

Smart Parking Prototype for Bicycles using IoT technology

Federico Felipe-Durán, Ing.¹, Juan Pablo Francisco Posadas-Durán, Dr.¹ and Miguel Sánchez-Meraz, M. en C.¹

¹Instituto Politécnico Nacional, México, ffelipe@ipn.mx, jposadasd@ipn.mx, mmeraz@ipn.mx

Abstract— In this work, a prototype of intelligent parking for bicycles using IoT is presented. A load sensor is placed on each parking space to report its availability to an Arduino board. The board is responsible for basic sensing operations and transmits occupancy information to a web server using LoRA technology. A server hosts the database that registers the users and the information on the occupation of the parking spaces. Through a Web page, it is possible to visualize the occupation of the spaces, and it also allows to reserve drawers during a window of time. These operations allow the parking lot user to make trips knowing the availability of spaces and even make a reservation, reducing travel time.

Keywords—Smart Parking, Bicycle, IoT, Smart Cities, Smart Campus Zacatenco.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.193>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Prototipo de Estacionamiento Inteligente para Bicicletas utilizando tecnología IoT

Federico Felipe-Durán, Ing.¹, Juan Pablo Francisco Posadas-Durán, Dr.¹ and Miguel Sánchez-Meraz, M. en C.¹

¹Instituto Politécnico Nacional, México, ffeipe@ipn.mx, jposadas@ipn.mx, mmeraz@ipn.mx

Abstract— *In this work, a prototype of intelligent parking for bicycles using IoT is presented. A load sensor is placed on each parking space to report its availability to an Arduino board. The board is responsible for basic sensing operations and transmits occupancy information to a web server using LoRA technology. A server hosts the database that registers the users and the information on the occupation of the parking spaces. Through a Web page, it is possible to visualize the occupation of the spaces, and it also allows to reserve drawers during a window of time. These operations allow the parking lot user to make trips knowing the availability of spaces and even make a reservation, reducing travel time.*

Keywords—Smart Parking, Bicycle, IoT, Smart Cities, Smart Campus Zacatenco.

Resumen— *En este trabajo se presenta un prototipo de estacionamiento inteligente para bicicletas usando IoT. Se coloca un sensor de carga en cada espacio de estacionamiento para informar su disponibilidad a una placa Arduino. La placa es responsable de las operaciones básicas de detección y transmite la información de ocupación a un servidor web utilizando la tecnología LoRA. Un servidor aloja la base de datos que registra a los usuarios y la información sobre la ocupación de las plazas de aparcamiento. Mediante una página Web se puede visualizar la ocupación de los espacios, y además permite reservar cajones durante una ventana de tiempo. Estas operaciones permiten al usuario del estacionamiento realizar viajes conociendo la disponibilidad de espacios e incluso realizar una reserva, reduciendo el tiempo de viaje.*

Palabras clave— Estacionamiento inteligente, bicicletas, IoT, Ciudad Inteligente, Smart Campus Zacatenco.

I. INTRODUCCIÓN

Los medios de transporte han evolucionado a través de los siglos para facilitar los desplazamientos que hace el ser humano o bien sus bienes que necesita mover de un lugar a otro. Desde la invención de la rueda, aproximadamente cinco mil años antes de Cristo, hasta los transportes aeroespaciales los medios de transporte tienen una amplia variedad de vehículo y tecnologías asociadas a ellos. Cada tecnología tiene sus ventajas y puntos en contra, tal vez el mayor punto sea la contaminación que generan de una u otra forma. Otros problemas se asocian a cada medio, ruido que generan, eficiencia energética, el tamaño físico del medio de transporte, incluso su aspecto visual.

En las ciudades modernas las desventajas que tienen los medios de transporte son más visibles porque afectan de una u otra forma a miles de personas cada día. Un vehículo

altamente contaminante genera partículas que afectan a muchísimas personas, los aviones, sobre todo cuando despegan provocan niveles de ruido que afectan a las personas. Los gobiernos de las ciudades tienen la disyuntiva de generar políticas que privilegien los medios masivos de transporte o bien los privados, sin embargo, dada la capacidad y velocidad en las ciudades deben promover los medios masivos.

Una alternativa de medio de transporte que se promueve en las ciudades modernas es la bicicleta, los problemas que origina son menores, la contaminación es inexistente, el ruido generado es muy bajo y tiene la ventaja para la salud de las personas por el ejercicio realizado. Pero, también le genera problemas a las Ciudades, éstas deben dedicar carriles exclusivos para bicicletas con la consiguiente disminución de carriles para autos y camiones, también debe dedicar espacios para estacionarlas y tener un mínimo de seguridad para ellas. En algunas Ciudades se tienen pocos espacios para bicicletas y los espacios dedicados no son los más adecuados. Hoy en día existe una política a nivel mundial que se refiere a convertir las ciudades en inteligentes utilizando Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, esto es ciudades que sean más eficientes, más amigables con el ser humano y que permitan el desarrollo de sus ciudadanos en todos los sentidos, este proyecto implementa un estacionamiento inteligente para bicicletas combinando Internet de las Cosas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para hacer más eficiente de bicicletas en un prototipo de ciudad inteligente denominado Smart Campus Zacatenco.

II. ESTADO DEL ARTE

Los estacionamientos de bicicletas públicos de la Ciudad de México son bastante simples, por lo general tienen una entrada con controles muy básicos o inexistentes, los lugares donde se colocan las bicicletas son barras de acero con algún aditamento para que el propietario de la misma la sujete con alguna cadena y candado, en algunos lugares se puede colgar la bicicleta, manualmente y asegurarla de la misma manera. Tal vez el sistema más avanzado se encuentra en estaciones del tren suburbano de la misma ciudad en donde la entrada y salida se realiza por medio de un torniquete que realiza el cobro del estacionamiento de la bicicleta por medio de una tarjeta de prepago.

El gobierno de la Ciudad de México tiene a disposición de la población el sistema conocido como ECOBICI (ver Figura 1) que permite utilizar una bicicleta por cuarenta y cinco minutos en recorridos ilimitados y entregarla en cualquier estación del sistema, actualmente cuenta con cuatrocientas

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.193>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

ochenta estaciones y seis mil quinientas estaciones. El sistema funciona con suscripciones desde un día hasta un año y ya sea por medio de una tarjeta de prepago o una aplicación celular se puede utilizar el sistema [1].



Fig. 1 Estacionamiento típico de bicicletas CDMX

Existen varios trabajos y estudios sobre el uso de bicicletas y estacionamientos de estas en campus universitarios. En China se realizó un estudio para conocer el comportamiento de los viajes en estos vehículos y así tener un pronóstico de tales desplazamientos, también se desarrolló un sistema de gestión de tal información para registrar la demanda de viajes, de esta forma el sistema público de bicicletas puede funcionar mejor al poder pronosticar los desplazamientos de los usuarios del sistema y proporcionar los vehículos necesarios en el lugar adecuada y con la cantidad necesaria. [2].

Otro trabajo se enfoca en diseñar un sistema inteligente de estacionamiento de bicicletas basado en IoT, el diseño presentado describe cinco módulos principales, el primero se encarga de identificar usuarios por medio de una tarjeta RFID, se proponen un conjunto de lectores de esa tecnología en cada una de las entradas del sistema. El siguiente módulo, llamado Centro de Control es para almacenar y manejar la información de los usuarios, contiene los algoritmos de manejo de los lugares para estacionar las bicicletas, se propone el uso de varios servidores para manejar la información. El siguiente módulo se encarga del control y seguridad física de las bicicletas, por medio de una tarjeta RFID y sus respectivos lectores se puede estacionar una bicicleta o bien retirarla, todo esto en comunicación con el Centro de Control que recibe información de los eventos, incluso podría bloquear de forma remota los candados. El siguiente módulo se enlaza con este porque está dedicado a la seguridad, en caso de tres intentos fallidos de retirar una bicicleta se activa una alarma, en casos de fallas de energía eléctrica, en intentos de violar los candados también se activará la alarma e incluso se envían mensajes SMS a los propietarios de las bicicletas. Por último, se tiene la interfaz de usuario que ayuda a operar el sistema y le permite al usuario, entre otras cosas, localizar espacios

vacíos en los estacionamientos o bien recordarle al usuario en que lugar dejó su bicicleta [3].

Otros trabajos se han enfocado, dado el crecimiento que tiene el uso de estos vehículos en el mundo, a optimizar el espacio donde se estacionan y automatizar su manejo. Un proyecto de este tipo fue desarrollado a escala, consta de tres niveles con cajones en cada uno de ellos, un elevador para subir las bicicletas que puede girar 360 grados, de esa manera se triplica el espacio. Las áreas funcionales que conforman el prototipo son la Entrega/Recepción de la bicicleta, el usuario se presenta en una bahía de admisión, en ese lugar se le coloca en un mecanismo para su movimiento, esa es la segunda etapa funcional, porque el mecanismo se encarga de llevar la bicicleta a un lugar disponible en cualquiera de los tres niveles del prototipo. Esa es la última etapa funcional, la de almacenamiento porque el vehículo quedará ahí hasta que el usuario regrese por ella. El proyecto se centra en la construcción de los dispositivos mecánicos, como las barras transportadoras, el elevador, también cuenta con dos microcontroladores de la empresa Microchip para realizar las tareas de control del sistema. La Figura 2 muestra parte del subsistema de sujeción y desplazamiento de las bicicletas [4].

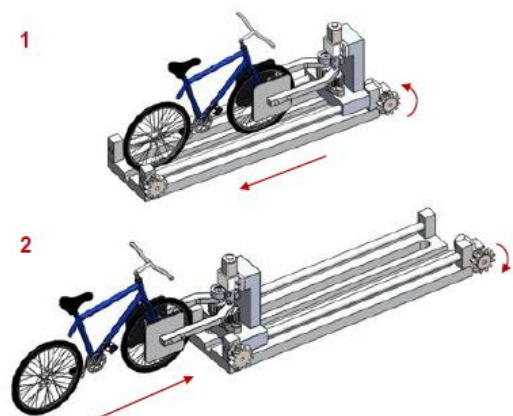


Fig. 2 Sujeción y desplazamiento de bicicletas

En otro trabajo, realizado en Japón se han enfocado en la seguridad de las bicicletas, Japón es uno de los países del mundo donde se usan más bicicletas en las ciudades y uno de sus grandes problemas es el robo de las mismas, el sistema desarrollado considera varios parámetros que van desde las características de la bicicleta, algunas son más atractivas para los ladrones, las características regionales del lugar donde se estaciona, horas, días y temporadas en que se estaciona a parámetros del medio como sensorar la presencia de personas, la cantidad de iluminación en el lugar, el clima, temperatura y humedad. El prototipo se ha construido y las pruebas a las que se ha sometido han demostrado una disminución de los robos [5].

III. MARCO TEÓRICO

Según datos del Instituto Nacional de Geografía y Estadística la Ciudad de México tiene 2.7 millones de hogares, de los cuales el 20% cuenta con una o más bicicletas, esto es alrededor de medio millón de hogares, si en cada hogar se usará dos veces tal medio de transporte se tendrían, al menos un millón de viajes diarios con distintos destinos como mercados, trabajos asistencia a escuelas o a centros de esparcimiento. El problema presente en la Ciudad de México es la poca cantidad de estacionamientos y espacios para bicicletas y la poca seguridad que se les brinda a tales vehículos, en la gran mayoría la herramienta de seguridad es una cadena y un candado que el propietario de la bicicleta usa para fijarla a algún tubo o estructura de acero [6].

Según estudios históricos, las primeras ciudades nacieron entre los ríos Tigris y Éufrates en la región conocida como Mesopotamia, las primeras ciudades ya contaban con una organización y servicios para su población como vigilancia o servicio de agua disponible de sus habitantes. Por lo tanto, se tiene que las ciudades han evolucionado y mejorado sus actividades y servicios por cerca de siete mil años hasta la actualidad, hoy se considera que una ciudad moderna debe ser eficiente para proporcionar a sus habitantes servicios de salud, agua, energía, transporte, educación, y actividades económicas que permitan a sus habitantes una vida digna y sustentable.

A fines del siglo pasado y principios del presente surgió un concepto que llama a ciertas ciudades inteligentes, este concepto ha permeado en los políticos de muchos países y se tiene como meta para tales ciudades en convertirse en Ciudades Inteligentes, para los gobiernos de otras naciones, cuando se inician desarrollos de nuevas ciudades se siguen los principios para que sean consideradas dentro de esa categoría. También existen varios organismos a nivel nacional o internacional que dedican esfuerzos para desarrollar estándares, recomendaciones e investigaciones sobre ciudades inteligentes. Los principales son:

La Organización Internacional de Estándares (ISO por sus siglas en inglés) que ha desarrollado la norma ISO 37000, enfocada en establecer una referencia para mejorar en aspectos sociales, ambientales económicos y económicos de forma sustentable. Su estándar abarca dieciocho dominios que definen normas para el manejo de residuos sólidos o basura, salud, manejo de energía, servicios de telecomunicaciones hasta servicios espacios de recreación. Sus normas son bastante sofisticadas, por ejemplo, en alguna de ellas específica el porcentaje de basura plástica que es reciclada en una ciudad en especial [7].

Otra organización es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por sus siglas en inglés) ha creado una comisión de estudio, la 20 UIT-T, para apoyar a gobiernos, empresas del sector privado, organizaciones civiles, universidades y en general a cualquier persona o ente individual para mejora la seguridad, la fiabilidad y la interoperabilidad de la infraestructura urbana de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC's) en las ciudades

modernas. Dada la naturaleza de la ITU sus trabajos se enfocan en las tecnologías más recientes que pueden soportar a una ciudad de este tipo como Internet de las Cosas (IoT), tecnología 5G, la inteligencia artificial, cadenas de bloques, mejor conocida como Block Chain, entre otras [8].

También el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) tiene un capítulo dedicado a las Ciudades Inteligentes, para ellos una ciudad inteligente debe enfocarse en cinco áreas prioritarias, manejo inteligente de Agua, Energía, Movilidad urbana, Agricultura y Alimentación, Salud y Manejo de Basura o Residuos. También cuenta con un Comité de Estándares, es importante aclarar que no son obligatorios, pero varios de ellos se han impuesto en la industria y de facto son obligatorios en el mundo como el estándar Ethernet para redes de área local o bien el 802.11 para redes locales inalámbricas. Las actividades que realizan para impulsar el desarrollo de las ciudades inteligentes abarcan la realización de congresos con esa temática, revistas y magazines para difundir avances en las llamadas Smart Cities. También cuentan con un comité de estándares que dedican sus esfuerzos para definir ciudades inteligentes, se enfocan en la arquitectura de ellas en aspectos funcionales y sistemas para operación de las mismas [9] [10].

En México existe un Organismo Nacional de Normalización para las industrias Electrónicas, de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones llamado Normalización y Certificación Electrónica (NYCE). Fue creada en los años noventa del siglo pasado. Sus funciones son los servicios de certificación, inspección y capacitación en Normas Oficiales Mexicanas, Normas no obligatorias y de estándares internacionales. Su principal tarea se enfoca en las normas nacionales en colaboración con la ISO/IEC. Tiene un conjunto de normas dedicadas a las Ciudades Inteligentes y las Tecnologías que la soportan, como Internet de la Cosas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, ya tiene la norma mexicana NMX-I-4903-NYCE-2021 dedicada a los Indicadores Clave de Desempeño de una Ciudad Inteligente, que permiten tener una referencia con respecto a este trabajo [11].

Como puede observarse estos organismos se enfocan en un objetivo común, en algunos casos los temas se cruzan, aunque cada organismo trata de enfocarse en puntos no cubiertos por los otros. Además, cada organismo ha propuesto parámetros para hacer evaluables las características de una Ciudad Inteligente, estos son los Indicadores Clave de Desempeño o KPI's, por sus siglas en inglés La ISO ha realizado trabajos muy completos, como ya se mencionó y la ITU se ha enfocado en las telecomunicaciones que dan soporte a una ciudad inteligente.

El Internet de las Cosas (IoT) tuvo sus antecedentes en el control industrial de procesos con relevadores en la primera mitad del siglo XX, una vez que se desarrollaron las computadoras digitales y los primeros lenguajes de programación se tuvo la oportunidad de mejorar el control industrial y hacerlo más eficiente. Para mediados de los años 1960 General Motors lanzó un proyecto que arrojó como

resultado la tecnología de los Controladores Lógicos Programables de amplio uso en la industria del control. En los últimos veinte años han convergido una serie de tecnologías que han facilitado el control y lo han llevado a muchos ámbitos fuera del industrial, se considera que hay en el mundo alrededor de diez mil millones de dispositivos o cosas conectadas y no sólo en el área industrial, si no en lugares como los hogares de las personas, en hospitales, redes eléctricas, cadenas de suministro digitales, en la manufactura inteligente y en las llamadas Smart Cities. Las tecnologías que se han desarrollado y abaratado son los sensores de bajo costo y potencia, la conectividad a Internet, las plataformas de cómputo y almacenamiento en la nube, la inteligencia artificial, la analítica de datos y el aprendizaje automático [12].

En su versión más sencilla un nodo o punto IoT consiste de un sensor conectado a algún dispositivo, una computadora de tamaño reducido conectada al sensor realizando acciones de control, una conexión a Internet para compartir la información ya sea con una computadora central o servidor, en la nube o una aplicación de dispositivo móvil. Tampoco es raro que un sistema más potente comparta la información y el control remoto con las tres entidades [13].

Para la comunicación de un nodo de IoT se pueden utilizar diferentes tecnologías para Internet, la más simple es un cableado Ethernet a un servidor, otra de muy amplio uso es WiFi, por la facilidad de implementación y su uso amplio y extensivo en los medios urbanos de todo el mundo, una ventaja que tiene esta tecnología es que está disponible en los teléfonos celulares modernos, lo que le da una disponibilidad prácticamente desde cualquier lugar. La Figura 3 muestra la arquitectura general de un sistema IoT.

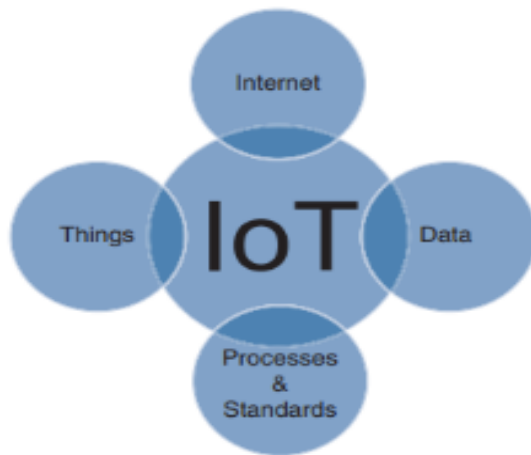


Fig.3 Diagrama de nodo IoT

Otra tecnología inalámbrica es LoRA, ya desarrollada para aplicaciones en comunicaciones espaciales y militares, presenta varias ventajas con respecto a WiFi debido a estar orientada a este tipo de proyectos, algunas de ellas son su

mayor alcance y la alta duración de tiempo de operación de sus equipos de transmisión.

Este trabajo se centra en la movilidad urbana eficiente o inteligente ya que proporciona un recurso para hacer más eficientes los desplazamientos en el Campus Zacatenco al reducir el tiempo de búsqueda de un cajón para bicicleta libre.

IV. DESARROLLO

El prototipo de estacionamiento que aquí se presenta fue construido con los siguientes módulos:

- Sensado y registro de cajón de bicicleta
- Comunicación con servidor vía red LoRA
- Implementación de Servidor de Datos
- Implementación de Página Web para interfaz de usuarios y registro de ocupación

Para determinar la ocupación de los cajones de estacionamiento se eligió un sensor de carga Naylamp modelo HX711, se puede calibrar para diferentes rangos de cargas, para este prototipo y después de hacer varias pruebas se configuró para cargas de cinco kilogramos. El sensor está diseñado para comunicarse con una computadora de placa reducida Arduino que entre las bibliotecas que incluye tiene una manejar tal sensor, aun así, se debe calibrar utilizando un peso conocido para generar un factor de escala y así detectar cuando se estaciona una bicicleta. Cada cajón cuenta con un indicador tipo led que se ilumina de acuerdo al estatus del cajón, luz roja para ocupado y luz verde para desocupado.

Para la siguiente etapa, la de transmisión se utilizó tecnología LoRA porque es una tecnología enfocada en Internet de las Cosas y además se ha decidido, que sea la tecnología para el Smart Campus Zacatenco, debido a la Pandemia de COVID 19, no se pudo utilizar la red LoRA ya instalada en el Campus y se realizaron pruebas de conexión punto a punto con antenas REAYX RYLR890 instaladas en el Arduino y el Servidor del prototipo. Para configurar las antenas y la transmisión se utilizaron comandos AT. El código AT y la biblioteca de funciones necesarias se muestran a continuación [14].:

```
#include <softwareSerial.h>
SoftwareSerial lora(7,6);
bits = String(acum);
String cmd;
cmd= cmd + "AT SEND=1",";" + bi_length + "," + "\r\n";
lora.print(cmd);
Serial.print("Send Data");
Serial.print(cmd)
```

Con el código anterior se establece la comunicación LoRA y es muy importante porque se transmite el estatus de los cajones de estacionamiento al servidor. El servidor realiza

varias tareas con esa información y además utiliza el mismo medio de comunicación para otras.

Posteriormente se procedió a configurar el servidor, para ello se utilizó XAMPP, una plataforma que contiene software para un servidor APACHE, MySQL como base de datos e intérpretes para los lenguajes de internet PHP y PERL, así como la utilidad PHPMyAdmin. También se instalaron Python, JavaScript. Para eso se utiliza un instalador desde Internet. El Servidor tiene varias tareas, la primera es la base de datos para manejar el conjunto de usuarios de los estacionamientos en una tabla, otra es para manejar el conjunto de estacionamientos y una más para el registro de las bicicletas de los usuarios [15] [16]. La Figura 4 muestra tales tablas:

est_bicis	est_usuarios	est_bicis_estacionamiento
id: int(20)	id: int(20)	id: int(12)
username: varchar(50)	tipo: varchar(50)	hora: timestamp
email: varchar(50)	marca: varchar(50)	disponibles: int(12)
password: varchar(50)	color: varchar(50)	ocupados: int(12)
mobtemp: varchar(20)	ruedas: varchar(120)	ent: int(20)
roles: varchar(50)		

Fig. 4 Base de dato del estacionamiento IoT.

Como se mencionó anteriormente el servidor realiza varias tareas, además de almacenar la base de datos y la página Web, una vez que se creó la base de datos se procedió a implementar la Página Web que sirvió como interfaz con los usuarios del estacionamiento. La página contiene varias vistas, una de ellas permite registrar usuarios del estacionamiento, pueden ser alumnos, profesores, personal administrativo y los administradores del sistema, otra vista es la de bienvenida o página de inicio. Una de las vistas más importantes es la vista para visualizar los lugares disponibles del estacionamiento prototipo. Las operaciones que se pueden realizar en esa página son la consulta de ocupación, la reserva de lugares. Esta parte es de suma importancia., un usuario puede realizar una reserva de lugar, esto implica que vaya directamente a un cajón específico de un estacionamiento específico sin gastar tiempo buscando un espacio disponible, esto es parte de la inteligencia del sistema aquí presentado. La reserva tiene un tiempo de vigencia, se programó por diez minutos, una vez que pasa ese tiempo, sino se ha ocupado el cajón pasa a disponible, es otra forma de hacer eficientes los desplazamientos de los usuarios, por un lado, el usuario puede ir directamente a un estacionamiento y cajón específico, por otro lado, si excede el tiempo otro usuario puede ocuparlo.

Es importante mencionar que al presentarse una imagen con la disponibilidad de los cajones libres y ocupados el usuario puede tomar decisiones para dirigirse a un estacionamiento con mayor disponibilidad, en lugar de realizar prueba y error hasta encontrar un lugar libre [17], la Figura 5 muestra un ejemplo de ocupación de un estacionamiento.



Figura 5. Ocupación de cajones

La Pandemia de COVID 19 impidió construir físicamente el estacionamiento de bicicletas en el Campus Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional de México, las pruebas fueron desarrolladas en un prototipo a escala, se utilizaron ocho sensores para las pruebas de bicicletas, por el mismo motivo las pruebas de transmisión LoRA fueron realizadas punto a punto, en lugar de utilizar una red ya instalada en Zacatenco. El servidor fue montado en un laptop. Todas las pruebas fueron satisfactorias, primero el registro de cajones con su respectivo indicador de ocupación, una vez que se ocupaban cambió el estatus del led y se realizó adecuadamente 1 transmisión vía LoRA al servidor.

La información de ocupación llegó, en cada prueba de forma correcta al servidor, en donde la página Web funcionó correctamente. Las operaciones de alta y baja de usuario se realizaron sin problemas en el sistema, la prueba de la página Web se hicieron con usuarios voluntarios que pudieron operarla después de una breve explicación. Por último, las pruebas de apartado de cajón fueron satisfactorias, tanto en la petición de apartado, la ocupación de este y la vigencia de diez minutos.

IV. CONCLUSIONES

Se ha presentado un prototipo de estacionamiento inteligente para bicicletas utilizando IoT, la primera etapa consiste en detectar el estado de los espacios para cajones de bicicletas, en la segunda se controlan por medio de un Arduino y el mismo Arduino se encarga de la comunicación LoRA al servidor, éste contiene las bases de datos para el sistema y aloja la página Web que permite las operaciones. Cada etapa funcionó correctamente.

Un trabajo futuro y altamente interesante es la construcción del estacionamiento y el aplicar las bondades de este prototipo y contribuir a tener bajo control la gran cantidad de bicicletas que llegan al Campus Zacatenco.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan en esta sección la colaboración brindada por los estudiantes Carlos Antonio Luna y Xóchitl Sarahí Olguín quienes implementaron la aplicación como parte de su proceso de titulación en la ESIME Zacatenco. También a los Sistemas de Becas por Exclusividad de la Comisión

Organizadora de Fomento a las Actividades Académicas y al Sistema de Estímulo al Desempeño Docente de la Secretaría Académica del Instituto Politécnico Nacional de México. También a la Secretaría de Investigación y Postgrado porque este trabajo se deriva de las actividades del proyecto de investigación **“Gestión de movilidad en un Campus Inteligente”**, clave 20220602.

REFERENCES

- [1] ECOBICI <https://ecobici.cdmx.gob.mx/conoce-sistema/>.
- [2] Yizhe, J. Lei, .Shuli, “Optimal Design and Management of Public Bicycle System for College Campus”, International Conference on Information, Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Kungming, China, J 2010.
- [3] Y. Huang, Z. Yang, S. Xiong “The research on the control algorithm of iot based bicycle parking system”. Proceedings of IEEE CCIS2012, Ottawa, Canada, 2010.
- [4] A. Castro, H. Durán, “Prototipo a escala de estacionamiento automatizado de bicicletas”, Tesis Profesional de Ingeniero en Mecatrónica, Instituto Politécnico Nacional, 2016, México.
- [5] K. Yamazaki, T. Nakajima, “A Risk Information Provision System on Bicycle Parking Lots”, International Congress on Internet of Things, Exeter, Union Kingdom, 2017.
- [6] Reforma, [“www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/utilizan-bici-en-20-de-hogares-inegi/ar2120818?referer=7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--”](https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/utilizan-bici-en-20-de-hogares-inegi/ar2120818?referer=7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--), consultado 30 de agosto del 2022.
- [7] International Standard Organization”, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37122:ed-1:v1:en> consultado 30 de Agosto del 2022.M. King and B. Zhu, “Gaming strategies,” in Path Planning to the West, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiada Press, 1998, pp. 158-176.
- [8] ITU [“https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/smart-sustainable-cities.aspx](https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/smart-sustainable-cities.aspx), consultado 30 de agosto del 2022.J.-G. Lu, “Title of paper with only the first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- [9] IEEE https://smartcities.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_Smart_Cities_Flyer_Nov_2017.pdf, consultado 30 de agosto del 2022.M. Young, *The Technical Writer's Handbook*, Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [10] IEEE, <https://engagestandards.ieee.org/smart-cities.html>, consultado 30 de agosto del 2022.
- [11] NYCE, <https://www.nyce.org.mx/>, consultado 30 de agosto del 2022.
- [12] ORACLE, www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/ Consultado 30 de agosto del 2022.
- [13] A. Rayes, S. Salam, “Internet of Things From Hype to Reality”, Second Edition, 2019, Springer Natures, Switzerland, pp 2-22.
- [14] SEMETECH, <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>.
- [15] H. Garcia-Molina, J. Ullman, J. Widom, “Database Systems: The Complete Book”, <http://infolab.stanford.edu/~ullman/dscb.html>
- [16] S. Suk-Hwan, K. Seong, Ch. Dae-Hyuk, I. Stroud, “Theory and Design of CNC Systems”, Springer-Verlag, USA, 2008, pp 229-269.
- [17] A. Ermolaev, Ch. Lee, “Implementing ITU-T International Standards to Shape Smart Sustainable Cities”, ITU, 2019, pp 13-22.