

Diseño e Implementación de Dispositivo Electrónico Basado en Internet de las Cosas (IOT) para la  
Seguridad de Bicicletas.

Juan Camilo Luna Calderón, Sergio Andrés Ibáñez

Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Electrónico

Director

Efrén Darío Acevedo Cárdenas

Mag. Ingeniería Electrónica

Co-Director

Julián Gustavo Rodríguez Ferreira

PhD. Física

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

### Dedicatoria

A mis padres Javier Alonso Luna Guarguati y Ligia Consuelo Calderón Almeida por su incondicional apoyo en todo momento, por ser esas personas que siempre me enseñaron a nunca rendirme y a ser cada día mejor, inculcándome valores útiles para mi vida personal y profesional. Gracias por enseñarme desde muy chico que lo más valioso que existe es el conocimiento.

A mi pareja Ludy Tatiana Álvarez Barrera por su incondicional apoyo, comprensión y sobre todo por su paciencia en el transcurso de mi formación profesional.

***Juan Camilo Luna Calderón***

### **Dedicatoria**

*A mi madre **Ludín Ibañez** por haberme brindado la mejor formación como hijo, persona y haberme enseñado con el ejemplo del amor y la comprensión.*

***Sergio Andrés Ibañez***

### **Agradecimientos**

A todos los profesores UIS que en el transcurso de nuestra formación profesional fueron fundamentales.

A el profesor Efrén Darío Acevedo Cárdenas por su paciencia, asesoramiento. Quien con su experiencia y conocimiento nos orientó en el proyecto de investigación.

**Tabla Contenido**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Introducción                                 | 13          |
| 1. Objetivos                                 | 15          |
| 1.1 Objetivo general                         | 15          |
| 1.2 Objetivos específicos                    | 15          |
| 2. Marco conceptual                          | 16          |
| 2.1 Antecedentes                             | 16          |
| 2.2 Conceptos                                | 17          |
| 2.2.1 Internet de las cosas                  | 17          |
| 2.2.1.1 Nodos finales                        | 18          |
| 2.2.1.2 Estación base.                       | 19          |
| 2.2.1.3 Servidor de red.                     | 19          |
| 2.2.1.4 Webs y apps móviles.                 | 20          |
| 2.2.2 LoRa                                   | 20          |
| 2.2.2.1 Alcance de LoRa.                     | 20          |
| 2.2.2.2 Arquitectura LoRa.                   | 21          |
| 2.2.2.3 Seguridad red LoRa.                  | 22          |
| 3. Requerimientos del sistema                | 22          |
| 3.1 Requisitos del dispositivo               | 23          |
| 3.2 Funciones del sistema de geolocalización | 23          |
| 3.3 Interfaces                               | 24          |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 3.3.1 Interfaz de comunicación       | 24 |
| 3.3.2 Interfaz de hardware           | 25 |
| 3.3.3 Interfaz de software           | 26 |
| 3.3.4 Interfaz de usuario            | 28 |
| 3.3.5 Interfaz de administrador      | 29 |
| 3.4 Características para usuarios    | 30 |
| 3.5 Restricciones del sistema piloto | 30 |
| 4. Modelo y diseño del sistema       | 31 |
| 4.1 Capa IoT                         | 32 |
| 4.1.1 Subcapa de dispositivo         | 33 |
| 4.1.1.1 Tarjeta de desarrollo.       | 33 |
| 4.1.1.2 Fuente de alimentación.      | 37 |
| 4.1.1.3 Funcionamiento.              | 38 |
| 4.1.2 Subcapa de transmisión         | 39 |
| 4.1.3 Subcapa de recepción de datos  | 40 |
| 4.1.4 Módulo receptor                | 40 |
| 4.1.5 Computador                     | 41 |
| 4.1.6 Funcionamiento                 | 41 |
| 4.2 Capa de servidor                 | 42 |
| 4.2.1 Base de datos                  | 42 |
| 4.2.2 Procesamiento de datos         | 43 |
| 4.3 Capa Cliente                     | 44 |
| 4.3.1 Subcapa de acceso              | 44 |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.2 Herramientas, lenguajes de programación                | 45 |
| 4.3.3 Login de usuarios y configuración de servidor          | 46 |
| 4.3.4 Funciones App  | 47 |
| 4.3.5 Usuario Administrador                                  | 49 |
| 5. Pruebas de Cobertura                                      | 53 |
| 5.1 Implementación de la estación base                       | 53 |
| 5.2 Ubicación de la estación base                            | 54 |
| 5.2.1 Ubicaciones de parqueo de bicicletas dentro del campus | 54 |
| 5.2.2 Posibles ubicaciones para la estación base             | 55 |
| 5.3 Mediciones   | 56 |
| 5.3.1 Mapas de cobertura                                     | 56 |
| 6. Conclusiones  | 60 |
| 7. Trabajo a futuro  | 62 |
| Referencias Bibliográficas                                   | 63 |

**Lista de Figuras**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1. Arquitectura de comunicación bidireccional IOT                           | 18          |
| Figura 2. Mapa de cobertura de red LoRa en Belgica.                                | 21          |
| Figura 3. Requerimientos del sistema.  | 23          |
| Figura 4. Esquema interfaz de comunicación.  | 25          |
| Figura 5. Modelo planteado para el sistema de geolocalización IoT para bicicletas. | 32          |
| Figura 6. Modelo capa IoT.   | 33          |
| Figura 7. Tarjeta t-beam ESP32 LoRa32 del fabricante TTGO (Pines).                 | 37          |
| Figura 8. Batería litio Ref:18650 Sony.  | 38          |
| Figura 9. Modulo receptor, Tarjeta LoRa32 TTGO.                                    | 40          |
| Figura 10. Activador de servidor y base de datos Xampp.                            | 41          |
| Figura 11. Estructura de la base de datos.   | 43          |
| Figura 12. Login y configuración de App.   | 46          |
| Figura 13. Usuario e información de dispositivo App.                               | 48          |
| Figura 14. Historial y función de parqueo del dispositivo desde el app.            | 49          |
| Figura 15. Login usuario administrador.  | 50          |
| Figura 16. Interfaz servidor del sistema.  | 51          |
| Figura 17. Administrador de usuarios y dispositivos.                               | 52          |
| Figura 18. Seguimiento de dispositivos en mapa                                     | 52          |
| Figura 19. Zonas de estacionamiento de bicicletas dentro del campus de la UIS.     | 55          |
| Figura 20. Mapeo de cobertura con estación base en edificio de ciencias humanas.   | 56          |

|  |    |
|--|----|
| Figura 21. Mapeo de cobertura con estación base en el auditorio Luis A. Calvo. | 57 |
| Figura 22. Mapeo de cobertura con estación base en edificio de Biblioteca.     | 58 |

**Lista de Tablas**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 1. Software utilizado.   | 28          |
| Tabla 2. Tarjetas de desarrollo evaluadas en el marco del proyecto.  | 34          |
| Tabla 3. Especificaciones Tarjeta de desarrollo seccionada por los tres componentes principales<br>TTGO ESP32. | 35          |
| Tabla 4. Potencia de señal recibida en cada zona de estacionamiento.   | 59          |

## Resumen

**Título:** Diseño e implementación de dispositivo electrónico basado en internet de las cosas (IoT) para la seguridad de bicicletas.\*

Autor: Juan Camilo Luna Calderón

Sergio Andres Ibañez.\*\*

**Palabras Clave:** Internet de las cosas, LPWA, geolocalización, LoRa, cobertura.

## Descripción

En este documento se propone un modelo para el piloto de un sistema de monitoreo de bicicletas que pueda ser implementado dentro del campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS), el proyecto está dirigido inicialmente a los miembros de la comunidad universitaria. Se realiza el diseño e implementación correspondiente basado en el internet de las cosas (IoT). El sistema consiste de un dispositivo portátil que permite conocer la ubicación de la bicicleta por medio de un módulo GPS que se conecta a través de una red LoRa LPWA a una estación base con acceso a internet y ubicada en una zona estratégica dentro del campus universitario con que garantice comunicación estable en las zonas de estacionamiento y sus inmediaciones. Se incluye almacenamiento en la nube de datos, control de usuarios y dispositivos. Por medio de una aplicación móvil en un dispositivo Android con acceso a internet los usuarios pueden controlar remotamente las acciones del dispositivo (ver posición actual, información del dispositivo, historial de ubicaciones y función de parqueo). El sistema permite escalabilidad para conectar más dispositivos de rastreo y estaciones base como sea posible, este modelo está destinado a ser un punto de partida para un sistema IoT masivo dentro de la ciudad de Bucaramanga.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.  
Director: Efren Dario Acevedo Cárdenas, MIE, Co-Director: Julian Gustavo Rodríguez Ferreira, PhD. Física.

## Abstract

**Title:** Design and implementation of electronic device based on Internet of Things (IoT) for the safety of bicycles.\*

**Author:** Juan Camilo Luna Calderón  
Sergio Andres Ibañez. \*\*

**Keywords:** Internet of things, LPWA, geolocation, LoRa, coverage.

## Description

This document proposes a model for the pilot of a bicycle monitoring system that can be implemented within the campus of the Industrial University of Santander (UIS), the project is aimed at members of the university community. The corresponding design and implementation based on the Internet of Things (IoT) is carried out. The system consists of a portable device that allows knowing the location of the bicycle by means of a GPS module that connects through a LoRa LPWA network to a base station with internet access and located in a strategic area within the university campus with that guarantees stable communication in the parking areas and their surroundings. It includes data cloud storage, user and device control. Through a mobile application on an Android device with internet access, users can remotely control the actions of the device (see current position, device information, location history and parking function). The system allows scalability to connect as many tracking devices and base stations as possible, this model is intended to be a starting point for a massive IoT system within the city of Bucaramanga.

---

\* Bachelor Thesis.

\*\* Faculty of Engineering and Physical Sciences. School of Electronic and Electrical Engineering. Director: Efrén Darío Acevedo Cardenas, MIE, Co-Director: Julian Gustavo Rodríguez Ferreira, PhD. Physics.

## Introducción

Uno de los requisitos principales que se deben satisfacer para masificar el uso de la bicicleta dentro de una institución, es que los usuarios sientan plena seguridad y tengan lugares donde estacionar. En Estados Unidos y Europa por ejemplo, las universidades han adaptado mejoras de infraestructura, sistemas de transporte inteligente y se ofrecen diferentes tipos de incentivos a los usuarios de bicicleta para mejorar su experiencia. (Franco Cordero, 2014) En esta investigación se contempla el uso de los espacios de estacionamiento para bicicletas dentro del campus y la percepción de seguridad por parte de sus usuarios.

Algunas de las ventajas de usar la bicicleta son: reducir la contaminación ambiental y ofrecer beneficios de salud y económicos a quien decida usarla dentro su diario vivir [2](#), pero como todo vehículo de uso personal necesita un espacio de estacionamiento adecuado con medidas de vigilancia e identificación de usuarios, que no parecen estar contempladas en las zonas de parqueo establecidas para bicicletas dentro del campus de la universidad. Sí no se garantizan estos requerimientos mínimos difícilmente incrementará el número de miembros de la comunidad que se pueden acoger a esta alternativa.

Ante esta situación, a lo largo de este documento se plantea el desarrollo de un sistema piloto para la identificación y geolocalización de bicicletas dentro de la UIS. Con esto se busca establecer los primeros pasos para dar solución a la problemática planteada y la implementación de una red de comunicación basada en Internet de las cosas (IoT).

A nivel mundial, se destaca la implementación de redes de IoT en sistemas de transporte inteligente y el uso de LoRa como protocolo de comunicación inalámbrica entre objetos. Esta tecnología provee una interfaz de fácil acceso para los usuarios finales, las principales

características de esta arquitectura de red son su largo alcance de transmisión y la capacidad de lograrlo usando poca potencia, que se traduce a un bajo energético; características que se presentan como objetivos del sistema presentado. (Aloÿs and Yi, Jiazi and Clausen, Thomas and Townsley, & William, A, 2016)

En los capítulos de este documento se presenta el desarrollo del proyecto de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se plantean los objetivos, en el capítulo 2 se hace una revisión de los antecedentes relacionados con el proyecto, en el capítulo 3 se identifican los requerimientos del sistema de geolocalización para bicicletas dentro de la UIS, en el capítulo 4 se propone un modelo para este sistema implementando GPS y una red IoT-LPWA, además se describen sus capas IoT, servidor y cliente, en el capítulo 5 se presenta un mapa de cobertura sobre el campus de la universidad para posibles ubicaciones de la estación base, en el capítulo 6 están las conclusiones del proyecto y finalmente en el capítulo 7 se plantea una futura propuesta de expansión basada en esta implementación.

Como resultado de este proyecto de manera económica pero eficiente se ha logrado la implementación de un prototipo de dispositivo GPS que se pueda adecuar de manera física a una bicicleta y una estación base ubicada en un punto estratégico, que conectados a través de tecnología LoRa permiten conocer la ubicación en tiempo real de la bicicleta y su trayectoria reciente a través de una aplicación móvil.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Implementar un dispositivo electrónico IOT-LPWA para el monitoreo de la ubicación de bicicletas dentro del campus principal de la UIS.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar dispositivos sensores y microcontroladores mediante evaluación de sus características y su disponibilidad en el mercado, para determinar la ubicación de las bicicletas.
- Diseñar e implementar el dispositivo piloto IoT-LPWA con los sensores y su puerta de enlace, para conocer en tiempo real la ubicación de la bicicleta.
- Realizar un mapa de cobertura dentro del campus, para determinar la ubicación de la puerta de enlace.
- Desarrollar la programación que le permita al usuario por medio de una interfaz Web, conocer la ubicación de su bicicleta desde una conexión a internet.
- Validar los resultados de la implementación del dispositivo mediante pruebas, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento.

## 2. Marco conceptual

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica con información publicada alrededor del mundo, acerca de sistemas de transporte inteligentes mediante bicicletas, lo que permite ampliar el conocimiento hacia nuevas tecnologías, herramientas y dispositivos usados como referencia para esta implementación, además, se definen conceptos importantes relacionados con nuestro proyecto.

### 2.1 Antecedentes

Para la elaboración de este proyecto se usaron los siguientes ejemplos de implementaciones de tecnología IoT y su aplicación en sistemas de movilidad dentro de proyectos "Smart Cities".

En febrero de 2016 en la Universidad de Brighton en Inglaterra se presentó el desarrollo de un sistema de transporte inteligente pensado para bicicletas llamado Velomobility, que logra relacionar investigaciones no digitales de ciclismo con ciclismo digital en red, en resumen, integrar el internet de las cosas y algunos sensores como por ejemplo, el GPS a la actividad común del ciclista, registrando datos que permitan brindar algún tipo de asistencia al usuario. Este proyecto cuenta con una flota de 35 bicicletas es Brighton debidamente adecuadas para enviar datos a través de IoT y una plataforma a los dispositivos con acceso a internet de los participantes. Esta implementación la realizaron como parte de un proyecto de Smart City. (Behrendt Frauke, 2016)

En la universidad del estado de Lomonosov Moscow en Rusia durante el mes de enero de 2018 se presentó un proyecto conocido como "On bikes in smart cities", su sección 2.3 "Tracking Devices" describe algunas pautas que siguen los sistemas de geolocalización para bicicletas, se

mencionan las alternativas ofrecidas por un teléfono móvil (SMS, correo electrónico, notificación y app móvil) a través de las cuales es posible visualizar la información y se destaca el uso de la red LoRaWan como una de las principales alternativas de tecnología IoT. (Namiot, 2019)

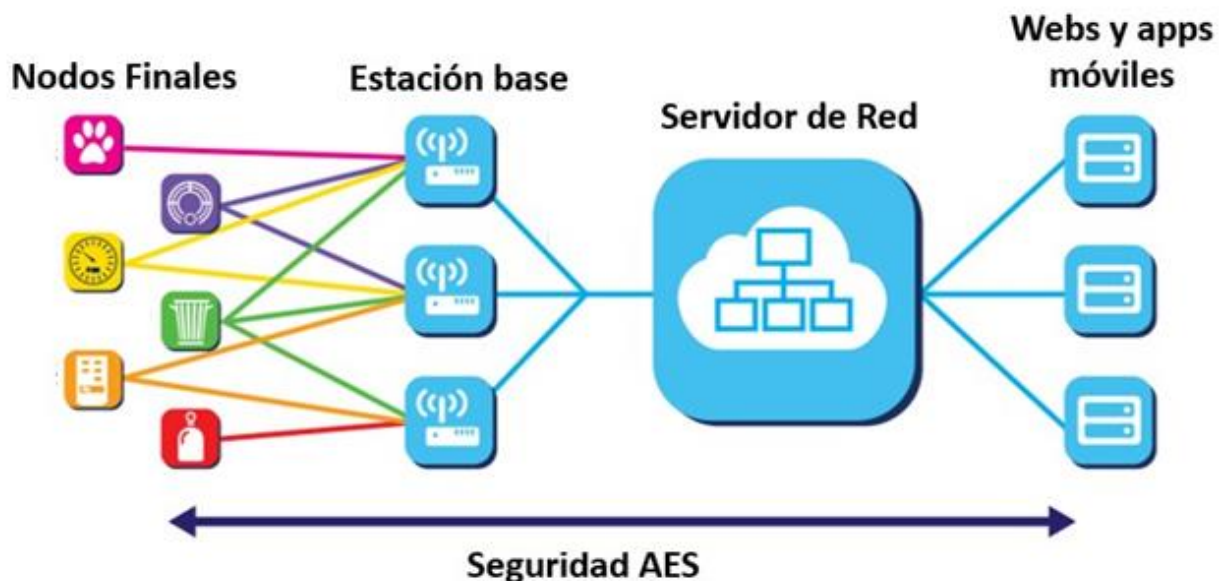
En 2017, cuatro miembros del Departamento de Ciencias de la Computación e Ingeniería de la Universidad Nacional de Pusan en Corea del Sur presentaron un sistema de geolocalización y servicios adicionales que permite de manera individual a los usuarios conocer la ubicación de un objeto, compartirla en redes sociales, recibir una alarma cuando se encuentre fuera de cierta área y visualizar su trayectoria reciente a través de una aplicación o navegador de internet. La estructura del sistema se compone de dispositivo final, puerta de enlace, servidor, base de datos, web de usuario y aplicación. En esta implementación se resalta el uso de una bicicleta como dispositivo final, la comunicación entre el dispositivo final y la puerta de enlace a través de módulos SX1272 de LoRa, el uso de IBM Bluemix para cumplir una función de servidor, el Broker llamado IoTF para recepción y transmisión de datos hacia el servidor y finalmente la aplicación que utiliza Google Map Open API para que el usuario visualice la información. (D. H. Kim, 2017)

## **2.2 Conceptos**

### ***2.2.1 Internet de las cosas***

IoT por sus siglas en inglés, es una evolución del internet actual en una red de objetos interconectados que interactúa con el mundo físico (actuación, comando, control), y utiliza estándares de internet existentes como el Bluetooth, identificación por radio frecuencia RFID, WiFi y servicios de datos móviles, así como sensores y actuadores integrados (nodos).

Figura 1. Arquitectura de comunicación bidireccional IOT



\* LoRa Alliance, (2015). LoraWAN A technical overview of LoRa and LoRaWAN. Pag: 8.

Nota Recuperado de : <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>

La Figura 1 muestra la arquitectura de comunicación bidireccional entre objetos y usuarios en una implementación de IoT; Desde una perspectiva de alto nivel los 3 componentes necesarios para IoT son el hardware (sensores, actuadores y sistemas embebidos de comunicaciones), el software (herramientas informáticas para almacenamiento y análisis de datos) y la presentación (visualización novedosa y de fácil interpretación a través de diferentes plataformas o aplicativos). (Palaniswami, 2012)

**2.2.1.1 Nodos finales.** El término de nodos finales hace referencia al dispositivo o elemento a monitorear. La tecnología IOT tiene múltiples aplicaciones, ya que se ajusta a casi cualquier aplicación se sea capaz de brindar información relevante sobre su funcionamiento, sobre su desempeño e incluso sobre las condiciones ambientales que requieran revisión y control a

distancia. Actualmente muchas empresas de distintas áreas y sectores han adoptado el uso de tecnología IOT para mejorar, simplificar y automatizar diferentes procesos. Dentro de las aplicaciones prácticas de IOT se encuentran: Salud, agricultura, logística, monitoreo de tráfico, domótica, smart grid y ahorro energético

**2.2.1.2 Estación base.** Implementación compuesta por un módulo LoRa, un microcontrolador, y software para la recepción, almacenamiento de información en una base de datos y transmisión hacia un servidor encargado de mantener actualizada la información del dispositivo final en internet. (Kim, 2017). La estación base se encuentra ubicada en un lugar determinado por los resultados obtenidos mediante las simulaciones de cobertura presentadas en el Capítulo 5 de este documento.

**2.2.1.3 Servidor de red.** Dentro de la arquitectura IOT es esencial hablar sobre servidor de red, el cual permite almacenar todos los archivos y demás instrucciones para después ser transmitidos a los usuarios a través de navegadores y mediante ciertos protocolos. Este proceso de almacenar y transmitir información debe ser rápido, con el fin de garantizar una interacción entre usuario y producto óptima.

Para cumplir con sus funciones el servidor debe tener la capacidad de estar siempre encendido para evitar interrumpir el servicio que le ofrece a sus clientes. Si dicho servidor falla o se apaga, la interacción entre usuario y producto no se puede llevar a cabo.

Dentro de las aplicaciones IOT se debe garantizar una comunicación constante con el fin de poder acceder a información de usuario y producto. Dependiendo del tipo de aplicación IOT y presupuesto del proyecto se puede usar un servidor local o un servidor remoto (Yobany E. Chitiva.

B, 2020). Un servidor local es aquel que está localizado en un determinado ordenador. Un servidor remoto es aquel que es prestado por alguna entidad o empresa con el fin de prestar un servicio de almacenamiento de datos de manera distante. Cada uno de estos tiene un uso específico dependiendo de la aplicación y presupuesto disponible de un proyecto.

**2.2.1.4 Webs y apps móviles.** Los usuarios confían cada vez más en las aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) para administrar sus vidas digitales a través de la abrumadora diversidad de servicios y dispositivos de IoT. El uso de webs y apps móviles son la forma en que los usuarios finales interactúan con este tipo de tecnología, estas están conectadas a los servidores de red con el fin de extraer y transmitir información del producto al usuario (Balliu Musard, 2019).

## **2.2.2 LoRa**

LoRa es la arquitectura de red usada en la capa física de implementación que permite crear enlaces de comunicación bidireccional con gran alcance a baja potencia. Esta tecnología integra la comunicación entre los dispositivos finales a través de una puerta de enlace y permite la transmisión de información hacia una base de datos o servidor. La modulación por codificación (FSK) y la modulación de espectro ensanchado Chirp hacen que LoRa se caracterice por su bajo consumo energético a pesar de ser para uso comercialización de bajo costo para uso comercial. (LoRa Alliance, 2015)

**2.2.2.1 Alcance de LoRa.** Una de las ventajas de la red LoRa está en el alcance de cobertura, una única estación base puede llegar a dar cobertura a toda una ciudad y en zonas rurales

puede llegar a cubrir cientos de kilómetros cuadrados. El alto rango depende del medio ambiente u obstrucciones en una determinada ubicación, pero LoRa tiene un nivel de enlace mayor a cualquier otra tecnología de comunicación estandarizada. El nivel del enlace, expresado en decibelios. (dB), es el factor principal para determinar el rango en un entorno dado. En la figura 2 se puede observar el mapa de cobertura de la red Proximus desplegados en Bélgica. Con una cantidad mínima de infraestructura, países enteros pueden cubrirse fácilmente.

Figura 2. *Mapa de cobertura de red LoRa en Belgica.*



+LoRa Alliance, (2015). LoRaWAN A technical overview of LoRa and LoRaWAN. Pag: 4

Nota. Recuperado de : <https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>

**2.2.2.2 Arquitectura LoRa.** En la actualidad existen muchas redes IoT implementadas las cuales usan una arquitectura de red en malla, en este tipo de red los nodos finales (transmisores) se envían información entre ellos con el fin de aumentar el rango de cobertura de la red, pero

mientras aumenta el rango de cobertura, se agrega complejidad a la misma, además a medida que todos los nodos reciben y envían información irrelevante de otros nodos finales constantemente la vida útil de las baterías se deteriora. La red LoRa una arquitectura de red en estrella de alto nivel, este tipo de red es ideal para preservar el consumo energético de los nodos finales ya que estos solo envían información a la estación base, además de reducir la complejidad de la red.

**2.2.2.3 Seguridad red LoRa.** En todas las aplicaciones donde se establezca comunicación a través de una red LPWA se debe garantizar que la información este encriptada, es por esto que LoRa integra dos capas de seguridad, una de ellas entre los nodos y su puerta de enlace, y la otra entre la aplicación del usuario final y el operador de la red. Para el intercambio de claves se hace uso del cifrado AES utilizando un identificador IEEE EUI64.

### **3. Requerimientos del sistema**

En este capítulo se aborda la primera etapa de desarrollo del sistema IoT, se documentan los requisitos y funciones del sistema basados en las necesidades de los usuarios, luego se definen las características de las interfaces de usuario, administrador, etapa de comunicación y finalmente se procede a describir el hardware y software utilizado en la implementación.

Figura 3. *Requerimientos del sistema.*

### 3.1 Requisitos del dispositivo

Se proyecta desarrollar e implementar un sistema electrónico basado en el internet de las cosas IoT para mejorar la seguridad en los estacionamientos de bicicletas dentro del campus, que permita la visualización en tiempo real de la ubicación de las bicicletas, alertar a los usuarios de actividad desconocida en su vehículo y registrar las trayectorias recientes a través de una aplicación móvil.

### 3.2 Funciones del sistema de geolocalización

El dispositivo de seguridad para bicicletas basado en el internet de las cosas IoT tendrá 2

funciones principales:

- Adquisición de información: el dispositivo debe recopilar la información de su ubicación actual (coordenadas de latitud y longitud) por medio de un GPS, el usuario debe conocer el porcentaje de batería restante del dispositivo; Cada dispositivo tendrá un ID determinado con el fin de poder ser asignado a un usuario específico, este ID es fundamental para la segmentación ya que permitirá guardar en la base de datos información pertinente de un dispositivo específico y así poder ser identificado.

- Transmisión de información: después de recopilada la información del dispositivo, se enviará en paquetes de determinados bytes por medio de la red LoRa a la estación base para posteriormente ser procesada y almacenada en la base de datos del servidor.

### **3.3 Interfaces**

#### ***3.3.1 Interfaz de comunicación***

La interfaz de comunicación propuesta para el sistema se muestra en la Figura 4 El dispositivo instalado en la bicicleta se comunicará con una estación base a través de un enlace de red LoRa, tecnología ideal para conexiones a grandes distancias y redes de IoT. El modulo LoRa en la estación base se comunicará con la base de datos y el servidor por medio de un puerto serial, el cual es una protocolo de comunicación de datos digitales. El medio de comunicación entre la base de datos y el servidor con el usuario final será una aplicación móvil la cual estará disponible exclusivamente para usuarios Android por el momento.

Figura 4. Esquema interfaz de comunicación.



### 3.3.2 Interfaz de hardware

A nivel de hardware los requisitos del sistema se dividen en 2: el dispositivo de geolocalización que se instala en la bicicleta y la estación base:

- Estación base: esta parte de la implementación necesitará un microcontrolador con un módulo LoRa que garantice la comunicación con el dispositivo de geolocalización, para esto se usará la tarjeta TTGO LoRa 32 . Para el procesamiento, almacenamiento de datos y servidor se requiere un equipo de cómputo con sistema operativo Windows 10 ya que es necesario para la compatibilidad con el software a utilizar.

- Dispositivo de geolocalización: en esta sección se hace referencia al dispositivo que se instalará en la bicicleta, para este es necesario un microcontrolador con entradas analógicas y digitales, con un módulo LoRa que permita la comunicación con la estación base además de poder ser alimentado con una batería, es indispensable el uso de un GPS para la geolocalización del dispositivo. La tarjeta de desarrollo con la que se trabajará es la TTGO t-beam que posee un microcontrolador ESP32, GPS NEO-6M SMA y módulo de comunicación LoRa SX1278.

### 3.3.3 *Interfaz de software*

La interfaz de software está relacionada con los programas que permiten llevar a cabo el desarrollo del proyecto y el correcto funcionamiento del mismo. Para empezar, se deben programar las tarjetas para el dispositivo de geolocalización y para la estación base, con el fin de efectuar una correcta comunicación entre ellas, para esto se necesita un entorno de desarrollo integrado que deber ser compatible con el microcontrolador de las tarjetas usadas (ESP32), además el entorno de desarrollo debe tener disponibles y soportar las librerías necesarias para las instrucciones y acciones a programar incluyendo la de tecnología LoRa.

En el desarrollo del proyecto se deben tener en cuenta varios puntos a tratar para la realización del sistema tales como: almacenamiento y desarrollo, backup, base de datos, servidor, aplicaciones.

- Almacenamiento y desarrollo: se requiere una computadora cualquier dispositivo capaz de almacenar información procedente del sistema informático. Además de proporcionar un entorno de desarrollo capaz de soportar los distintos softwares necesarios para el desarrollo del proyecto.

- Backup: el uso de copias de seguridad de datos y usuarios es necesario para sistema a desarrollar, así como la capacidad de recuperación de la información ante posibles pérdidas, para esto se requiere un medio que facilite las copias de seguridad de los datos del sistema.

- Base de datos: el direccionamiento del proyecto requiere organización de campos (tipo o atributo de información) y registros (información sobre un individuo), con el fin de organizar datos de usuario y dispositivo para su almacenamiento, para el proyecto se requiere una base de datos de estructura simple, pero de gran velocidad capaz de responder a instrucciones.

- Servidor: el proyecto requiere una interacción constante entre usuario y dispositivo, para

esto se requiere un servidor rápido capaz de atender las peticiones de un cliente y devolver una respuesta en concordancia, se requiere un servidor estable con capacidad de incluir distintos usuarios y dispositivos para el funcionamiento deseado, además que permita una complementación óptima con la base de datos.

- Aplicaciones: se requiere la realización de una aplicación administradora y una aplicación móvil para usuarios. Para la realización de las aplicaciones se requiere software que permita el desarrollo de todos los tipos de aplicación Java (J2SE, web, EJB y aplicaciones móviles), hay que tener en cuenta que para la aplicación administradora el uso del aplicativo está dirigido hacia ordenadores y para la aplicación para usuarios el uso está dirigido hacia dispositivos móviles siendo más específicos a sistemas Android. Dentro de los requerimientos de las aplicaciones a programar se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Gestión de la interfaz de usuario (menús y barras de herramientas).
- Instalación de módulos.
- Gestión de configuración de usuario.
- Gestión de almacenamiento (guardar o cargar algún tipo de dato).
- Gestión de ventana.
- Marco Asistente (soporta diálogos paso a paso).
- Librerías visuales.
- Herramientas de desarrollo integrado.

En la tabla 1 se presenta el software y librerías que permiten llevar a cabo el correcto funcionamiento del dispositivo de geolocalización, la estación base y de la capa IoT la cual abarca desde el servidor hasta la Aplicación móvil.

Tabla 1. *Software utilizado.*

|                                  |                                       |                              |
|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| <b>Dispositivo de usuarios:</b>  | <b>Arduino IDE</b>                    | <b>Librerías:</b>            |
| <b>TTGO t beam ESP32,</b>        |                                       | <b>- SPI</b>                 |
| <b>GPS NEO 6M SMA,</b>           |                                       | <b>- LORA</b>                |
| <b>LORA 32</b>                   |                                       | <b>- WIRE</b>                |
| <b>Estación base</b>             | <b>Arduino IDE</b>                    | <b>Librerías:</b>            |
| <b>ESP32 TTGO LoRa (T3 V1.6)</b> |                                       | <b>- SPI</b>                 |
|                                  |                                       | <b>- LORA</b>                |
|                                  |                                       | <b>- WIRE</b>                |
|                                  |                                       | <b>- TinyGPS++</b>           |
| <b>Capa IoT</b>                  | <b>Sistema operativo</b>              | <b>Windows 10 Pro</b>        |
|                                  | <b>Base de datos</b>                  | <b>DBDesigner (Mysql)</b>    |
|                                  | <b>Servidor web</b>                   | <b>Xampp (Apache)</b>        |
|                                  | <b>Interfaz servidor y puertas de</b> | <b>Netbeans</b>              |
|                                  | <b>enlace</b>                         | <b>Android Studio (Java)</b> |
|                                  | <b>Aplicación móvil</b>               |                              |

### 3.3.4 Interfaz de usuario

Como interfaz de usuario se propone una aplicación móvil a través de la cual se logre la interacción entre el dispositivo final y el usuario, la aplicación debe contar con los siguientes apartados:

- Login: cada uno de los usuarios deberá poder registrar sus credenciales dentro de este apartado para tener acceso únicamente a la información del dispositivo asociado.

- Ubicación: se debe presentar a través de un mapa donde se pueda visualizar la ubicación en tiempo real de la bicicleta.

- Historial de ubicación: en este apartado el usuario debe definir un rango de tiempo de visualización deseado (desde y hasta), al hacerlo se deben mostrar las trayectorias realizadas por la bicicleta en ese momento.

- Estado de parqueo: el usuario al estacionar debe poder establecer un radio centrado en la ubicación actual de la bicicleta como estado de parqueo para ser alertado si su bicicleta sale de esta zona.

- Información del dispositivo: El usuario debe poder ver el estado actual del dispositivo en su bicicleta: estado de parqueo (ON/OFF), información de la bicicleta registrada al dispositivo (color, marca, etc.) y porcentaje de batería restante en el dispositivo.

- Notificaciones: El usuario debe ser notificado a través de las notificaciones de su móvil cuando su bicicleta con el dispositivo sale de la zona establecida como estado de parqueo.

### ***3.3.5 Interfaz de administrador***

En el sistema de monitoreo se debe establecer un rol de administrador el cuál se controla desde un computador con los siguientes apartados:

- Login: el administrador deberá poder registrar sus credenciales, además de poder dar permisos de administrador a usuarios.

- Control total de los usuarios: el rol de administrador deberá poder agregar usuarios y dispositivos a la base de datos, asociarlos entre ellos y eliminar alguno de estos ya sea por mal uso o cambio de dispositivo.

- Ubicación de dispositivos: dentro de la interfaz de administrador debe ser posible visualizar la ubicación en tiempo real de todos los dispositivos activos en el sistema.

### **3.4 Características para usuarios**

En este proyecto se presenta el dispositivo piloto el cual simulará ser un usuario activo conectado a la estación base. Las necesidades que debe satisfacer este sistema son las siguientes:

- El dispositivo instalado en la bicicleta debe ser inalámbrico y recargable.
- Dispositivo ocupará poco espacio y será portable.
- Seguridad de la información ante posibles pérdidas de transmisión o recepción.
- Sistema IoT escalable a nivel de software y hardware.
- Dispositivo con arquitectura que permite a futuro añadir instrumentación adicional para nuevas funciones.
- Se podrá conectar y desconectar del sistema de manera sencilla.
- La aplicación móvil será accesible desde cualquier dispositivo Android 7.0 o superior con conexión a internet.
- Aplicación móvil debe ver en tiempo real la ubicación del dispositivo y observar historial de trayectoria de este.
- Sistema para registrar la ubicación de estacionamiento de la bicicleta en un punto específico del mapa y que le informe al usuario si esta es desplazada de este lugar.

### **3.5 Restricciones del sistema piloto**

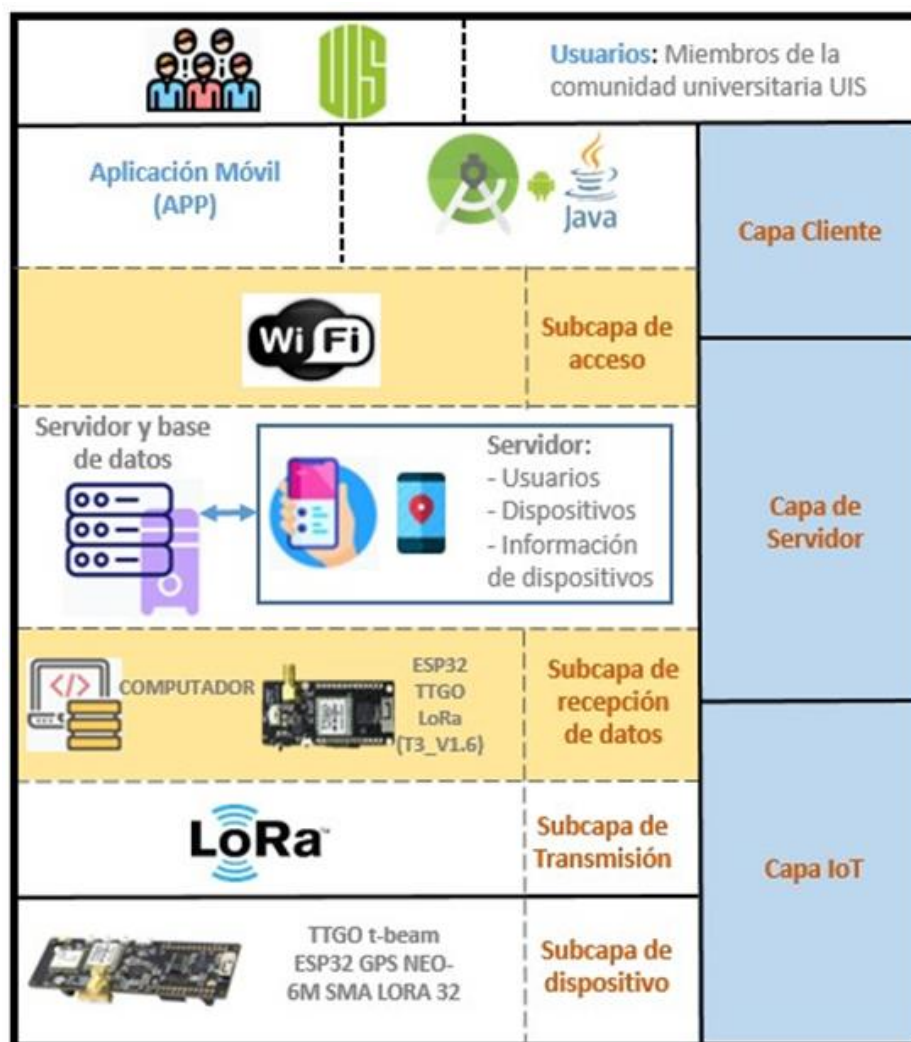
Dentro del proyecto se destaca la escalabilidad del mismo, permitiendo a futuro hacer mejoras. El diseño realizado representa un prototipo el cual tiene una serie de restricciones que se presentan a continuación:

- Servidor de web local (localhost).
- Limitación en cobertura (Edificaciones grandes y estación base de bajo costo).
- Presupuesto limitado ya que el proyecto no fue financiado por ninguna entidad pública o privada.
- Aplicación móvil limitada ya que solo está disponible para usuarios Android.

#### **4. Modelo y diseño del sistema**

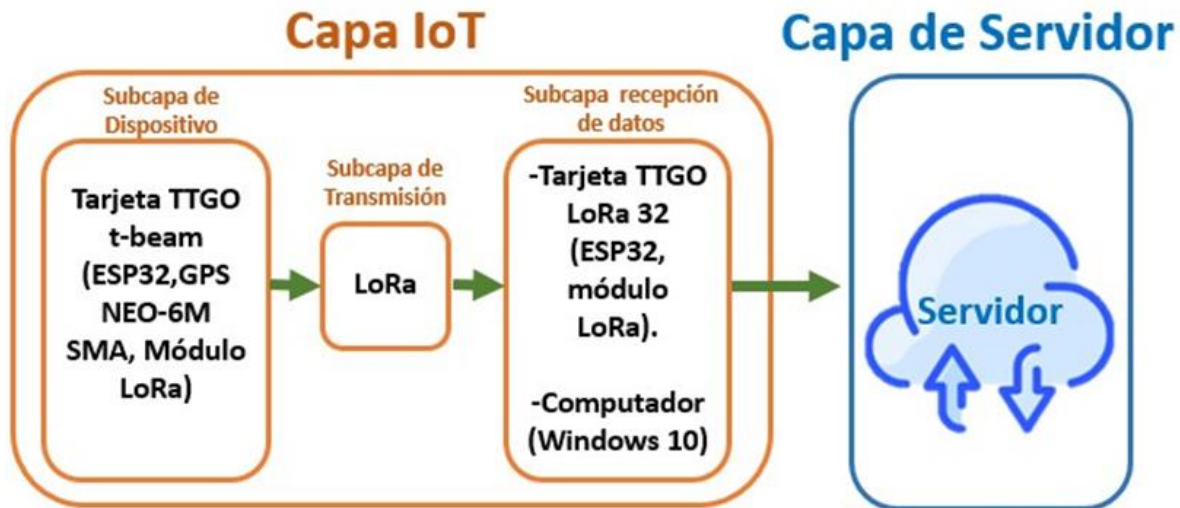
Para describir el diseño del sistema se usa un modelo de capas con el fin de especificar los componentes e interfaces empleadas, el sistema contiene una capa IoT, la cual aborda los componentes del dispositivo, la forma en la cual se reciben y transmiten los mensajes además de los componentes usados para esta tarea. También se incluye la capa servidor la cual explica el modelo empleado para el procesamiento y almacenamiento de información. Por último, se habla de la capa cliente la cual incluye interfaz, herramientas, lenguajes de programación y todas las funciones creadas en la aplicación móvil para usuarios.

Figura 5. Modelo planteado para el sistema de geolocalización IoT para bicicletas.



#### 4.1 Capa IoT

En esta capa se incluye todo lo relacionado con el sistema IoT del proyecto. Dentro del sistema IoT incluimos los elementos que influyen directamente en el proceso procesamiento de datos, desde la recepción de posición hasta el envío de datos a la nube. Con el fin de explicar la implementación usada se define un modelo (Figura 6) el cual consta de 3 subcapas fundamentales: dispositivo, transmisión y recepción.

Figura 6. *Modelo capa IoT.*

#### 4.1.1 Subcapa de dispositivo

En esta sección se hace referencia al hardware usado en el dispositivo de rastreo, se presentará la tarjeta de desarrollo usada, así como una comparación entre distintas tarjetas con el fin de confrontar las características de estas con el objetivo de elegir la más adecuada bajo nuestro criterio. Dentro de esta sección también se tendrá en cuenta la fuente de alimentación usada, además de una breve explicación del funcionamiento del dispositivo de rastreo.

**4.1.1.1 Tarjeta de desarrollo.** Para el dispositivo de rastreo es necesario un GPS para obtener la geolocalización necesaria para el proyecto, además de un microcontrolador para poder transmitir la información necesaria. Debido a estas necesidades se eligió una tarjeta dentro de un grupo de posibilidades mostradas en la Tabla 2 los criterios de elección se hicieron basados en características de entradas y salidas, comunicación, tecnología de transmisión, periféricos adicionales, de fácil acceso en el mercado y otras. Para la aplicación IoT propuesta se definió usar

la tecnología LoRa para la transmisión de datos del dispositivo.

Se decide usar la tarjeta t-beam ESP32 LoRa32 del fabricante TTGO (Figura 7) Esta tarjeta es la única opción que nos ofrece comunicación LoRa ya incorporada (módulo de transmisión RF LoRa32), además de tener un módulo GPS (modulo NEO-6M) con su antena respectivamente lo que nos facilita temas de conexión externa, además de generar un ahorro monetario en instrumentación. La tarjeta escogida cuenta con múltiples entrada y salidas digitales analógicas, dejando la posibilidad de añadir a futuro instrumentación adicional con el fin de incluir nuevas funciones.

Tabla 2. *Tarjetas de desarrollo evaluadas en el marco del proyecto.*

| Tarjeta                          | TTGO t-beam<br>ESP32      | LoRa32 TTGO               | SmartEverything             | Arduino Nano   |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| <b>Microcontrolador</b>          | ESP32                     | ESP32                     | MCU de Atmel D21            | Atmega 328     |
| <b>Conectividad</b>              | LoRa, wifi ,<br>Bluetooth | LoRa, wifi ,<br>Bluetooth | SIGFOX, wifi ,<br>Bluetooth | -              |
| <b>Voltaje operación</b>         | 3 [V] – 5 [V]             | 3 [V] – 5 [V]             | 1.2 [V] – 3.2 [V]           | 5 [V]          |
| <b>Modulo GPS</b>                | SI                        | NO                        | SI                          | NO             |
| <b>Antena Tx-Rx<br/>incluida</b> | SI                        | SI                        | NO                          | NO             |
| <b>Antena Gps –<br/>Puerto</b>   | SI - SI                   | NO-NO                     | NO-SO                       | NO-NO          |
| <b>Comunicación</b>              | I2C, UART, SPI            | I2C, UART, SPI            | I2C, UART, SPI              | I2C, UART, SPI |
| <b>IN/OUT Digitales</b>          | 24                        | 24                        | 20                          | 14             |
| <b>IN Analógicas</b>             | 16                        | 16                        | 20                          | 8              |
| <b>Frecuencia Tx</b>             | 433MHz, 868 MHz           | 433MHz, 868 MHz           | 868MHz, 915MHz              | -              |

| Tarjeta            | TTGO t-beam<br>ESP32 | LoRa32 TTGO    | SmartEverything | Arduino Nano           |
|--------------------|----------------------|----------------|-----------------|------------------------|
|                    | , 915 MHz            | , 915 MHz      |                 |                        |
| <b>Dimensiones</b> | 10,13mm x<br>32,89mm | 64,47mm x 27mm | 68,8mm x 5.5mm  | 43,18 mm x 17,78<br>mm |
| <b>Precio</b>      | 20,26 Euros          | 16,74 Euros    | 125,79 Euros    | 4,5 Euros              |

Tabla 3. *Especificaciones Tarjeta de desarrollo seccionada por los tres componentes principales TTGO ESP32.*

| Módulo ESP32                 | Módulo LORA SX1278  | Módulo GPS NEO-6M   |
|------------------------------|---|---|
| -Última versión ESP32: REV1. | -Voltaje de funcionamiento:<br>1,8 [V]- 3,7 [V].                                  | -Fuente de alimentación Universal de<br>3[V]-5[V].  |
| -WIFI                        |   |   |
| -Bluetooth.                  | -Voltaje de funcionamiento:<br>1,8 [V]- 3,7 [V].                                  | - Módulo con antena de cerámica,<br>súper señal.  |
| -4 MB PSRAM -Bluetooth.      | -Corriente aceptable:<br>10[mA] - 14[mA].   | -Guardar los datos de parámetros de<br>configuración EEPROM Down con<br>los datos de copia de seguridad de la<br>batería. |
| -3D antena                   | -Corriente de transmisión:<br>120[mA] + 20dBm, 90[mA] +<br>17dBm, 29[mA] + 13dBm. | -Indicador de señal LED.  |
|                              | -Frecuencia de funcionamiento:<br>868 MHz/915 MHz                                 | -Tasa de baudios predeterminada:<br>9600.   |
|                              | -Potencia de transmisión: + 20  |   |

| Módulo ESP32 | Módulo LORA SX1278  | Módulo GPS NEO-6M |
|--------------|---|-------------------|
|              | <p data-bbox="711 258 894 285">dBm. - 100[mW]</p> <p data-bbox="656 380 950 407">-Sensibilidad de recepción:</p> <p data-bbox="630 443 976 470">139dBm LoRa, 62,5 Khz y SF =</p> <p data-bbox="732 501 873 529">12 y 146bps.</p> <p data-bbox="630 623 976 651">136dBm LoRa, 125 Khz y SF =</p> <p data-bbox="732 682 873 709">12 y 293bps.</p> <p data-bbox="630 804 976 831">118dBm LoRa , 125 Khz y SF =</p> <p data-bbox="732 863 873 890">6 y 9380bps.</p> |                   |



Figura 8. *Batería litio Ref:18650 Sony.*



**4.1.1.3 Funcionamiento.** Para el funcionamiento del dispositivo el usuario debe encender la tarjeta con el interruptor POWER que se encuentra en el costado izquierdo. Posteriormente por medio del IDE Arduino se carga el código en la tarjeta, este realiza periódicamente una lectura de datos de puertos específicos para diversas tareas tales como, lectura de la señal GPS y voltaje de la batería conectada. A cada tarjeta se le asigna un ID de dispositivo el cual es transmitido y es necesario para la vinculación con el usuario.

El módulo de GPS recibe información de los satélites a los cuales puede conectarse, esta información incluye latitud y longitud, hora e información del satélite (nombre del satélite). De esta serie de datos obtenidos con el GPS la latitud y longitud es la que consideramos relevante y por tal razón es la que se transmite. Ya que se necesita la posición del dispositivo lo más detalladamente posible, se usan 6 decimales de precisión en la medida de longitud y latitud.

Por medio del pin 35 se puede obtener el valor de voltaje actual de la batería que está conectada al dispositivo, este dato se recibe de manera hexadecimal así que es transformado a decimal para después ser procesado para crear un valor porcentual de batería, este es calculado teniendo en cuenta el valor mínimo y máximo de voltaje en los cuales la tarjeta de desarrollo

utilizada funciona correctamente. Estos valores de voltaje se pueden observar en la Tabla 3.

El paquete de datos enviado incluye el ID del dispositivo, porcentaje de batería, latitud y longitud los cuales son enviadas constantemente en un mismo paquete de bytes, lo que permite un ahorro de batería considerable. El dispositivo contiene un sistema el cual está realizado para detectar si el dispositivo está en movimiento, si la ubicación actual recibida por el dispositivo es la misma durante un periodo de 30 segundos, el dispositivo empezará a aumentar el tiempo de envío entre paquetes con el fin de ahorrar energía.

#### ***4.1.2 Subcapa de transmisión***

La transmisión de datos se hace por medio de la red LoRa, con la cual se comunican las dos tarjetas (transmisor y receptor), las cuales cuentan con esta tecnología de comunicación. Los datos que se envían del dispositivo son:

- ID dispositivo.
- Latitud y Longitud (GPS).
- Porcentaje de batería.

El dispositivo receptor el cual está conectado a un computador se encarga de procesar y almacenar los datos en el servidor.

Se emplea el método de redundancia cíclica CRC con el fin de mejorar el enlace entre los dos dispositivos y no perder paquetes de datos.

### ***4.1.3 Subcapa de recepción de datos***

Se centraliza la recepción de los datos de los dispositivos conectados para después ser subidos al servidor y poder ser visualizados desde los celulares de los usuarios.

### ***4.1.4 Módulo receptor***

Por medio de la tarjeta LoRa32 TTGO se hace la recepción de los datos que provienen de los dispositivos de geolocalización, esta comunicación se hace por medio de la red LoRa la cual tiene alta tolerancia a las interferencias y alta sensibilidad para la recepción de datos. Las características de esta tarjeta son casi las mismas que ofrece la tarjeta de transmisión mencionada en la sección 4.1.1.1 nos brinda los mismos beneficios a un menor costo con excepción al módulo GPS el cual no es usado para la subcapa de recepción de datos.

Figura 9. *Modulo receptor, Tarjeta LoRa32 TTGO.*



### 4.1.5 Computador

El uso de un computador para este proyecto es necesario ya que en este se almacenan los datos recibidos por el modulo receptor, estos están conectados por medio del puerto serial para el intercambio de información. El computador hace de servidor local además de contener la aplicación para acceso administrativo, desde esta se controlará el sistema global de monitoreo.

### 4.1.6 Funcionamiento

El sistema de recepción cuenta con dos partes fundamentales una es la tarjeta receptora y el computador. La tarjeta de desarrollo se encarga de recibir los datos inalámbricamente por medio de la red LoRa. Estos datos son pasados al computador por medio del puerto serial.

El computador se encarga de procesar los datos y almacenarlos en el servidor local. Por medio del programa *Xampp* se gestiona el servidor y la base de datos de una manera más sencilla y eficiente, este permite la conexión y desconexión del servidor y la base de datos Figura 10.

Figura 10. Activador de servidor y base de datos Xampp.



## **4.2 Capa de servidor**

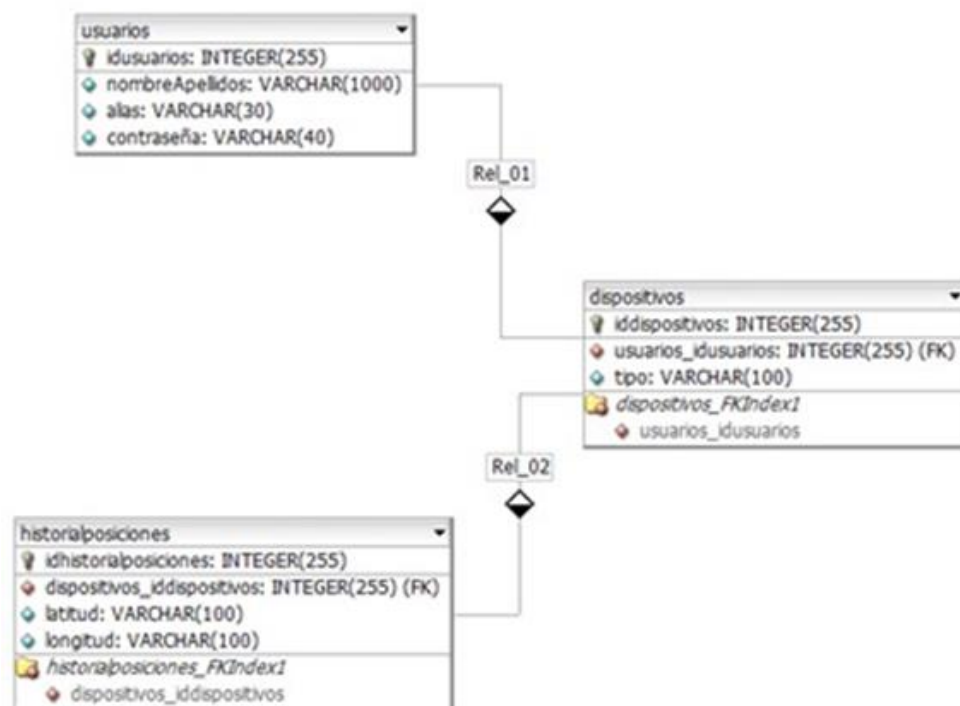
Se explicará de forma general del modelo empleado para el procesamiento, almacenamiento de datos e información tales como usuarios, dispositivos posicionamiento y acciones entre usuario-dispositivo, incluyendo los métodos y herramientas usadas.

### ***4.2.1 Base de datos***

Dentro de la base de datos creada existen varias variables con la cuales se tendrá una lectura de datos contante. Al usar MySQL obtenemos una base de datos muy rápida en cuanto a lectura se trata, ayudando a hacer operaciones a gran velocidad lo que permite tener un mejor rendimiento (Nixon, 2019).

Se usa el programa DBDesigner ya que permite construir bases de datos en una interfaz intuitiva. El sistema de base de datos se estructuro de tal manera para obtener un buen rendimiento y seccionar cierto de información. A continuación, se presenta el modelo de información el cual consta de tres tablas (Figura 11)

Figura 11. Estructura de la base de datos.



- Tabla de Usuarios: En esta tabla es donde se encuentra la información suministrada por el usuario como nombre apellidos, alias y contraseña.

- Tabla de Dispositivos: Esta tabla almacena la información de identificación de cada dispositivo tales como id de dispositivo y el tipo de dispositivo.

- Tabla de Historial de posiciones: Esta tabla es la que recibe la información transmitida por el dispositivo tales como latitud, longitud, porcentaje de batería e ID de dispositivo.

#### 4.2.2 Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos del sistema se usa autenticación directa por bases de datos, donde Java envía los datos directamente a MySQL, este devuelve una respuesta a Java el

cual se encarga de procesar el puerto y comparar datos para así realizar una acción. Este proceso es usado tanto como para acceso de usuarios como para envío de información del dispositivo como latitud, longitud, porcentaje de batería e ID de dispositivo.

### **4.3 Capa Cliente**

La capa de cliente consta de una aplicación móvil (App) la cual es el puente de comunicación entre usuario y dispositivo, en este capítulo se explica de manera breve como se llevó a cabo esta aplicación móvil en el programa Android Studio, hay que tener en cuenta que la aplicación móvil solo está disponible para dispositivos Android con sistema Android 7.0 o superior.

Como se mencionó anteriormente la aplicación móvil se hizo en el programa Android Studio ya que es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de apps para Android, además es un potente editor de códigos y de herramientas para el desarrollo de apps móviles.

#### ***4.3.1 Subcapa de acceso***

Un factor importante en el diseño de un sistema IoT y las tecnologías a usar es la comunicación. La elección de estas tecnologías deben adecuarse a cada necesidad que hay que cumplir, la conexión a internet se debe hacer por medio de alguna tecnología disponible. Dentro de estas tecnologías podemos incluir Wifi, Zigbee, redes móviles 3G,4G,4G LTE y próximamente 5G, entre otras. Dentro de estas posibilidades se escogió el Wifi para conectar los terminales IoT con internet, el uso necesario de dispositivos móviles limita el tipo de red a usar para hacer la

comunicación entre dispositivo y usuario.

#### **4.3.2 Herramientas, lenguajes de programación**

Para la realización de la aplicación se usaron ciertas herramientas o lenguajes los cuales se presentan a continuación:

- **XML (eXtensible Markup Language):** el uso del meta-lenguaje XML es esencial para la interfaz de la aplicación, está pensado para ser utilizado en aplicaciones que requieran conexión a internet, nos permite especificar lenguajes de marcas, con el fin de definir etiquetas para la descripción y organización de datos. (Shashi Banzal, 2017)

- **Java :** es un lenguaje de programación orientado a objetos, el uso de java es fundamental en la creación de la aplicación móvil de este proyecto ya que usamos Java para el Backend de la app. El backend hace referencia al desarrollo de la app que se encarga de que toda la lógica de aplicación funcione. Hay que añadir que java añade el conjunto de acciones que pasan en la app pero no se pueden ver, es decir se ejecutan en un segundo plano como por ejemplo la comunicación con el servidor. (Lockhart, 2019). Desde el backend se gestionan tareas como acciones de lógica, conexión con la base de datos, el uso de librerías del servidor y vela por la seguridad de las apps además de optimizar los recursos para que la app funcione de una manera más ligera.

- **MySQL:** es un sistema de gestión de base datos basada en código libre, además, es de fácil acceso, dentro de las principales características se resalta: la arquitectura entre cliente y servidor, la compatibilidad con SQL que es un lenguaje generalizado a nivel industrial, la compatibilidad para configurar vistas de aplicaciones, el procesamiento de tablas directas por medio de almacenamiento almacenados lo que permite que nunca se carguen tablas incompletas.

### 4.3.3 Login de usuarios y configuración de servidor

La aplicación móvil en su página principal cuenta con la sección de Login (Figura 12 (a.)) la cual permite al usuario ingresar con su nombre de usuario y contraseña, para el registro de usuarios se debe tener el consentimiento de un usuario administrador ya que se debe hacer la vinculación entre usuario y dispositivo de rastreo correspondiente. Cada usuario está registrado en la base de datos. Para el servidor web se usó un servidor de web local, por esta razón el usuario debe digitar la información de IP a la cual está conectado y el puerto destinado para la transferencia de información el cual es el 80 (Figura 12 (b.)) , en la parte inferior de la página principal está la opción para ingresar esta información.

Figura 12. Login y configuración de App.



(a) Login de la App.



(b) Configuración

Ip Usuarios.

#### 4.3.4 Funciones App

Dentro de las funciones de la aplicación se destacan 3 las cuales se presentaras a continuación:

- **Información de Localización y dispositivo:** La principal función de la aplicación es brindar al usuario la ubicación en tiempo real del dispositivo de geolocalización, además de esto el usuario puede conocer la posición actual de su dispositivo móvil (celular o dispositivo Android), por este motivo se deben dar permisos de GPS al instalar la aplicación en el dispositivo Android. En el mapa de la aplicación se pueden observar dos iconos (Figura 13 (a.)), los cuales uno simboliza al dispositivo móvil Android del usuario (silueta humanoide amarilla) y el otro al dispositivo de rastreo que va a ir anclado en la bicicleta (dibujo de bicicleta), estos dos iconos van a moverse en el mapa de manera automática a medida que el usuario (dispositivo Android) y el dispositivo de rastreo se muevan. Además, el usuario puede ver la información del dispositivo de rastreo tales como: rasgos visuales de la bicicleta (previamente suministrada en el registro), fecha, hora y porcentaje de batería actual del sistema de rastreo (Figura 13 (b.)), para acceder a esta información el usuario debe seleccionar el icono de la bicicleta y así se desplegará la información anteriormente mencionada, si el usuario desea minimizar esta información deberá tocar nuevamente el icono. Para el sistema de mapas de la aplicación se usan los servicios de Google MAPS ya que nos ofrece de forma gratuita interacciones de zoom y de desplazamiento.

Figura 13. *Usuario e información de dispositivo App.*

a. -dispositivo App.



b. Información dispositivo App.

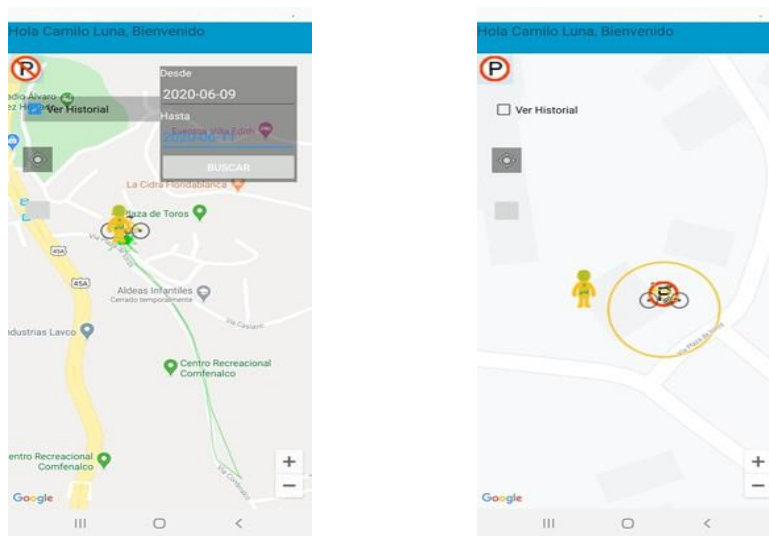
- **Historial de posición:** Gracias a la base de datos la cual tiene la información actual y antigua de la ubicación de los dispositivos se tiene la función de historial de posición, la cual está disponible en la parte superior izquierda de la aplicación (Figura 14(a.)), esta le permite al usuario ver en un rango de fechas seleccionadas el movimiento que tuvo el dispositivo. Este historial de movimiento será demarcado en el mapa con líneas de color verde para que el usuario pueda visualizarlo.

El sistema de historial puede ser de gran ayuda en cuanto a temas de seguridad se trata y además podría servir para futura información con respecto al tránsito de bicicletas en zonas específicas.

- **Función de parqueo:** Por medio de esta función el usuario puede poner el dispositivo en modo “Parqueo” (Figura 14(b.)), el cual le permite fijar de manera virtual su bicicleta en el mapa. Para activar y desactivar el modo parqueo el usuario deberá seleccionar el icono de “Parqueo” en la parte superior izquierda de la app. Cuando el dispositivo entra en modo “Parqueo”

este se limitará a un radio de 10 metros de la posición actual fijada, con el fin de alertar al usuario si este es sacado de este radio. La alerta se enviará por medio de correo electrónico de manera automática si el dispositivo es sacado de la zona limitada, la aplicación móvil también le alerta con un mensaje de peligro en la barra de notificaciones del teléfono móvil.

Figura 14. *Historial y función de parqueo del dispositivo desde el app.*



a. Historial de posición del dispositivo.      b. Función de parqueo.

#### 4.3.5 Usuario Administrador

Para controlar el sistema de dispositivos activos e inactivos se tiene un tipo de usuario el cual se denomina *usuario administrador*, el cual tiene acceso desde una computadora y además cuenta con su propia aplicación independiente la cual está disponible para dispositivos de computo que usen Windows 10.

Para la aplicación administrativa se hizo uso de NetBeans con el fin de crear la interfaz del servidor y la puerta de enlace. Al igual que en la aplicación usuario cliente, el usuario administrativo

cuenta con un Login (Figura 15) en la cual el administrador debe ingresar con su nombre de usuario y contraseña (hay dos formas de generar un usuario administrador, la primera es registrar al usuario directamente en la base de datos con PHPmyadm desde Xampp y la segunda es que un miembro administrador asigne directamente a un usuario administrador).

Figura 15. *Login usuario administrador.*



Cuando se obtiene acceso administrativo se observa la interfaz del servidor del sistema (Figura 16) donde se puede observar la información recibida por el receptor (Estación base) el cual está conectado a un computador por medio de un PUERTO COM (COM3). Ya dentro del servidor el usuario administrador tiene opciones como de cambiar el puerto de lectura (COM) del receptor, desconectar el servidor, limpiar datos del servidor y administrar de manera manual el sistema de usuarios y dispositivos.

Figura 16. *Interfaz servidor del sistema.*

**SERVIDOR RECEPTOR DE POSICIONES**

**DATOS RECIBIDOS**

| ID DISPOSITIVO | LATITUD  | LONGITUD   | ESTADO ALMACEN | NIVEL BATERIA |
|----------------|----------|------------|----------------|---------------|
| 0001           | 7.049754 | -73.078973 | GUARDADO       | 84            |
| 0001           | 7.049751 | -73.078974 | GUARDADO       | 83            |
| 0001           | 7.049748 | -73.078974 | GUARDADO       | 83            |

**CONEXION RECEPTOR**

PUERTO COM  
COM3

DESCONECTAR

LIMPIAR TABLA

ADMINISTRAR

SALIR

En la sección de administrar (Figura 17) se puede agregar y eliminar usuarios y dispositivos, así como vincularlos y desvincularlos entre ellos además de poder ver la ubicación en tiempo real de cada dispositivo que esté conectado (Figura 18). Por cuestiones de privacidad de usuarios no está habilitada la opción de ver el dispositivo móvil Android en el mapa, aunque es posible habilitarla si el usuario da permisos adicionales.



## 5. Pruebas de Cobertura

En este capítulo se presenta el mapa de cobertura para las zonas de parqueo de bicicletas dentro del campus de la universidad, con el fin de determinar la ubicación del dispositivo LoRa conectado a la plataforma IoT o estación base.

### 5.1 Implementación de la estación base

A continuación, se presentan los requerimientos, parámetros importantes y características de los dispositivos que se establecieron para la implementación de la estación base de la red LPWAN con tecnología LoRa:

**Línea de Vista:** Para el establecimiento de comunicación mediante de una red LPWAN es requisito que exista línea de vista entre los dispositivos, esta puede ser libre o con pocos obstáculos. (Nakamura Pinto, 2018)

**Banda de frecuencias:** La red LPWAN se implementó usando dispositivos LoRa, diseñados para trabajar en bandas de frecuencias de radioaficionados para distintas regiones del mundo; por lo tanto, se hizo uso de la banda de 915 [MHz] permitida en Colombia. (Tapia, 2018)

### Características de las antenas empleadas en los módulos LoRa SX1278

- Ganancia de transmisión: 5 [dBi].
- Ganancia de recepción: 3 [dBi].
- Tipo de antena: monopolo.

- Ángulo: 90 grados
- Altura: 1 metro

### **Características de los módulos LoRa SX1278:**

- Potencia de transmisión: 20[dBm].
- Sensibilidad: -120 [dBm]

## **5.2 Ubicación de la estación base**

A continuación, se detalla la metodología utilizada para encontrar una ubicación a la estación base que ofreciera un buen desempeño al sistema; se listaron las zonas de parqueo de bicicletas dentro del campus y se evaluaron ubicaciones en la cima de algunos edificios para la ubicación de la estación.

### ***5.2.1 Ubicaciones de parqueo de bicicletas dentro del campus***

El sistema planteado tiene como prioridad las zonas de parqueo establecidas por las directivas de la universidad, por lo cual se hace énfasis en la calidad de la cobertura en dichas ubicaciones.

Figura 19. Zonas de estacionamiento de bicicletas dentro del campus de la UIS.



\* Universidad Industrial de Santander. (2015). Mapa del campus.

Nota. Recuperado de: [Figura] <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/visitenos/mapaCampus/mapaCampus.pdf>

### ***5.2.2 Posibles ubicaciones para la estación base***

De entre todos los edificios de la universidad, se eligieron 3 con base en su altura y localización dentro de campus:

- Auditorio Luis A. Calvo.
- Edificio de Ciencias Humanas (Grupo Halley) .
- Biblioteca.

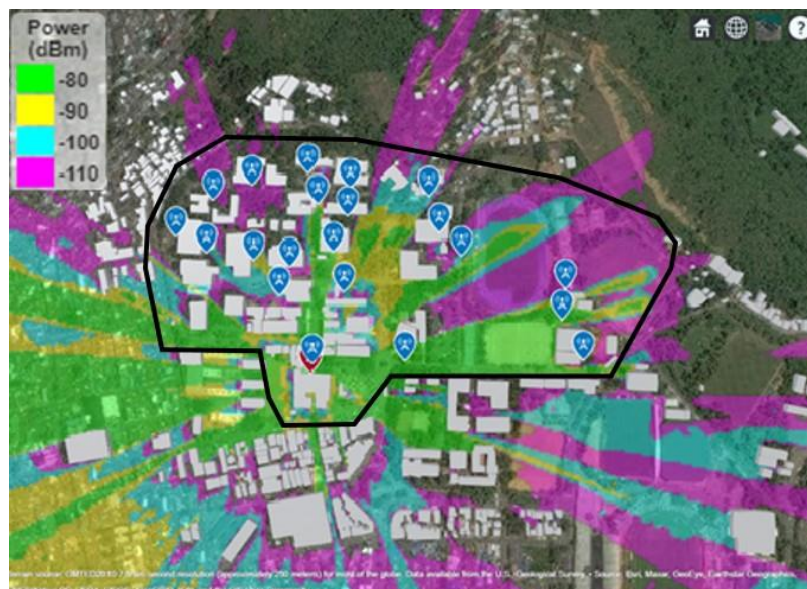
### 5.3 Mediciones

Se realizaron mediciones de potencia de señal recibida en cada una de las ubicaciones de parqueo para bicicletas mediante simulaciones a través la herramienta MATLAB, su toolbox de Antenas y el proyecto OpenStreetMap . Los resultados de las mediciones de potencia de señal recibida se registraron en la Tabla 4

#### 5.3.1 Mapas de cobertura

Mediante imágenes generadas en Matlab se muestra la distribución de potencia por todo el campus de la UIS, además permiten confirmar la cobertura y la calidad de la señal recibida en cada zona de estacionamiento para bicicletas (Ariza Hurtado Ronald, 2020).

Figura 20. Mapeo de cobertura con estación base en edificio de ciencias humanas.



\*Ayuda de Matlab Antenna Toolbox

En la Figura 20 se observa que ubicar la estación base en la cima del edificio de ciencias humanas de la UIS, ofrece buena cobertura en la parte sur del campus y su zona central, pero en los puntos de estacionamiento más al norte y al occidente es evidente que esta ubicación no presenta los mejores resultados a pesar de ser uno de los edificios más altos de la universidad.

Figura 21. Mapeo de cobertura con estación base en el auditorio Luis A. Calvo.



\*Ayuda de Matlab Antenna Toolbox

En la Figura 21 se observa que ubicar la estación base en la cima del edificio del auditorio Luis A. Calvo de la UIS, garantiza una buena cobertura en la mayor parte del campus de la universidad, a pesar de no cubrir algunas zonas de estacionamiento en los edificios de la parte noroccidental, se obtienen buenas medidas de potencia de señal recibida presentadas en la Tabla 4

Figura 22. Mapeo de cobertura con estación base en edificio de Biblioteca.



\*Ayuda de Matlab Antenna Toolbox

En la figura 22 se observa que ubicar la estación base en la cima del edificio de la biblioteca de la UIS, satisface con buena cobertura las zonas de estacionamiento de la parte oriental del campus mas allá de la biblioteca, la zona más hacia el sur (entrada carrera 27) y una parte en la zona noroccidental. Sin embargo, en la parte occidental que se encuentra más poblada con edificios, el mapa de cobertura indica muchos puntos con muy baja potencia de señal recibida, esta información se presenta más detalladamente en la Tabla 4

Los resultados brindan gran información para concluir que la cima del edificio del auditorio Luis

A. Calvo es una buena ubicación para el escenario de una única estación base para la red LPWAN del sistema.

Tabla 4. *Potencia de señal recibida en cada zona de estacionamiento.*

| Puntos de parqueo                    | Coordenadas<br>Latitud, Longitud | Edificio            | Auditorio Luis A. | Edificio Ciencias |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
|                                      |                                  | Biblioteca<br>[dBm] | Calvo [dBm]       | Humanas. [dBm]    |
| Canchas                              | 7.140341, -73.117805             | -107.7305           | 84.2319           | -110.0833         |
| Gimnasio                             | 7.139403, -73.117587             | -102.8895           | -101.4605         | -104.0534         |
| Coliseo                              | 7.139938, -73.117858             | -106.6748           | -84.4873          | -105.9559         |
| Bienestar<br>Universitario           | 7.141581, -73.119639             | -71.8126            | -736513           | -91.6313          |
| Estadio Iro de<br>Marzo              | 7.140777, -73.119200             | -93.3450            | -70.1031          | -108.2576         |
| Auditorio Luis A<br>calvo            | 7.139394, -73.119967             | -98.4125            | -68.3261          | -98.0690          |
| Edificio de<br>admisiones            | 7.141077, -73.119504             | -94.4054            | -78.4878          | -99.4531          |
| Biblioteca                           | 7.140837, -73.120940             | -62.0617            | -70.9632          | -81.9979          |
| Instituto de Lenguas                 | 7.141317, -73.120750             | -64.4419            | -73.9184          | -85.0197          |
| Edificio de<br>ingeniería mecánica   | 7.140300, -73.120793             | -61.7415            | -65.8621          | -73.8002          |
| Laboratorios de<br>Alta tensión      | 7.141816, -73,122211             | -70.1675            | -80.8093          | -82.7293          |
| Edificio de ciencias<br>Humanas      | 7.139349, -73.121215             | -87.7817            | -70.7933          | -52.0712          |
| Edificio de<br>ingeniería Industrial | 7.141702, -73.120724             | -83.5414 -          | -75.4624          | -83.8107          |
| Edificio E3t<br>Edificio de diseño   | 7.141917, -73.121306             | -77.5582            | -78.5148          | -81.9164          |

| Puntos de parqueo   | Coordenadas          |          | Edificio            | Auditorio Luis A. | Edificio Ciencias |
|---|----------------------|----------|---------------------|-------------------|-------------------|
|   | Latitud, Longitud    |          | Biblioteca<br>[dBm] | Calvo [dBm]       | Humanas. [dBm]    |
| industrial Mamitza  |                      |          |                     |                   |                   |
| Bayer   |                      |          |                     |                   |                   |
| Edificio Camilo<br>torres y laboratorios<br>livianos                    | 7.140253, -73.121662 | -69.1771 | -74.8135            | -70.1254          |                   |
| Edificio de<br>ingeniería Química                                       | 7.140722, -73.122017 | -68.6569 | -79.6971            | -78.5708          |                   |
| Edificio Centic   | 7.140633, -73.121522 | -61.8749 | -75.1872            | -76.4169          |                   |
| Escuela de<br>ingeniería de<br>sistemas                                 | 7.141049, -73.123114 | -80.5108 | -86.2227            | -84.6648          |                   |
| Edificio de<br>ingeniería<br>Metalúrgica y<br>ciencia de<br>materiales. | 7.140827, -73.122674 | -77.7174 | -84.7534            | -82.5306          |                   |
| Edificio de Escuela<br>de Música  | 7.141548, -73.122611 | -73.7207 | -83.4744            | -83.1793          |                   |

## 6. Conclusiones

El impulso a nivel mundial por el uso de la bicicleta como un medio de transporte saludable y amigable con el medio ambiente se ve reflejado en las campañas y recursos que se invierten a diario por parte de gobernantes y dirigentes de organizaciones e instituciones para masificar su

despliegue. La comunidad universitaria no es ajena a esta iniciativa, desde nuestra perspectiva como estudiantes observamos como la tendencia del número de bici usuarios dentro del campus de la UIS es creciente, razón por la que en este documento se presentó una alternativa que pretende contribuir a que este dinamismo mantenga su rumbo y se direcciona hacia un medio de transporte inteligente.

El internet de las cosas por sus ventajas expuestas en este documento, se presenta como una alternativa de comunicación entre objetos y usuarios con alto impacto y despliegue por el mundo, con el paso de los días es más frecuente encontrar el desarrollo de sistemas IoT en múltiples aplicaciones y diferentes formas de implementación en especial en sistemas de transporte inteligente, lo que sugirió el aprovechamiento de este concepto como base para el diseño e implementación del sistema de geolocalización descrito en los capítulos anteriores.

Los sistemas embebidos, de comunicación e instrumentación que existen actualmente, responden a los requerimientos que surgen en el campo de investigación tratado, para la inclusión de nuevas tecnologías en este diseño, se recurrió a instrumentos de fácil acceso y bajo costo. De acuerdo con esto, se realizó una evaluación de las posibilidades que se presentan en el mercado y se hizo la correspondiente elección de los instrumentos a utilizar. La arquitectura de red LoRa por ejemplo nos ha permitido establecer un enlace de comunicación de gran alcance con bajo presupuesto, como parte de la solución de la problemática de comunicación de este proyecto.

Finalmente, durante el desarrollo de la investigación se identificó, que la necesidad de garantizar una cobertura optima dentro de áreas urbanas es un problema común en los sistemas de comunicación actuales, ya que por las condiciones geográficas y edificaciones de gran magnitud se producen puntos ciegos o zonas oscuras, a las que se plantea dar solución en el trabajo futuro de este proyecto.

## **7. Trabajo a futuro**

Para la implementación de un sistema de geolocalización para bicicletas en la UIS que cumpla con toda la demanda se plantea: reconstruir los PCB con los microcontroladores y módulos LoRa para reducir el tamaño y consumo energético, la implementación de estaciones bases adicionales que permitan cubrir de mejor manera todas las zonas de estacionamiento para bicicletas y sus inmediaciones buscando mejorar la potencia de señal recibida en cada una de estas, agregar otro tipo de alarmas o servicios mediante la aplicación móvil o el dispositivo en la bicicleta, trasladar todo a un servidor de acceso público, en este proyecto el servidor se manejó de manera local. Además, se espera que con el sistema implementado de modo masivo en la ciudad de Bucaramanga, se puedan trazar las rutas más usadas por los bici usuarios, esto a largo plazo podría dar información vial para un servicio de ciclo vías en el área metropolitana de la ciudad.

### Referencias Bibliográficas

- Aloÿs and Yi, A., Jiazi and Clausen, Thomas and Townsley, & William, A. (2016). Study of LoRa: Long Range Low Power Networks for the Internet of Things,. Retrieved 2020
- Ariza Hurtado Ronald, C. N. (2020). Estudio de cobertura de radiofrecuencia y potencia para el rediseño. Retrieved 2020
- Behrendt, F. (2016). Why cycling matters for smart cities. internet of bicycles for intelligent transport. *Journal of Transport Geography*, 56:157–164.
- Balliu Musard, B. I. (2019). Securing IoT Apps, .
- Behrendt Frauke. (2016). Why cycling matters for Smart Cities. Internet of Bicycles for Intelligent Transport. *Journal of Transport Geography*, 156 -164. Retrieved 2020
- Burd, A. B. (2007). *Java for Dummies*. 4th ed. Hoboken, NJ : John Wiley and Sons, Inc. [US].
- Castillo, L. & Dimas, J. (2018). *ANDROID STUDIO - Aprende a desarrollar aplicaciones*. Alfaomega, RC Libros.
- D. H. Kim, J. B. (2017). Design and implementation of object tracking system based on LoRa, 2017. International Conference on Information Networking (ICOIN), 463-467 . Retrieved 2020
- Drongelen, M. V. (2015). *Android Studio Cookbook*. Birmingham, UK : Packt Publishing.
- Guillermo, S. (2019). *Internet de las cosas con ESP8266*. Alfaomega, Marcombo.
- Franco Cordero, L. (2014). La movilidad sostenible en campus universitarios: una comparación de las mejores prácticas en Estados Unidos y Europa. Aplicabilidad en universidades venezolanas. Retrieved 2020
- Holler, J., Karnouskos, S., Boyle, D., Avesand, S., Tsiatsis, V., & Mulligan, C. (2014). *From Machine-to-Machine to the Internet of Things*. Burlington : Academic Press.

- Jímenez, M. A. L. (2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en estanques psíquicos basado en el internet de las cosas (iot). Tesis de pregrado (ingeniería electrónica), Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Kim, D. H. (2017). Design and implementation of object tracking system based on LoRa. Retrieved 2020
- Lin, C., Lai, Y., Wang, C., Tsai, L., & Wang, J. (2019). Development and implementation of solar-assisted electric bicycle with gps tracking service over cloud. En 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW), pp. 1–2.
- Lockhart, L. E. (2019). Java programming language. Retrieved 2020
- LoRa Alliance. (2015). LoRaWAN A technical overview of LoRa and LoRaWAN. Retrieved 2020
- Lockhart, L. E. A. (2019). *Java programming language*. Salem Press Encyclopedia.
- Magrin, D., Centenaro, M., & Vangelista, L. (2017). Performance evaluation of lora networks in a smart city scenario. En 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1–7.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT Express*, 5(1):1 – 7.
- Nakamura Pinto, M. K. (2018). Un sistema de mensajería instantánea basado en Lora. Retrieved 2020
- Namiot, D. & sneps sneppe, M. (2019). On bikes in smart cities. *Automatic Control and Computer Sciences*, 53:63–71.
- Nixon, R. (2019). *Aprender PHP, MySQL y JavaScript*. Marcombo.
- Palaniswami, G. a. (2012). Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. Retrieved 2020

- Patel, D. & Won, M. (2017). Experimental study on low power wide area networks (lpwan) for mobile internet of things. En *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pp. 1–5.
- Petäjäjärvi, J., Mikhaylov, K., Roivainen, A., Hanninen, T., & Pettissalo, M. (2015). On the coverage of lpwans: range evaluation and channel attenuation model for lora technology. En *2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, pp. 55–59.
- Petäjäjärvi, J., Mikhaylov, K., Pettissalo, M., Janhunen, J., & Iinatti, J. (2017). Performance of a low-power wide-area network based on lora technology: Doppler robustness, scalability, and coverage. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(3):1–8.
- Shashi Banzal. (2017). Learning XML. Retrieved 2020
- Seye, M. R., Gueye, B., & Diallo, M. (2017). An evaluation of lora coverage in dakar peninsula. pp. 478–482.
- Suarez, S. F. M. & Torres, D. Y. C. (2020). Diseño y construcción de un módulo electrónico de bajo costo. Tesis de pregrado (ingeniería electrónica), Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Tapia, J. I. (2018). Implantación De Una LPWAN Para Monitoreo De Temperatura Y Humedad En Un Invernadero. Retrieved 2020
- Yobany E. Chitiva. B. (2020). Internet of Things (IoT) Diseño de una Red de Iot para el Hogar. Retrieved 2020
- Yousuf, A. M., Rochester, E. M., Ousat, B., & Ghaderi, M. (2018). Throughput, coverage and scalability of lora lpwan for internet of things. En *2018 IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*, pp. 1–10.