

Seguridad y eficiencia de redes LoRa y LoRaWAN para estacionamientos

Oscar Javier Martínez Arévalo

Asesor

Javier Enrique Arévalo Pena

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Especialización en Redes de Nueva Generación

2024

Tabla de Contenido

Introducción	6
Descripción de la Realidad Problemática	7
Antecedentes Teóricos	8
Definición del Problema General y Específicos	10
Problema General.....	10
Problemas Específicos	10
Marco Teórico de la investigación.....	11
Marco Histórico	11
Bases Teóricas	12
Objetivos, Delimitación, y Justificación de la Investigación.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Hipótesis, Variables, Definición Operacional	18
Supuestos Teóricos	18
Hipótesis General.....	18
Método, Técnica e Instrumento	22
Tipo de la Investigación.....	22
Diseño para Utilizar	22
Administración del Proyecto.....	26
Marco Conceptual.....	28
Historia de LoRa y LoRaWAN.....	28

Desafíos de Ciberseguridad en Redes LoRa y LoRaWAN	30
Marco Normativo y Regulatorio	32
Legislación	32
Estándares y Protocolos	33
Estudio de Casos y Mejores Prácticas	36
Caso de Estudio.....	43
Desafíos y Perspectivas Futuras.....	53
Conclusiones	56
Cronograma y Actividades	57
Presupuesto	59
Referencias Bibliográficas	60

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Cronograma de Actividades</i>	57
Tabla 2 <i>Presupuesto para el Proyecto de Investigación</i>	59

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama de bloques LoRa/LoRaWAN</i>	36
Figura 2 <i>Instalación de sensor piso parqueadero</i>	37
Figura 3 <i>Instalación de Gateway</i>	38
Figura 4 <i>Configuración de Gateway</i>	39
Figura 5 <i>CC Titán Plaza</i>	43
Figura 6 <i>Sensor magnético de piso</i>	44
Figura 7 <i>Sensor infrarrojo de techo</i>	45
Figura 8 <i>Actuador de ingreso</i>	46
Figura 9 <i>Pago por placa</i>	47
Figura 10 <i>Conteo de espacios libres</i>	47
Figura 11 <i>Izquierda, sensor rojo; sensor derecha sensor en verde_ resultado falla</i>	50

Introducción

En entornos urbanos cada vez más densamente poblados, la gestión eficiente de los espacios de estacionamiento se ha convertido en un desafío fundamental para mejorar la movilidad y reducir la congestión vehicular. La falta de sistemas adecuados de monitoreo y gestión dificulta la optimización de la utilización de estos espacios, lo que a su vez puede provocar largos tiempos de espera para los conductores y un aumento en la emisión de gases contaminantes.

En respuesta a esta problemática, la presente investigación se centra en el análisis de la tecnología LoRa (Long Range) y LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) para mejorar la gestión de estacionamientos urbanos. Estas tecnologías ofrecen una solución eficiente y rentable para la monitorización en tiempo real de la disponibilidad de espacios de estacionamiento, así como para la optimización de la asignación de estos espacios y el cobro automatizado de tarifas.

El uso de sistemas basados en LoRa y LoRaWAN promete no solo mejorar la experiencia de los usuarios al facilitar la búsqueda de estacionamiento, sino también contribuir a reducir la congestión vehicular, disminuir las emisiones contaminantes y aumentar la eficiencia en la gestión de recursos urbanos.

En esta investigación, se abordará el planteamiento del problema, el marco teórico, los objetivos del estudio, el método de investigación, la administración del proyecto, el cronograma de actividades, el presupuesto estimado y las referencias bibliográficas. Además, se presentarán los resultados obtenidos, las conclusiones alcanzadas y las recomendaciones para futuras investigaciones en el campo de la gestión inteligente de estacionamientos urbanos.

Descripción de la Realidad Problemática

La realidad problemática que enfrentan los estacionamientos urbanos es multifacética y abarca varios aspectos interrelacionados. En primer lugar, la creciente urbanización y el aumento del parque automotor han generado una demanda cada vez mayor de espacios de estacionamiento en áreas urbanas densamente pobladas. Esta demanda excede con frecuencia la oferta disponible de espacios de estacionamiento, lo que resulta en una escasez de lugares de estacionamiento y una mayor congestión vehicular en calles y áreas adyacentes.

La falta de información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios de estacionamiento es otro aspecto crucial de esta problemática. Los conductores suelen enfrentarse a la incertidumbre al buscar estacionamiento, lo que puede llevar a vueltas innecesarias y a la congestión del tráfico. Esta falta de información también puede afectar negativamente la experiencia del usuario, aumentando los tiempos de espera y generando frustración.

Además, la asignación ineficiente de espacios de estacionamiento es un desafío importante. En muchos casos, los espacios de estacionamiento están subutilizados debido a una asignación inadecuada o a la falta de mecanismos efectivos para gestionar la demanda en tiempo real. Esto conduce a una utilización ineficiente del espacio disponible y a la pérdida de oportunidades para optimizar la gestión de estacionamientos.

Otro aspecto crítico es la ausencia de sistemas automatizados para el cobro de tarifas de estacionamiento. La mayoría de los sistemas de pago de estacionamiento aún dependen de métodos tradicionales, como los parquímetros o los boletos de papel, lo que puede resultar en largas filas y demoras en el proceso de pago. Además, estos sistemas pueden ser propensos a

errores y a la evasión de pago, lo que afecta negativamente la viabilidad económica de los estacionamientos y reduce los ingresos generados.

Antecedentes Teóricos

Los antecedentes teóricos en el contexto de la gestión de estacionamientos urbanos con tecnología LoRa y LoRaWAN se fundamentan en varios conceptos y teorías relevantes:

Tecnología LoRa y LoRaWAN: La tecnología LoRa (Long Range) y LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) se han establecido como soluciones eficientes para la comunicación de dispositivos IoT a largas distancias con bajo consumo de energía. Estas tecnologías permiten la conectividad de dispositivos a una red de área amplia, lo que resulta ideal para aplicaciones de monitoreo y gestión en entornos urbanos. (Becolve Digital, 2023)

Internet de las cosas (IoT): El concepto de IoT se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos mediante internet. En el contexto de la gestión de estacionamientos, IoT permite la implementación de sistemas inteligentes que pueden monitorear y gestionar los espacios de estacionamiento de manera eficiente, proporcionando información en tiempo real y facilitando la toma de decisiones basada en datos.

Gestión urbana inteligente: La gestión urbana inteligente se basa en el uso de tecnologías de información y comunicación para mejorar la eficiencia y la calidad de vida en entornos urbanos. En el caso de la gestión de estacionamientos, la implementación de sistemas inteligentes basados en LoRa y LoRaWAN contribuye a una mejor utilización de los recursos urbanos, reduciendo la congestión vehicular y mejorando la experiencia del usuario. (Becolve Digital, 2023)

Optimización de recursos urbanos: La optimización de recursos urbanos busca maximizar la eficiencia en el uso de los recursos disponibles en entornos urbanos. En el caso de los estacionamientos, la implementación de sistemas de monitoreo y gestión basados en tecnología LoRa y LoRaWAN permite una mejor asignación de espacios de estacionamiento y una utilización más eficiente del espacio disponible. (Becolve Digital, 2023)

Definición del Problema General y Específicos

Problema General

La falta de sistemas eficientes de monitoreo y gestión dificulta la optimización de la utilización de estacionamientos urbanos.

Problemas Específicos

Escasez de información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios de estacionamiento: La falta de información actualizada sobre la disponibilidad de espacios de estacionamiento dificulta la toma de decisiones tanto para los conductores como para los administradores de estacionamientos.

Falta de mecanismos para gestionar de manera efectiva la asignación de espacios de estacionamiento: La asignación ineficiente de espacios de estacionamiento puede llevar a una subutilización de los recursos disponibles y a una mayor congestión vehicular en áreas urbanas.

Ausencia de sistemas automatizados para el cobro de tarifas de estacionamiento: Los sistemas de cobro manuales pueden ser propensos a errores y a la evasión de pago, lo que afecta negativamente la viabilidad económica de los estacionamientos y reduce los ingresos generados. La falta de sistemas automatizados también puede generar largas filas y demoras en el proceso de pago, lo que afecta la experiencia del usuario.

Marco Teórico de la investigación

Marco Histórico

El marco histórico en la implementación de tecnologías como LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos urbanos se enmarca en el contexto de la evolución de las soluciones tecnológicas aplicadas a la movilidad urbana y la gestión de recursos en entornos urbanos. A continuación, se presenta un resumen de este marco histórico:

Desarrollo de tecnologías de comunicación inalámbrica: El avance de las tecnologías de comunicación inalámbrica ha sido fundamental en la evolución de soluciones para la gestión urbana. Desde las primeras redes de comunicación hasta las tecnologías más recientes como LoRa y LoRaWAN, se ha buscado constantemente mejorar la conectividad y la capacidad de transmisión de datos en entornos urbanos.

Aplicación de IoT en la gestión urbana: El concepto de Internet de las cosas (IoT) ha ganado relevancia en los últimos años, especialmente en el contexto de la gestión urbana. La capacidad de interconectar dispositivos y recopilar datos en tiempo real ha permitido el desarrollo de soluciones inteligentes para abordar problemas urbanos, como la gestión de estacionamientos.

Antecedentes en la gestión de estacionamientos: A lo largo de la historia, se han implementado diversas soluciones para mejorar la gestión de estacionamientos urbanos, desde sistemas manuales de control hasta la automatización de procesos mediante tecnologías de información y comunicación. Estos antecedentes proporcionan un contexto para entender la evolución y la importancia de las soluciones tecnológicas actuales en este ámbito.

Adopción de LoRa y LoRaWAN en otros contextos: Antes de su aplicación en la gestión de estacionamientos, las tecnologías LoRa y LoRaWAN han sido utilizadas en diversos contextos, como la monitorización ambiental, la gestión de activos y la agricultura inteligente. Estos casos de uso previos han demostrado la eficacia y la versatilidad de estas tecnologías, sentando las bases para su aplicación en la gestión urbana. (Rcarrillo, 2023)

Bases Teóricas

Las bases teóricas en la implementación de tecnologías como LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos urbanos están fundamentadas en varios conceptos clave:

Comunicación inalámbrica de larga distancia: Las tecnologías LoRa (Long Range) y LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) se basan en la transmisión de datos de largo alcance y bajo consumo de energía. Estas tecnologías permiten la comunicación eficiente entre dispositivos ubicados a distancias significativas, lo que las hace ideales para aplicaciones en entornos urbanos donde se requiere una cobertura amplia.

Internet de las cosas (IoT): El concepto de IoT se refiere a la interconexión de dispositivos cotidianos a través de internet, permitiendo la recopilación y el intercambio de datos entre ellos. En el contexto de la gestión de estacionamientos, IoT facilita la implementación de sistemas inteligentes que monitorean y gestionan los espacios de estacionamiento de manera eficiente.

Sistemas de información geográfica (SIG): Los SIG son herramientas que permiten la captura, el almacenamiento, la manipulación, el análisis y la presentación de datos espaciales. La integración de tecnologías LoRa y LoRaWAN con sistemas de información geográfica permite la

visualización y el análisis de datos relacionados con la disponibilidad y la utilización de espacios de estacionamiento en tiempo real.

Sistemas de gestión de bases de datos: La gestión eficiente de grandes volúmenes de datos generados por sistemas de monitoreo requiere el uso de sistemas de gestión de bases de datos adecuados. Estos sistemas permiten almacenar, organizar y recuperar datos de manera eficiente, facilitando el análisis y la toma de decisiones basada en datos.

Seguridad de la información: La implementación de sistemas de gestión de estacionamientos basados en tecnologías IoT como LoRa y LoRaWAN requiere consideraciones importantes en términos de seguridad de la información. Es crucial implementar medidas de seguridad adecuadas para proteger los datos y garantizar la integridad y la confidencialidad de la información. (Rcarrillo, 2023)

Investigaciones o Antecedentes del Estudio. Las investigaciones y antecedentes del estudio sobre la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos urbanos son limitados pero prometedores. A continuación, se mencionan algunos antecedentes relevantes:

"Smart Parking Management System Based on LoRaWAN Technology": Este estudio propone un sistema de gestión de estacionamientos inteligente basado en la tecnología LoRaWAN. El sistema utiliza sensores para detectar la disponibilidad de espacios de estacionamiento y transmite esta información a través de una red LoRaWAN. Los resultados del estudio sugieren que la implementación de este sistema puede mejorar significativamente la eficiencia en la gestión de estacionamientos. (Hector, 2020)

"Design and Implementation of Smart Parking System Based on LoRaWAN": En este trabajo, se describe el diseño e implementación de un sistema de estacionamiento inteligente utilizando tecnología LoRaWAN. El sistema utiliza sensores de ultrasonido para detectar la ocupación de espacios de estacionamiento y transmite esta información a través de una red LoRaWAN. Los resultados del estudio muestran que el sistema propuesto puede proporcionar información precisa sobre la disponibilidad de estacionamientos en tiempo real.

"LoRa-Based Smart Parking System for Urban Areas": Este estudio presenta un sistema de estacionamiento inteligente basado en tecnología LoRa. El sistema utiliza sensores magnéticos para detectar la ocupación de espacios de estacionamiento y transmite esta información a través de una red LoRa. Los resultados del estudio indican que el sistema propuesto puede mejorar la eficiencia en la gestión de estacionamientos urbanos al proporcionar información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios de estacionamiento. (Hector, 2020)

Objetivos, Delimitación, y Justificación de la Investigación

Objetivo General

Analizar un sistema de gestión de estacionamientos urbanos basado en tecnologías LoRa y LoRaWAN, con el fin de mejorar la eficiencia en la utilización de espacios de estacionamiento, proporcionar información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios y automatizar el proceso de cobro de tarifas, contribuyendo así a la optimización de la movilidad urbana y la experiencia del usuario.

Objetivos Específicos

Evaluar las características y requisitos específicos del entorno urbano objetivo, incluyendo la densidad de tráfico, la distribución geográfica de los estacionamientos y las necesidades de los usuarios.

Reconocer y dimensionar un sistema de comunicación LoRaWAN robusto y escalable para transmitir datos de ocupación de estacionamientos desde los sensores a una plataforma central de gestión, garantizando la integridad y la seguridad de la información.

Identificar una interfaz de usuario intuitiva y accesible para que los usuarios puedan acceder a información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios de estacionamiento y realizar reservas o pagos de manera conveniente.

Delimitación de Estudio. Área geográfica: El estudio se enfocará en una zona urbana específica, limitando el alcance a un área definida dentro de la ciudad, lo que permitirá una implementación y evaluación detallada del sistema de gestión de estacionamientos.

Tipo de estacionamientos: Se priorizarán los estacionamientos de uso público y comercial dentro del área de estudio, excluyendo aquellos de uso privado o residencial.

Tecnología utilizada: El estudio se centrará exclusivamente en la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN para la detección de la ocupación de espacios de estacionamiento y la transmisión de datos, dejando fuera otras tecnologías de comunicación inalámbrica.

Período de tiempo: El estudio se llevará a cabo durante un período de tiempo definido, con una duración limitada que permita realizar pruebas piloto y evaluaciones del sistema en condiciones reales, sin considerar cambios o evoluciones futuras en las tecnologías o en el entorno urbano.

Recursos disponibles: El estudio se realizará dentro de los límites de los recursos financieros, humanos y tecnológicos disponibles, lo que puede influir en la escala y el alcance de la implementación del sistema de gestión de estacionamientos.

Justificación e Importancia del Estudio. Optimización de recursos urbanos: El uso de un sistema de gestión de estacionamientos basado en tecnologías LoRa y LoRaWAN garantiza una mejor utilización de los espacios de estacionamiento disponibles en entornos urbanos, reduciendo la congestión vehicular y mejorando la eficiencia en la gestión de recursos urbanos limitados.

Mejora de la movilidad urbana: Al proporcionar información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios de estacionamiento, el sistema contribuirá a reducir los tiempos de búsqueda de estacionamiento, disminuyendo así la congestión del tráfico y mejorando la movilidad de los ciudadanos.

Reducción de emisiones contaminantes: La optimización de la movilidad urbana mediante la reducción de los tiempos de búsqueda de estacionamiento ayudará a disminuir las

emisiones contaminantes asociadas al tráfico vehicular, contribuyendo así a la mejora de la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental de la ciudad.

Mejora de la experiencia del usuario: La disponibilidad de información en tiempo real sobre la ubicación y disponibilidad de espacios de estacionamiento permitirá a los conductores tomar decisiones más informadas y planificar sus desplazamientos de manera más eficiente, mejorando así su experiencia de usuario en la ciudad.

Innovación tecnológica: La implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos representa una innovación tecnológica en el campo de la movilidad urbana, ofreciendo una solución inteligente y escalable para abordar los desafíos asociados con la gestión de estacionamientos en entornos urbanos modernos.

Potencial de replicabilidad: Los resultados y las lecciones aprendidas de este estudio podrían ser aplicables y replicables en otras ciudades y comunidades urbanas que enfrentan desafíos similares en la gestión de estacionamientos, brindando así la oportunidad de mejorar la calidad de vida de un mayor número de personas a nivel global. (Becolve Digital, 2023)

Hipótesis, Variables, Definición Operacional

Supuestos Teóricos

Fiabilidad de la tecnología: Se asume que las tecnologías LoRa y LoRaWAN ofrecen una comunicación inalámbrica robusta y confiable, capaz de transmitir datos de manera eficiente incluso en entornos urbanos densamente poblados y con interferencias.

Precisión de los sensores: Se parte del supuesto de que los sensores utilizados para la detección de la ocupación de espacios de estacionamiento son precisos y confiables, proporcionando información precisa sobre la disponibilidad de espacios en tiempo real.

Adopción de usuarios: Se supone que los usuarios, tanto conductores como administradores de estacionamientos, estarán dispuestos a adoptar y utilizar activamente el sistema de gestión de estacionamientos basado en tecnologías LoRa y LoRaWAN, una vez demostrada su utilidad y beneficios.

Hipótesis General

El uso de un sistema de gestión de estacionamientos urbanos basado en tecnologías LoRa y LoRaWAN mejora la eficiencia en la utilización de espacios de estacionamiento, proporcionando información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios y automatiza el proceso de cobro de tarifas, lo que contribuye a la optimización de la movilidad urbana y la experiencia del usuario

Hipótesis Específicas. La utilización de sensores LoRa para la detección de la ocupación de espacios de estacionamiento será precisa y confiable, proporcionando información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios con una precisión aceptable.

El uso de una red LoRaWAN para la transmisión de datos garantizará una comunicación robusta y confiable entre los sensores de estacionamiento y la plataforma central de gestión, permitiendo la recopilación y el análisis eficientes de datos en tiempo real.

La disponibilidad de información en tiempo real sobre la ubicación y disponibilidad de espacios de estacionamiento mejorará la experiencia del usuario al reducir los tiempos de búsqueda de estacionamiento y la congestión del tráfico en áreas urbanas.

La automatización del proceso de cobro de tarifas mediante tecnologías LoRa y LoRaWAN facilitará y agilizará el pago de estacionamiento para los usuarios, reduciendo las filas y las demoras en el proceso de pago, lo que mejorará aún más la experiencia del usuario.

La utilización de un sistema de gestión de estacionamientos basado en tecnologías LoRa y LoRaWAN tendrá un impacto positivo en la movilidad urbana al reducir la congestión vehicular y las emisiones contaminantes asociadas, mejorando así la calidad de vida en áreas urbanas.

Variables Principales. Disponibilidad de espacios de estacionamiento: Se refiere a la cantidad de espacios de estacionamiento libres en un área urbana determinada en un momento dado.

Eficiencia en la utilización de espacios de estacionamiento: Se refiere a la proporción de espacios de estacionamiento utilizados en relación con el total disponible, medida como un porcentaje.

Experiencia del usuario: Se refiere a la percepción y satisfacción de los usuarios al buscar y utilizar espacios de estacionamiento, considerando aspectos como la facilidad de encontrar estacionamiento, la comodidad del proceso de pago y la calidad del servicio.

Definiciones Operacionales e Indicadores. Disponibilidad de espacios de estacionamiento:

Definición operacional: Número de espacios de estacionamiento libres en un área urbana específica en un momento dado.

Indicadores:

Porcentaje de espacios de estacionamiento ocupados.

Número total de espacios de estacionamiento disponibles.

Número de espacios de estacionamiento libres en diferentes momentos del día.

Eficiencia en la utilización de espacios de estacionamiento:

Definición operacional: Proporción de espacios de estacionamiento utilizados en relación con el total disponible, medida como un porcentaje.

Indicadores:

Porcentaje de ocupación de espacios de estacionamiento.

Tasa de rotación de espacios de estacionamiento por hora/día.

Experiencia del usuario:

Definición operacional: Percepción y satisfacción de los usuarios al buscar y utilizar espacios de estacionamiento.

Indicadores:

Tiempo promedio de búsqueda de estacionamiento.

Porcentaje de usuarios satisfechos con el proceso de pago de estacionamiento.

Número de quejas o reclamaciones relacionadas con la disponibilidad y accesibilidad de espacios de estacionamiento. (Terol, 2022)

Método, Técnica e Instrumento

Tipo de la Investigación

El tipo de investigación que se llevará a cabo para este proyecto de grado es principalmente de tipo teórica, con elementos de investigación descriptiva y explicativa.

Investigación aplicada: La investigación se enfocará en la aplicación teórica de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos urbanos, con el objetivo de resolver un problema concreto y generar soluciones útiles y prácticas para mejorar la eficiencia en la utilización de los espacios de estacionamiento.

Investigación descriptiva: Se realizará una descripción detallada de la realidad problemática, incluyendo la situación actual de la gestión de estacionamientos en el área urbana de estudio, así como la descripción de las tecnologías LoRa y LoRaWAN y su aplicación en este contexto.

Investigación explicativa: Además de describir la situación actual, se buscará comprender las causas y los factores que influyen en la eficiencia de la gestión de estacionamientos urbanos, así como el impacto de la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la mejora de esta eficiencia.

Diseño para Utilizar

Se puede optar por un diseño de investigación observacional. Este tipo de diseño implica observar y registrar el comportamiento y las interacciones naturales de los sujetos de estudio sin intervenir directamente en ellos. En este caso, se pueden considerar dos enfoques principales:

Diseño transversal (o de corte transversal): Este diseño implica recopilar datos en un solo punto en el tiempo. Podría involucrar la observación de la situación actual de la gestión de

estacionamientos en un área urbana específica antes de la implementación del sistema basado en LoRa y LoRaWAN, así como después de su implementación. Esto permitiría comparar y evaluar los cambios en variables como la disponibilidad de espacios de estacionamiento, la eficiencia en su utilización y la experiencia del usuario.

Diseño longitudinal: En este diseño, se recopilan datos en múltiples momentos a lo largo del tiempo. Esto podría implicar un seguimiento continuo de la eficiencia y la experiencia del usuario antes, durante y después de la implementación del sistema de gestión de estacionamientos. Esto proporcionaría una visión más completa de cómo evolucionan estas variables con el tiempo y cómo se ven afectadas por la implementación del sistema.

Universo, Población, Muestra y Muestreo. Para establecer el universo, población, muestra y muestreo en este estudio sobre la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos urbanos, se considera lo siguiente:

Universo: El universo se refiere al conjunto completo de elementos que cumplen con las características del estudio. En este caso, el universo serían todos los estacionamientos urbanos que podrían potencialmente beneficiarse de la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN para la gestión de espacios de estacionamiento.

Población: La población se refiere al subconjunto del universo del cual se extraerá la muestra para el estudio. En este caso, la población serían los estacionamientos urbanos específicos dentro del área geográfica de interés donde se implementará el sistema de gestión de estacionamientos.

Muestra: La muestra es el subconjunto representativo de la población que se seleccionará para participar en el estudio. La muestra debe ser lo suficientemente representativa para

generalizar los resultados al conjunto de la población. En este estudio, la muestra incluiría una selección de estacionamientos urbanos dentro del área geográfica de interés donde se implementará el sistema de gestión de estacionamientos.

Muestreo: El muestreo se refiere al proceso de selección de la muestra a partir de la población. Se pueden utilizar diferentes métodos de muestreo, como el muestreo aleatorio simple, el muestreo estratificado o el muestreo por conglomerados. En este caso, se podría utilizar un muestreo aleatorio simple para seleccionar una muestra representativa de estacionamientos urbanos dentro del área geográfica de interés.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. Para recopilar datos relevantes sobre la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos urbanos, se pueden emplear varias técnicas e instrumentos de recolección de datos, por lo que se estará usando:

Observación directa: donde se pueden observar directamente el funcionamiento de los estacionamientos y el comportamiento de los usuarios, registrando información sobre la disponibilidad de espacios, la utilización de sensores y la experiencia del usuario.

Análisis de documentos: Se pueden analizar documentos relevantes, como informes técnicos, estudios de viabilidad, normativas y políticas relacionadas con la gestión de estacionamientos urbanos y el uso de tecnologías

Procesamiento de Datos. Análisis cualitativo de entrevistas y grupos focales: Se pueden llevar a cabo entrevistas estructuradas o semiestructuradas con diferentes partes interesadas, como administradores de estacionamientos, autoridades locales y usuarios, para obtener información cualitativa sobre su experiencia con el sistema de gestión de estacionamientos. Estas entrevistas pueden ser grabadas y transcritas para su análisis. Además, se pueden organizar grupos focales para discutir en profundidad temas específicos relacionados con la implementación del sistema.

Análisis cuantitativo de datos operativos: Se pueden recopilar datos cuantitativos de los sensores de estacionamiento y otros sistemas operativos para analizar la eficiencia en la utilización de espacios de estacionamiento, la rotación de vehículos y otros indicadores clave de rendimiento. Estos datos pueden ser analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas y análisis de series temporales para identificar tendencias y patrones en el uso de los estacionamientos.

Análisis de contenido de documentos: Se pueden analizar documentos relevantes, como informes técnicos, normativas y políticas relacionadas con la implementación de tecnologías LoRa y LoRaWAN en la gestión de estacionamientos. Esto puede proporcionar información adicional sobre el contexto y los factores que influyen en la implementación del sistema.

Administración del Proyecto

La administración del proyecto es fundamental para garantizar que se cumplan los objetivos de manera eficiente y dentro del plazo establecido.

Planificación del proyecto: Desarrollar un plan detallado que incluya los objetivos del proyecto, los recursos necesarios, el cronograma de actividades y los responsables de cada tarea. Esto ayudará a establecer expectativas claras y a garantizar que todas las actividades se realicen de manera oportuna.

Gestión de recursos: Asignar y gestionar los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto, incluidos el personal, el presupuesto y los equipos. Es importante garantizar que los recursos estén disponibles cuando se necesiten y que se utilicen de manera eficiente.

Comunicación: Establecer un sistema de comunicación claro y eficaz para mantener informados a todos los miembros del equipo sobre el progreso del proyecto, los cambios en los planes y cualquier problema que surja. Esto puede incluir reuniones regulares, correos electrónicos, herramientas de colaboración en línea, entre otros.

Gestión de riesgos: Identificar y evaluar los posibles riesgos que podrían afectar el éxito del proyecto y desarrollar estrategias para mitigarlos. Esto puede incluir riesgos relacionados con la tecnología, el presupuesto, los plazos y los recursos humanos.

Seguimiento y control: Monitorear continuamente el progreso del proyecto en relación con el plan establecido y tomar medidas correctivas según sea necesario para garantizar que se alcancen los objetivos dentro del plazo y el presupuesto previstos.

Documentación: Mantener registros detallados de todas las actividades, decisiones y cambios realizados durante el proyecto. Esto proporcionará una referencia útil para futuras investigaciones y ayudará a garantizar la transparencia y la rendición de cuentas.

Evaluación y retroalimentación: Evaluar regularmente el progreso del proyecto y solicitar retroalimentación de los interesados para identificar áreas de mejora y realizar ajustes según sea necesario.

Marco Conceptual

Historia de LoRa y LoRaWAN

La historia de LoRa (Long Range) y LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) se remonta a principios de la década de 2010, cuando se desarrollaron como parte de los esfuerzos para crear soluciones de conectividad inalámbrica de bajo consumo de energía y largo alcance para el Internet de las Cosas (IoT). Aquí hay un resumen de su historia:

Desarrollo inicial: LoRa fue desarrollado por Cycleo, una empresa francesa adquirida por Semtech en 2012. La tecnología LoRa utiliza modulación de espectro ensanchado de baja potencia (CSS) para proporcionar comunicaciones de largo alcance y bajo consumo de energía en bandas de frecuencia no licenciadas.

Fundación de la LoRa Alliance: En 2015, Semtech fundó la LoRa Alliance, una asociación abierta de empresas que colaboran para desarrollar y promover la tecnología LoRaWAN como estándar para redes de área amplia de baja potencia (LPWAN). La LoRa Alliance ha crecido rápidamente y cuenta con cientos de miembros en todo el mundo, incluidos fabricantes de chips, proveedores de servicios de red, integradores de sistemas y usuarios finales.

Estandarización de LoRaWAN: La LoRa Alliance ha trabajado para estandarizar la especificación LoRaWAN y promover su adopción en una amplia variedad de aplicaciones de IoT. LoRaWAN se basa en LoRa y proporciona una capa de control de acceso al medio (MAC) para gestionar la comunicación entre dispositivos finales y gateways en redes de área amplia de baja potencia.

Adopción en diversos sectores: A lo largo de los años, LoRa y LoRaWAN han sido adoptados en una amplia gama de aplicaciones y sectores, incluyendo agricultura, ciudades

inteligentes, seguimiento de activos, gestión de energía, medio ambiente, salud y más. Su capacidad para proporcionar conectividad de largo alcance y bajo consumo de energía los hace ideales para aplicaciones que requieren monitoreo remoto y seguimiento de activos.

Desarrollo de ecosistema: La LoRa Alliance ha trabajado para desarrollar un ecosistema sólido alrededor de LoRa y LoRaWAN, que incluye una amplia variedad de dispositivos finales, gateways, plataformas de desarrollo y servicios de red. Esto ha contribuido al crecimiento y la adopción continuos de la tecnología en todo el mundo. (GOTO IoT | Introducción a LoRaWAN, n.d.)

Desafíos de Ciberseguridad en Redes LoRa y LoRaWAN

Aunque las tecnologías LoRa y LoRaWAN ofrecen muchas ventajas en términos de alcance, eficiencia energética y costo, también presentan desafíos específicos en cuanto a ciberseguridad.

Protección de la Capa Física: Aunque las comunicaciones LoRa están diseñadas para ser difíciles de interceptar debido a su modulación y bajo nivel de energía, aún pueden ser vulnerables a ataques físicos. Los atacantes podrían intentar interferir con las señales LoRa utilizando dispositivos de interferencia o intentar descifrar las comunicaciones mediante el análisis del espectro de radio.

Integridad de los Datos: Garantizar la integridad de los datos transmitidos a través de redes LoRaWAN es crucial, especialmente en aplicaciones críticas como la infraestructura de la ciudad inteligente o el monitoreo de la salud. Los datos transmitidos pueden ser vulnerables a la manipulación por parte de atacantes, lo que podría conducir a resultados falsos o acciones maliciosas basadas en la información manipulada.

Autenticación y Autorización: La autenticación de dispositivos y la autorización de acceso son aspectos críticos de la seguridad en redes LoRaWAN. Asegurar que solo dispositivos autorizados puedan unirse a la red y que tengan permiso para acceder a recursos específicos es fundamental para prevenir el acceso no autorizado y los ataques de denegación de servicio.

Gestión de Claves: La gestión segura de claves de cifrado es esencial para proteger las comunicaciones en redes LoRaWAN. Las claves de cifrado deben generarse, almacenarse y distribuirse de manera segura para evitar la exposición a posibles ataques de fuerza bruta o ingeniería inversa.

Privacidad de los Datos: La privacidad de los datos transmitidos a través de redes LoRaWAN es un desafío importante, especialmente en aplicaciones que implican datos sensibles del usuario, como el seguimiento de la salud o la ubicación. Es crucial implementar medidas de privacidad robustas, como el cifrado de extremo a extremo y la anonimización de datos, para proteger la privacidad del usuario.

Actualizaciones de Seguridad: Mantener la seguridad de las redes LoRaWAN requiere la capacidad de implementar parches y actualizaciones de seguridad de manera oportuna. Esto puede ser un desafío en entornos IoT distribuidos y altamente heterogéneos, donde la gestión remota de dispositivos y la aplicación de actualizaciones pueden ser difíciles de lograr de manera efectiva. (Estrada, 2023)

Marco Normativo y Regulatorio

Legislación

La legislación relacionada con las redes LoRa y LoRaWAN puede variar según el país y la región, pero existen algunos aspectos generales que suelen ser considerados en términos de regulación y cumplimiento.

Regulaciones de espectro de radio: Las frecuencias de radio utilizadas por las redes LoRa y LoRaWAN están sujetas a regulaciones gubernamentales en muchas jurisdicciones. Las empresas que implementan estas redes deben cumplir con las normativas locales relacionadas con el uso del espectro de radio, incluyendo licencias y asignaciones de frecuencias.

Protección de datos y privacidad: Las redes LoRaWAN transmiten datos que pueden incluir información sensible o personal. Por lo tanto, las organizaciones que operan estas redes deben cumplir con las leyes y regulaciones de protección de datos y privacidad correspondientes, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en la Unión Europea o la Ley de Privacidad del Consumidor de California (CCPA) en los Estados Unidos.

Seguridad de la información: Las organizaciones que implementan redes LoRa y LoRaWAN deben cumplir con las regulaciones relacionadas con la seguridad de la información y la ciberseguridad. Esto puede incluir estándares de seguridad de la información como ISO 27001, así como regulaciones específicas de la industria como HIPAA en el sector de la salud o PCI DSS en el sector de pagos.

Normativas de dispositivos IoT: Dependiendo de la naturaleza de los dispositivos IoT conectados a las redes LoRaWAN, pueden aplicarse diferentes regulaciones y estándares. Por

ejemplo, los dispositivos médicos IoT pueden estar sujetos a regulaciones específicas de la FDA en los Estados Unidos o la Directiva de Dispositivos Médicos en la Unión Europea.

Cumplimiento regulatorio: Las organizaciones que operan redes LoRaWAN pueden estar sujetas a otros requisitos regulatorios y de cumplimiento, como la conformidad con estándares de interoperabilidad, requisitos de seguridad física para la protección de infraestructura crítica, o regulaciones específicas de la industria.

Estándares y Protocolos

Los estándares y protocolos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo, implementación y interoperabilidad de redes LoRa y LoRaWAN. Aquí hay una descripción de los principales estándares y protocolos asociados con estas tecnologías:

LoRa: LoRa es la capa física (PHY) de la tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance desarrollada por Semtech. Utiliza una modulación de espectro ensanchado (CSS) patentada para proporcionar comunicaciones de largo alcance y bajo consumo de energía. Aunque LoRa en sí mismo no es un estándar, su especificación está disponible para fabricantes de chips y desarrolladores de dispositivos.

LoRaWAN: LoRaWAN es el protocolo de acceso al medio (MAC) que opera sobre la capa física LoRa y proporciona una arquitectura de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) para la comunicación de dispositivos IoT. LoRaWAN define la forma en que los dispositivos finales se comunican con las gateways y cómo se gestionan las redes LoRaWAN. La especificación LoRaWAN es mantenida por la LoRa Alliance y está disponible públicamente para su implementación.

Clases de Dispositivos LoRaWAN: LoRaWAN define tres clases de dispositivos que pueden operar en una red LoRaWAN:

Clase A: Los dispositivos Clase A tienen un método de comunicación asimétrico, donde los mensajes ascendentes (del dispositivo a la red) se pueden enviar en cualquier momento, mientras que los mensajes descendentes (de la red al dispositivo) se programan después de los mensajes ascendentes.

Clase B: Los dispositivos Clase B tienen un método de comunicación asimétrico similar a los dispositivos Clase A, pero también están sincronizados con la red para recibir mensajes descendentes en ranuras de tiempo específicas.

Clase C: Los dispositivos Clase C tienen un método de comunicación simétrico, lo que significa que pueden recibir mensajes descendentes en cualquier momento, excepto cuando están transmitiendo.

Regional Parámetros LoRaWAN: Debido a las diferencias en las regulaciones del espectro de radio y las condiciones locales, LoRaWAN define parámetros regionales que especifican los detalles de la implementación de la tecnología LoRaWAN en diferentes regiones geográficas. Esto incluye parámetros como las bandas de frecuencia utilizadas, las potencias de transmisión máximas permitidas y las configuraciones de canales.

Join Procedure: El procedimiento de unión (Join Procedure) es un aspecto fundamental de LoRaWAN que describe cómo un dispositivo final se une a una red LoRaWAN. Hay dos tipos principales de procedimientos de unión: Over The Air Activation (OTAA) y Activation By Personalization (ABP).

Interoperabilidad: La LoRa Alliance trabaja para garantizar la interoperabilidad entre dispositivos LoRaWAN de diferentes fabricantes y redes LoRaWAN de diferentes operadores. Esto se logra a través de pruebas de interoperabilidad y certificación de productos que garantizan que los dispositivos y redes cumplan con los estándares LoRaWAN. (Terol, 2022)

Estudio de Casos y Mejores Prácticas

Para la implementación de un sistema LoRa y LoRaWAN para gestión de estacionamientos, se debe tener en cuenta estudios previos a la instalación y puesta en marcha del sistema, pero, se detalla a continuación los parámetros considerables para la ejecución de dicho sistema:

Hardware necesario:

Dispositivos LoRa (por ejemplo, módulos de comunicación LoRa como SX1278 o SX1301)

Gateway LoRaWAN (por ejemplo, Multitech Conduit o Kerlink Wirnet)

Sensores de ocupación (por ejemplo, sensores de presencia infrarrojos o magnéticos)

Antenas LoRa (externas o internas)

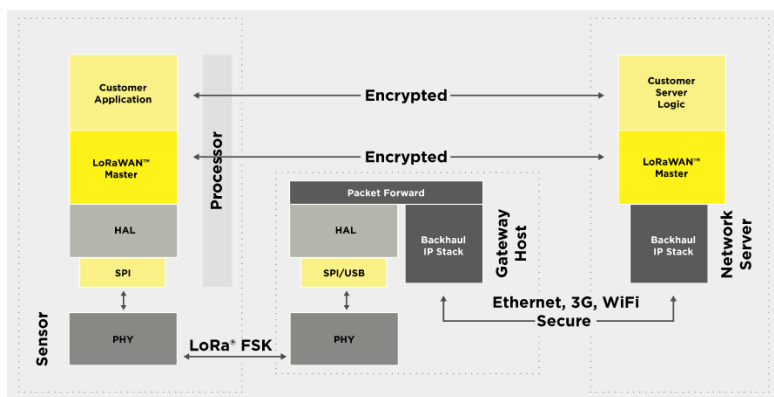
Fuente de alimentación para los dispositivos

Cableado y conectores adecuados

Router o conmutador para conectar el gateway a Internet (Terol, 2022)

Figura 1

Diagrama de bloques LoRa/LoRaWAN



Fuente. Autoría propia

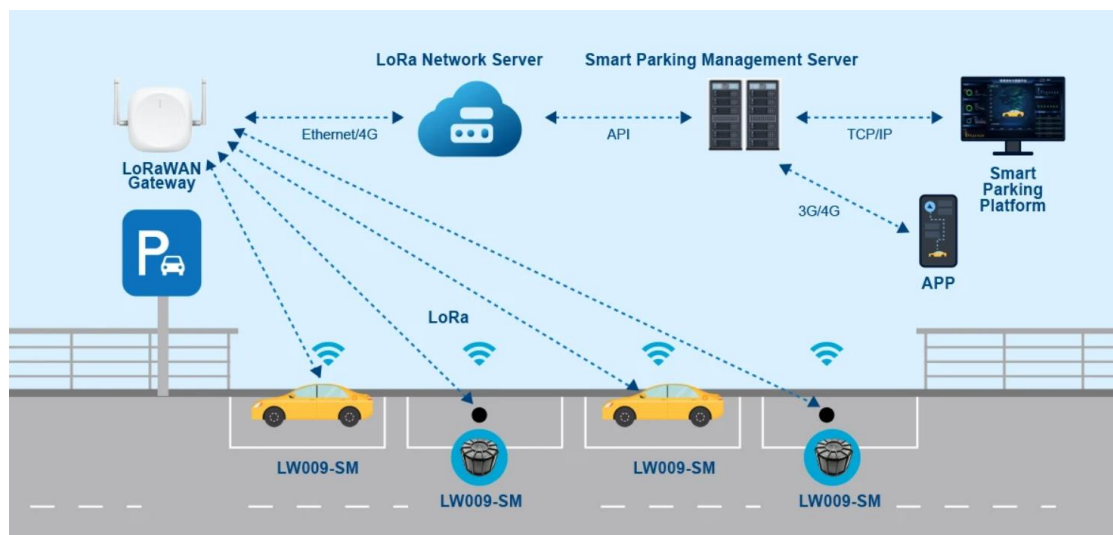
Instalación:

Paso 1: Instalar los sensores de ocupación

- 1.1. Ubica los sensores de ocupación en cada plaza de estacionamiento.
- 1.2. Conecta los sensores a los dispositivos LoRa utilizando cables adecuados.
- 1.3. Configura los sensores según las instrucciones del fabricante.

Figura 2

Instalación de sensor piso parquadero

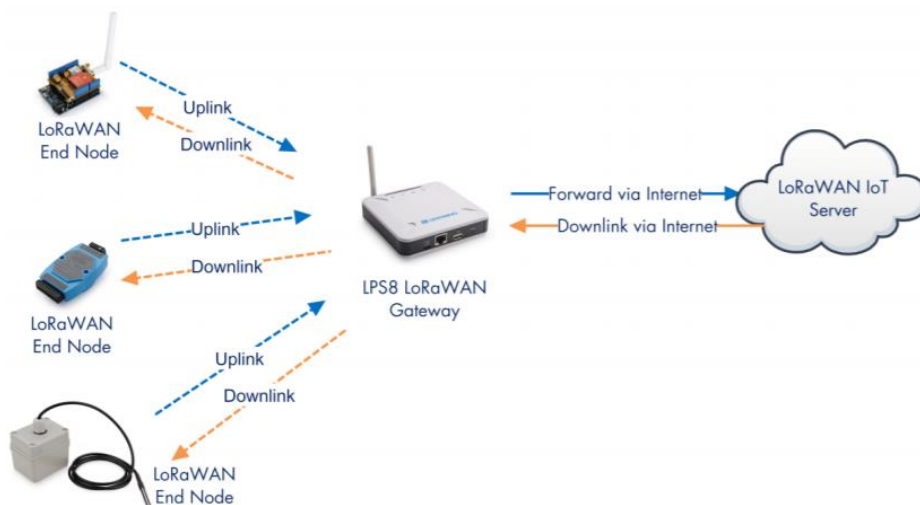


Fuente. Autoría propia

Paso 2: Instalar el gateway LoRaWAN

- 2.1. Coloca el gateway en un lugar central y elevado dentro del estacionamiento.
- 2.2. Conecta la antena LoRa al gateway.
- 2.3. Conecta la fuente de alimentación al gateway.
- 2.4. Conecta el gateway a Internet utilizando un router o conmutador.

(Conectar Sensor LoRa. 2018)

Figura 3*Instalación de Gateway*

Fuente. Autoría propia

Paso 3: Configurar el gateway LoRaWAN

3.1. Accede a la interfaz web del gateway utilizando su dirección IP.

3.2. Ingresa la clave de administrador y configura la contraseña.

3.3. Configura la red LoRaWAN con los siguientes parámetros:

Frecuencia: 868 MHz (Europa) o 915 MHz (EE. UU.)

Bandwidth: 125 kHz

Spreading Factor: 7-12

Coding Rate: 4/5

3.4. Configura la conexión a Internet:

Dirección IP estática o DHCP

Puerta de enlace

Máscara de subred

Figura 4

Configuración de Gateway

The screenshot shows the 'LoRa Configuration' page in the DRAGINO web interface. The navigation bar includes 'LoRa', 'LoRaWAN', 'MQTT', 'TCP', 'Custom', 'Network', 'System', 'LogRead', 'Home', and 'Logout'. The main content area is titled 'LoRa Configuration' and contains the following settings:

- Debug Level:** A dropdown menu set to 'Test'.
- Radio Settings:**
 - Keep Alive Period (sec):** A text input field containing '30'.
 - Frequency Plan:** A dropdown menu set to 'EU868 Europe 868Mhz (863-870)'.
- Static GPS coordinates ?**
 - Enable Static GPS:** A checked checkbox.
 - Latitude:** A text input field containing '22.700000'.
 - Longitude:** A text input field containing '114.240000'.
 - Altitude (m):** A text input field containing '450'.

At the bottom of the form, there are three buttons: 'Save&Apply', 'Disable', and 'Cancel'.

Fuente. Autoría propia

Paso 4: Configurar los dispositivos LoRa

4.1. Configura los dispositivos LoRa con los siguientes parámetros:

Frecuencia: igual que la red LoRaWAN

Bandwidth: igual que la red LoRaWAN

Spreading Factor: igual que la red LoRaWAN

Coding Rate: igual que la red LoRaWAN

Dirección MAC: única para cada dispositivo

4.2. Establece la comunicación entre los dispositivos LoRa y el gateway.

Paso 5: Configurar la plataforma de gestión de red LoRaWAN

5.1. Registra el gateway en la plataforma de gestión de red LoRaWAN (por ejemplo, The Things Network o Lorient).

5.2. Crea una cuenta y obtén una clave de API.

5.3. Configura la red LoRaWAN con los siguientes parámetros:

Nombre de la red

Frecuencia

Bandwidth

Spreading Factor

Coding Rate

5.4. Agrega los dispositivos LoRa a la red LoRaWAN.

Paso 6: Integrar con el sistema de gestión de estacionamiento

6.1. Desarrolla o integra un software que lea los datos de ocupación desde la plataforma de gestión de red LoRaWAN.

6.2. Utiliza los datos para actualizar la disponibilidad de plazas de estacionamiento en tiempo real.

6.3. Integra con otros sistemas de gestión de estacionamiento (por ejemplo, sistemas de pago o acceso).

Configuraciones adicionales:

Seguridad: configura la autenticación y cifrado para la comunicación entre dispositivos LoRa y el gateway.

Interferencia: configura la potencia de transmisión y el ancho de banda para minimizar la interferencia.

Mantenimiento: programa actualizaciones y mantenimiento regular para asegurar la estabilidad de la red.

Herramientas y software recomendados:

The Things Network (TTN)

Loriot

Multitech Conduit

Kerlink Wirnet

SX1278 o SX1301 (módulos de comunicación LoRa)

Sensores de presencia infrarrojos o magnéticos

Precauciones y consideraciones:

Verifica la compatibilidad de los dispositivos LoRa y el gateway.

Asegúrate de que la antena LoRa esté correctamente instalada y configurada.

Verifica la conexión a Internet y la configuración de la red LoRaWAN.

Realiza pruebas de funcionamiento y ajusta la configuración según sea necesario.

Considera la implementación de un sistema de respaldo para garantizar la continuidad del servicio.

Especificaciones técnicas:

Frecuencia: 868 MHz (Europa) o 915 MHz (EE. UU.)

Bandwidth: 125 kHz

Spreading Factor: 7-12

Coding Rate: 4/5

Potencia de transmisión: hasta 20 dBm

Sensibilidad de recepción: hasta -130 dBm

Protocolos de comunicación:

LoRaWAN

MQTT

HTTP

CoAP

Seguridad:

Autenticación mediante clave de API

Cifrado AES-128

SSL/TLS

Actualizaciones y mantenimiento:

Actualizaciones de firmware y software regularmente

Revisión periódica de la configuración y ajustes necesarios

Monitoreo del estado de la red y resolución de problemas

(Implementación LoRa. 2020)

De acuerdo a la instalación descrita anteriormente, se realiza descripción de casos de estudio de implementaciones LoRa y LoRaWAN implementadas.

Caso de Estudio

Los sistemas de gestión de estacionamientos son aplicaciones que se pueden optimizar utilizando tecnologías de comunicación IoT (Internet of Things), como LoRa y LoRaWAN, que permiten la transmisión de datos a largas distancias con un bajo consumo de energía. Estos sistemas utilizan diversos dispositivos para detectar la ocupación de los espacios de estacionamiento, gestionar el uso eficiente del mismo y mejorar la experiencia del usuario. Los estacionamientos inteligentes equipados con LoRa y LoRaWAN son particularmente útiles en ciudades inteligentes (Smart Cities), donde es clave mejorar el tráfico y reducir la congestión.

En este caso, se validó un escenario implementado con esta tecnología el cual es un centro comercial, Titan Plaza, ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. en la dirección Av. Boyacá #80-94.

Figura 5

CC Titán Plaza



Fuente. Autoría propia

Dispositivos empleados en tecnologías LoRa y LoRaWAN

Sensores de ocupación de estacionamiento. Estos dispositivos suelen ser sensores magnéticos, infrarrojos o ultrasónicos instalados en cada espacio de estacionamiento. Detectan la presencia o ausencia de vehículos. Los sensores son generalmente de bajo consumo, lo que los hace ideales para el uso con LoRa o LoRaWAN.

Sensores magnéticos. Detectan la variación del campo magnético cuando un vehículo se encuentra sobre el sensor.

Figura 6

Sensor magnético de piso



Fuente. Autoría propia

Sensores infrarrojos o ultrasónicos. Miden la distancia a los objetos cercanos (como un vehículo) para determinar la ocupación.

Figura 7

Sensor infrarrojo de techo



Fuente. Autoría propia

Gateways LoRaWAN. Actúan como intermediarios entre los sensores (nodos) y la red de LoRaWAN. Reciben los datos enviados por los sensores y los retransmiten a un servidor central o a la nube para su procesamiento. Los gateways tienen la capacidad de cubrir áreas amplias, lo que es ideal para gestionar estacionamientos distribuidos en grandes áreas urbanas.

Actuadores. En algunos casos, se pueden usar actuadores para abrir y cerrar barreras en el estacionamiento, controladas remotamente mediante la red LoRaWAN.

Se incorpora con cámaras IP para reconocimiento de placas, una vez de toma esta la talanquera se activa y el vehículo ha ingresado.

Figura 8

Actuador de ingreso

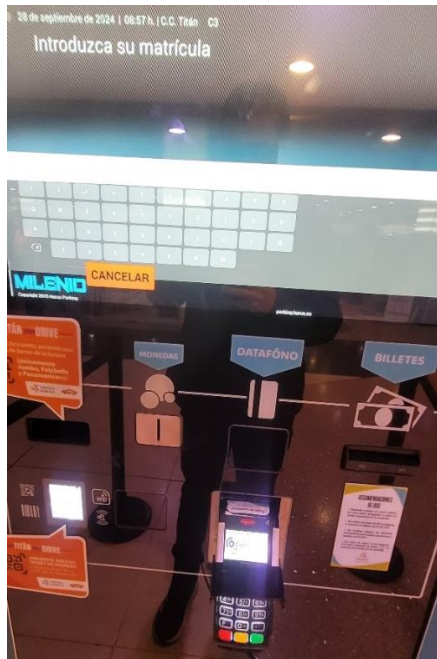


Fuente. Autoría propia

Plataformas de administración. El software de gestión de estacionamientos recopila los datos de los sensores a través de los gateways, y permite la visualización, monitoreo y análisis en tiempo real de la ocupación de los espacios. Las plataformas también suelen incluir opciones para el pago automático y la reserva de espacios.

Figura 9

Pago por placa



Fuente. Autoría propia

Figura 10 *Conteo de espacios libres*

Fuente. Autoría propia

Por lo cual, en el centro comercial Titan Plaza se puede realizar pago por tarjeta o efectivo, digitando solo la placa del vehículo, pero actualmente no es posible realizar una reserva de estacionamiento.

Cuenta con el conteo de parqueadero por nivel, y dentro de cada sótano es posible validar el espacio disponible y el estado de estos en color rojo o verde.

Métricas de Eficiencia y Seguridad

Eficiencia Energética

Bajo Consumo de Energía. Los dispositivos LoRa y LoRaWAN están diseñados para funcionar con baterías durante largos períodos (varios años), lo que reduce la necesidad de mantenimiento frecuente.

Cobertura Extendida. La capacidad de cubrir grandes áreas con un solo gateway (hasta 15 km en áreas rurales y 5 km en entornos urbanos) mejora la eficiencia operativa, ya que se requieren menos dispositivos para cubrir un área amplia.

En el centro comercial se pudo establecer que las distancias entre cada uno de los sensores no supera los 10 metros, lo que garantiza una comunicación tipo Mesh inalámbrica para optimización del recurso del cableado, donde solo se un cableado eléctrico.

Optimización del Uso del Espacio

Tasa de Ocupación. Los sistemas LoRa/LoRaWAN permiten monitorear continuamente los espacios ocupados y disponibles, facilitando una mejor gestión del flujo de vehículos y optimizando la capacidad del estacionamiento.

Reducción de Congestión: Al guiar a los conductores a los espacios libres más cercanos, se reduce el tiempo que se pasa buscando estacionamiento, lo que también disminuye las emisiones de CO₂ y mejora la eficiencia de tráfico.

Seguridad

Encriptación de Datos. LoRaWAN proporciona varias capas de seguridad, incluyendo la autenticación mutua entre dispositivos y redes, la encriptación a nivel de red y de aplicación (AES-128), y la protección contra interferencias y falsificación de datos.

Manejo Seguro de Barreras: Los actuadores controlados de forma remota mediante LoRa pueden abrir y cerrar las barreras de estacionamientos solo cuando el sistema identifica un vehículo autorizado.

Fiabilidad de Comunicación

Redundancia en Redes: LoRaWAN puede implementar redes de malla o puntos de acceso redundantes, lo que mejora la fiabilidad y asegura que los datos se transmitan incluso en caso de fallos en algunos dispositivos o gateways.

Costo

Instalación y Mantenimiento Económico: Al ser de bajo consumo, con mayor alcance y sin la necesidad de redes celulares costosas, LoRa y LoRaWAN ofrecen una solución más asequible en comparación con otras tecnologías de comunicación como 4G o 5G.

Desventaja de Implementación

Analizando el Centro comercial Plaza de las Américas, ubicado al sur de la ciudad de Bogotá D.C. se evidencia mala implementación del sensor de techo, donde este al tener un

vehículo en espacio, no lo detecta, y queda destellando entre ocupado/libre, y esto genera interferencia entre los siguientes sensores:

Figura 11

Izquierda, sensor rojo; sensor derecha sensor en verde_ resultado falla



Fuente. Autoría propia

En este caso, se evidencia que en los centros comerciales donde se ha implementado este tipo de tecnología, hace falta más conocimiento de la instalación y puesta en marcha por parte de las empresas y su personal, por lo cual, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Interferencia de Señal

Problema. La presencia de estructuras metálicas, paredes gruesas y otros obstáculos físicos en los centros comerciales puede debilitar o bloquear la señal de LoRa.

Solución. Implementar una red de gateways estratégicamente ubicados para mejorar la cobertura. Utilizar antenas de alta ganancia puede ser útil para superar estas barreras.

Capacidad de Red

Problema: Un gran número de dispositivos conectados simultáneamente puede sobrecargar la red LoRaWAN, afectando la eficiencia de transmisión de datos.

Solución: Optimizar el diseño de la red para que los gateways puedan manejar eficientemente la cantidad de dispositivos. También se pueden ajustar las tasas de transmisión de datos (duty cycle) para mejorar el rendimiento.

Interferencias con otras Redes

Problema. Los centros comerciales suelen tener muchas redes inalámbricas (WiFi, Bluetooth, etc.), lo que podría generar interferencias de espectro con LoRa.

Solución. Ajustar las frecuencias de transmisión de LoRa para evitar solapamientos y minimizar las interferencias. En algunos casos, usar bandas ISM adecuadas puede ayudar.

Fallas en la Sincronización de Datos

Problema. Algunos nodos pueden tener problemas para sincronizar correctamente los datos con los gateways debido a limitaciones de señal o interferencias.

Solución. Asegurarse de que los dispositivos estén configurados con las ventanas de comunicación adecuadas (uplink y downlink) y realizar ajustes en la configuración del ADR (Adaptative Data Rate).

Problemas de Integración

Problema. La integración de LoRa con otros sistemas (por ejemplo, sistemas de control de acceso o cámaras de seguridad) puede no ser fluida debido a incompatibilidades de protocolos.

Solución. Usar gateways y plataformas que sean compatibles con una variedad de estándares y protocolos para garantizar una integración más sencilla.

Seguridad

Problema. En entornos como los centros comerciales, donde se transmiten datos sensibles (como monitoreo de seguridad o control de acceso), la seguridad de la red LoRaWAN puede ser una preocupación.

Solución. Implementar cifrado de extremo a extremo y usar autenticación robusta para proteger los datos transmitidos.

Desafíos y Perspectivas Futuras

Los estacionamientos validados CC Plaza de las Américas y CC Titán Plaza, actualmente están terminando de implementar los dispositivos de LoRa y LoRaWAN, pero esto implica desafíos como la estabilidad de la comunicación entre los sensores y la señal para evitar interferencia con los controles de los vehículos.

Desafíos

Escalabilidad y Gestión de Dispositivos

Los centros comerciales suelen tener una gran cantidad de dispositivos IoT (sensores, cámaras, sistemas de control de clima, etc.). A medida que el número de dispositivos conectados crece, gestionar la red y asegurar una buena cobertura de LoRaWAN sin interferencias o congestión puede ser complicado.

Seguridad de los Datos

La transmisión de datos a través de redes LoRaWAN, aunque está encriptada, puede ser vulnerable si no se implementan correctamente medidas adicionales de seguridad. Los centros comerciales manejan información sensible, desde el control de inventarios hasta datos de clientes, lo que hace crítico implementar sistemas seguros de extremo a extremo.

Interferencias de Señales

En áreas densamente pobladas y cerradas, como los centros comerciales, las interferencias de otras señales inalámbricas, como Wi-Fi o Bluetooth, pueden afectar el rendimiento de LoRa y LoRaWAN. Esto requiere una planificación cuidadosa del diseño de la red.

Costos de Infraestructura

Aunque LoRaWAN es una tecnología de bajo costo en comparación con otras soluciones, la implementación en grandes áreas como centros comerciales puede requerir una inversión significativa inicial en gateways y sensores. Además, la integración con los sistemas existentes puede generar costos adicionales.

Adopción de Estándares

Aunque LoRaWAN es un estándar emergente, no todos los dispositivos IoT son compatibles con él. Esto puede limitar la elección de dispositivos para determinadas funciones dentro del centro comercial.

Perspectivas Futuras

Expansión de Aplicaciones IoT

LoRa y LoRaWAN son ideales para aplicaciones de baja potencia y largo alcance. En los centros comerciales, estas tecnologías pueden habilitar nuevas aplicaciones como el seguimiento de inventarios en tiempo real, la gestión de energía y el mantenimiento predictivo, reduciendo costos operativos.

Mejoras en la Tecnología LoRaWAN

A medida que LoRaWAN evoluciona, es probable que se vean mejoras en la capacidad de red, optimización del uso del espectro y mecanismos de seguridad más robustos. Esto facilitará la adopción en centros comerciales para una gama más amplia de casos de uso.

Personalización del Servicio al Cliente

Los centros comerciales podrían usar LoRaWAN para ofrecer experiencias personalizadas a los clientes, como promociones basadas en la ubicación a través de beacons y la

optimización de flujos de tráfico en tiendas y estacionamientos, mejorando la experiencia del visitante.

Integración con Inteligencia Artificial (IA)

La combinación de LoRaWAN con soluciones basadas en IA permitirá una mejor toma de decisiones basada en datos en tiempo real, como la predicción de patrones de consumo, gestión de afluencia de personas y control de temperatura y humedad en áreas específicas del centro comercial.

Sostenibilidad y Eficiencia Energética

Con el foco creciente en la sostenibilidad, LoRaWAN puede ser clave para implementar soluciones de monitoreo de energía y gestión de residuos en tiempo real. Esto ayudará a los centros comerciales a reducir su huella de carbono y a optimizar el uso de recursos.

Crecimiento de Ciudades Inteligentes

Los centros comerciales, como parte de las ciudades inteligentes, podrán integrarse con infraestructuras más amplias de IoT a nivel municipal, compartiendo datos y beneficiándose de sistemas urbanos como el transporte inteligente, el monitoreo del aire y la gestión de tráfico vehicular.

Conclusiones

Eficiencia Operativa: Las tecnologías LoRa y LoRaWAN ofrecen una solución eficiente y rentable para monitorear la disponibilidad de espacios de estacionamiento, optimizar la gestión del espacio y mejorar la eficiencia operativa en estacionamientos urbanos.

Mejora de la Experiencia del Usuario: Al proporcionar información en tiempo real sobre la disponibilidad de estacionamiento, las tecnologías LoRa y LoRaWAN pueden ayudar a reducir el tiempo y el estrés asociados con la búsqueda de estacionamiento, mejorando así la experiencia del usuario y la satisfacción general.

Desafíos de Ciberseguridad y Privacidad: Si bien las tecnologías LoRa y LoRaWAN ofrecen muchas ventajas, también plantean desafíos en términos de ciberseguridad y privacidad de datos. Es fundamental implementar medidas sólidas de seguridad y protección de datos para mitigar estos riesgos y garantizar la confiabilidad y la integridad de la red.

Interoperabilidad y Estandarización: La interoperabilidad y la estandarización son aspectos clave para el éxito y la adopción generalizada de las tecnologías LoRa y LoRaWAN. Al seguir estándares comunes y garantizar la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas, se pueden aprovechar al máximo los beneficios de estas tecnologías.

Potencial de Aplicación en Diversos Sectores: Además de la gestión de estacionamientos, las tecnologías LoRa y LoRaWAN tienen un potencial significativo de aplicación en una amplia gama de sectores, incluidos la agricultura, la logística, la salud, el medio ambiente y las ciudades inteligentes.

Cronograma y Actividades

Tabla 1

Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES	MES
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Preparación y Planificación	x											
Investigación y Recolección de Datos		X										
Desarrollo del Marco Teórico			x									
Redacción y Análisis				x								
Redacción Final y Revisión					x							
Finalización y Presentación								x				

Nota Cronograma mes a mes de las actividades a realizar

Mes 1: Preparación y Planificación

Semana 1: Selección del tema y definición del alcance de la monografía.

Semana 2: Revisión inicial de literatura y fuentes relevantes.

Semana 3: Elaboración del plan de trabajo detallado y establecimiento de objetivos.

Semana 4: Redacción del esquema preliminar de la monografía y revisión de los métodos de investigación.

Mes 2: Investigación y Recolección de Datos

Semana 5-6: Investigación intensiva y recolección de datos sobre seguridad en redes

Semana 7: Análisis preliminar de los datos recogidos.

Semana 8: Consultas con expertos o asesores si es necesario.

Mes 3: Desarrollo del Marco Teórico

Semana 9-10: Redacción del marco teórico y conceptual.

Semana 11: Integración del marco teórico con la investigación realizada.

Semana 12: Primera revisión y edición del marco teórico.

Mes 4: Redacción y Análisis

Semana 13-14: Redacción de los hallazgos y análisis.

Semana 15: Desarrollo de los argumentos y discusión.

Semana 16: Segunda revisión y edición del borrador.

Mes 5: Redacción Final y Revisión

Semana 17-18: Redacción de las conclusiones y recomendaciones.

Semana 19: Revisión integral del borrador completo de la monografía.

Semana 20: Realización de ajustes y mejoras según sea necesario.

Mes 6: Finalización y Presentación

Semana 21: Revisión final y preparación para la presentación.

Semana 22: Preparación de material de apoyo para la presentación

Semana 23: Ensayos de la presentación.

Semana 24: Presentación de la monografía y entrega final.

Presupuesto

El presupuesto para el proyecto de investigación cubrirá los siguientes elementos:

Tabla 2

Presupuesto para el Proyecto de Investigación

ITEM	Valor
Acceso a información respecto a la implementación de redes LoRa y LoRaWAM	\$0
Visitas a centros comerciales para validar proyectos implementados ya analizar vulnerabilidades	\$200,000
Software para análisis de la información	\$80,000
Elementos de oficina (papelería, copias...)	\$50,000
Honorarios de revisión externa de los hallazgos	\$50,000
Presupuesto Total	\$380,000

Nota. presupuesto de la investigación

Referencias Bibliográficas

- Alai Secure - Colombia. (2023, February 8). *7 ventajas de LoRaWAN. ¿A qué tipo de empresas da mejores soluciones?* - AlaiSecure - Colombia. AlaiSecure - Colombia.
<https://alaisecure.co/blog/7-ventajas-de-lorawan-a-que-tipo-de-empresas-da-mejores-soluciones/>
- Becolve Digital. (2023, April 27). *Conceptos básicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN en minutos.* <https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/>
- Conectar un sensor LoRaWAN desde cero* - Catsensors. (n.d.).
<https://www.catsensors.com/es/catsensors/catnews/conectar-un-sensor-lorawan-desde-cero>
- Estrada, K. (2023, September 26). *Hacia un mundo más conectado: LoRaWAN como Pilar de IoT.* <https://es.linkedin.com/pulse/hacia-un-mundo-m%C3%A1s-conectado-lorawan-como-pilar-de-iot-kellie-estrada>
- GOTO IoT | Introducción a LoRaWAN.* (n.d.).
https://www.gotoiot.com/pages/articles/lorawan_intro/index.html
- Hector. (2020, June 15). *LoRaWAN – Parte 5 – Tutorial de despliegue.* El Bosque De Silicio. <https://elbosquedesilicio.es/lorawan5/>
- Iboluda. (2021, January 15). *LoraWan – Caso práctico TTN alta de Gateway y Aplicación. Parte 1.* BConsultors. <https://bconsultors.com/2020/12/30/lorawan-caso-practico-ttn-alta-de-gateway-y-aplicacion-parte-1/>

IoT Consulting. (2021, March 15). *LoRa vs LoRaWAN – ¿Cuál es la diferencia?* Tu

Fuente Experta En IoT. <https://iotconsulting.tech/lora-vs-lorawan/>

Los Pros y los Contras de Diferentes Redes LPWAN para tu Aplicación IoT. (2024, July 1).

Altium. <https://resources.altium.com/es/p/the-pros-and-cons-of-different-lpwan-networks-for-your-iot-application>

Rcarrillo. (2024, July 24). *Qué es LoRa, cómo funciona y características principales.* Venco

Electrónica. <https://www.vencoel.com/que-es-lora-como-funciona-y-caracteristicas-principales/>

RIUD :: Inicio. (n.d.).

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22411/?jsessionid=7C091621391EAC942C5BD76DC329B175?sequence=1>

Tecnología LoRA y LoRAWAN - Catsensors. (n.d.-a).

<https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>

Tecnología LoRA y LoRAWAN - Catsensors. (n.d.-b).

<https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>

Terol, M. (2022, June 13). *LoRa y LoRaWAN: conoce sus diferencias y ventajas.*

Blogthinkbig.com. <https://blogthinkbig.com/lora-lorawan-diferencias-ventajas>