a través de la tarjeta de desarrollo.

Figura 27. Archivo texto de la información de la bicicleta.



almacenamiento: Bloc de notas

| Archivo | Edición | Formato | Ver | Ayuda | | | | | | | |
|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----|------|------|--|-----|--|---------|
| | Fecha | | Hora | | Lat | | Long | | Alt | | Sat Bat |
| 26/9/2020, | 14:17:29, | 7.106209, | -73.117432, | 965.511719, | 8, | 4.08 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:17:34, | 7.106207, | -73.117432, | 965.111755, | 9, | 4.12 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:17:39, | 7.106211, | -73.117432, | 965.311768, | 9, | 4.06 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:17:52, | 7.106211, | -73.117432, | 965.311768, | 9, | 4.13 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:17:57, | 7.106209, | -73.117447, | 960.511658, | 9, | 4.06 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:2, | 7.106208, | -73.117447, | 960.311707, | 10, | 4.12 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:7, | 7.106215, | -73.117439, | 960.811707, | 10, | 4.06 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:20, | 7.106215, | -73.117439, | 960.811707, | 10, | 4.11 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:25, | 7.106217, | -73.117432, | 960.611694, | 10, | 4.13 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:30, | 7.106218, | -73.117439, | 960.311707, | 10, | 4.07 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:36, | 7.106219, | -73.117439, | 961.111694, | 10, | 4.11 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:48, | 7.106219, | -73.117439, | 961.111694, | 10, | 4.13 | | | | | |
| 26/9/2020, | 14:18:53, | 7.106219, | -73.117439, | 961.511719, | 10, | 4.11 | | | | | |

4.2 APLICACIÓN MÓVIL IOT

Las aplicaciones móviles son herramientas diseñadas para cumplir con funciones específicas en dispositivos como celulares, tablets, entre otras. Las actividades más

comunes que realizan los usuarios con las aplicaciones móviles son el acceso a servicios, consultar información, disfrutar de juegos, monitorear elementos de la vida cotidiana, etc.

Blynk es implementado para aplicaciones IoT. Es capaz de controlar el hardware de manera remota, obtener y almacenar datos, visualizarlos a través de una interfaz interactiva, por lo que los usuarios pueden monitorear su bicicleta en cualquier parte del mundo. Blynk está conformado por tres componentes:

- Blynk Libraries
- Blynk Server
- Blynk APP

4.2.1 Blynk Libraries. En este componente, se encuentran las librerías que se deben ejecutar ante los Hardware más utilizados como:

- ESP8266
- ESP32
- Arduino
- Raspberry
- NodeMCU

Las librerías permiten habilitar la comunicación con el servidor de Blynk, además de procesar los comandos de los tipos de conexión que se pueden establecer en las tarjetas de desarrollo. Las conexiones más utilizadas son:

- WiFi
- Ethernet
- GSM
- Bluetooth y BLE
- USB(Serial)

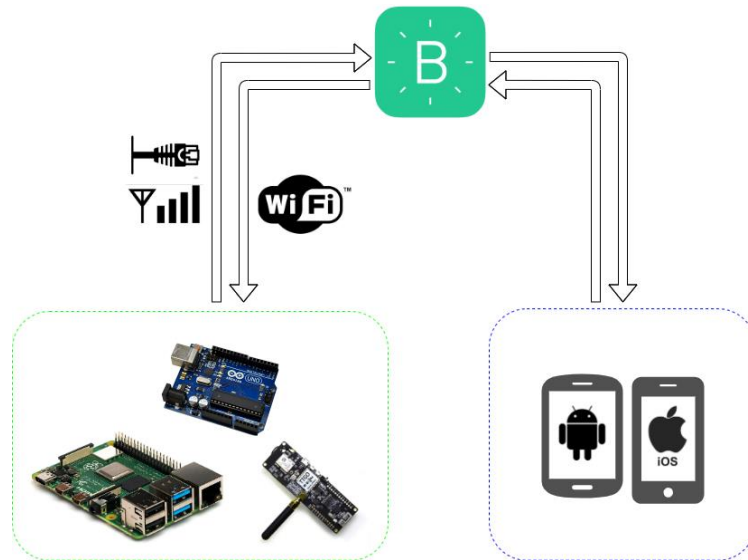
Estas librerías están desarrolladas por los siguientes lenguajes de programación, dependiendo su función:

- C++
- C#
- JavaScript.
- Python.
- HTTP RESTful Api.
- Node.js y otros más.

4.2.2 Blynk Server. El servidor de *Blynk* tiene la función de comunicar entre el sistema embebido con sus sensores y el teléfono móvil. El servidor permite también utilizar el servicio de *Blynk Cloud*, este servicio no es gratuito, por eso se deberá pagar para poder acceder a la aplicación y el servidor de la nube al mismo tiempo. Blynk server es un servidor Java de código de abierto basado en Netty.

En la figura 28 se muestra los componentes de la capa de aplicación.

Figura 28. Estructura en Blynk.



4.2.3 Blynk APP. El último componente permite el diseño de una interfaz de usuario interactiva donde puede ver sistemas de hogares inteligentes, aplicaciones industriales, sistemas de seguimiento, recolección de diferentes datos, automatización de procesos y más. Además de tener la opción de enviar notificaciones a teléfonos móviles, también puede utilizar el correo electrónico o incluso los tweets para verificar y / o advertir sobre el funcionamiento del sistema.

Blynk funciona a través de Internet, por lo que es muy importante que la estación base cuente con este servicio. Por eso, la tarjeta de desarrollo de la estación base debe poder conectarse a Internet. La aplicación Blynk está diseñada para los sistemas operativos iOS y Android, específicamente en versiones mayores a:

- Android OS version 4.2+
- iOS versión 9+

4.2.4 Aplicación de la bicicleta inteligente. A continuación, se presenta de manera muy general la creación de la aplicación:

- Descargar la aplicación Blynk y crear una nueva cuenta con un correo electrónico. El token de la autenticación para la ejecución de los proyectos será enviado al correo electrónico.
- Se crea un nuevo proyecto con el nombre de la aplicación, la familia de microcontroladores a programar y el tipo de conexión a trabajar.
- Se ingresa los elementos de visualización en la aplicación, para este caso, se muestra los valores de los parámetros medidos en la bicicleta.
- Esta aplicación contará con los servicios de alertas a través de notificaciones y correos electrónicos
- Como se estableció en los objetivos, esta aplicación permitirá la visualización de la bicicleta en un mapa.

4.2.5 Funcionalidades de la aplicación

- El sistema manda un correo del inicio del monitoreo, para indicarle al usuario que el sistema ha iniciado.
- Visualiza las variables de latitud y longitud.
- La aplicación cuenta con un botón llamado ESTADO BICICLETA, el cual puede operar (Sólo oprimiendo el botón) en dos modos, en tránsito y en la UIS.

El modo “en tránsito” la aplicación no notificará sobre desplazamientos indebidos.

El modo “en la UIS”, la bicicleta deberá estar en el campus de la Universidad; si la bicicleta no se encuentra en este punto, la aplicación mandará una notificación y un correo de alerta por posible hurto.

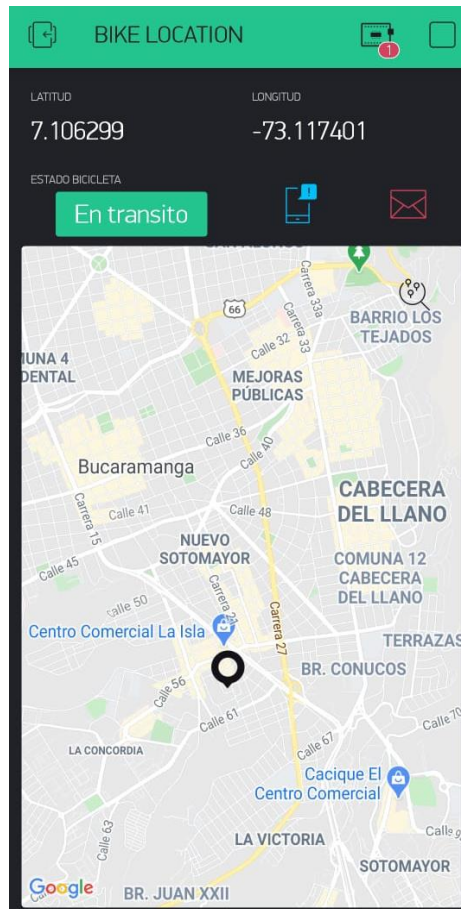
- Cada 15 minutos se notificará al celular el estado de la batería en que se encuentra el prototipo. Pueden ser 3 estados: batería alta, batería media y batería baja.

4.2.6 Diseño de la programación de la aplicación

- Incluir librería BlynkSimpleEsp32.h
- Definir las variables virtuales a utilizar en la aplicación
- Iniciar blynk a través de WiFi
- Envío de correo sobre el comienzo de la aplicación
- Ejecutar aplicación en el loop de la IDE de Arduino
- Cada vez que llega un paquete por medio de LoRa a la estación base, el sistema extraerá información para la visualización de los datos.
- Establecer la localización de la bicicleta en el mapa de la aplicación, para esto, se debe ejecutar el Widget Map.
- Cada 15 minutos, el sistema contará con una notificación en el celular que le avisará al usuario el estado de la batería.
- Mandar notificación y correo sobre las alertas que pueden afectar a la bicicleta en caso de que la aplicación este en modo “En la UIS”.

4.2.7 Interfaz Final. Este será el medio con el cual el usuario podrá comunicarse con la bicicleta de tal forma que podrá observar la posición actual, el dispositivo será capaz de alertar en el campus de la Universidad sobre posibles hurtos, además de recibir información adicional de la batería del sistema. Con los términos gratuitos de Blynk, la interfaz final fue desarrollada sin ningún problema.

Figura 29. Interfaz final del usuario



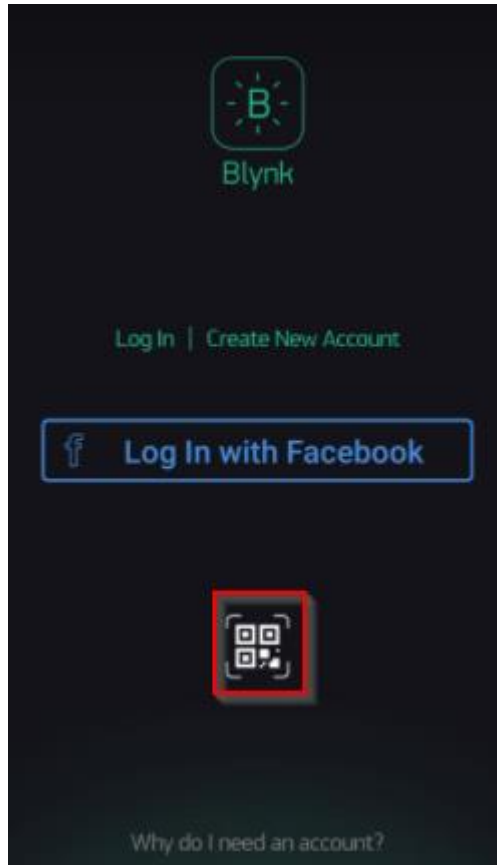
Fuente: BLYNK. We make Internet of Things simple for you [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en <https://blynk.io/>

4.2.8 Acceso compartido de la aplicación móvil. Blynk puede ofrecer el control de una aplicación a cualquier persona gracias a la generación de un código QR. Con este código las personas pueden utilizar la aplicación y visualizar todas las funcionalidades sin modificar ninguna configuración, esto se realiza a través de la descarga de la aplicación Blynk y escaneó del código QR (ver figura 30). El ingreso de la aplicación compartida se realiza sin necesidad de iniciar sesión o crear una cuenta.

Para la generación del código QR de acceso compartido se tuvo que pagar \$10.000

COP.

Figura 30. Acceso compartido de la aplicación móvil a través del código QR.



Fuente: BLYNK. We make Internet of Things simple for you [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en <https://blynk.io/>

5. PRUEBAS FINALES

5.1 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Se realiza el montaje de la tarjeta de desarrollo y la batería 18650 en una caja negra para la bicicleta con dimensiones 12.8x6.7x4.5 cm. Este prototipo no sólo se limita a bicicletas, por su tamaño y su autonomía en batería puede ser utilizado en carros, motos, personas y otros objetos que requieran monitoreo de la posición.

Figura 31. Prototipo final.



5.2 PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA

En esta prueba, se tiene una batería de 1200mAh, se cargó la batería a través del puerto micro USB tipo B durante 4 horas, la corriente total del consumo del prototipo es de 200 mA. El prototipo tomará la lectura de la posición de la bicicleta cada segundo.

A continuación, se presenta la tabla de voltaje de operación de la batería.

Tabla 11. Voltaje de operación de la batería

| Cantidad de horas | Voltaje de Batería[V] |
|-------------------|-----------------------|
| 0 | 4.1 |
| 1 | 4.06 |
| 2 | 3.94 |
| 3 | 3.87 |
| 4 | 3.81 |
| 5 | 3.73 |
| 6 | 2.42 |

La duración de la batería es menor a 6 horas, por ende, se debe buscar un método para optimizar el ahorro de energía.

Es por esto que se opta por realizar lecturas cada 5 segundos, se apaga el led de encendido y además cada 20 segundos se realiza un sueño profundo (Deep Sleep) del microcontrolador para ahorrar la mayor energía sin afectar las mediciones.

Tabla 12. Voltaje de operación de la batería en estado de Deep sleep.

| Cantidad de horas | Voltaje de Batería[V] |
|-------------------|-----------------------|
| 0 | 4.1 |
| 1 | 4.06 |
| 2 | 4.00 |
| 3 | 3.95 |
| 4 | 3.90 |
| 5 | 3.85 |
| 6 | 3.81 |
| 7 | 3.75 |
| 8 | 2.84 |
| 9 | 1.83 |

Debido a que el voltaje mínimo de operación de la tarjeta es 2.8 V, se determina que la duración de la batería es mayor a 8 horas, la corriente en sueño profundo es de 110 mA.

5.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

La SD tiene una capacidad real de almacenamiento de 14.4 GByte, se realiza una

prueba de un día completo transmitiendo los datos y se logra percibir que el tamaño del archivo de texto es de 500 kByte

La cantidad de días que podemos obtener en esta SD está dada en la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de días} = \frac{14.4 \text{ GByte} * 1 \text{ Día}}{1 \text{ SD}} \frac{1024 \text{ kByte}}{500 \text{ kByte}} \frac{1024 \text{ MByte}}{1 \text{ MByte}} \frac{1024 \text{ MByte}}{1 \text{ GByte}} = 30198.99 \text{ días}$$

Es decir, aproximadamente 82.74 años de capacidad de almacenamiento para el monitoreo de la Bicicleta.

5.4 PRECISIÓN GPS

Para esta prueba, se toma un punto de referencia y se toma la posición cada 5 minutos con la finalidad de determinar el error en metros. Este error es calculado gracias a la fórmula de Harvesine.

Tabla 13. Cálculo de la precisión GPS.

| Posición de referencia | Posición leída en el sensor | Error en metros |
|------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 7.106031, -73.117629 | 7.105996, -73.117645 | 3.087 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106008, -73.117706 | 6.870 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106018, -73.117706 | 6.137 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106018, -73.117714 | 9.205 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106006, -73.117729 | 9.709 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106048, -73.117676 | 4.353 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106059, -73.117607 | 4.353 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106000, -73.117615 | 4.353 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106012, -73.117716 | 9.709 m |
| 7.106031, -73.117629 | 7.106028, -73.117706 | 6.137 m |

El sensor GPS tiene una precisión promedio de 6.391 m.

5.5 PRUEBAS CON LA APP

5.5.1 Notificaciones iniciales. Una vez puesta en marcha, el sistema de la bicicleta enviará un correo electrónico que indica el INICIO DEL MONITOREO, además de la notificación por celular.

Figura 32. Notificación de inicio del monitoreo al correo electrónico.

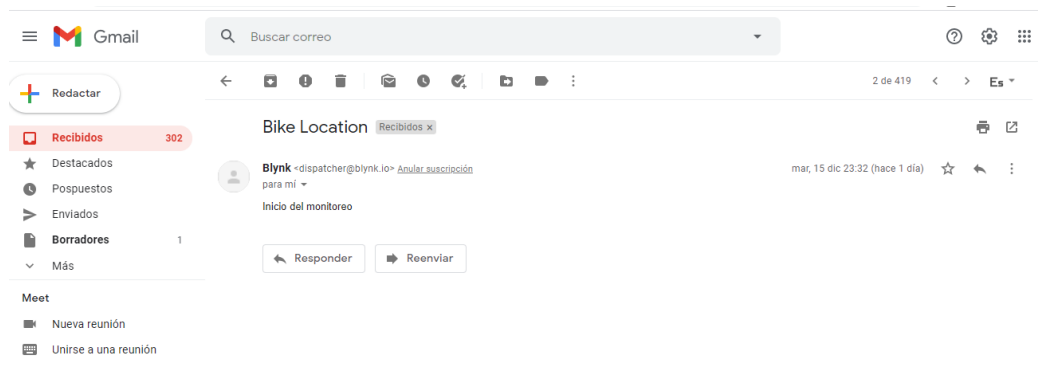
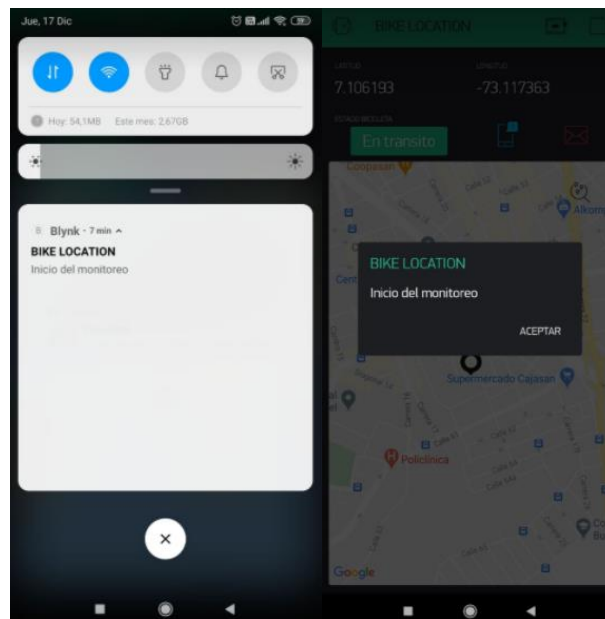


Figura 33. Notificación de inicio del monitoreo al teléfono móvil.



Fuente: BLYNK. We make Internet of Things simple for you [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en <https://blynk.io/>

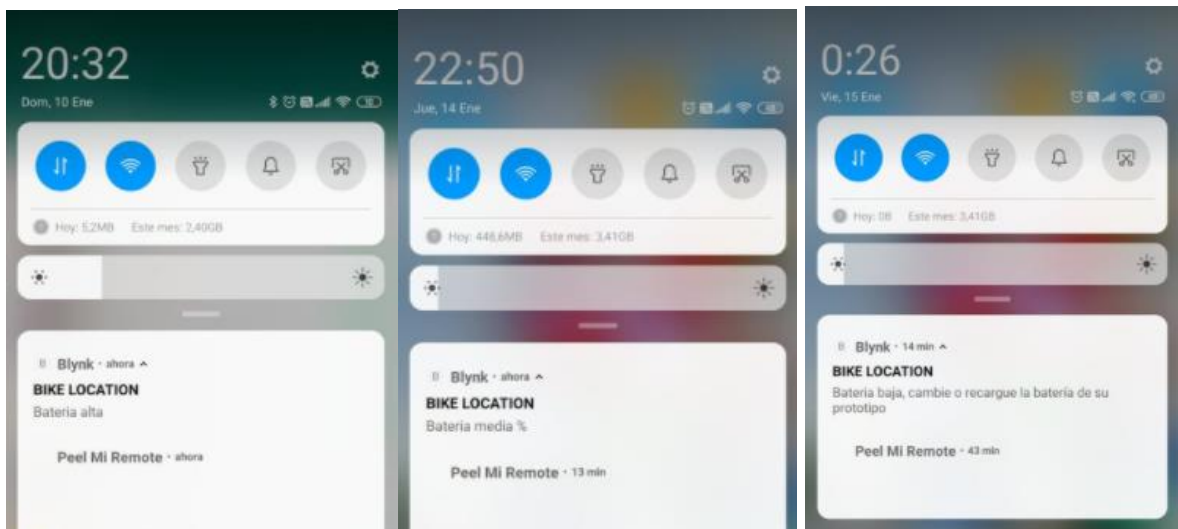
5.6 ESTADO DE BATERÍA

Cada 15 minutos el sistema mostrará el estado de la batería a través de notificaciones por el celular. El estado de batería se clasifica en 3 partes:

Tabla 14. Voltajes de Batería según sus estados.

| Estado de Batería | Voltaje de Batería |
|-------------------|--------------------|
| Batería Alta | 4.1 V - 3.85 |
| Batería Media | 3.84 – 3.61 |
| Batería Baja | 3.60 – 2.80 |

Figura 34. Notificaciones del estado de batería.

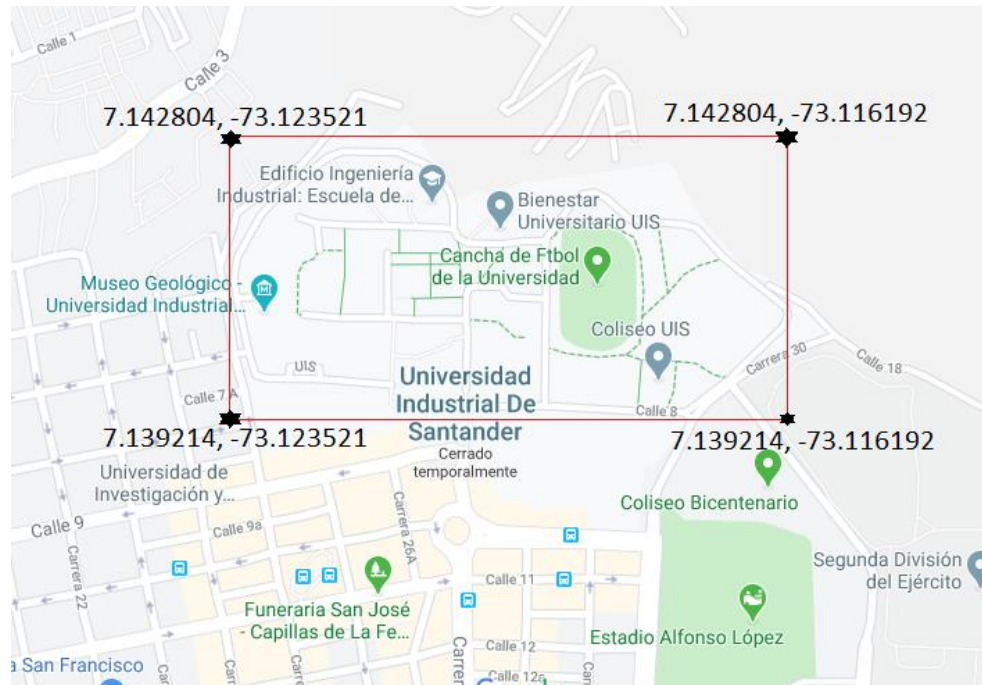


5.7 MONITOREO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO

5.7.1 Campus Universitario. Para el monitoreo de la bicicleta en la Universidad Industrial de Santander, se debe limitar el área del campus de tal forma se pueda determinar cuando la bicicleta está en una posición diferente a la permitida por la aplicación móvil.

En la figura 35 se presenta el área aproximada del campus de la UIS.

Figura 35. Área aproximada del campus universitario.

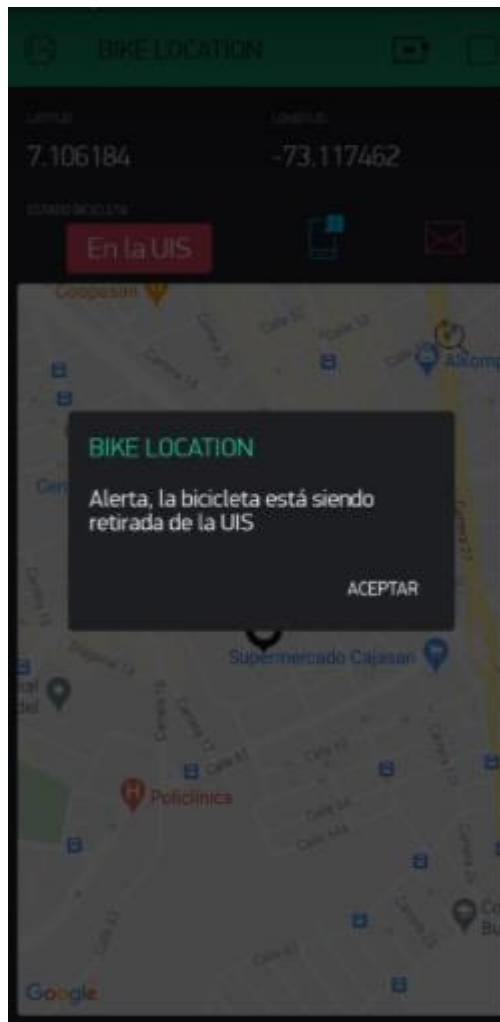


Fuente: Google maps.

5.7.2 Estado de la bicicleta. La bicicleta podrá contar con dos estados los cuales permiten al usuario determinar si el vehículo está por fuera del campus o si se encuentra en la Universidad. El estado de la bicicleta podrá ser elegido a través de la aplicación móvil. Estos son los estados:

- Modo en transito: en este estado, la bicicleta no tendrá ninguna restricción de movilizarse en cualquier posición, por ende, no se generan notificaciones por posible desplazamientos indebidos.
- Modo UIS: este es el estado alerta de la bicicleta donde el sistema genera notificaciones si el vehículo no se encuentra dentro del campus.

Figura 36. Alerta por desplazamiento indebido de la bicicleta en la Universidad Industrial de Santander.



Fuente: BLYNK. We make Internet of Things simple for you [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en <https://blynk.io/>

6. CONCLUSIONES

- En el cumplimiento de los objetivos, se estudió las diferentes tecnologías IoT y se determinó que LoRa es la más idónea para cumplir los requisitos de bajo costo, bajo consumo y largo alcance.
- La aplicación móvil que se desarrolló es accesible desde cualquier parte del mundo, permite conocer en tiempo real la posición de la bicicleta, notifica el estado de alarma y alerta sobre posibles hurtos cuando el vehículo se encuentra fuera del campus universitario.
- Después de un análisis de la selección de componentes en la estación móvil del sistema embebido se determina que el microcontrolador ESP32 es la más adecuada de acuerdo a presupuesto, tamaño, autonomía y conectividad.
- En la implementación del prototipo, se determinó que no es necesario poner a trabajar la tarjeta de desarrollo todo el tiempo, es por esto, que el prototipo puede estar en modo Deep Sleep para darle mayor autonomía a la batería.
- El sensor GPS puede verse afectado cuando no está en lugares al aire libre, esto perjudica la precisión y un retardo en la primera medición de la posición de la bicicleta.
- La estación base es capaz de guardar la información de la posición en ausencia de conexión WiFi gracias a su respaldo histórico a través de una microSD.

7. RECOMENDACIONES

Debido a que hay información que se pierde cuando no hay línea de vista entre la estación móvil y la estación base, es necesario que en trabajos futuros la estación móvil cuente con una microSD para que se pueda almacenar la posición en ausencia de transmisión y recepción de LoRa.

En busca de mejorar la autonomía, la misma bicicleta podría cargar la batería a través de un alternador o un panel solar, con esto no habría la necesidad de cargar el prototipo o cambiar la batería.

También se puede implementar una aplicación web con una base de datos en la nube, de tal forma que se pueda monitorear la bicicleta no solo en un dispositivo móvil sino a través de un computador.

El sistema embebido está abierto a poner otros sensores y salidas que puedan complementar nuevos requisitos en los bici-usuarios.

Un plus sería integrar varios prototipos en bicicletas, para esto es imprescindible utilizar un gateway que trabaje con la topología de red estrella, de esta forma se concentraría toda la información de cada sistema embebido en una estación base.

El trabajo de grado no se limita a bicicletas, también puede ser implementado en animales, carros, motocicletas, personas, entre otros que requieran ser monitoreados en tiempo real para determinar su posición.

BIBLIOGRAFIA

AUGUSTIN, Aloÿs, et al. A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, 2016, vol. 16, no 9, p. 1466. p.4.

BANDA, Alexandro. Acerca del sistema de posicionamiento global (GPS). Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 1997, vol. 6, no 1, p. 39-59. p.1.

EL TIEMPO. Robo de bicicletas, ¿una pelea perdida?. 24 de agosto 2018 [en línea]. [Fecha de consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/bogota/robo-de-bicicletas-una-pelea-perdida-259798>

FALLAS, Jorge. Sistema de posicionamiento global. Universidad Nacional., Laboratorio de teledetección y sistemas de información geográfica. Costa Rica: Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales y Programa Regional en Manejo de Vida. 2002.

LOZANO, María. Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en estanques piscícolas basado en el Internet de las cosas (IOT). Tesis ingeniero electrónica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. 2019.

MEKKI, Kais. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT express*, 2019, vol. 5, no 1, p. 1-7. The Korean Institute of Communications and Information Sciences (KICS). P. 1.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LOS ASENTAMIENTOS

HUMANOS, ALCALDÍA DE BUCARAMANGA, ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. La bicicleta como medio de transporte: Estrategia 2019-2030 para Bucaramanga y su Área Metropolitana [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/wp-content/uploads/2018/04/Estrategia-de-la-Bicicleta-para-el-AMB-Publicada.pdf>

ROMERO GUZMAN, Juan Esteban; GONZALEZ CASTRO, Camilo Andres; JAIME FUENTES, Dany Miller. Mecanismo de monitoreo para bicicletas en movimiento, usando enfoque de IOT. Trabajo de grado Ingeniería en Telecomunicaciones. Bogotá: Universitaria Agustiniiana Uniagustiniana, Facultad De Inegneiria. 2018.

SEMTECH CORPORATION. LoRA and LoRaWan: A technical Overview [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf

SIGFOX. Sigfox Technical Overview [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ismac-nc.net/wp/wp-content/uploads/2017/08/sigfoxtechnicaloverviewjuly2017-170802084218.pdf>

TRIANA USECHE, Jordan Camilo y RODRIGUEZ, Ronald. Prototipo de solución lot con tecnología Lora en monitoreo de cultivos agrícolas. Trabajo de grado Ingeniería en Telecomunicaciones. Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018.

U-BLOX. u-center GNSS evaluation software for Windows [en línea]. [Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>

VODAFONE. Narrowband-IoT: A Low Power Wide Area Network [en línea]. 2016.
[Fecha de consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en:
<https://www.vodafone.com/business/iot/managed-iot-connectivity/nb-iot>

ANEXO

Anexo A. Programación del sistema de monitoreo de la bicicleta

Dentro del anexo se tienen dos repositorios que corresponden a la estación móvil y a la estación base.

Repositorio de estación móvil:

<https://drive.google.com/drive/folders/1MffRyXPqiwHIKRdI3lktxz0PqKzdKpUQ?usp=sharing>

Repositorio de estación base:

<https://drive.google.com/drive/folders/1bAuEgKPHKt5o1VI-8mBVUCpoo40zTSqv?usp=sharing>