



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico con
Mención en Telecomunicaciones**

Implementación de un prototipo mediante Internet de las cosas para mejorar la gestión de recojo de residuos sólidos en contenedores soterrados, en el distrito de San Miguel

PRESENTADO POR

Hernández Vara Cadillo, Marcos Miguel

ASESOR

Del Carpio Salinas, Jorge Alberto

Lima, Perú, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD ANTIPLAGIO TURNITIN

Mediante la presente, Yo:

1. MARCOS MIGUEL HERNÁNDEZ VARA CADILLO; identificado con DNI 10788740

Somos egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería del año 2022 – I, y habiendo realizado la ¹ Tesis para optar el Título Profesional de ² _Ingeniero Electrónico con mención en telecomunicaciones, se deja constancia que el trabajo de investigación fue sometido a la evaluación del Sistema Antiplagio Turnitin el 02 de JULIO de 2024, el cual ha generado el siguiente porcentaje de similitud de ³: 13%

En señal de conformidad con lo declarado, firmo el presente documento a los 10 días del mes de Setiembre del año 2024



Egresado 1

Egresado 2

Egresado 3



Asesor: Jorge Alberto Del Carpio Salinas
DNI :10271988

¹ Especificar qué tipo de trabajo es: tesis (para optar el título), artículo (para optar el bachiller), etc.

² Indicar el título o grado académico: Licenciado o Bachiller en (Enfermería, Psicología ...), Abogado, Ingeniero Ambiental, Químico Farmacéutico, Ingeniero Industrial, Contador Público ...

³ Se emite la presente declaración en virtud de lo dispuesto en el artículo 8°, numeral 8.2, tercer párrafo, del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD, modificado por Resolución de Consejo Directivo N° 174-2019-SUNEDU/CD y Resolución de Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD.

FINAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uch.edu.pe

Fuente de Internet

4%

2

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

3

Submitted to Universidad de Ciencias y
Humanidades

Trabajo del estudiante

<1%

4

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

5

www.mef.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

lexsoluciones.com

Fuente de Internet

<1%

8

naylampmechatronics.com

Fuente de Internet

<1%

9

www.researchgate.net

Fuente de Internet

Dedico este trabajo a mis hijos, y a mi esposa que siempre me apoyó a convertir mi sueño en realidad, sin ella no hubiera podido lograrlo.

Un agradecimiento especial a la Universidad de Ciencias Humanidades que me brindo la oportunidad de poder culminar mi formación profesional de forma exitosa e inspirar mi espíritu de investigar y la motivación por seguir aprendiendo cada día más.

Resumen

En la actualidad, cabe destacar que muchos distritos de Lima metropolitana poseen contenedores de residuos sólidos del tipo soterrado, los cuales muchas veces no permite apreciar el nivel de desechos que se encuentran en su interior y al mismo tiempo el recojo de estos, carece de una buena gestión. En la mayoría de los casos la basura es recogido a un horario establecido por las noches y otras veces después de varios días, desconociendo si estuvo lleno o vacío el contenedor soterrado. De este modo, mediante el presente trabajo de investigación realizado, se muestra la alternativa de un prototipo con una red inteligente que cuenta con la capacidad de poder monitorear los contenedores recolectores de residuos sólidos. Para ello, se tomará como propuesta al distrito de San Miguel, Lima-Perú, debido a que posee una gran cantidad de contenedores soterrados en todo el distrito, el cual nos indicará en tiempo real el nivel ocupado por los residuos sólidos domiciliarios, los cuales son expresados en porcentaje, permitiendo determinar de esta manera el estado en que se encuentra cada contenedor, así como también la ubicación de este. Dentro de este orden de ideas, se diseñará una red inteligente usando la tecnología de radio LoRa (radio de largo alcance) basado en redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) siendo implementada con tecnología perteneciente a la red LoRaWAN, y para tal fin se usará como canal de comunicación las frecuencias de la Banda ISM (Industrial Scientific and Medical). Cabe mencionar que en Perú está permitido usar la frecuencia a partir de los 915 MHz. Siguiendo con la idea anterior, resulta que los contenedores a monitorear llamados Nodos enviarán la información a un Gateway central y esta a su vez retransmitirá la información mediante conexión wifi o Ethernet de los datos obtenidos a la aplicación web para el monitoreo. El camión recolector podrá ver en tiempo real a través de una App el estado de los contenedores y simultáneamente el centro de control podrá visualizar todos los datos obtenidos de los diversos contenedores. Esta información será recibida y almacenada en un servidor de red virtual (VPS) de la

plataforma de Things Network. Asimismo, se espera obtener un mejor control en lugares donde están ubicados los contenedores de desechos sólidos y así lograr disminuir los puntos críticos de acumulación de basura, gracias a la buena gestión y a los reportes en tiempo real que podrán ser monitoreados vía la plataforma web de monitoreo o las aplicaciones en los teléfonos.

palabras claves: Lora, Lorawan, LPWAN, Things Network, Banda ISM.

Abstract

Currently, it is worth noting that many districts in metropolitan Lima have underground solid waste containers, which often do not allow the level of waste inside to be appreciated, and the collection of these lacks proper management. In most cases, they are collected at a scheduled time during the night, and other times after several days, without knowing if the underground container was full or empty. Thus, through the present research work, an alternative prototype with a smart network capable of monitoring solid waste collection containers is presented. For this purpose, the district of San Miguel in Lima, Peru, will be proposed, as it has a large number of underground containers throughout the district. This prototype will indicate in real-time the level of occupancy by household solid waste, expressed as a percentage, allowing to determine the status of each container, as well as its location. Within this framework, a smart network will be designed using LoRa (Long Range Radio) technology based on LPWAN (Low Power Wide Area Network), implemented with technology belonging to the LoRaWAN network, and the ISM Band frequencies (Industrial Scientific and Medical) will be used as the communication channel. It is worth mentioning that in Peru, the frequency from 915 MHz is allowed for use. Following the previous idea, the containers to be monitored, called Nodes, will send the information to a central Gateway, which will in turn retransmit the data obtained to the web application for monitoring via wifi or Ethernet connection. The waste collection truck will be able to see in real-time through an app the status of the containers, and simultaneously, the control center will be able to visualize all the data obtained from the various containers. This information will be received and stored on a virtual network server (VPS) of the Things Network platform. Likewise, it is expected to achieve better control in places where solid waste containers are located and thus reduce critical points of garbage accumulation, thanks to good management and real-time reports that can be monitored via the web monitoring platform or phone applications

Keywords: Lora, LoraWAN, LPWAN, Things Network, Band ISM

Contenido

RESUMEN	IV
ABSTRACT	VI
CONTENIDO.....	VIII
LISTAS DE FIGURAS.....	XIII
LISTAS DE TABLAS	XVII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1.1. Planteamiento y descripción del problema	4
1.1.2. Formulación del problema general	6
1.1.3. Formulación de los problemas específicos	6
1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.3.1. Justificación técnica.....	7
1.3.2. Justificación Económica	8
1.3.3. Justificación Social	9
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.4.1. Alcances	10
1.4.2. Limitaciones.....	11

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	12
2.1. ANTECEDENTES.....	13
2.1.1. Internacionales	13
2.1.2. Nacionales	15
2.2. MARCO TEÓRICO	16
2.2.1. Residuos solidos.....	16
2.2.2. Puntos críticos	16
2.2.3. Gestión de los residuos sólidos.	17
2.2.4. Impacto ambiental	17
2.2.5. Impacto a la salud.....	18
2.2.6. Contenedores de residuos solidos.....	18
2.2.7. Internet de las cosas.....	25
2.2.8. Arquitectura de internet de las cosas.....	25
2.2.9. Redes IoT	25
2.2.10. Plataformas electrónicas para IoT	27
2.2.11. ESP32.....	27
2.2.12. Arduino	28
2.2.13. Raspberry Pi.....	28
2.2.14. Sensores.....	29
2.2.15. Conectividad de Áreas Locales (LAN)	29
2.2.16. Conectividad en Áreas extensas (WAN).....	30
2.2.17. Plataformas web para IoT.....	31
2.2.18. Aplicaciones IoT	32
2.2.19. Base de datos.....	32
2.3. MARCO METODOLÓGICO.....	32
2.3.1. Tipo de Investigación.....	32
2.3.2. Metodología de la investigación.....	33

2.4. MARCO LEGAL.....	33
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	35
3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RECOJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CONTENEDORES SOTERRADO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL.....	36
3.2. DISEÑAR EL SISTEMA IOT A IMPLEMENTAR PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE LOS CONTENEDORES SOTERRADOS	40
3.2.1. Diagrama en Bloques del sistema	40
3.2.1. Selección de los componentes	42
3.2.2. Componentes del sistema del prototipo.....	45
3.2.3. Arquitectura del Sistema.....	52
3.3. SELECCIÓN DE LA MEJOR TECNOLOGÍA INALÁMBRICA DE IOT PARA EL MONITOREO DE RESIDUOS EN LOS CONTENEDORES.	53
3.4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO A IMPLEMENTAR PARA LA MEDICIÓN DE LOS CONTENEDORES.....	56
3.4.1. Componentes utilizados.....	56
3.4.2. Procedimiento para la implementación del prototipo	57
3.4.3. Funcionamiento y pruebas del prototipo	73
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS.....	98
4.1. ANÁLISIS DE COSTOS	99
4.1.1. Recursos Humanos	99
4.1.2. Recursos Materiales	100
4.1.3. Recursos de software	101
4.2. ANÁLISIS DE BENEFICIOS.....	103
4.2.1. Beneficios Tangibles.....	103

4.2.2. Análisis de Costo/Beneficio	104
4.3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD	109
4.3.1. Desarrollo del Flujo de Caja.....	109
4.3.2. Análisis del VAN	110
4.3.3. Análisis del TIR.....	111
4.3.4. Análisis de ROI	112
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS.....	115
GLOSARIO	118
ANEXOS	119
Anexo A: Relación de contenedores soterrados en el distrito de San Miguel.....	120
Anexo B: Diagrama de Gantt.....	121
Anexo C: Matriz de Consistencia.....	122
Anexo D: Hoja técnica Gateway LPS8 Dragino	123
Anexo E: TTGO ESP32 LoRa V2 pinout y características	124
Anexo F: CHIP LoRa Marca Semtech	126
Anexo G: Sensor Ultrasonido HC-SR04.....	127
Anexo H: Plataforma web LoRaWAN The Things Network	128
Anexo I: Plataforma web IoT ThingSpeak.....	129

Anexo J: Plataforma web IoT Ubidots STEM	130
Anexo K: Enlace video explicando el funcionamiento del prototipo	131

Listas de figuras

Figura 1	17
<i>Punto crítico alrededor de un contenedor</i>	17
Figura 2 <i>Contenedor soterrado, distrito de San Miguel</i>	19
Figura 3 <i>Funcionamiento de un contenedor soterrado</i>	20
Figura 4 <i>Procedimiento de Recojo de residuos en contenedor soterrado</i>	21
Figura 5 <i>Izamiento del contenedor soterrado</i>	22
Figura 6 <i>Vaciado del contenedor soterrado por camión grúa recolector</i>	23
Figura 7 <i>Finalizacion del proceso de vaciado del contenedor soterrado</i>	24
Figura 8 <i>Contenedor soterrado de 3 buzones</i>	37
Figura 9 <i>Contenedor soterrado, distrito de San Miguel sin monitoreo</i>	38
Figura 10 <i>Contenedor soterrado desbordado</i>	39
Figura 11 <i>Diagramas de bloques del sistema IoT a implementar</i>	41
Figura 12	46
<i>Funcionamiento del sensor ultrasonido</i>	46
Figura 13	48
<i>Tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V2 oled 9.6"</i>	48
Figura 14 <i>Gateway Dragino Modelo LPS8</i>	50
Figura 15 <i>Plataforma web IoT thingspeak</i>	51
Figura 16 <i>Arquitectura de nuestro prototipo a implementar</i>	53
Figura 17 <i>Conexión entre el microcontrolador LoRa y el sensor de ultrasonido</i>	58

Figura 18 Caja metalica para proteccion del microcontrolador LoRa y el sensor	59
Figura 19 Adaptacion de la antena en la caja metalica.....	60
Figura 20 Nodo sensor implementado en su proteccion metalica	61
Figura 21 Programacion esp32 LoRa en entorno arduino	62
Figura 22 Programacion esp32 LoRa usando librerias para su programacion	62
Figura 23 Programacion esp32 LoRa asignacion de pines.....	63
Figura 24 Programacion esp32 LoRa midiendo distancia.....	63
Figura 25 Consola de configuracion de aplicación y gateway	64
Figura 26	65
Aplicación con los nodos registrados	65
Figura 27 Nodo 1 a con actividad	66
Figura 28 Integracion TTN con plataformas IoT.....	67
Figura 29 Configuracion del gateway Dragino para comunicación a TTN	68
Figura 30 Configuraracion de la banda ISM AU915 MHz correspondiente al uso en Perú.....	68
Figura 31 Conexión exitosa del gateway dragino a LoRaWAN	69
Figura 32	70
Consola de configuracion del gateway en TTN para la implementacion de la red LoRaWAN	70
Figura 33 Configuracion del gateway en la plataforma LoRaWAN	71
Figura 34 Aplicación web TTN Mapper mostrando el gateway implementado	71
Figura 35 Plataforma IoT thingSpeak	72

Figura 36	Canal ThingSpeak para el monitoreo de los contenedores	73
Figura 37	Gateway Dragino implementado para pruebas del prototipo	74
Figura 38	Prototipo de Contenedor con medidas de 35x35x35cm	75
Figura 39	Instalación del nodo sensor en el prototipo de contenedor	76
Figura 40	Implementación final del nodo sensor en el prototipo de contenedor	77
Figura 41	Implementación final del prototipo de contenedor	78
Figura 42	Implementación final del nodo sensor en el prototipo de contenedor	79
Figura 43	Alerta de contenedor en límite máximo	80
Figura 44	Gateway LoRaWAN recibiendo datos del nodo	81
Figura 45		82
	Aplicación nodo recibiendo datos del sensor	82
Figura 46	Aplicación móvil IoT para monitorear el contenedor	83
Figura 47	Plataforma web IoT para monitorear el contenedor	84
Figura 48	Plataforma web IoT para monitorear el estado de los nodos	85
Figura 49	Prototipo en estado vacío y aplicación muestra nivel vacío	86
Figura 50	Prototipo comenzando a ser llenado de residuos	87
Figura 51	Prototipo con residuos sólidos en proceso de llenado	88
Figura 52	Prototipo en estado lleno y aplicación mostrando el nivel	89
Figura 53		90
	Plataforma web thingSpeak visualizando datos	90
Figura 54	Contenedor de la av. Riva Agüero cuadra 8 simulación de pruebas	91
Figura 55	Enlace entre el gateway y el nodo (contenedor)	92
Figura 56	Área de cobertura de señal del gateway	95

Figura 57	Plataforma web Ubidots mostrando el nivel de señal del nodo.....	96
Figura 58		97
	Plataforma web TTN Mapper mostrando conexión entre gateway y nodo.....	97
Figura 59		105
	Gateway de uso comercial.....	105
Figura 60		106
	Sensor ultrasonico de la marca sensoneo	106
Figura 61		107
	Plataforma IoT comercial	107
Figura 62		108
	Costos plataforma IoT comercial.....	108

Listas de tablas

Tabla 1	42
<i>Comparativo de sensores</i>	42
Tabla 2	44
<i>Comparativo de microcontroladores</i>	44
Tabla 3	54
<i>Comparativo de redes LPWAN</i>	54
Tabla 4	99
<i>Valoración de recursos humanos</i>	99
Tabla 5	100
<i>Presupuesto de hardware</i>	100
Tabla 6	102
<i>Presupuesto de software</i>	102
Tabla 7	102
<i>Otros Gastos</i>	102
Tabla 8	103
<i>Gastos Totales</i>	103
Tabla 9	104
<i>Beneficios tangibles</i>	104
Tabla 10	109
<i>Flujo de caja del proyecto</i>	109

Introducción

En este trabajo de investigación se propone realizar un prototipo basado en el internet de las cosas para poder controlar los niveles de basura acumulada de un contenedor soterrado.

Todos los días se generan residuos sólidos domiciliarios y no contar con una buena gestión en la recolección traerá repercusiones económicas, sociales, tecnológicas y ambientales, siendo importante que intervengan todos los ciudadanos y sus gobiernos locales para tener éxito en dicha labor. Un eficiente recojo de desechos domiciliarios logrará mitigar el impacto ambiental, problemas de salud y costos en la recolección. Los distritos de Lima Metropolitana cuentan con contenedores de residuos de tipo soterrado, que reducen el impacto ambiental, uno de ellos es el distrito de San Miguel que desde el 2015 viene implementando este tipo de contenedor en el lugar, pero muchas veces los vecinos y el propio Municipio desconocen cuando es necesario el recojo de los residuos internos y solo usa una frecuencia de recojo desconociendo si es necesario o fue muy tarde la recolección; por lo que muchas veces los vecinos del lugar dejan la basura del contenedor sin saber realmente el contenido de este. En función de lo planteado, el internet de las cosas nos brinda una posibilidad de optimizar la gestión de residuos, teniendo un control en tiempo real. Esto se basa monitoreando de manera constante el interior del contenedor de residuos sólidos usando una red en radiofrecuencia y conectada a internet, lo que permitirá poder ver su estado en tiempo real. Pero, surgen algunos desacuerdos referentes a la vida útil, su alcance y de los gastos que conlleven su estado de operatividad del Internet de las Cosas (IoT), siendo su mayor traba porque está relacionado con el sistema de alimentación energética y su autonomía. Evaluando este inconveniente, podemos enfocarnos en dispositivos con tecnología de reducido consumo de energía; para tal caso, podemos mencionar el uso de tecnología inalámbrica LoRa (Long Range) que es un radio de largo alcance y de bajo

consumo de batería. Estas características son fundamentales para los diseños de propuestas de internet de las cosas, donde se requiere obtener gran alcance, bajo consumo y tener una propia red de comunicación basada en IoT. Se debe mencionar que, Lora es una tecnología de modulación para comunicaciones en redes amplias y de baja potencia (LPWAN) para lograr abarcar gran cobertura de comunicación satisfaciendo a la sociedad actual. Dentro de las redes LPWAN, podemos encontrar a LoRaWAN como una solución a conexiones de red amplia que se comunica a baja potencia de forma bidireccional a bajas velocidades de datos, por lo general esta tecnología se encuentran en frecuencias libres que se encuentran en el espectro ISM (Industrial, Scientific and Medical). En nuestro caso se usará la banda 915 MHz, la cual no requiere de licencia para el uso de la frecuencia y facilita que se pueda implementar y desarrollar; logrando ventajas frente otras tecnologías que requieren licencia para su operación. Asimismo; se espera alcanzar una mejor gestión en puntos de acopio donde se ejecutará la recolección de los desechos domiciliarios, evitando que estos ocasionen puntos críticos por la acumulación de basura y de esta manera ahorrar tiempos innecesarios del reporte real que tendrá los camiones recolectores y a su vez tendrá un control de los sitios de recolección provenientes de la información de los datos obtenidos vía la plataforma web.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento y descripción del problema

En la actualidad, a nivel mundial, con el crecimiento de las poblaciones urbanas se generan diariamente residuos sólidos por lo que tener una buena gestión representa un desafío ambiental y social. Lima Metropolitana genera alrededor de 10,371.1 tonelada de residuos sólidos al día (INEI, 2021), esto nos hace pensar que se debería contar con una buena gestión en el recojo de basura en distintos distritos de Lima.

Las malas gestiones en algunos distritos de Lima, lamentablemente nos hace ver lugares con basura acumuladas convirtiéndose en puntos críticos. Los llamados puntos críticos, es la acumulación de residuos sólidos municipales, generados en la vías, espacios y áreas pública (MINAM, 2017). El municipio de la jurisdicción tiene la responsabilidad de limpiar, remover la basura y eliminar estos puntos cruciales. Todas las municipalidades tienen la obligación de presentar su programa de trabajo para el recojo de residuos sólidos (PMR) proyectados para los años 2021 al 2025, siendo presentados ante el ministerio del ambiente y a su vez validado mediante el organismo fiscalizador OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental).

Es conveniente recalcar que a los residuos sólidos frecuentemente se les llama basura, por lo general son almacenados en contenedores los cuales casi siempre se encuentran completamente llenos y rebalsando, ocasionando puntos críticos de contaminación.

Con relación a esta problemática, muchas veces la basura queda expuesta hasta que pueda pasar el camión recolector del distrito correspondiente y esto justamente se debe por la mala o escasa gestión en el recojo de desechos domiciliarios y también se debe por el incremento de las zonas urbanas. En la medida que se pueda contar con una favorable gestión que se encargue de recoger los residuos sólidos municipales usando sistema para controlar los puntos críticos, ayudaría a erradicar esta problemática en la ciudad de Lima.

El gobierno municipal de San Miguel genera alrededor de 153.3 toneladas diarias de basura (INEI, 2021) y posee contenedores para residuos sólidos del tipo soterrado, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo de su jurisdicción. Estos contenedores muchas veces están totalmente llenos, por ende, los desechos domiciliarios se encuentran a su costado o a sus alrededores como si fuera parte de localización de basura. Esto ocurre hasta que el camión recolector pase por los contenedores, que generalmente lo hace en horas de la madrugada. Mientras tanto, esto va formando un punto crítico en horas del día como consecuencia de la basura expuesta a su alrededor. Debe indicarse que los contenedores algunas veces se encuentran todavía con capacidad de poder almacenar residuos, pero como no existe ningún indicador para los vecinos que usan este tipo de punto de recolección algunos dejan la basura al pie del contenedor. En otras ocasiones el recolector se encuentra al máximo de su punto de recolección y requiere ser limpiado para nuevamente entrar en funcionamiento. Sucede pues, que la municipalidad distrital no maneja un control sobre estos contenedores y desconoce cuál podría estar lleno o vacío antes de que pase el camión recolector. Por ende, es importante

tener una excelente gestión de recolección de la basura para este tipo de contenedores.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Cómo lograr la mejora del sistema del recojo de residuos sólidos y así lograr optimizar la gestión del área de subgerencia de la limpieza pública en el municipio del distrito de San Miguel?

1.1.3. Formulación de los problemas específicos

P.E.1. ¿Cómo se encuentra actualmente el sistema para recoger los residuos sólidos en los contenedores soterrados del distrito de San Miguel?

P.E.2. ¿Cómo se podría mejorar los procesos para recoger los residuos sólidos en los contenedores en el distrito de San Miguel?

P.E.3. ¿Cómo lograr monitorear en el nivel de los contenedores de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Miguel?

P.E.4. ¿Cómo comprobar el funcionamiento de la solución a implementar para la mejor gestión de residuos sólidos en el distrito de San Miguel?

1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo basado en el internet de las cosas (IoT) utilizando tecnología inalámbrica para optimizar la

gestión de recolección de residuos sólidos en contenedores soterrados en el distrito de San Miguel.

1.2.2. Objetivos específicos

O.E.1. Analizar la condición actual al sistema de recojo de los residuos sólidos en los contenedores soterrados del gobierno municipal distrital de san miguel.

O.E.2. Diseñar un sistema electrónico basado en IoT que ayude a tener una mejor eficiencia en el tratamiento de recolectar residuos sólidos de los contenedores que ataña a la zona distrital de San Miguel.

O.E.3. Determinar la mejor tecnología inalámbrica de IoT que se pueda implementar para monitorear el nivel de llenado de los soterrados para el distrito de San Miguel.

O.E.4. Desarrollar un prototipo que sirva de simulación para poder validar el funcionamiento y verificar el nivel de llenado dentro de los contenedores soterrados.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

Este diseño electrónico usará sensores del tipo ultrasonido que puedan medir la cantidad de residuos sólidos mediante distancia. Para realizar el proceso digital se usará una tarjeta de desarrollo integrada con pines de entrada y salidas analógicas como digitales que permitirá la entrada de datos de los sensores a implementar.

Por lo que, para transmitir la información, se usará el medio inalámbrico mediante antena externa, usando frecuencias en banda libre para minimizar los costos de implementación.

Por lo tanto, se usará la plataforma abierta de aplicaciones IoT de la nube, para el proceso de la información recibida, la visualización y almacenamiento de la data. Pudiendo tener a su vez un registro en tiempo real en los teléfonos mediante una App de la misma plataforma.

1.3.2. Justificación Económica

En el Perú, a nivel de gobierno municipal, no se ha implementado controles para los residuos sólidos de los puntos de acopio. Por lo que contar con sistemas de control y monitoreo mejoraría la logística en el recojo de residuos.

Existen empresas que logran desarrollar un sistema integrado mediante software propietario. Sin duda alguna, considerar adquirir estos, encarecería su implementación debido al gasto inicial para producirla. Para tal consideración de este tipo de empresas podemos mencionar a la Empresa Sensoneo de origen esloveno que fabrica módulo nodo que se autorregistran a redes LoRaWAN existentes, estos sensores singles 3.0 sirven para medir el nivel de contenedores de basura en su interior.

La presente investigación es de implementación gradual y que puede implementarse de forma individual y escalonada lo que permite un ahorro en el costo inicial.

1.3.3. Justificación Social

El gran cúmulo de basura que se observa en la vía pública trae como consecuencia el incremento de cucarachas, roedores y moscas los cuales son encargados de transmitir enfermedades como infección de estómago e intestinos, tifoidea, diarrea, cólera, y demás enfermedades.

Por lo tanto, cuando estos residuos no son recogidos a tiempo, los pobladores que residen cerca de los acopios de basura suelen quemarla y esto por consiguiente genera un riesgo, tales como las afecciones a las vías respiratorias.

En ese sentido, este proyecto beneficiará a las personas que se encuentran cerca de un punto de recolección de residuos, reflejando como resultado la limpieza y salubridad del lugar.

Las autoridades municipales deberían implementar este sistema con el fin de fortalecer el nivel de puntualidad y aviso de recolección de basura. De esa manera, se estaría beneficiando a los residentes del distrito que implementen este sistema, trayendo consigo una mejoraría en la calidad de vida, porque el lugar donde residen se encontraría más limpio, libre de basura y a nivel urbano contribuye a la mejora paisajística.

Con este sistema se busca sensibilizar sobre el hecho de disminuir los riesgos inherentes a la salud a los que se ven expuestos los vecinos cercanos a los centros de acopio de residuos.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Alcances

En lo que respecta al trabajo investigativo logrará medir cantidades de desechos domiciliarios que se encuentra dentro de contenedores soterrados. Siendo expresados en porcentajes según su nivel, los cuales son captados a través del uso de sensores digitales ultrasónicos, que permitirán obtener esta variable.

Una vez superado el nivel de llenado, se enviará alertas periódicas en intervalos de tiempo hacia el centro de monitoreo. Los datos obtenidos gracias al sensor serán procesados por una tarjeta de desarrollo TTGO con chip integrado Lora32, la que tendrá como función de enviar los datos por medio de la red inalámbrica a implementar LoRaWAN, de radiofrecuencia en la banda de 915 MHz hacia un centro de monitoreo. Para los casos que no exista línea de vista se usará antena externa para aumentar la ganancia y lograr tener mayor radio de cobertura.

El prototipo se alimentará mediante una batería de libre mantenimiento de larga duración del tipo de lones de litio, y además por usar tecnología LoRa de bajo consumo, las baterías tendrán una duración promedio de 3 años.

La información será almacenada en una plataforma Web como The Things Network para tener los reportes de cuáles son los puntos de mayor recolección o para poder implementar más contenedores.

Este proyecto puede ser implementado de forma gradual y puede ir creciendo según las necesidades.

En el presente proyecto se desarrollará un prototipo que puede ser implementado dentro de la jurisdicción de San Miguel, Lima Metropolitana, con el propósito de poder constatar la operatividad de los componentes electrónicos, de la adquisición y transferencia de datos usando red propia que a su vez irá dirigida al centro de monitoreo y a una página web.

Este proyecto busca beneficiar a la municipalidad y al distrito de San Miguel y puede ser replicado en diversas municipalidades de Lima que no cuentan con sistemas para monitoreo de control de los contenedores soterrados. Adicionalmente, ayudaría a los vecinos que se encuentran cercanos a los puntos de recolección a que no se generen puntos críticos.

1.4.2. Limitaciones

El sistema no contempla el desarrollo de un software específico para el monitoreo de los contenedores, ya que se usará plataformas web existentes y se adaptará a las necesidades que se requieran.

El sistema deberá tener una revisión periódica de aproximadamente cada 12 meses de forma rutinaria para evaluar el estado de la batería y componentes del sistema ubicados en los contenedores.

Los obstáculos en la trayectoria de la señal hacia los puntos de monitoreo van a depender de la ubicación del Gateway central, así como de la altura donde se alojará la antena y los obstáculos del área urbana.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

Guerrero (2018), realizó un análisis para encontrar la mejor propuesta tecnológica de recolección de desechos domésticos en ciudad de Guayaquil para el sector de Nueva Guayaquil. En su investigación busca una alternativa de diseño de contenedores inteligentes como una opción para la gestión de recolección. Logró encontrar la aprobación de más del 60% de la población para que se pueda usar esta tecnología en los contenedores de recolección, basándose para ello en un estudio estadístico en la zona. Como resultado de esto, llega a recomendar que se implementen los contenedores inteligentes en la zona y definiendo el tipo de sensor a usar, escogiendo el FLS 100 de MOBA que a su vez opera con red GPRS o Sigfox mediante una suscripción pagada, diseñado especialmente para este tipo de trabajo. Se puede inferir que para el tipo de sensor a implementar en nuestro proyecto debemos tener las consideraciones de protección ante los factores climatológicos y el tipo de red a conectarse.

Acosta (2020), la principal problemática fue el desborde de la basura que estaban en los contenedores. Esto originó proporcionar una solución a este problema, realizando la medición de la basura que estaba dentro del contenedor. Para ello, usó tres variables: Nivel vacío, nivel medio y nivel lleno, la muestra fue adquirida mediante un sensor ultrasónico y con el uso de Raspberry Pi alimentado mediante baterías y módulos de paneles fotovoltaicos, y mediante el módulo GSM/GPRS pudo transmitir los datos obtenidos, logrando como resultado el poder monitorear en

tiempo real la basura que estaban dentro del contenedor y poder ser visualizados en una página web, para una mejor gestión en el recojo de desechos en un contenedor. Podemos analizar que la forma de transmitir los datos obtenidos es enviada usando la red celular del algún operador, y esto generaría un gasto por cada contenedor a implementar, por eso es necesario contar con una misma red de radiofrecuencia que pueda gestionar el manejo de la información sin depender de terceros, lo cual se tomará en cuenta para nuestro trabajo de investigación.

Navarro et al. (2021), Los autores desarrollaron una arquitectura de IoT para el monitoreo del medio ambiente, recopilando datos, procesándolos y distribuyendo la información obtenida a través de los diversos sensores ambientales. En su propuesta de arquitectura se basaron en la comunicación del tipo de radio LPWAN seleccionando a LoraWan por su bajo consumo, largo alcance, y su uso de bandas no licenciadas. Diseñaron este sistema con un servidor de red y servidor de aplicaciones, convirtiéndola en una arquitectura robusta y adicionalmente usaron inteligencia artificial con el fin de procesar los datos. Lograron realizar pruebas con su arquitectura diseñada obteniendo parámetro de humedad, de temperatura y de luz, logrando visualizarla mediante el software Grafana, y juntamente con los dashboards permitió obtener graficas en tiempo real.

Mediante este trabajo de investigación nos brinda la posibilidad de usar plataforma para el manejo de datos usando LoRaWan, alcanzando a tener muchas posibilidades de enviar los datos en servidores de pago y gratuitos permitiendo que pueda implementar su propia red. Así mismo, es factible tener un entorno de visualización de datos y almacenarlos para la toma de decisiones.

2.1.2. Nacionales

Cavalier (2019), mediante su propuesta de diseñar contenedores ecológico e inteligente, buscó minimizar el impacto ambiental y de salud en la jurisdicción de Villa El Salvador de Lima, Perú. Para lo cual, en ese distrito mencionado se realizó un análisis para ubicar los contenedores de basura, guiado por los niveles de desechos generados diariamente por la población urbana que se encuentra alrededor, diseñando para ello un contenedor inteligente que pueda medir los niveles de residuos sólidos y pueda ser monitoreado por una plataforma web o aplicación. Los resultados fueron recomendaciones y conclusiones para el diseño de un contenedor ecológico y las mejores ubicaciones donde podría ser ubicados. Mediante este trabajo podemos concluir, que es necesario el uso de información de la proporción de desechos domiciliarios que se generan dentro de un contenedor permitiendo ayudar a determinar el sensor a usar en nuestro prototipo a implementar.

Zegarra (2020) En su trabajo de investigación, realizó una evaluación para determinar la mejor red inalámbrica, que mediante sensores pueda monitorear los balances hídricos de un ecosistema en la selva peruana. Estos pueden verse afectados sino cuentan con el monitoreo de los ecosistemas de los bosques amazónicos como los son en Tambopata. Uno de los factores primordiales es el balance hídrico, y esto lo pudo determinar con la medición del suelo mediante sensores y también con la medición del diámetro de los árboles usando dendrómetros. El lugar del análisis presenta abundante vegetación, pero mediante su evaluación logró hacer una comparativa de las diversas tecnologías inalámbricas existentes, y el análisis del cual se

acondicionaría con relación al lugar, y también poder obtener la mayor cobertura señal. Pudo determinar el uso de Lora como la más adecuada para su diseño a implementar. Logrando con su propuesta realizar su diseño de red de sensores y así alcanzaron a monitorear los ecosistemas en la selva del Perú. Mediante este trabajo podemos concluir que el uso de redes LPWAN como lo es LoRa en la tecnología inalámbrica, es de gran alcance y bajo coste para la implementación de una red propia a nivel de una localidad que nos servirá como red de IoT al momento de monitorear los contenedores de residuos sólidos.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Residuos solidos

Son residuos sólidos todo tipo de materiales, sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido que se desecha, que toma comúnmente el nombre de basura, estos deben ser acopiados y recolectados de manera diaria por el gobierno local, para prevenir riesgos en la salud y el medio ambiente, deben ser manejados y clasificados según la normativa nacional (MINAM, 2010).

2.2.2. Puntos críticos

Es el lugar donde se acumulan los residuos sólidos en la vía pública generando consecuencias ambientales y a la salud de las personas que se encuentran a su alrededor, así como también llegando alterar el paisaje de la ciudad. Las municipalidades son los responsables de la eliminación y erradicación de estos.

Como podemos visualizar en la Figura 1, un punto crítico se está generando alrededor de un contenedor de basura.

Figura 1

Punto crítico alrededor de un contenedor



Nota. La figura nos muestra el desborde de residuos sólidos alrededor de un contenedor, formando un punto crítico en la vía pública.

2.2.3. Gestión de los residuos sólidos.

Son las municipalidades las responsables de la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos, en todo el ámbito de su jurisdicción (MINAN 2010).

Los ciudadanos son también parte importante en la mejora de una buena gestión, con su colaboración en la segregación de residuos selectivos para su recolección.

2.2.4. Impacto ambiental

El almacenamiento y la disposición final de los residuos son las etapas del manejo que representan la exposición más prolongada

de los residuos al ambiente. Una de las mayores fuentes de contaminación ambiental es la presencia de residuos peligrosos, tanto industriales como domésticos, mezclados con los residuos municipales (MINAM, 2018).

2.2.5. Impacto a la salud

Las principales enfermedades a causa de la acumulación de basura, generando puntos críticos y principales enfermedades hacia los habitantes que se encuentran alrededor son los males intestinales, gástricos, parasitarios, respiratorios y dermatológicos, que se traducen en casos de tifoidea, cólera, disentería, hepatitis A, dermatitis, neumonías, diversos tipos de tifus, tétanos y otras molestias. (MINSA 2010).

2.2.6. Contenedores de residuos solidos

Son recipientes de gran tamaño que tienen como función principal de concentrar los residuos y desechos que provienen de los domicilios que se encuentran a sus alrededores. En la figura 2 nos muestra el contenedor del tipo soterrado instalado en el distrito san Miguel.

Figura 2

Contenedor soterrado, distrito de San Miguel



Nota. La figura nos muestra el contenedor del tipo de doble gancho de almacenaje de capacidad de recolección soterrada, no permitiendo ver el estado de su nivel para la recolección en tiempo real.

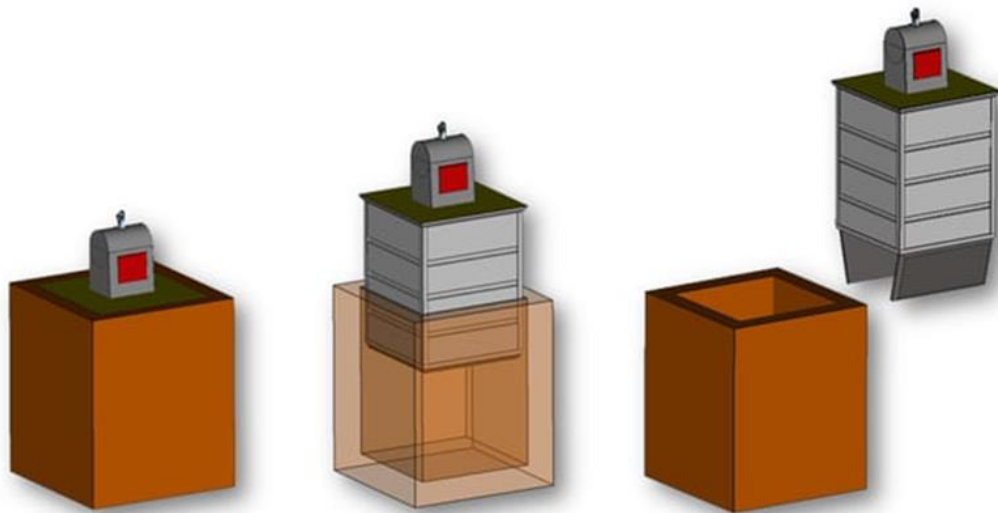
Los contenedores soterrados será el punto de acopio de residuos sólidos que se localizan debajo del nivel del suelo y cuentan con un punto de recolección en la parte superior de la plataforma soterrada, llamado buzones. Su almacenamiento es de aproximadamente de $3.73 m^3$.

En la figura 3, podemos apreciar el funcionamiento del contenedor soterrado con plataforma en sus diversas fases de recojo. El buzón

recolector se encuentra a nivel del suelo y el contenedor de almacenamiento se encuentra bajo tierra. La caja metálica recolectora es retirada a través de elevación juntamente con el buzón recolector y con un accionador tipo gancho abre las compuertas inferiores, para la liberación de los residuos sólidos.

Figura 3

Funcionamiento de un contenedor soterrado



Nota. Adaptado ejemplo de funcionamiento de contenedor soterrado con plataforma y elevado con grúa, García D, 2020, Blog molok

El proceso de recojo de los contenedores soterrados del tipo plataforma, primero es enganchado y luego elevado con camión grúa, como se puede observar en la figura 4, Dicho procedimiento

se basa en elevar el contenedor soterrado con sistema de vaciado de doble gancho mediante un camión grúa, en el que eleva todo el contenedor hacia el camión recolector y mediante el doble gancho se logra la apertura de la compuerta inferior dejando caer todos los residuos y luego lo vuelve a colocar en su zona soterrada. En este proceso se pudo evidenciar el uso del camión grúa, el operador del camión, y un personal de limpieza que ayudaba con los residuos circundantes.

Figura 4

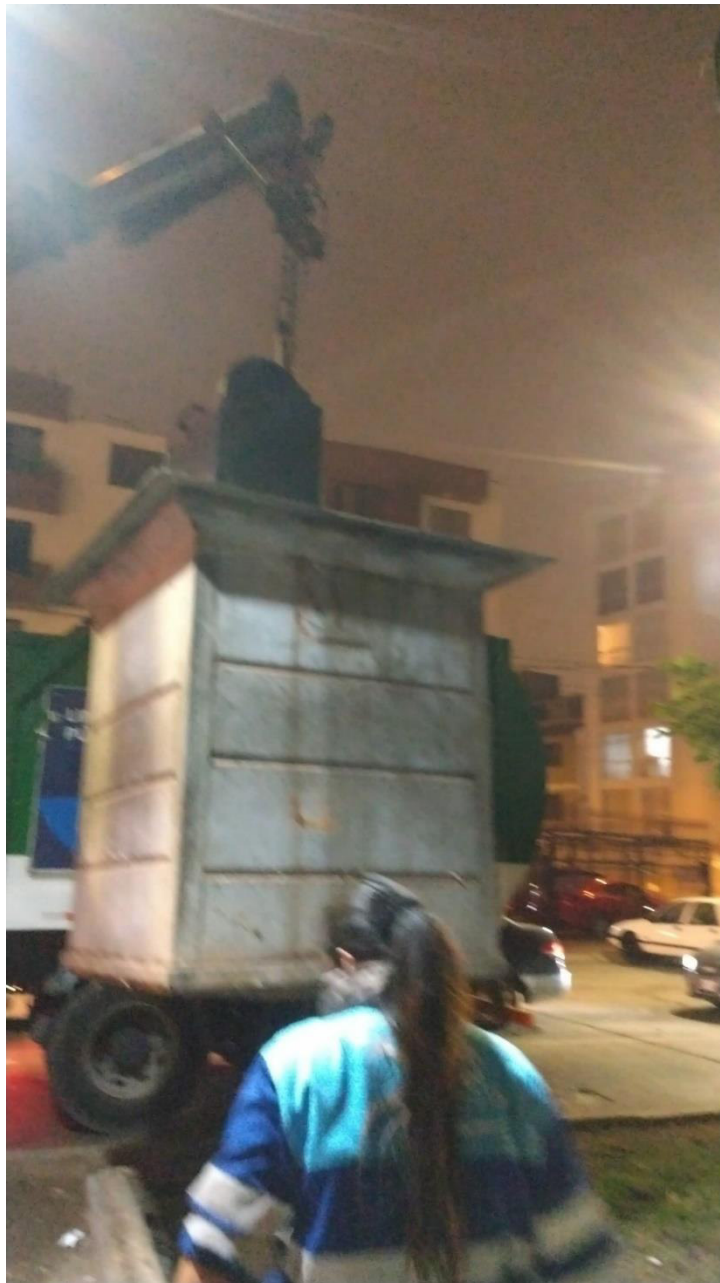
Procedimiento de Recojo de residuos en contenedor soterrado



En la Figura 5, se puede visualizar como es elevado el contenedor soterrado. Mediante la elevación es retirado de su alojamiento para llevarlo hacia el camión grúa recolector.

Figura 5

Izamiento del contenedor soterrado



En la figura 6, se aprecia que el contenedor soterrado ya se encuentra en posición de liberar todos los residuos en su interior, cuando las compuertas inferiores se abren, dejando caer hacia el camión todo lo recolectado.

Figura 6

Vaciado del contenedor soterrado por camión grúa recolector



Finalmente, después de realizar el procedimiento del vaciado del contenedor, se puede apreciar en la Figura 7, que el contenedor es colocado en su alojamiento habitual, para entrar nuevamente en funcionamiento, un personal está en constante guía del operador para terminar con el procedimiento.

Figura 7

Finalización del proceso de vaciado del contenedor soterrado



2.2.7. Internet de las cosas

Es cuando se interconectan de manera digital diversos dispositivos, las personas y la internet con el fin de intercambiar datos entre ellos. Permitiendo capturar datos, dar órdenes, mejorando la eficiencia y mejora de experiencia en los usuarios.

2.2.8. Arquitectura de internet de las cosas

Es la topología que se usará para conectar los dispositivos con el internet para el control y monitoreo de estos. Esta arquitectura generalmente consta de varias capas que permiten la recopilación, el procesamiento y la comunicación, facilitando tomar decisiones en base a datos de los dispositivos conectados. Una descripción general de las capas típicas de una arquitectura de IoT consta de las siguientes etapas: sensores, conectividad y aplicación.

2.2.9. Redes IoT

son redes diseñadas específicamente para conectar y comunicar dispositivos y objetos físicos a través de Internet o redes locales. Estas redes están diseñadas para manejar una gran cantidad de dispositivos con requisitos de conectividad y consumo de energía variados, podemos mencionar las siguientes redes:

Wi-Fi: Se trata de una tecnología que se conecta inalámbricamente y es ampliamente utilizada permitiendo la conexión de dispositivos IoT con el Internet mediante una red local inalámbrica existente. Es adecuada para dispositivos que tienen acceso a una fuente de alimentación constante y no tienen restricciones de consumo de energía. Es comúnmente utilizado en aplicaciones de hogar inteligente.

Bluetooth: Es otra tecnología de conectividad inalámbrica utilizada en dispositivos IoT de corto alcance. Es adecuada para aplicaciones en las que los dispositivos necesitan comunicarse en distancias cercanas. Bluetooth Low Energy (BLE) es una variante de bajo consumo de energía utilizada en dispositivos IoT como rastreadores de actividad y sensores de proximidad.

Zigbee: Se refiere al protocolo de comunicación que tiene baja potencia y se diseñó específicamente con el fin de usarlos en aplicaciones de IoT. Es adecuado para redes de malla, lo que quiere decir es que cada terminal consigue actuar como repetidor para extender la cobertura de la red. Es comúnmente utilizado en aplicaciones de hogar inteligente y automatización industrial.

Z-Wave: Así mismo, es otro protocolo de comunicación inalámbrica de baja potencia utilizado en aplicaciones de hogar inteligente. Al igual que Zigbee, es adecuado para redes de malla y se utiliza para la automatización del hogar y la seguridad.

LoRaWAN: Es la abreviatura en inglés de Long Range Wide Area Network. Es un protocolo de conexión inalámbrica de amplio rango y de consumo mínimo de energía. Se diseñó con la finalidad que se conecten los dispositivos IoT a larga distancia. Se emplea en aplicaciones que necesiten una gran cobertura, tal es el caso de la agricultura de precisión, así como de la gestión de activos.

Sigfox: Sigfox es otra tecnología de red de área amplia de bajo consumo de energía que se utiliza en aplicaciones IoT de bajo

ancho de banda. Proporciona una cobertura global y es adecuada para aplicaciones de seguimiento y monitoreo.

NB-IoT (Narrowband IoT) y LTE-M: Estas son tecnologías de comunicación celular diseñadas para dispositivos IoT. Utilizan redes celulares existentes para proporcionar conectividad a dispositivos IoT de baja potencia y bajo consumo de datos. Son adecuadas para aplicaciones como medidores inteligentes y seguimiento de activos.

Satélite IoT: Las redes de satélites también se utilizan en aplicaciones IoT en áreas remotas donde otras redes no están disponibles. Proporcionan cobertura global y son útiles en aplicaciones de seguimiento y monitoreo.

2.2.10. Plataformas electrónicas para IoT

Es donde se podrá soportar toda información de los componentes de hardware utilizados, siendo procesados para su control o monitoreo

2.2.11. ESP32

Es una placa de desarrollo que cuenta con entradas y salidas de propósito general GPIO, cuenta de forma integrada conectividad de comunicación inalámbrica como: WiFi, Bluetooth y BLE. En cuanto a procesamiento tiene un CPU 32-bit de dos núcleos de hasta 240Mhz que se pueden controlar independientemente. Además, incluye internamente una gran cantidad de pines para conectar diversos periféricos como son: sensores, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta

velocidad, UART, I2S e I2C. esta tarjeta de desarrollo es muy usado en el internet de las cosas.

2.2.12. Arduino

Es una plataforma de desarrollo electrónico de hardware y código abierto y ampliamente utilizada en proyectos de electrónica. La tarjeta está compuesta por los microcontroladores Atmel AVR y son fabricadas por Arduino.cc y Arduino.org. Cuenta con interfaz de entradas , donde se pueden conectar diversos periféricos como son los sensores, y cuenta con interfaz de salida para enviar las órdenes a diversos dispositivos como por ejemplo servomotores, display, etc. Para extender su entrada, salidas y diversas funcionalidades se utilizan placas adicionales denominadas “shields”. Estas shields por lo general agregar funciones de comunicaciones (Wi-Fi, Bluetooth, GSM), adquisición de datos, sensores, entre otros.

2.2.13. Raspberry Pi

Es un ordenador de tamaño reducido y bajo costo que nace con La Raspberry Pi Foundation, que es una organización benéfica con fines educativos, su principal y actual minicomputador es la Raspberry Pi 4 B que cuenta con microprocesadores de tecnología Quad-Core de 64 bits, adicionalmente tiene incorporado los módulos de conexión inalámbricas Wi-Fi y Bluetooth de bajo consumo de energía (BLE).

2.2.14. Sensores

Es un dispositivo que nos permite tomar una o varias muestras a través de magnitudes físicas o químicas. Podemos mencionar que el sensor permite proporcionar sentidos a objetos y maquinas permitiendo medir parámetros como: temperatura, posición, cantidad de luz, distancia, gases, etc.

Podemos mencionar para el trabajo de investigación los siguientes:

- Sensor Laser
- Sensor Infrarrojo
- Sensor Ultrasonido

2.2.15. Conectividad de Áreas Locales (LAN)

Las redes LAN“Local Área Network”(Red de área Local), estas son redes que se encuentran en una determinada área geográfica o pequeño local, como los son los colegios, las universidades, las empresas, la casa. Estas redes pueden conectar diversos dispositivos y compartir recursos entre sí.

Podemos mencionar las siguientes tecnologías:

WiFi

Bluetooth

ZigBee

2.2.16. Conectividad en Áreas extensas (WAN)

Las redes WAN (Wide Area Network), es decir red de área extensa, generalmente conformada por más de dos LAN, y cubren áreas extensas como es el internet, que tiene conectividad mundial.

Podemos mencionar las siguientes tecnologías como son:

GSM Las siglas GSM se corresponden al nombre en inglés del Sistema Global de Comunicaciones Móviles.

3G Es la tercera generación de comunicación móvil, da comienzo a transmitir y recibir comunicación a una velocidad alta donde se logra poder transmitir además de voz, datos, video, es el inicio de las videollamadas y navegar por internet desde un dispositivo móvil con velocidades mínimas de 200 Kbit/s y máxima de 384 Kbit/s.

LTE (Evolución a largo plazo) Es la tecnología que supera en velocidad de transmisión de datos a la 3G, pudiendo tener transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos.

LPWAN son redes de baja potencia y largo alcance, con baja transmisión de datos, por lo que son usados en tecnologías de la IoT, como los son:

Sigfox, es una red usada para la IoT, soportada bajo la arquitectura Celular, para cubrir grandes áreas, los operadores de este servicio ofrecen conexión de equipos de bajo consumo de energía.

LoRa Radio de largo alcance, es una tecnología de modulación de largo alcance y de bajo consumo de energía, es un protocolo de red de área amplia de baja potencia (LPWA) diseñado para conectar de forma inalámbrica "cosas" operadas por batería, con un bajo consumo y diseñada como tecnología para conectar redes de largo alcance. El protocolo permite comunicaciones bidireccionales de baja transmisión de datos, pero seguras para Internet de las cosas (IoT), máquina a máquina (M2M), ciudad inteligente y aplicaciones industriales(Alliance, 2017).

2.2.17. Plataformas web para IoT

Las plataformas IoT es el software que nos permite conectar dispositivos, sensores, actuadores y diversos dispositivos en un entorno digital, generando una red para que éstos puedan comunicarse y crear información en base a los datos recibidos.

Algunas de estas plataformas son las siguientes:

Blynk Cloud es plataforma web que permite conectar diversos dispositivos IoT para ser alojados en la nube y poder supervisar, administrar, controlar y gestionar

ThingSpeak es una plataforma web de código abierto para registrar los datos obtenidos de dispositivos IoT como son las tarjetas de ESP32.

The Things network es una plataforma digital que fue diseñada para la tecnología LoraWan, para la gestión de Gateway y nodos que usan este protocolo de comunicación.

Ubidots Plataforma web que cuenta con opciones de aprendizaje y opciones comerciales, ideal para el monitoreo de diversos proyectos de IoT y que desean ser visualizados en tiempo real.

2.2.18. Aplicaciones IoT

Podemos mencionar a Blynk es una plataforma desarrollada para dispositivos con Android y iOS para poder controlar sus proyectos de IoT, también tenemos a thingView para la visualización de los datos en tiempo real.

2.2.19. Base de datos

Es una herramienta que organiza, administra y almacena de forma sencilla los datos obtenidos de los diversos sensores monitoreados, para un análisis en la toma de decisiones.

2.3. MARCO METODOLÓGICO

2.3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es de diseño tecnológico, basado en un prototipo de internet de las cosas (IoT), con comunicación inalámbrica, Aplicada al monitoreo y control de contenedores de residuos sólidos domiciliarios para optimizar la gestión en el recojo, evitando residuos desbordados y que las calles tengan aspectos desagradables.

2.3.2. Metodología de la investigación

La metodología de esta investigación está diseñada en dar una alternativa de solución al problema de investigación, teniendo una mejor gestión en el recojo de desechos domiciliarios para el distrito de san Miguel.

La muestra tomada es del distrito que cuenta con el tipo de contenedores soterrados, que no pueden ser visualizados externamente su estado actual por falta de información en tiempo real.

En Lima metropolitana, los distritos presentan problemas en la gestión de la recolección de residuos sólidos domiciliarios, cada día alrededor de 9 Toneladas diarias, siendo el de mayor demanda el distrito de San Juan de Lurigancho, por su extensión y cantidad de habitantes.

Se desea tener un control del nivel de residuos domiciliarios dentro de los contenedores de basura, para evitar que estos rebalsen y produzcan puntos críticos. Para esto se va tener un constante monitoreo de los contenedores de residuos y la información será transmitida a una central de monitoreo y también al camión recolector mediante una aplicación móvil

2.4. MARCO LEGAL

Según el decreto ley N°1278 (ley de gestión integral de residuos sólidos) los actores responsables de la gestión de residuos sólidos en el país son:

- El MINAM (Ministerio del Ambiente) como ente rector.

-Las municipalidades en su función de la responsabilidad de recolección, transporte y disposición final segura de los residuos sólidos, además gestionar el cobro respectivo por el servicio brindado de limpieza pública.

- Los vecinos en mantener la basura en su lugar y las empresas privadas en brindar el tratamiento adecuado y reciclaje de los residuos.

Las municipalidades distritales deben presentar un plan de manejo de residuos sólidos orientado a la gestión, lo cual permitirá prevenir problemas de gestión y poder determinar los recursos necesarios para una labor eficaz

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RECOJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CONTENEDORES SOTERRADO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL.

El distrito de San Miguel cuenta con una superficie total de 10,72 Km y alberga alrededor de 800 manzanas y más 140 parques, se encuentra a una altura de 50 m.s.n.m. Es uno de los 43 distritos que conforma la provincia de Lima. La Gerencia de Gestión Ambiental y servicio a la ciudad es la encargada de la preservación del medio ambiente y la prestación del servicio de limpieza Pública. La subgerencia de limpieza pública es la unidad orgánica encargada de la municipalidad de gestionar la recolección de residuos sólidos dispuestos en relleno sanitario, así como el barrido de calles.

Según el MINAN, mediante decreto supremo N°014-2017 establece que el plan distrital de manejo de residuos sólidos municipales es el instrumento de planificación en materia de recojo de los desechos domiciliarios, que busca como objetivo generar las mejores condiciones para una adecuada, eficaz y eficiente gestión en el manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta la disposición final. Dicho plan, debe tener una vigencia de cinco años y debe estar alineado al plan nacional de gestión integral de residuos sólidos.

Mediante ordenanza municipal N°442 del 27 de agosto del 2021 se aprobó el plan distrital de manejo de residuos sólidos (PMR) para el periodo 2021-2025 en el distrito de san miguel, en la cual mencionan el crecimiento vertical del distrito, que, a consecuencia de ello, se generan más residuos sólidos diariamente. El distrito ya cuenta con el tipo de contenedores ecológicos de carga vertical del tipo soterrado, de los cuales cuenta con 45 unidades ubicados estratégicamente a lo largo del distrito, que ecológicamente ayudan a minimizar el impacto ambiental y dentro de su

PMR tiene metas anuales de incrementos de este tipo de contenedores en el distrito. Como se puede apreciar en la figura 8, estos contenedores tienen varias ventajas por ser contenedores bajo tierra y con buzones sobre la superficie, tal como: reducir el espacio ocupado , minimizar la presencia de malos olores, contar con gran la capacidad de almacenamiento, son mucho más estético proporcionando una solución moderna para la limpieza urbana. Pero, también enfrentan grandes problemas si no se tiene una buena limpieza interna en el momento adecuado, pudiendo ocasionar un rebalse de su capacidad y generando costos adicionales en la limpieza externa y formándose así un punto crítico.

Figura 8

Contenedor soterrado de 3 buzones



La limpieza dentro de los contenedores se realiza en el servicio nocturno que empieza desde las 9pm y termina a las 4 am, en ese tiempo debe realizarse el servicio de recojo de los residuos interno en el contenedor

soterrado. Para realizar dicha labor se usa el camión compactador con brazo hidráulico tipo grúa, que se encarga de la recolección de contenedores soterrados de doble gancho.

Por tener un horario establecido, hay veces que se generan los puntos críticos en los alrededores de los contenedores ya que muchas veces rebasa la capacidad, el cual debería ser oportunamente limpiado. Pero, al no contar con sistema de monitoreo, los contenedores y alrededores permanecen de esa forma hasta que llegue el camión recolector a su horario nocturno

Figura 9

Contenedor soterrado, distrito de San Miguel sin monitoreo



El área de limpieza pública al contar con horarios establecidos y no conocer los puntos de acumulación de residuos encuentra el contenedor en su límite máximo de recolección generando un punto crítico involuntario como se muestra en la figura 10 donde el camión grúa recolector llega en horario nocturno cuando ya el contenedor está desbordado.

Figura 10

Contenedor soterrado desbordado



3.2. DISEÑAR EL SISTEMA IOT A IMPLEMENTAR PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE LOS CONTENEDORES SOTERRADOS

En esta sección, se abordarán los aspectos claves del diseño del sistema de monitoreo y gestión de residuos sólidos mediante IoT:

3.2.1. Diagrama en Bloques del sistema

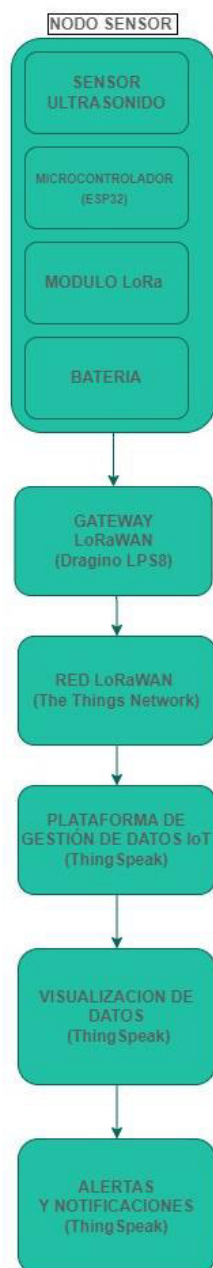
En la Figura 11, apreciamos los bloques que cuenta nuestro prototipo de monitoreo de nivel de llenado de contenedores soterrados, en el cual se visualiza como se conectan los diferentes componentes del sistema y la forma en que se representan de forma visual y como se relacionan entre sí.

Es una secuencia de como los datos obtenidos del sensor van trasladándose primero de forma inalámbrica y luego por la red hasta llegar a su visualización para la toma de decisiones.

La primera parte inicial es el nodo sensor, una vez obtenido los datos es enviado al Gateway, esta comunicación es de forma inalámbrica, seguidamente la información obtenida del Gateway es enviada a la plataforma LoRaWAN TTN, para la gestión de los datos, es aquí donde puede integrarse con otras plataformas IoT para su almacenamiento y visualización.

Figura 11

Diagramas de bloques del sistema IoT a implementar



3.2.1. Selección de los componentes

Para la implementación del prototipo, se va a elegir los componentes adecuados para el nodo sensor.

El sensor

Al seleccionar el sensor adecuado para este prototipo se debe considerar que tenga ciertas características tales como: precisión en la medición y que tenga el rango de operación necesario considerando la profundidad de los contenedores, teniendo en cuenta que estos no superan los 2 metros de profundidad. Así como también, que puedan soportar condiciones ambientales. Además, que el costo sea viable para este prototipo y a su vez se encuentre disponible en el mercado. En la siguiente tabla 1 podemos visualizar las diferentes características de los principales sensores de ultrasonido

Tabla 1

Comparativo de sensores

Sensor	Rango de Medición	Precisión	Resistencia Ambiental	Costo	Soporte Comunitario	Comentarios
HC-SR04	2 cm - 400 cm	±3 mm	Baja	Bajo	Alto	Popular en proyectos de IoT; necesita protección adicional para exteriores.

MaxBotix MB7389	1 cm - 765 cm	± 1 mm	Alta	Alto	Medio	Resistente al agua, ideal para aplicaciones industriales y exteriores. Ideal para aplicaciones industriales con rangos largos; robusto y confiable. Muy robusto para aplicaciones industriales; costoso para presupuestos limitados.
Banner Engineering U-Gage QT50ULB	200 mm - 8 m	± 10 mm	Muy Alta	Alto	Bajo	
SICK UM30	30 cm - 8 m	± 10 mm	Muy Alta	Muy Alto	Bajo	

La elección del sensor HC-SR04, se basa en el equilibrio del costo, su practicidad para su implementación, así como la adaptación técnica a las necesidades del prototipo. Cabe resaltar que, para su óptimo desempeño dentro del contenedor, se debe tener en consideración la protección de dicho sensor con una caja protectora hermética de material ABS o policarbonato con aberturas para el transductor los cuales pueden ser cubiertos con membranas protectoras que no interfieran la medición y pueda proteger el sensor de la humedad. La ubicación del sensor podrá minimizar los impactos adversos como la humedad y golpes. Por tal motivo, se recomienda que debe estar en la parte más elevada del contenedor lejos del ducto de ingreso y con posicionamiento del sensor orientado hacia abajo para minimizar los impactos.

El microcontrolador

Para la elección del microcontrolador se analizó los más usados en proyectos de IoT. Pero, debemos considerar que debe tener conexión inalámbrica del tipo de radio LoRa, o que pueda ser integrada mediante módulos. También, se debe considerar el precio y la disponibilidad del mercado. En la tabla 2, analizamos las características principales de los microcontroladores para IoT.

Tabla 2

Comparativo de microcontroladores

características	ESP32 LoRa TTGO	Heltec WiFi LoRa 32	Arduino Uno	Raspberry Pi 3
Microcontrolador	ESP32	ESP32	ATmega328P	Broadcom BCM2837
LoRa	868/915 MHz	433/868/915 MHz	No (necesita módulo adicional)	No (necesita módulo adicional)
Wi-Fi	Sí	Sí	No (necesita módulo adicional)	Sí
Bluetooth	Sí	Sí	No	Sí
Pantalla	0.96" OLED	0.96" OLED	No	No
GPIOs	Múltiples	Múltiples	14	40 GPIOs
Programación	C++, MicroPython	C++, MicroPython	C++	Python, C++, otros

Podemos concluir, que tanto el microcontrolador ESP32 Lora TTGO como el Heltec WiFi Lora, comparten características similares y no requieren de módulos adicionales para su implementación con radio LoRa. Ambos pueden operar en la banda 915 MHz, que se puede utilizar libremente y sin licencia ante

el MTC en Perú. Según la disponibilidad para su compra es la más rápida en la entrega, por lo que se elige este microcontrolador ESP32 LoRa TTGO que adicionalmente cuenta con un consumo de 0.2 uA en modo reposo según su hoja técnica la cual es ideal para el prototipo a implementar.

Fuente de alimentación

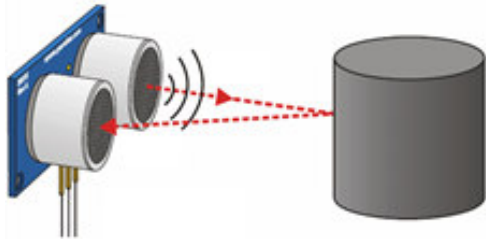
El suministro de energía este compuesto por una batería de 3.6 voltios con una capacidad de 3 amperios. Según las recomendaciones de LoRaWAN, el uso de batería es de larga duración pudiendo elegir entre baterías de iones de litio o polímero de litio. Para el prototipo se eligió la batería de iones de litio por ser de un menor costo y de igual capacidad que de otros materiales químicos que tienen larga duración sin necesidad de ser recargado.

3.2.2. Componentes del sistema del prototipo

Sensor de Llenado: se pueden usar diferentes tipos de sensores como lo son de peso, capacitancia, presión o ultrasónicos montados interiormente para medir el nivel de llenado. Por su alta precisión en aplicaciones de detección de proximidad y bajo costo, se decidió para el diseño el tipo ultrasónico el modelo HC-SR04, que permite medir distancias entre los 2 cm hasta 450 cm, con una precisión de +/- 3 mm. En la figura 12, muestra cómo trabaja el sensor de ultrasonido, enviado 8 pulsos de ultrasonido a frecuencias de 40 KHz y el retorno recibido a través del receptor piezo eléctrico.

Figura 12

Funcionamiento del sensor ultrasonido



Podemos calcular la distancia a medir usamos la siguiente formula

$$\text{distancia} = \frac{\text{velocidad} \times \text{Tiempo del pulso ECO}}{2}$$

Donde:

Distancia, a medir expresada en centímetros.

la velocidad, del sonido en aire que por lo general es 340m/s. pero en lugares donde la temperatura es de 20° C se toma como valor el de 343 m/s

El tiempo es el que tarda el ultrasonido en viajar desde el sensor hasta el objeto y volver, que es el tiempo de ida y vuelta medido por el sensor, de allí el factor 2 de división en la formula.

Microcontrolador con comunicación inalámbrica

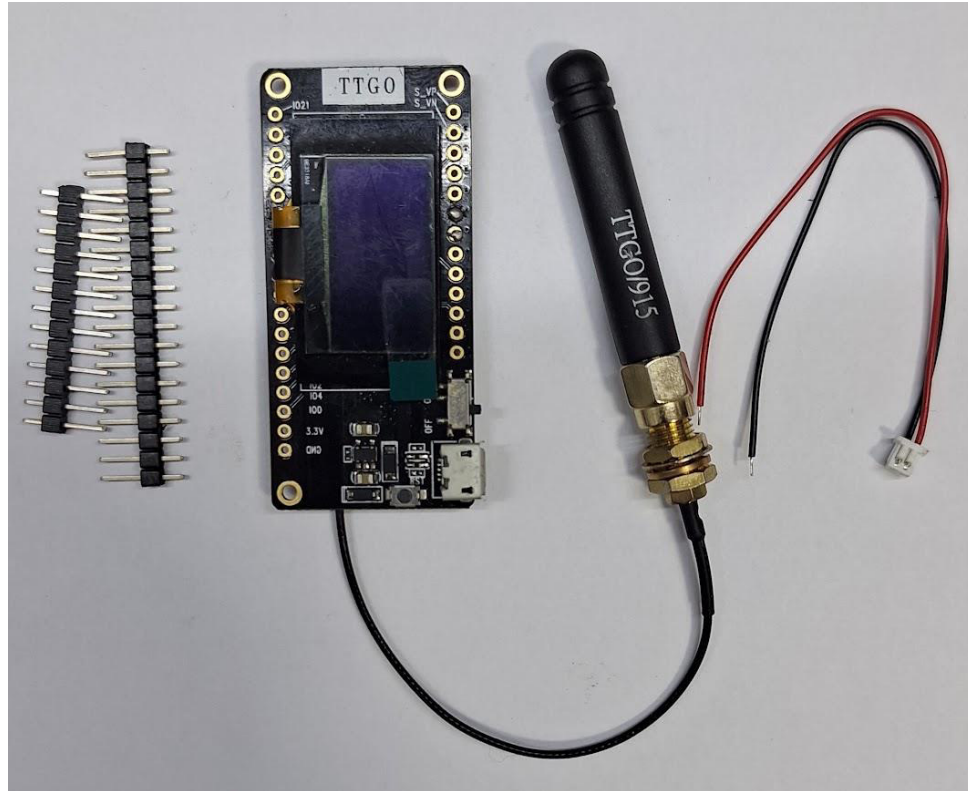
Es la etapa donde se recopilarán los datos obtenidos a través del sensor y los procesa para su transmisión. Aquí se usará la tarjeta microcontrolador como es la placa de desarrollo ESP32, que es funcional por contar con pines de entrada y salida que permite conexiona a sensores, actuadores y otros dispositivos. Como necesitamos conexión inalámbrica, se usará el Módulo TTGO Lora ESP32 que cuenta con conectividad WiFi, Bluetooth, Lora de la marca LiLyGO.

Este microcontrolador puede ser operado a través de batería y es de bajo consumo. Adicionalmente cuenta con una pantalla oled, que nos mostraría información en tiempo real, como datos de los sensores, voltaje de la batería, estado de la conexión, etc.

En la figura 13 podemos apreciar el módulo TTGO ESP32 que incluye una antena externa para la conexión inalámbrica Lora en la banda de 915 MHz.

Figura 13

Tarjeta de desarrollo TTGO LoRa32 V2 oled 9.6"



Gateway LoRaWAN:

Este componente tiene como función principal de recibir información del Nodo en la frecuencia de 915 MHz y los datos obtenidos retransmitirlos a internet mediante la plataforma web

TTN. Para el diseño se usó el Gateway LoRaWAN modelo LPS8 de la marca Dragino. Sus principales características son:

Soporta la recepción de múltiples nodos.

Es compatible con la plataforma TTN y otros servidores LoRaWAN como es el llamado Helio.

Tiene una potencia de transmisión de hasta 27 dBm.

Sensibilidad de hasta -142 dBm, que lo hace un equipo muy sensible a captar las señales más distantes que provienen de los nodos.

Su voltaje de operación es de 5 voltios con un consumo de 1 amperio.

Cuenta con una antena externa de 1 dB de ganancia y podría ser reemplazada por una de mayor ganancia para obtener mejor sensibilidad.

En la figura 14 , se aprecia al gateway LPS8 que es de uso para interiores, pero para nuestro prototipo a implementar lo usaremos externamente, realizándole ciertas protecciones para su uso externo y pudiendo ampliar su cobertura usando antena externa de mayor ganancia.

Figura 14

Gateway Dragino Modelo LPS8



Plataforma LoraWAN (TTN)

Los Gateway reciben los datos de los dispositivos LoraWAN como son los nodos, esta información obtenida por el gateway se procesa en la aplicación de TTN, aquí se está usando la plataforma LoRaWAN the things Network (TTN) que es la que proporciona la infraestructura de la red de comunicación y puede integrar los datos a diversas plataformas de IoT.

Plataforma IoT

Es la plataforma web o móvil de IoT que permitirá recopilar, almacenar, visualizar y analizar los datos obtenidos en tiempo real del nivel de los contenedores. También se podrá recibir notificaciones según sea configurado las alertas.

Para este proyecto, se está considerando la aplicación The thingSpeak como la plataforma IoT.

En la figura 15, podemos visualizar la plataforma, que es la que se usara en este proyecto.

Figura 15

Plataforma web IoT thingspeak

The screenshot displays the ThingSpeak web interface. At the top, there is a blue navigation bar with the ThingSpeak logo and links for Channels, Apps, Devices, and Support. Below the navigation bar, the page title is 'CONTROL DE NIVEL DE CONTENEDORES'. The channel ID is 1530725, the author is MarcosHernandez, and the access is Private. The page is divided into two main sections: 'Channel Settings' and 'Help'. The 'Channel Settings' section includes fields for Name, Description, and four custom fields (Field 1 to Field 4). The 'Help' section provides information about channels and their settings.

Channel ID: 1530725
Author: MarcosHernandez
Access: Private

Sistema para controlar el nivel interno en los contenedores soterrados de residuos domiciliarios

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Channel Settings

Percentage Complete 50%

Channel ID 1530725

Name CONTROL DE NIVEL DE CONTENEDORES

Description Sistema para controlar el nivel interno en los contenedores soterrados de residuos domiciliarios

Field 1 AV LA MARINA

Field 2 AV UNIVERSITARIA CDRA

Field 3 AV RIVAGUERO CDRA 2

Field 4 AV PRECURSORES CDRA

Help

Channels store all the data that a ThingSpeak application collects. Each channel includes eight fields that can hold any type of data, plus three fields for location data and one for status data. Once you collect data in a channel, you can use ThingSpeak apps to analyze and visualize it.

Channel Settings

- **Percentage complete:** Calculated based on data entered into the various fields of a channel. Enter the name, description, location, URL, video, and tags to complete your channel.
- **Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- **Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- **Fields:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- **Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- **Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.
- **Link to External Site:** If you have a website that contains information about your ThingSpeak channel, specify the URL.

3.2.3. Arquitectura del Sistema

La arquitectura de nuestro prototipo de IoT, trabaja de forma inalámbrica diseñada con LoRaWAN. La estación de monitoreo, que es el nodo de la red implementada consta de un sensor y microcontrolador con radiofrecuencia en el protocolo de comunicación LoRa.

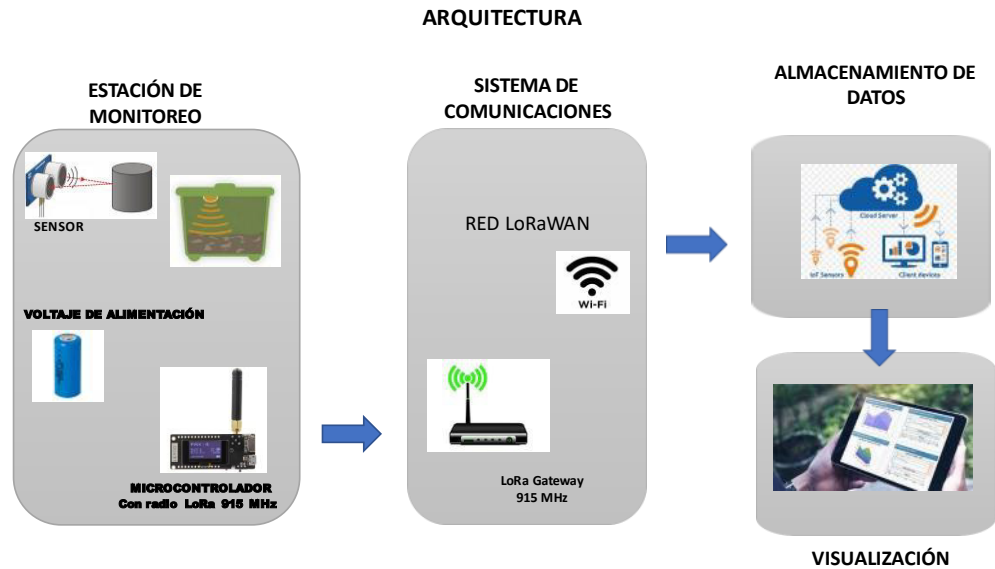
El sistema de comunicación de forma inalámbrica trabaja con el protocolo LoRa y a su vez la infraestructura de la red está basado en LoRaWAN donde se reciben todos los datos.

El almacenamiento y visualización de los datos serán monitoreados con una plataforma web IoT.

En la figura 16, se visualiza la arquitectura general del sistema, que nos muestra un panorama general de como esta dividido las etapas del sistema del control de monitoreo de residuos sólidos.

Figura 16

Arquitectura de nuestro prototipo a implementar



Nota. La figura nos muestra los bloques que del sistema a implementar para la red IoT de comunicación inalámbrica

3.3. SELECCIÓN DE LA MEJOR TECNOLOGÍA INALÁMBRICA DE IOT PARA EL MONITOREO DE RESIDUOS EN LOS CONTENEDORES.

La elección de la tecnología inalámbrica que permite la comunicación entre los puntos a monitorear de los contenedores debe ser capaces de poder transmitir información hasta un punto central que reciba toda esa información y la procese y pueda ser visualizada en alguna plataforma web.

Cabe destacar, que se va a considerar una red de área amplia, que es de bajo consumo energético, en donde encontramos a la tecnología LPWAN,

que es la red de área amplia mencionada y de baja potencia. Por consiguiente, se logrará un largo alcance y una eficacia energética.

Debemos considerar también, el consumo de batería, el tipo de frecuencia a operar, así como la seguridad de los datos enviados y el coste de su implementación, para poder crear nuestra propia red inalámbrica.

En la tabla 3 podemos apreciar las características de las tecnologías inalámbricas existentes y sus principales características que nos ayuden a tomar la mejor opción que se acomode a nuestro prototipo.

Tabla 3

Comparativo de redes LPWAN

	SigFox	LoraWAN	LTE-M	NB-IoT
Modulación	BPSK	CSS	QPSK	QPSK
Frecuencia	868 MHz en Europa	868 MHz en Europa		
	915 MHz en América y Australia.	915 MHz en América y Australia.	Banda de Frecuencia con LTE	Banda de Frecuencia con LTE
	433 MHz en Asia	433 MHz en Asia		
Tipo de Banda	No licenciada	No licenciada	No licenciada	No licenciada
Ancho de Banda	100 Hz	250 KHz y 125 KHz	1.4 MHz	200 KHz
Mensajes Diarios	140 up / 4 down	ilimitado	ilimitado	ilimitado
Distancia	10 Km urbano / 40 km rural	5 Km urbano / 20 km rural	1 Km urbano / 5 km rural	1 Km urbano / 10 km rural
Duración de la Batería	20 años	15 años	10 años	10 años

Inmunidad a interferencias	Muy alto	Muy alto	Medio	Bajo
Encriptación	No soportado	AES 128	LTE-M	LTE
Unión de dispositivo a estación	1 dispositivo recibido por múltiples estaciones	1 dispositivo recibido por múltiples estaciones	1 dispositivo se une a 1 estación	1 dispositivo se une a 1 estación
Red pública/privada	Públicas	Públicas / Privadas	Públicas	Públicas
Estandarización	ETSI EN 300 220-1 y ETSI EN 300 220-2	LoraAlliance	3GPP	3GPP

Podemos apreciar que para nuestro prototipo a implementar se acomoda la tecnología inalámbrica LoRaWAN, por las siguientes características

Largo Alcance, satisface la cobertura de largo alcance en zona urbana, ya que los contenedores se encuentran dispersos en el distrito que tiene una superficie de 10,72 KM, y satisface las necesidades de alcance.

Bajo consumo de energía: Los Dispositivos LoRaWAN tienen un consumo muy bajo de batería, lo que es primordial para aplicaciones de IoT que requieren constantemente monitoreo .

Frecuencia: En Perú en la Banda de 915 a 928 MHz, según el plan Nacional de atribución de frecuencias (PNAF 2023) están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ISM), y por lo tanto no requieren de autorización, permiso o licencia para el uso del espectro electromagnético, que al transmitir

no superen de potencia de un watio (1 W), aquí podemos mencionar que la modulación LoRa trabaja en esa banda de frecuencia y ahorrando costos por el uso del espectro.

Flexibilidad: Es una tecnología de código abierto respaldado por la LoRa Alliance, lo que lo hace compatible con una variedad de dispositivos y proveedores

Economía: La infraestructura a implementar es escalable y de forma inicial puede implantarse con nodos y gateway por lo que puede iniciarse una red con un costo inicial mínimo.

3.4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO A IMPLEMENTAR PARA LA MEDICIÓN DE LOS CONTENEDORES.

En el presente trabajo de investigación se realizará una arquitectura de IoT basado en Radiofrecuencia, para esto usaremos la tecnología de modulación Chrip Lora en la frecuencia de banda libre de 915 MHz en el Perú, para lo cual se implementará nodos que transmitirán la señal obtenida de los sensores de ultrasonido. Los Datos obtenidos serán recibidos por el Módulo Gateway Dragino LPS8, y este a su vez estará conectado a internet para conectarse a la plataforma de Things Network, transformándose este como un punto de acceso Lorawan. La información podrá ser visualizada mediante la plataforma de TTN .

3.4.1. Componentes utilizados

Podemos dividirlo en dos principalmente, que son:

Hardware

- Sensor ultrasónico HC-SR04
- Microcontrolador con radio LoRa (TTGO LoRa 32 V2)

- Gateway LoRaWAN (Dragino LPS8)
- Batería 3.6 V de Ion Litio (3000 mAh)
- Blindaje para alojar el sensor y microcontrolador
- Conexión a internet vía Ethernet

Software

- IDE de Arduino para programar el microcontrolador TTGO
- Cuenta en plataforma LoRAWAN (TTN)
- Cuenta plataforma IoT the ThingSpeak

3.4.2. Procedimiento para la implementación del prototipo

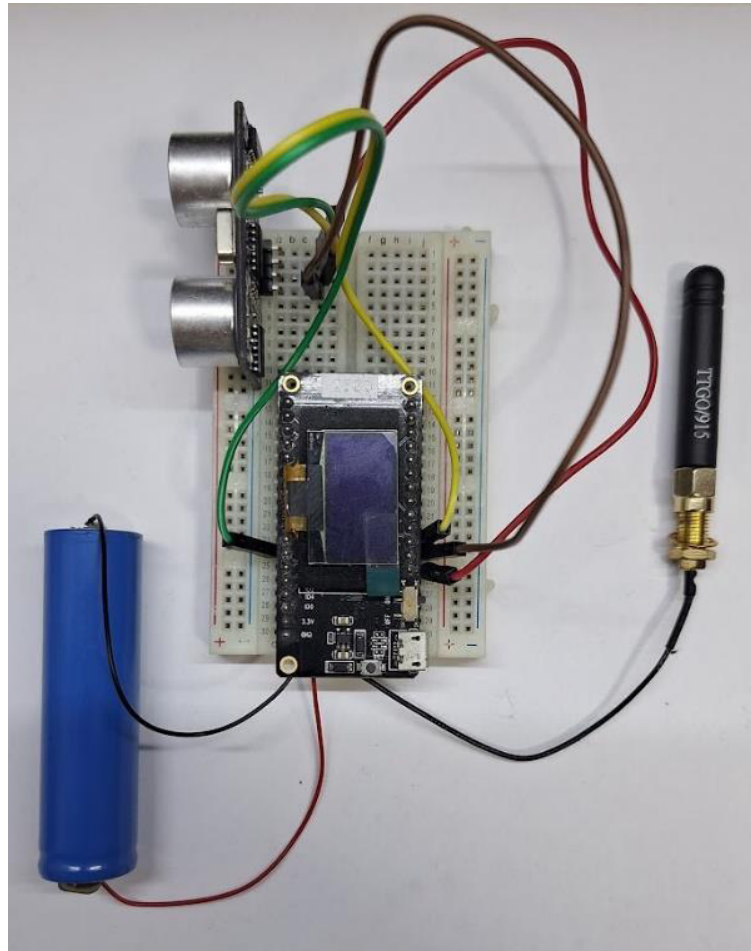
A. Configuración del Hardware

Desarrollo del Nodo Sensor

El Nodo sensor estará compuesto por un sensor de ultrasonido modelo HC-SR4, conectado a un microcontrolador ESP32 y un módulo LoRa en la Banda de 915 MHz, el módulo TTGO Lora32 integra tanto al microcontrolador y al módulo de radio LoRa. En la figura 17, podemos apreciar la conexión entre el módulo y el sensor. Adicionalmente este estará en un gabinete metálico de aluminio para su protección y solo estará expuesta la antena para establecer la conexión mediante radiofrecuencia hacia el Gateway.

Figura 17

Conexión entre el microcontrolador LoRa y el sensor de ultrasonido



Para la protección del microcontrolador LoRa y el sensor ultrasonido se usó la caja metálica, en la figura 18 podemos apreciar la forma en la que se adecuó para insertar el sensor ultrasónico y poder estar protegido

Figura 18

Caja metálica para protección del microcontrolador LoRa y el sensor



Se puede visualizar en la imagen de la figura 19, como se adapta la antena en el chasis, para que pueda irradiar externamente y poder lograr la comunicación con el Gateway.

Figura 19

Adaptacion de la antena en la caja metalica



En la figura 20, se aprecia la implementación final de la manera que queda el nodo sensor en su gabinete metálico, que internamente contiene el microcontrolador ESP32 con radio LoRa en la banda de 915 MHz, operado con batería y con su sensor de ultrasonido.

Figura 20

Nodo sensor implementado en su proteccion metalica



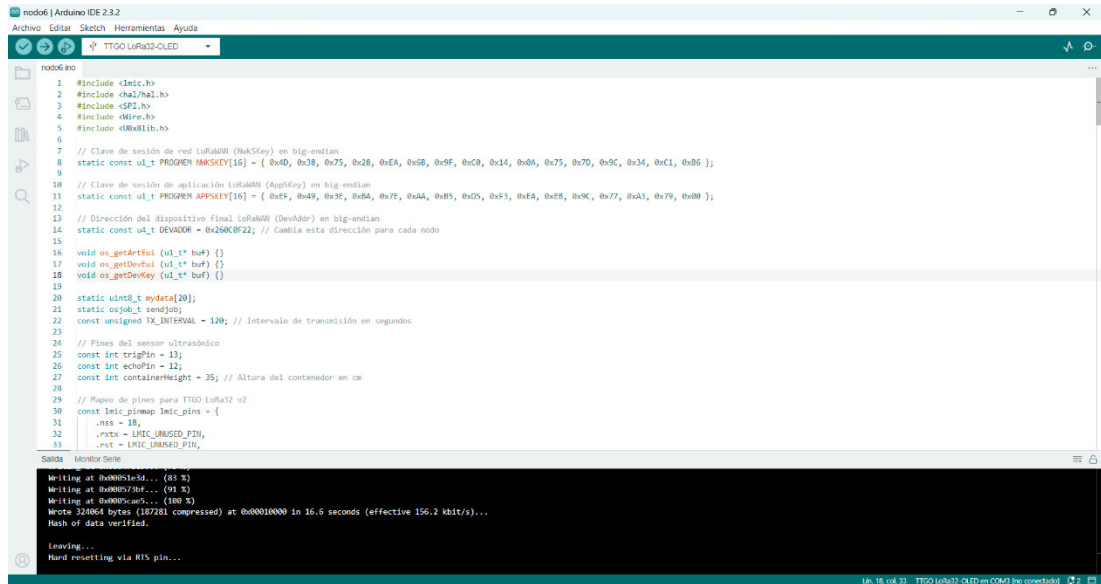
B. Programación del módulo TTGO LoRa 32

El módulo TTGO LoRa32 se programó en el entorno Arduino usando las librerías correspondientes

En la figura 21 se muestra parte del código implementado para el desarrollo del nodo

Figura 21

Programacion esp32 LoRa en entorno arduino

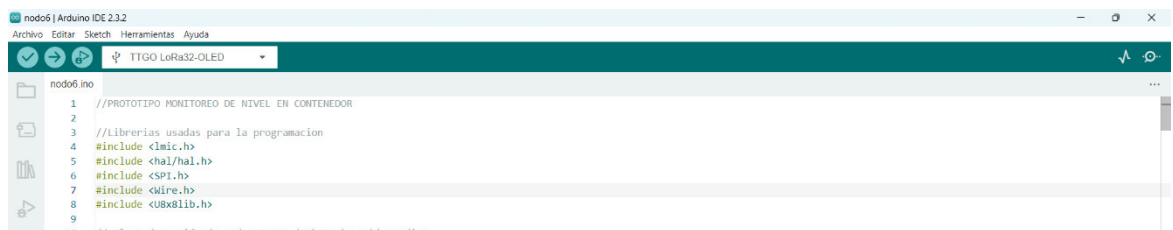


```
1 #include <mic.h>
2 #include <hal/hal.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <Wire.h>
5 #include <USBlib.h>
6
7 // Clave de sesión de red LoRaWAN (NwkSKey) en big-endian
8 static const ul_t PROGMEM NWSKEY[16] = { 0x4D, 0x38, 0x75, 0xEA, 0x58, 0x9F, 0xC8, 0x14, 0x0A, 0x75, 0x70, 0x5C, 0x34, 0xC1, 0xB5 };
9
10 // Clave de sesión de aplicación LoRaWAN (AppSKey) en big-endian
11 static const ul_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0xEF, 0x49, 0x3F, 0xB4, 0x7F, 0xA4, 0xB5, 0xD5, 0x53, 0xEA, 0x58, 0x9C, 0x77, 0xA3, 0x79, 0xB0 };
12
13 // Dirección del dispositivo final LoRaWAN (DevAddr) en big-endian
14 static const ul_t DEVADDR = 0x260C0F22; // Cambia esta dirección para cada nodo
15
16 void os_getArtful (ul_t* buf) {}
17 void os_getDevEui (ul_t* buf) {}
18 void os_getDevKey (ul_t* buf) {}
19
20 static uint8_t mydata[20];
21 static csjob_t sendJob;
22 const unsigned TX_INTERVAL = 120; // Intervalo de transmisión en segundos
23
24 // Pines del sensor ultrasónico
25 const int trigPin = 13;
26 const int echoPin = 12;
27 const int containerHeight = 35; // Altura del contenedor en cm
28
29 // Mapa de pines para TTGO LoRa32 v2
30 const Lmic_pinmap lmic_pins = {
31     .nss = 18,
32     .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
33     .rst = LMIC_UNUSED_PIN,
34 };
35
36 Writing at 0x00010000... (83 %)
37 Writing at 0x0000730f... (91 %)
38 Writing at 0x0000cac5... (100 %)
39 Wrote 32064 bytes (107281 compressed) at 0x00010000 in 16.6 seconds (effective 156.2 kbit/s)...
40 Hash of data verified.
41 Leaving...
42 Hard resetting via RTS pin...
```

En la figura 22, se aprecia las librerías implementadas para nuestro código sensor de monitoreo de nivel

Figura 22

Programacion esp32 LoRa usando librerías para su programación



```
1 //PROTOTIPO MONITOREO DE NIVEL EN CONTENEDOR
2
3 //Librerías usadas para la programación
4 #include <mic.h>
5 #include <hal/hal.h>
6 #include <SPI.h>
7 #include <Wire.h>
8 #include <USBlib.h>
9
10 // Clave de sesión de red LoRaWAN (NwkSKey) en big-endian
```

En la figura 23, se muestra la asignación de pines en el microcontrolador para poder controlar el sensor ultrasónico

Figura 23

Programacion esp32 LoRa asignacion de pines

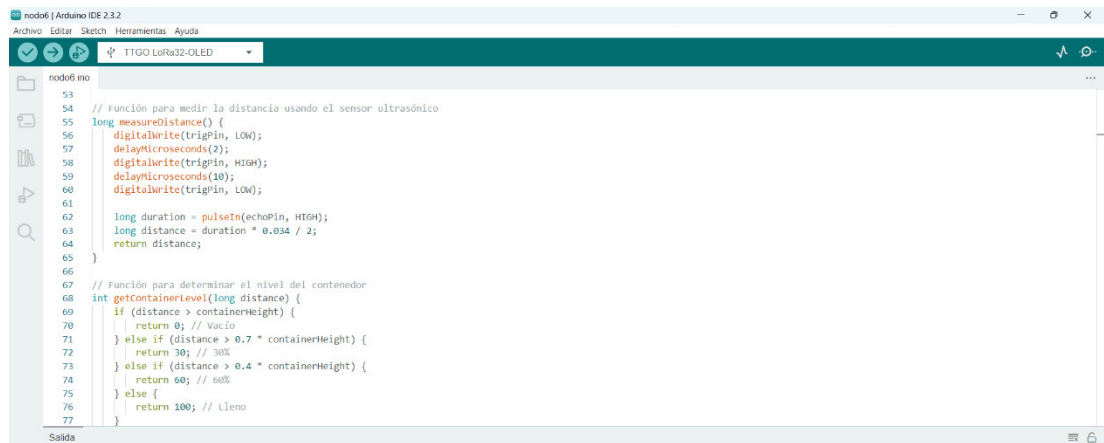


```
nod06 | Arduino IDE 2.3.2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
TTGO LoRa32-OLED
nod06.ino
23 static uint8_t mydata[20];
24 static osjob_t sendjob;
25 const unsigned TX_INTERVAL = 120; // Intervalo de transmisión en segundos
26
27 // Pines del sensor ultrasónico
28 const int trigPin = 13;
29 const int echoPin = 12;
30 const int containerHeight = 35; // Altura del contenedor en cm
31
32 // Manos de ninos para TTGO LoRa32 u7
```

En la figura 24, muestra como mide la distancia y como determina el nivel dentro del contenedor, en nuestro prototipo se usó un contenedor de dimensiones 35*35*35cm.

Figura 24

Programacion esp32 LoRa midiendo distancia



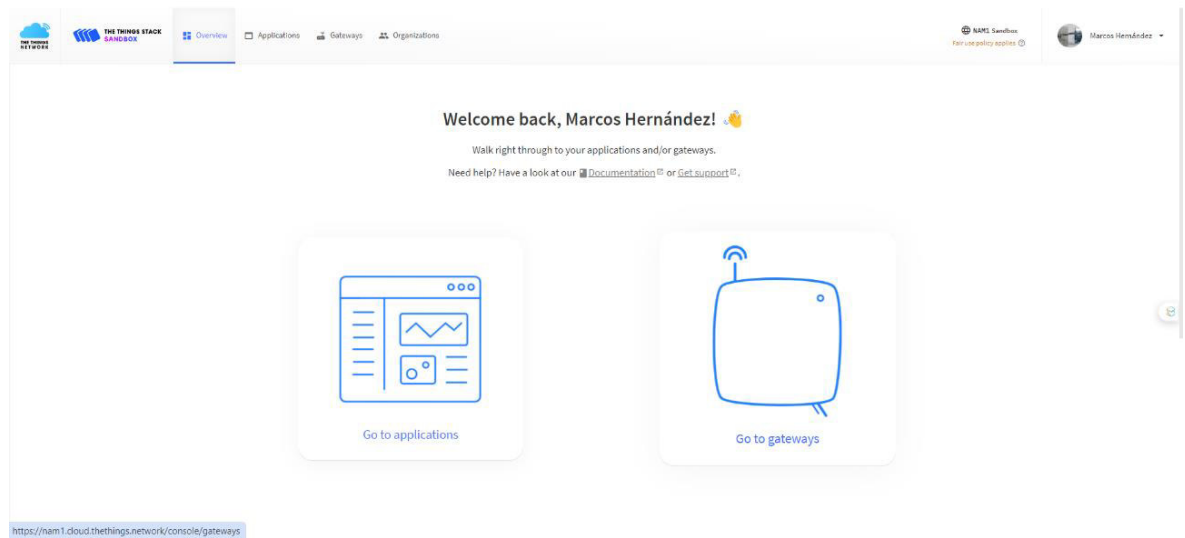
```
nod06 | Arduino IDE 2.3.2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
TTGO LoRa32-OLED
nod06.ino
53
54 // Función para medir la distancia usando el sensor ultrasónico
55 long measureDistance() {
56   digitalWrite(trigPin, LOW);
57   delayMicroseconds(2);
58   digitalWrite(trigPin, HIGH);
59   delayMicroseconds(10);
60   digitalWrite(trigPin, LOW);
61
62   long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
63   long distance = duration * 0.034 / 2;
64   return distance;
65 }
66
67 // Función para determinar el nivel del contenedor
68 int getContainerLevel(long distance) {
69   if (distance > containerHeight) {
70     return 0; // Vacío
71   } else if (distance > 0.7 * containerHeight) {
72     return 30; // 30%
73   } else if (distance > 0.4 * containerHeight) {
74     return 60; // 60%
75   } else {
76     return 100; // Lleno
77   }
78 }
```

El nodo sensor debe ser registrado en la aplicación de TTN, para ello se realiza la configuración en la consola en el entorno web, en la figura 25 nos muestra la opción para la configuración de la

aplicación donde se registrarán los nodos y el Gateway donde se registrará el Dragino LPS8

Figura 25

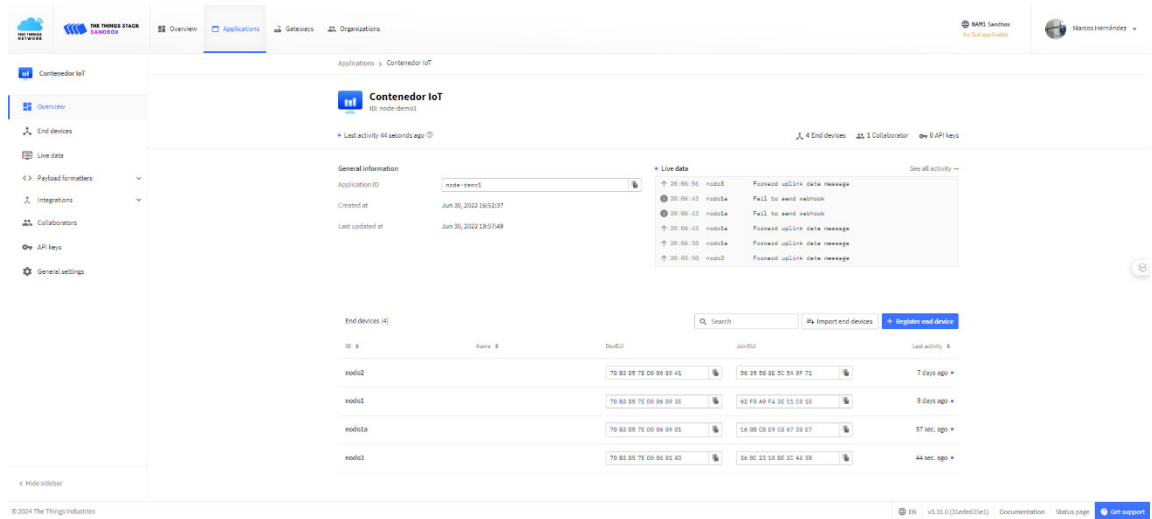
Consola de configuracion de aplicación y gateway



En la figura 26, podemos apreciar la plataforma de la aplicación donde lo registramos con el nombre de Contenedor IoT y se registraron 4 nodos para las pruebas, pero solo 2 nodos se usaron para las pruebas Nodo 1^a y Nodo 3, son los que registran actividad.

Figura 26

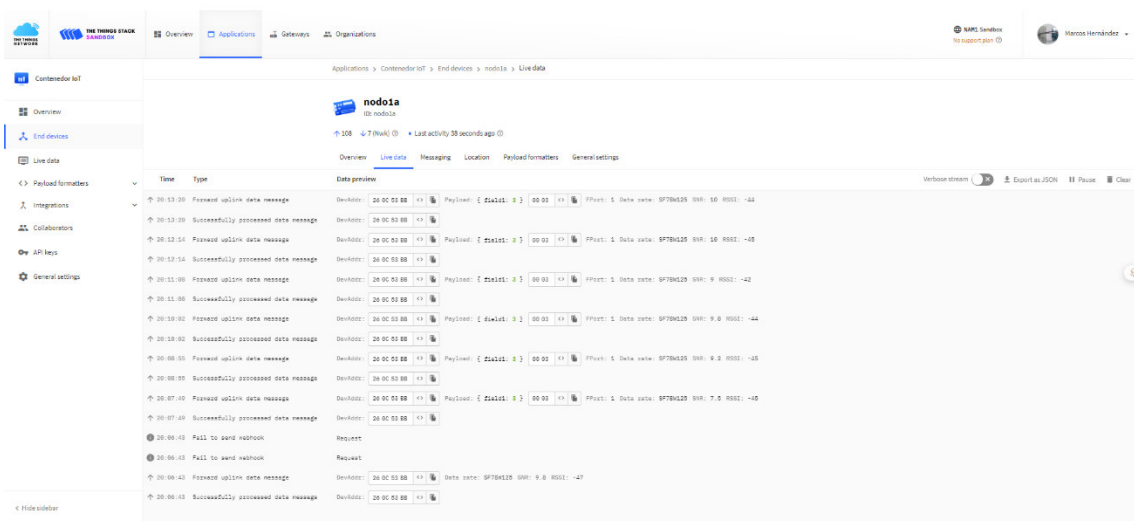
Aplicación con los nodos registrados



En la figura 27, podemos ver la actividad que se muestra en la aplicación TTN, del nodo 1^a, nos muestra la recepción de la información recibida del Gateway, indicando los niveles de intensidad de recepción se señal (RSSI)

Figura 27

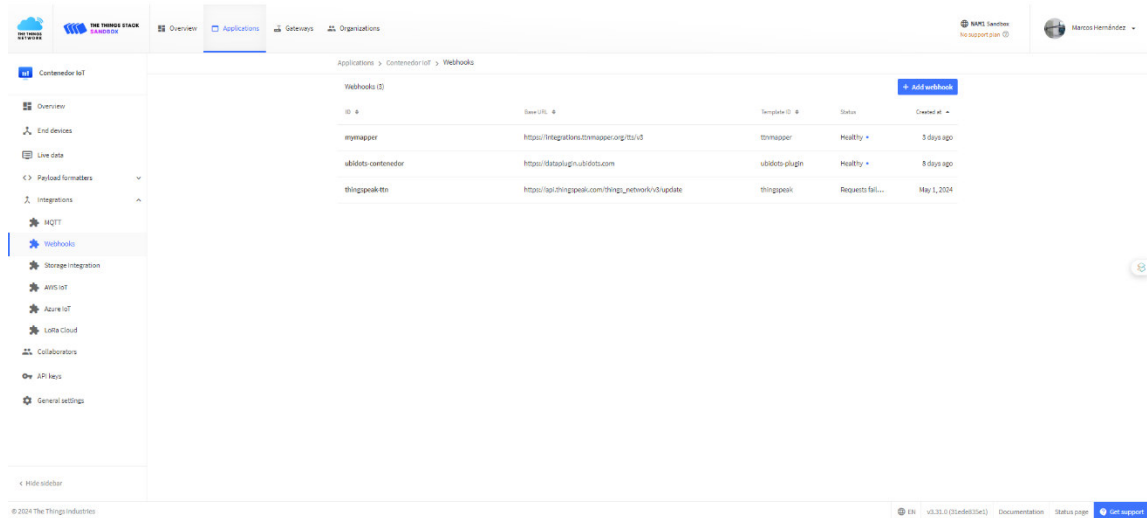
Nodo 1 a con actividad



En la figura 28, podemos apreciar que la información recibida por el nodo la integramos con otras plataformas IoT y aplicaciones tal como: TTN mapper que nos da un análisis de la cobertura del Gateway con los nodos. Así como, Ubidots una plataforma IoT para visualizar los datos recibidos y finalmente, ThingSpeak plataforma web para visualización y análisis de datos.

Figura 28

Integración TTN con plataformas IoT



C. Configuración del Gateway

Para la implementación del Gateway usamos el LPS8 Dragino, el cual debe ser configurado en la plataforma de TTN y en la frecuencia de AU 915 MHz, como se muestra en la figura 29, que indica que la primera opción TTN.

Figura 29

Configuración del gateway Dragino para comunicación a TTN

The screenshot shows the 'LoRaWAN Configuration' page of the Dragino web interface. The top navigation bar includes 'LoRa', 'LoRaWAN', 'MQTT', 'TCP', 'Custom', 'Network', 'System', 'LogRead', 'Home', and 'Logout'. The main content area is titled 'LoRaWAN Configuration' and contains several sections: 'General Settings' with fields for 'Email' (dragino-21a068@dragino.com) and 'Gateway EUI' (a0404121a0684150); 'Primary LoRaWAN Server' with 'Service Provider' (The Things Network V3), 'Server Address' (nam1.cloud.thethings.network), 'Uplink Port' (1700), and 'Downlink Port' (1700); 'Primary Packet Filter' with 'Fport Filter' (0) and 'DevAddr Filter' (?0); 'Secondary LoRaWAN Server' with 'Service Provider' (Disable); and 'Secondary Packet Filter' with 'Fport Filter' (0) and 'DevAddr Filter' (?0). At the bottom, it shows 'Current Mode: LoRaWAN Semtech UDP' and buttons for 'Save&Apply' and 'Cancel'.

En la figura 30, podemos apreciar cómo se configura la frecuencia a usar en la comunicación por radiofrecuencia. En el Perú está permitido la banda ISM en 915 a 928 MHz, pero con un máximo de potencia de 23 dBm.

Figura 30

Configuración de la banda ISM AU915 MHz correspondiente al uso en Perú

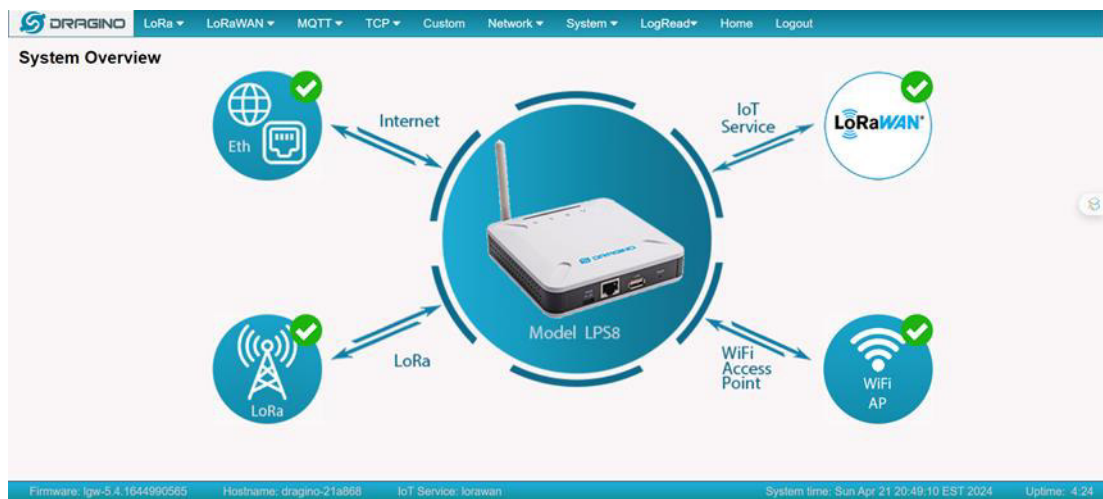
The screenshot shows the 'LoRa Configuration' page of the Dragino web interface. The top navigation bar is the same as in Figure 29. The main content area is titled 'LoRa Configuration' and contains: 'Debug Level' (Low); 'Radio Settings' with 'Keep Alive Period (sec)' (30), 'Frequency Plan' (AU915 Australia 915Mhz (915-928)), and 'Frequency Sub Band' (2: AU915, FSB2 (916.8-918.2)); 'Static GPS coordinates' with 'Enable Static GPS' checked, 'Latitude' (22.700000), 'Altitude (m)' (450), and 'Longitude' (114.240000). At the bottom, it shows 'Current Mode: LoRaWAN Semtech UDP' and buttons for 'Save&Apply', 'Disable', and 'Cancel'.

En la figura 31 podemos apreciar que se logró la configuración con éxito entre la pasarela y el acceso a la aplicación LoRaWAN.

Nos muestra con un visto bueno en color verde que las conexiones están listas y confirmadas para emitir radiofrecuencia en LoRa y retransmitir los datos obtenidos hacia la plataforma LoRaWAN.

Figura 31

Conexión exitosa del gateway dragino a LoRaWAN

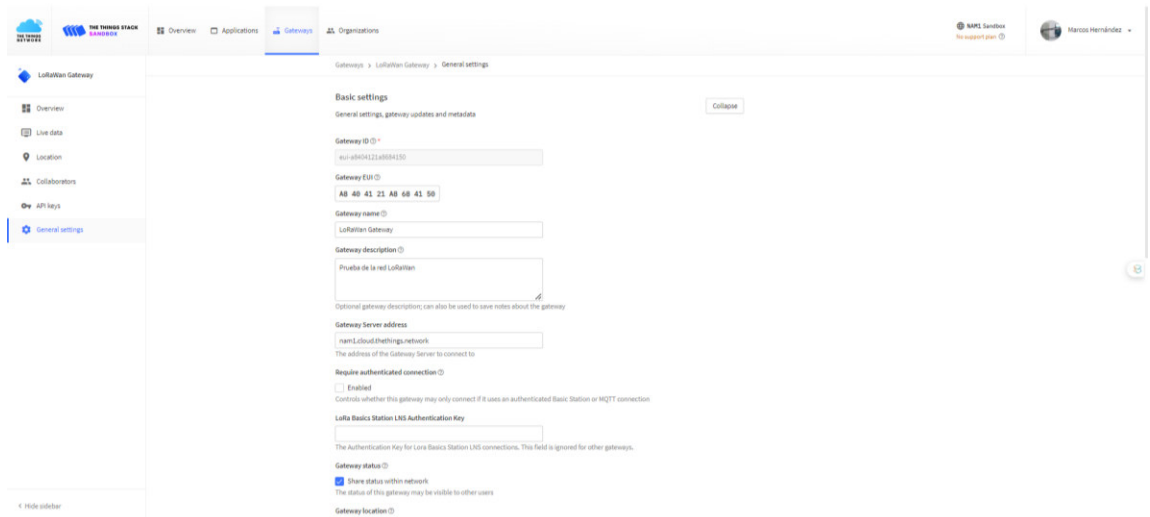


D. Configuración de TTN

En la figura 32, apreciamos la configuración del Gateway los parámetros básicos como el nombre del Gateway, el identificador único EUI y el servidor de datos que se usara.

Figura 32

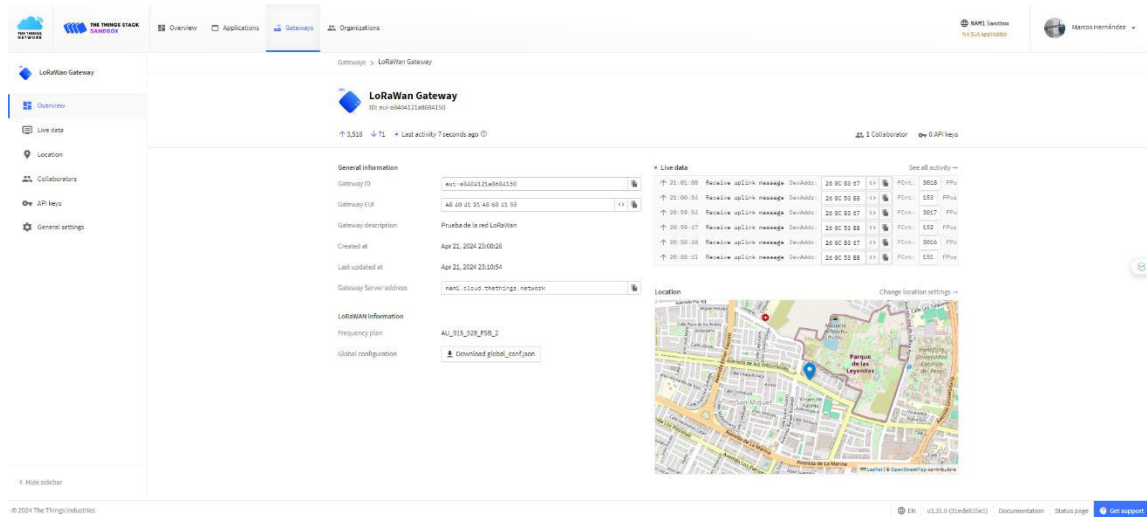
Consola de configuración del gateway en TTN para la implementación de la red LoRaWAN



El siguiente paso es la configuración del Gateway en la consola de la plataforma TTN, como podemos apreciar en la figura 33, se visualiza que el Gateway ya se encuentra funcionando y recibiendo datos

Figura 33

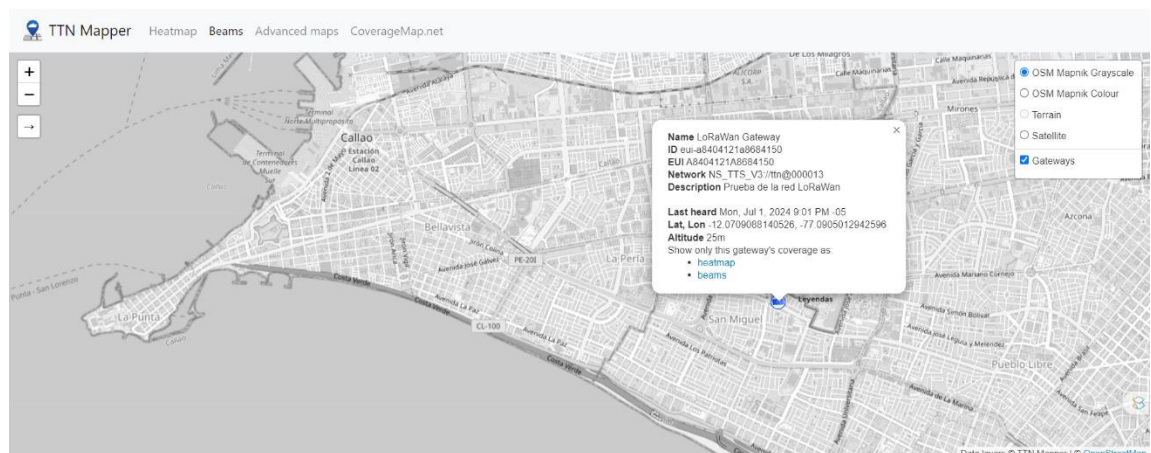
Configuración del gateway en la plataforma LoRaWAN



En la figura 34, se muestra la aplicación TTN Mapper donde se puede visualizar el Gateway que se encuentra activo y listo para recibir la información de los nodos en nuestro caso de los contenedores soterrados.

Figura 34

Aplicación web TTN Mapper mostrando el gateway implementado



E. Configuración de ThingSpeak

Para la configuración de la plataforma debemos contar con una cuenta de usuario. En relación a nuestro propósito se desarrolla en la cuenta de uso libre, para nuestras pruebas del prototipo, en la figura 35 podemos visualizar la página de la plataforma web IoT que visualizará los datos obtenidos a través del nodo sensor.

Figura 35

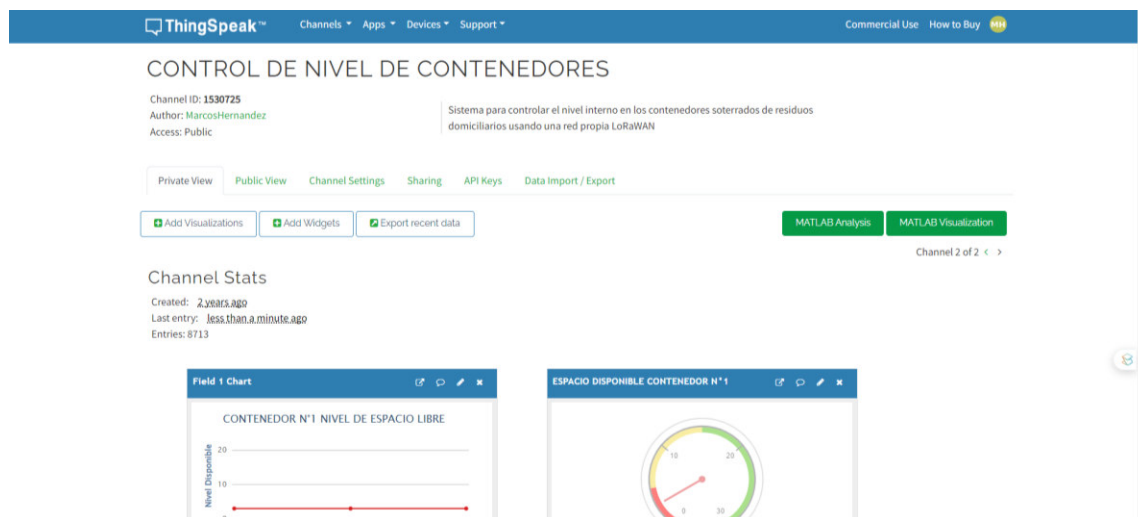
Plataforma IoT thingSpeak



En la figura 36 podemos ver la aplicación IoT ThingSpeak y el canal donde se podrá visualizar los datos obtenidos del nodo, para nuestro prototipo se implementó el canal llamado “Control de nivel de contenedores” .

Figura 36

Canal ThingSpeak para el monitoreo de los contenedores



3.4.3. Funcionamiento y pruebas del prototipo

Una vez implementado el Gateway LoRaWAN, visualizado en la figura 37, se aprecia cómo se va acondicionando para ponerlo de forma exterior y comenzar a operar.

Figura 37

Gateway Dragino implementado para pruebas del prototipo



Nota. La figura nos muestra al Gateway alojado en una caja hermética para protegerse del medio ambiente, debera estar ubicado externamente y con la mayor altura posible para cubrir todo el distrito de San Miguel.

Pruebas realizadas

Para la simulación del contenedor se usó un gabinete plástico con las siguientes dimensiones 350*350*350 mm el cual podemos ver en la figura 38, y le hemos puesto cuatro niveles

>30 centímetros = contenedor vacío con capacidad al máximo

Entre 30 y 15 centímetros = contenedor disponible

Entre 15 y 5 centímetros = contenedor en media carga

Entre 5 y 0 centímetros= contenedor se encuentra lleno en su punto máximo de recolección y enciende la alerta de color rojo en la plataforma ThingSpeak.

Figura 38

Prototipo de Contenedor con medidas de 35x35x35cm



En la figura 39, podemos visualizar como queda instalado el sensor dentro del prototipo contenedor de residuos sólidos, el sensor tendrá una vista hacia abajo para ir midiendo el nivel, mediante la distancia del objeto con el sensor.

Figura 39

Instalación del nodo sensor en el prototipo de contenedor



En la figura 40, se visualiza como queda instalado al nodo sensor dentro del prototipo para las pruebas de medición de nivel.

Figura 40

Implementacion final del nodo sensor en el prototipo de contenedor



Para nuestras pruebas del prototipo el sensor debe estar con dirección hacia los objetos a tomar distancia, para nuestro caso hacia abajo para determinar el nivel que le queda dentro del contenedor.

En la figura 41 podemos observar cómo queda finalmente el prototipo para la simulación de nuestras pruebas.

Figura 41

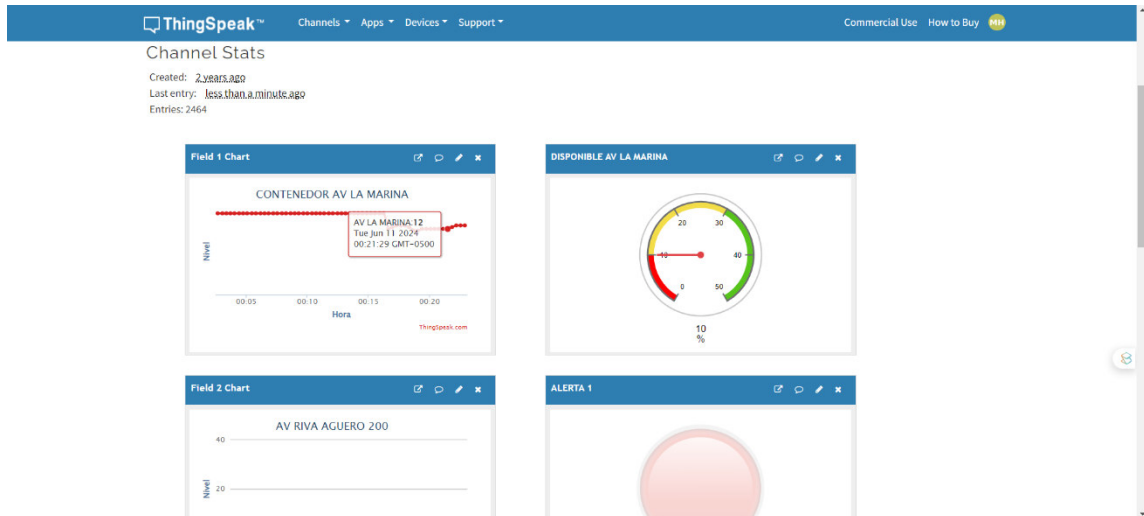
Implementación final del prototipo de contenedor



En la figura 42, podemos visualizar los valores obtenidos del prototipo, mediante la aplicación thingSpeak, en forma simultánea tanto de la plataforma web o de la aplicación móvil.

Figura 42

Implementación final del nodo sensor en el prototipo de contenedor

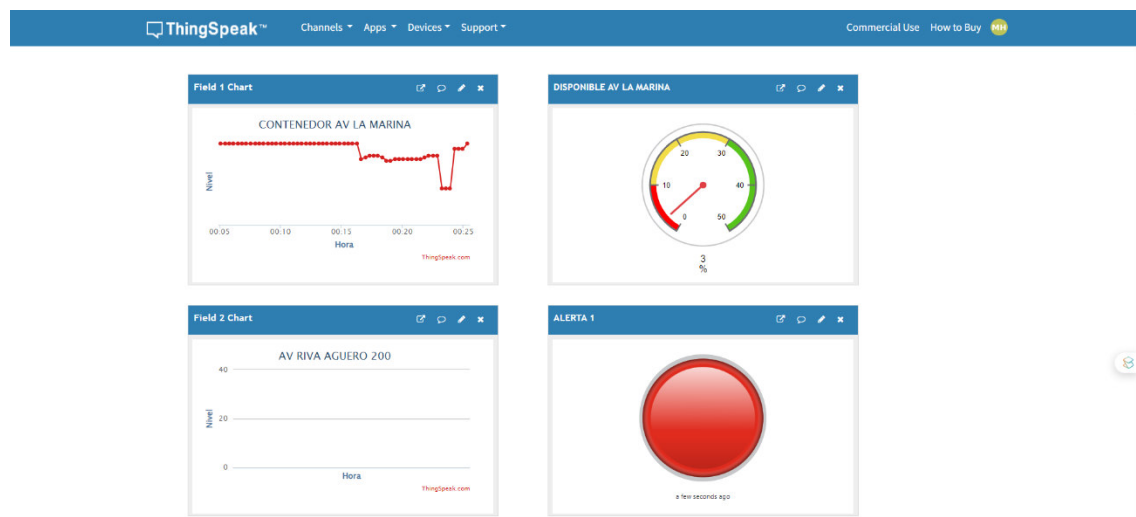


Nota. La figura nos muestra los niveles obtenidos en tiempo real del canal llamado control de contenedores.

En la figura 43, nos muestra la alerta cuando el contenedor está en el nivel máximo y requiere su atención para la eliminación de los residuos en su interior

Figura 43

Alerta de contenedor en límite máximo

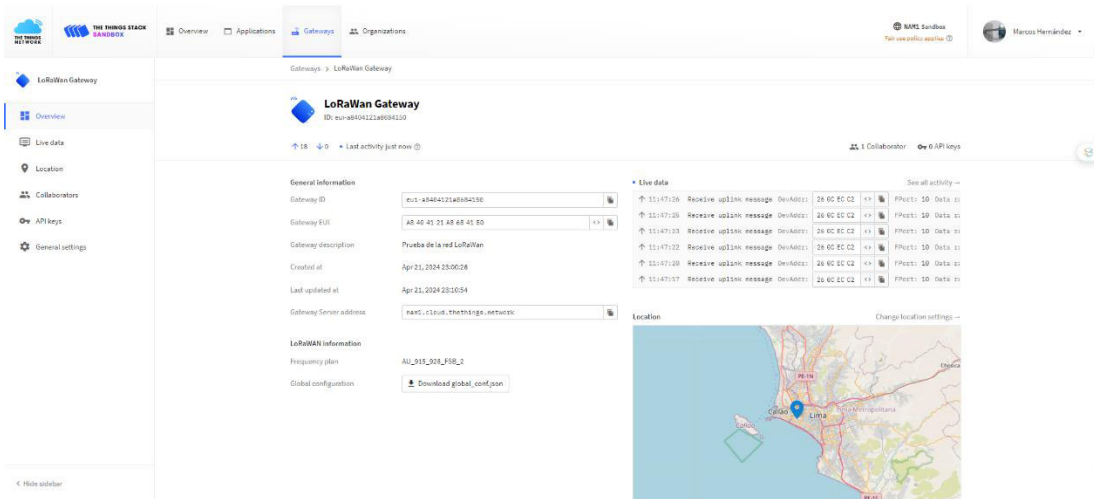


Nota. La figura nos muestra que se puede configurar una alerta visual cuando el nivel de los contenedores se encuentre en el mínimo de su capacidad

El nodo sensor envía los datos obtenidos de la lectura del nodo sensor a la plataforma TTN directamente al gateway dragino como se muestra en la figura 44, que se encuentra en constante recepción de la información.

Figura 44

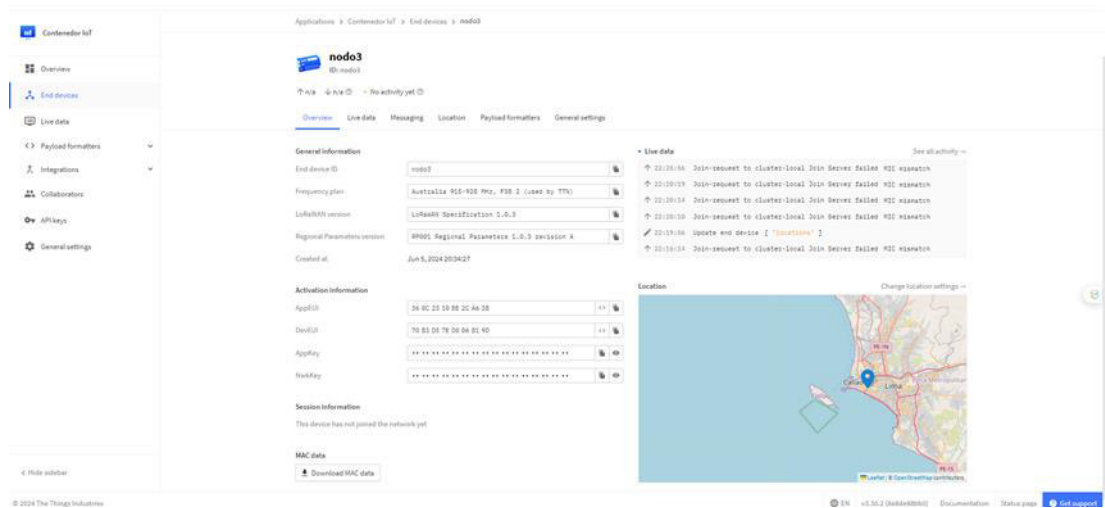
Gateway LoRaWAN recibiendo datos del nodo



La información obtenida del Gateway es direccionada a la aplicación y al nodo específico que tiene las credenciales para decodificar la información obtenida, en la figura 45, se visualiza la información que recibe la aplicación.

Figura 45

Aplicación nodo recibiendo datos del sensor



Los datos obtenidos de la aplicación pueden ser integrados a diversas plataformas IoT, para esta prueba se usa la plataforma the thingspeak, la visualización también puede ser integrada también para aplicaciones móviles como se muestra en la figura 46, donde se visualiza el estado del contenedor en tiempo real y sus fluctuaciones en relación con el tiempo, como se va manteniendo en su interior.

Figura 46

Aplicación móvil IoT para monitorear el contenedor

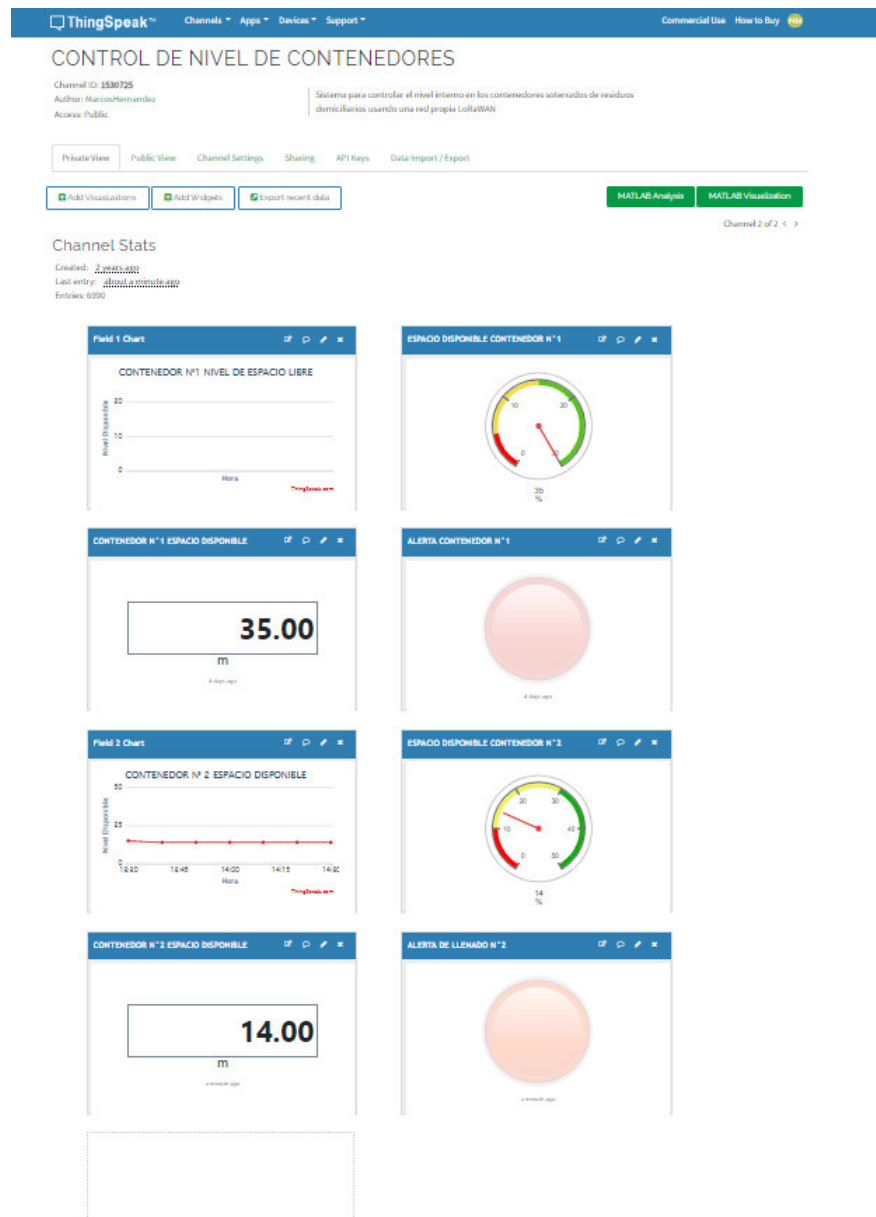


Nota. La figura muestra la imagen del teléfono con la aplicación y recibiendo los datos en tiempo real mostrando el nivel de residuos dentro de los contenedores.

En la figura 47 podemos visualizar la plataforma web IoT, para el monitoreo del contenedor soterrado.

Figura 47

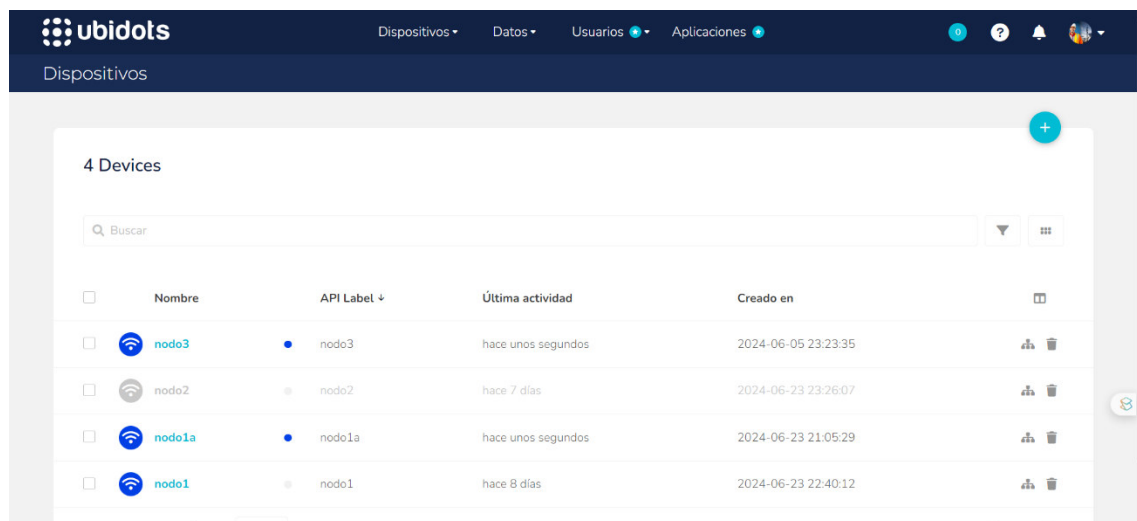
Plataforma web IoT para monitorear el contenedor



Para visualizar los niveles de recepción y relación señal ruido usamos la plataforma IoT de Ubidots, la cual fue integrada en la plataforma TTN, en la figura 48 podemos apreciar la aplicación web IoT.

Figura 48

Plataforma web IoT para monitorear el estado de los nodos



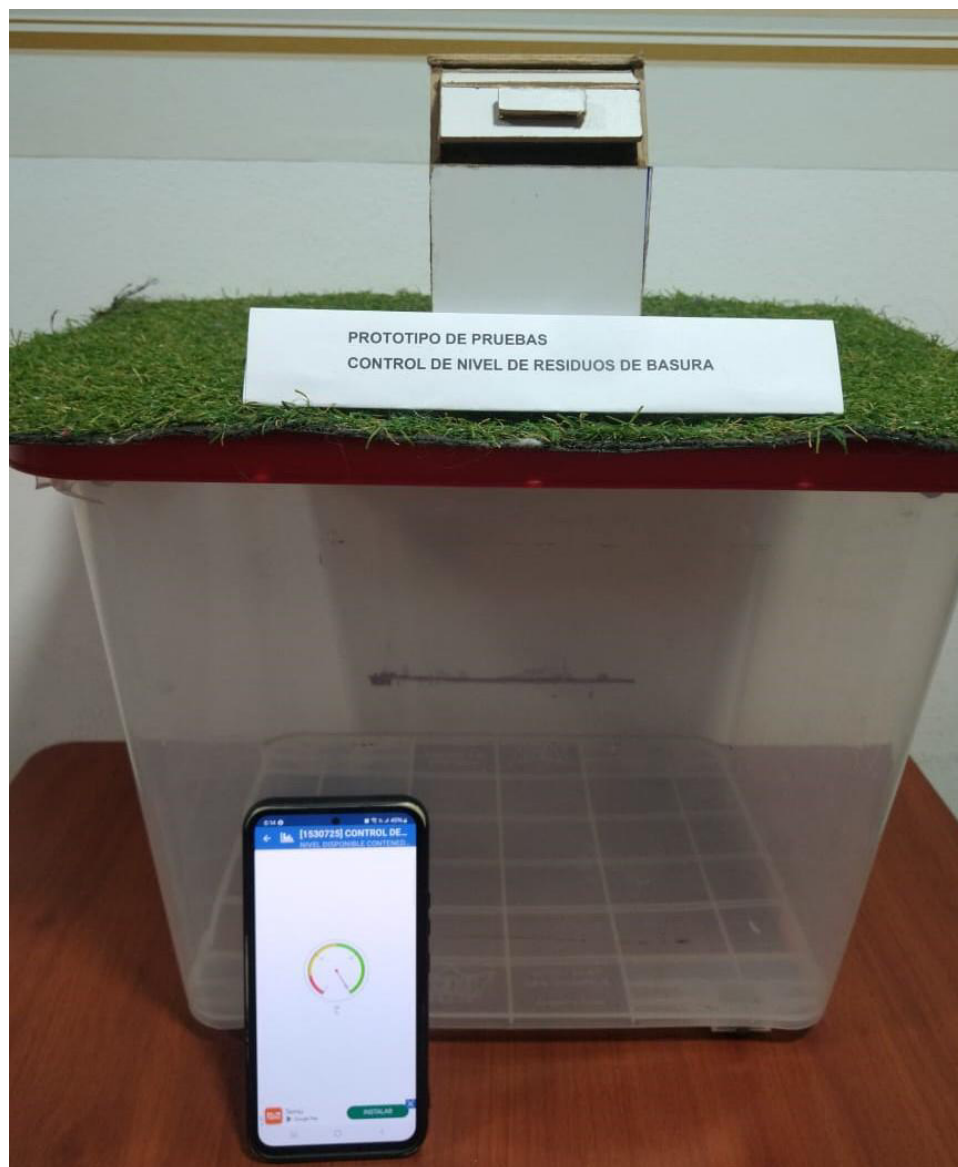
	Nombre	API Label ↓	Última actividad	Creado en	
☐	nodo3	nodo3	hace unos segundos	2024-06-05 23:23:35	
☐	nodo2	nodo2	hace 7 días	2024-06-23 23:26:07	
☐	nodo1a	nodo1a	hace unos segundos	2024-06-23 21:05:29	
☐	nodo1	nodo1	hace 8 días	2024-06-23 22:40:12	

Nota. La figura nos muestra otra opción de plataforma web para el monitoreo como es ubidots stem de acceso gratuito.

Pruebas realizadas mostrando el nivel del contenedor, en la figura 49 podemos visualizar al contenedor vacío juntamente con la aplicación, que nos muestra el nivel máximo de capacidad de almacenamiento de residuos solidos

Figura 49

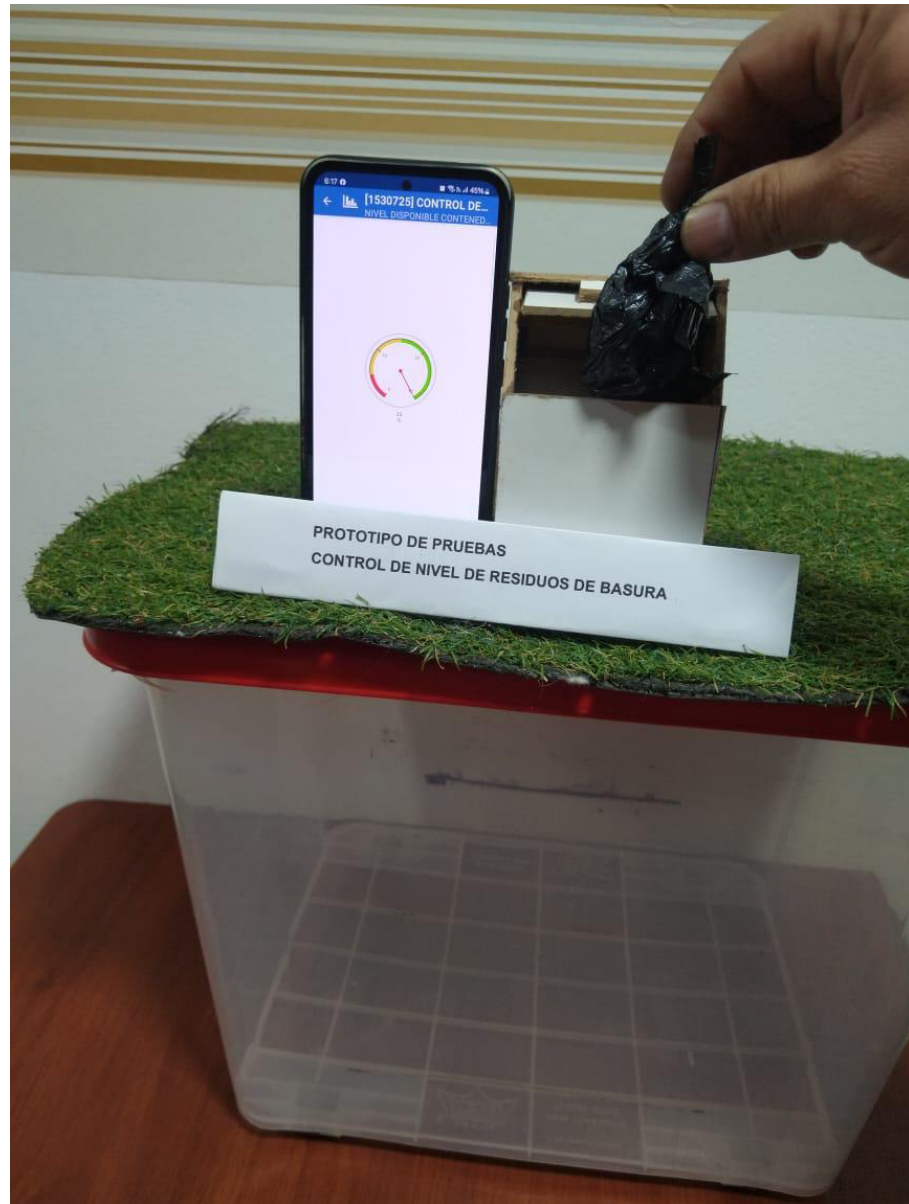
Prototipo en estado vacio y aplicación muestra nivel vacio



Comenzamos el proceso de llenado del contenedor con residuos como se muestra en la figura 50 , y vamos visualizando en simultaneo la aplicación móvil

Figura 50

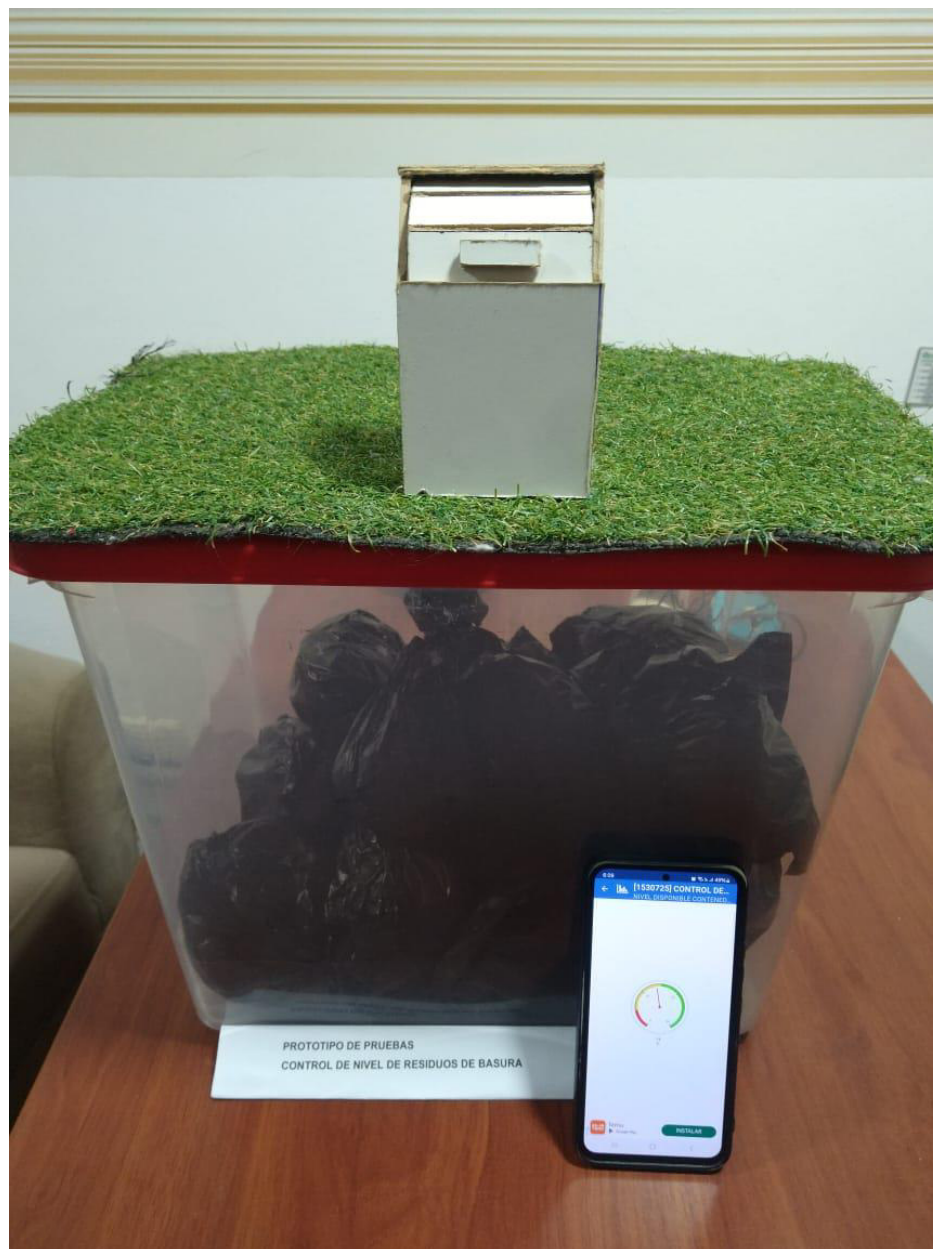
Prototipo comenzando a ser llenado de residuos



Ahora visualizamos en la figura 51 que el nivel comienza a variar en la aplicación móvil, porque se aprecia un incremento de residuos en su interior

Figura 51

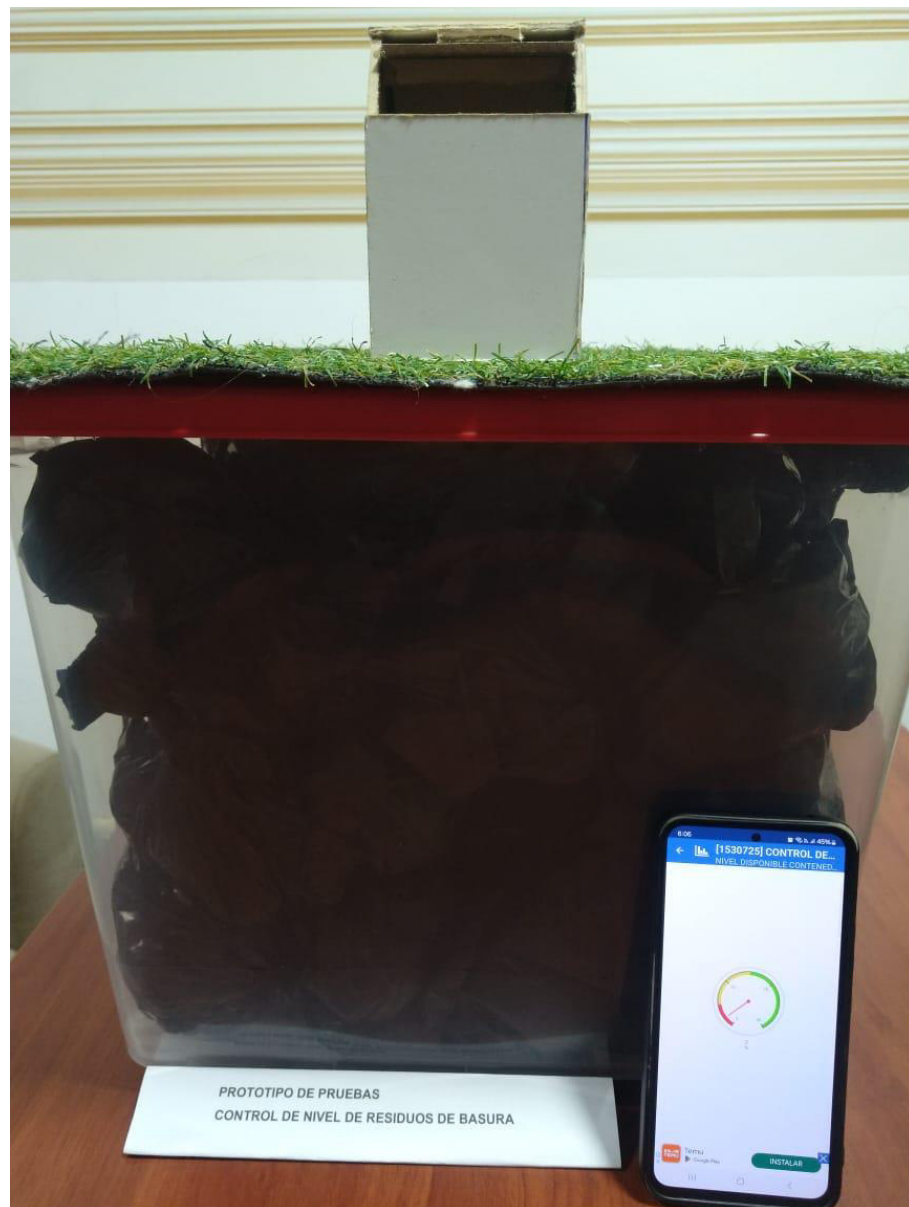
Prototipo con residuos solidos en proceso de llenado



Finalmente podemos apreciar en la figura 52 que el nivel de residuos esta su capacidad máxima, mostrando en la aplicación un nivel en escala roja indicando que ya el contenedor requiere ser limpiado y está a punto de desbordarse.

Figura 52

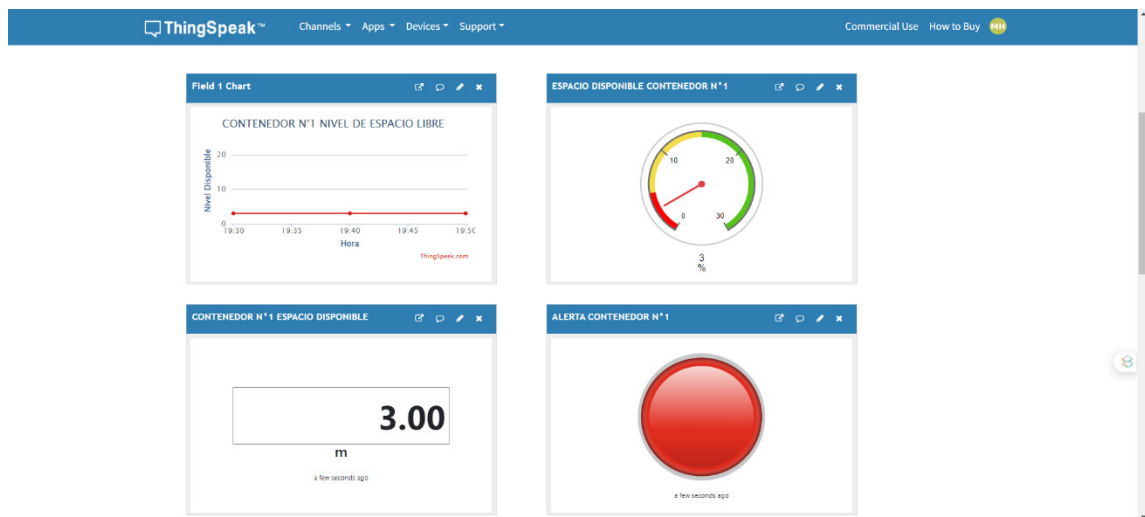
Prototipo en estado lleno y aplicación mostrando el nivel



En simultaneo también en la plataforma web ThingSpeak se visualiza la información del contenedor N°1 como se muestra en la figura 53 , con la alerta encendida indicando capacidad al límite, la lampara visual nos indica que el contenedor paso los límites permitidos y le queda 3 cm. de su capacidad permitida

Figura 53

Plataforma web thingSpeak visualizando datos



Analizando la cobertura de señal en las pruebas realizadas, se realizó la simulación entre el Gateway y un punto de un contenedor ubicado según las coordenadas geográficas dentro del distrito de san miguel (Av. Riva Agüero cuadra 8) como se muestra en la figura 54

Figura 54

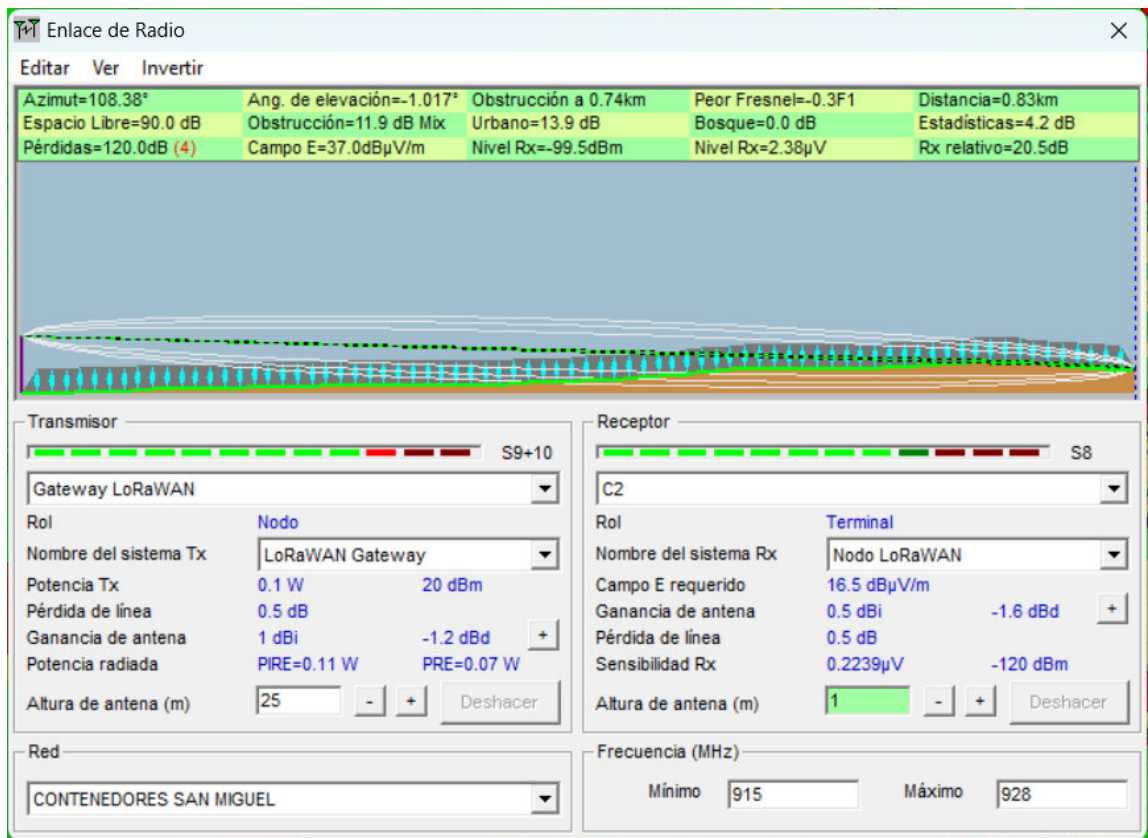
Contenedor de la av. Riva Agüero cuadra 8 simulación de pruebas



En la simulación se usó el software Radio Mobile con los datos técnicos del Gateway y del nodo en la figura 55 se aprecia el enlace obtenido

Figura 55

Enlace entre el gateway y el nodo (contenedor)



Nota. La figura nos muestra la simulación del radioenlace usando Radio Mobile software de acceso libre para el análisis de radio propagación.

Se analizó también la posible cobertura con los datos ingresados y se pudo apreciar en la figura 56, donde el punto central es el Gateway y la intensidad de señal en color verde muestra el área cubierta, donde se puede apreciar que abarca todo el distrito de san miguel.

Según los datos obtenidos del enlace:

1. Distancia 0.8 Km
2. Variación de altitud de 24.8 metros
3. Modo de propagación: Difracción con una única obstrucción, a 0.7 Km.
4. Frecuencia Promedio: 921.500 MHz
5. Perdidas de camino

Espacio Libre: 90.0 dB

Obstrucción: 11.9 dB Mix

Urbano: 13.9 dB

Bosque: 0.0 dB

Estadísticas: 4.2 dB

Pérdida de Propagación Total: 120.0 dB (modo de interferencia optimista)

6. Ganancia del Sistema

Gateway LoRaWAN a C2 (nodo) : 140.5 dB

C2 a Gateway LoRaWAN: 153.5 Db

7. Nivel de recepción: -99.5 dBm

Para analizar el nivel de recepción de -99.5 dBm sea el adecuado, realizamos una comparación entre la sensibilidad del receptor LoRaWAN.

Sensibilidad del receptor TTGO LoRa32, depende varios factores como son el ancho de banda y el spreading factor, pero según las especificaciones técnicas tiene una sensibilidad de -120dBm.

Cálculo del margen de señal

Se calcula como la diferencia entre el nivel de recepción y la sensibilidad del receptor.

Margen de señal = Nivel de Recepción- Sensibilidad del receptor

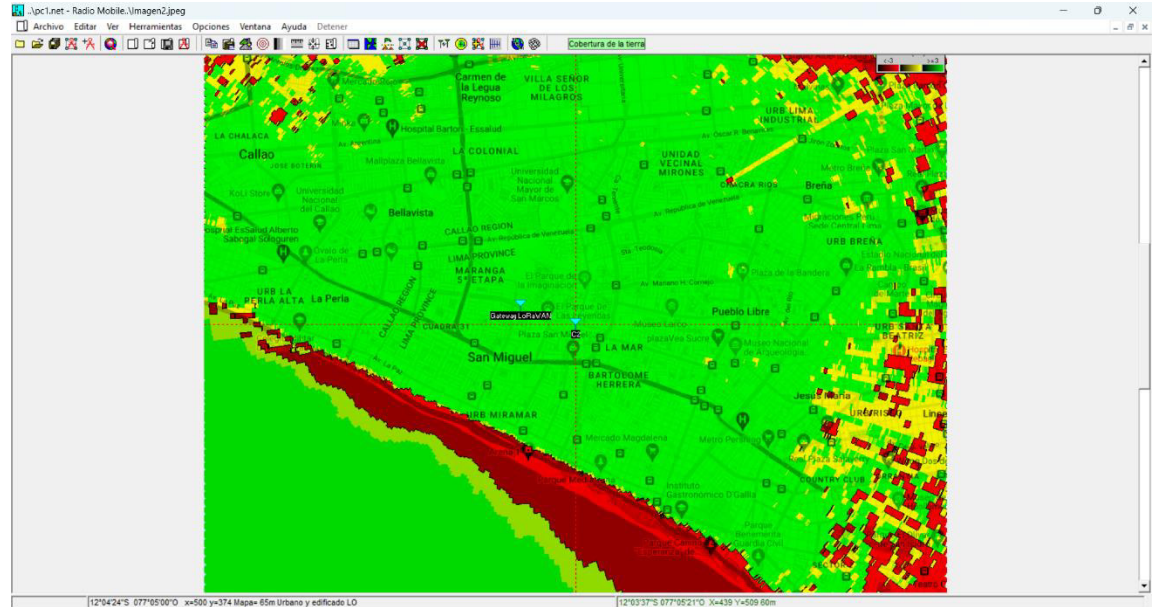
Margen de señal = -99.5 dBm – (-120 dBm)

Margen de señal = 20.5 dBm

Obteniendo un margen señal positivo, indicando que la señal recibida es más fuerte que la sensibilidad del receptor, lo cual para nuestro propósito es deseable.

Figura 56

Area de cobertura de señal del gateway

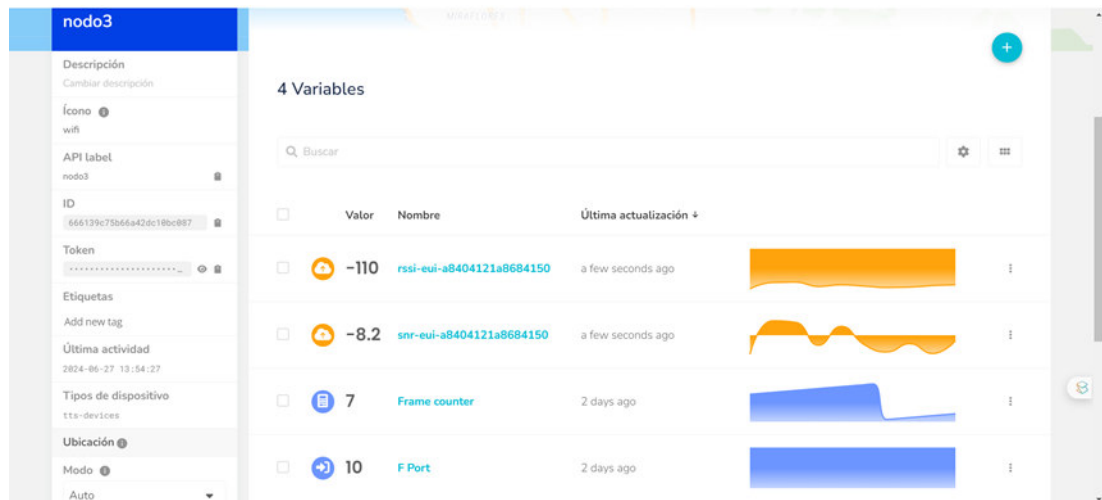


Nota. La figura nos muestra el área cubierta libre de obstáculos urbanos. En color verde la zona de cobertura óptima de señal y las áreas de color rojo es zona nula de señal.

Realizamos la prueba de la cobertura en forma real con el prototipo en el lugar C2 (av Riva Agüero cuadra 8) y obtenemos el nivel de recepción -110 dBm, para la prueba se realizó la plataforma de ubidots, que se encuentra integrada a nuestro nodo y se encuentra en constante monitoreo de los datos de recepción de señal y relación señal ruido. Como podemos apreciar en la figura 57 ,

Figura 57

Plataforma web Ubidots mostrando el nivel de señal del nodo



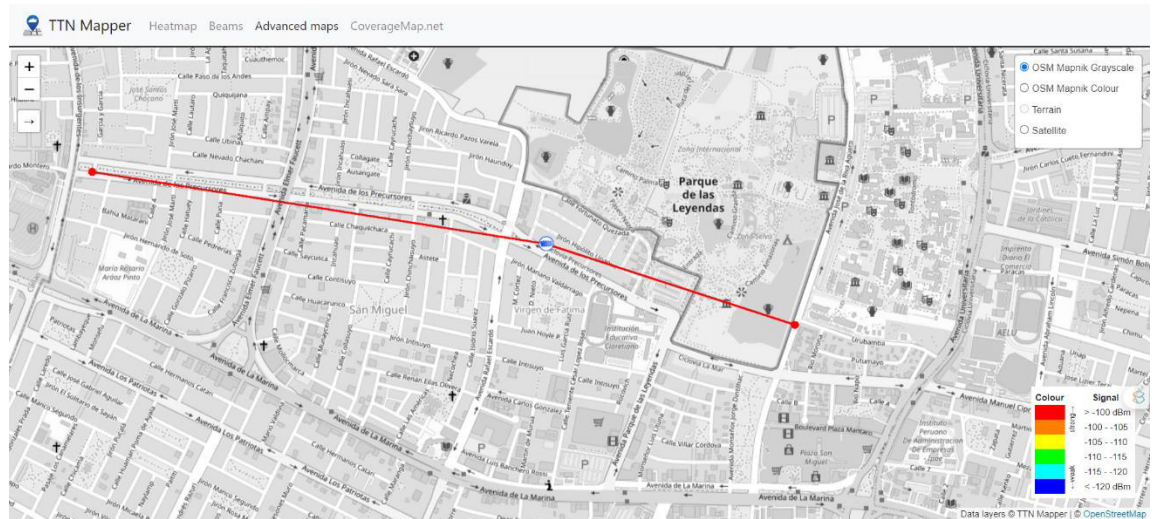
Nota. La figura muestra en la práctica el nivel de intensidad de señal con obstáculos urbanos y encontrándose con valores permitidos y comunicación de los datos.

Podemos ver que el nivel teórico que obtuvimos fue de -99.5 dBm y el nivel real con las pruebas realizadas -110 dBm, podemos concluir que el software no toma los obstáculos urbanos en la trayectoria de la señal, que atenúa la señal.

Realizando las pruebas de cobertura se registra en simultaneo en la aplicación web TTN Mapper la conexión entre el Gateway y el punto de pruebas C2 (Av Riva Agüero cuadra 8), como se visualiza en la figura 58.

Figura 58

Plataforma web TTN Mapper mostrando conexión entre gateway y nodo



Nota. La imagen indica un ícono central de color azul que es el punto donde se encuentra el Gateway quien es el concentrador de las señales recibidas por los nodos. La línea roja indica valores menores a - 100 dBm óptimo para este sistema.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS

4.1. ANÁLISIS DE COSTOS

Dentro de este marco, se realizará un análisis que detallará los costos-beneficios relacionados con implementar el sistema IoT con el fin de gestionar de manera eficiente la recolección de los residuos domiciliarios en los contenedores soterrados ubicados dentro del distrito de San Miguel.

4.1.1. Recursos Humanos

Al respecto, se destinaron recursos humanos permitiendo determinar la mejor tecnología IoT para la implementación del prototipo y se realizaron pruebas y simulaciones hasta poder determinar la mejor opción a desarrollar.

En la Tabla 4 se podrá observar lo que se presupuestó en este apartado.

Tabla 4

Valoración de recursos humanos

	Personal	Días	Precio unitario	Monto
Programador	1	2	S/70	S/140
Diseñador	1	1	S/80	S/80
Mano de obra	1	15	S/70	S/1050
Costo Total I				S/1270

4.1.2. Recursos Materiales

A título ilustrativo, se indicará los distintos componentes que en función de lo planteado se requieren para la realización del proyecto. Así mismo, se indicará el precio de cada uno en el mercado tecnológico peruano.

En la tabla 5, se apreciará la relación de dichos materiales usados.

Tabla 5

Presupuesto de hardware

Materiales	Cantidad	Costo
Sensor HC-SR04	1	S/8
TTGO-Modulo Inalámbrico LoRa 915 MHz ESP32	1	S/80
Batería de 3.6 v 6Ah	1	S/35
Caja de proyectos de aluminio	1	S/100
LoraWan Gateway	1	S/660

Dragino modelo		
LPS8		
Caja estanca	1	S/80
300x300x300mm		
Cables de	1	S/60
interconexión		
Cable de red	1	S/50
Costo Total II		S/1073

4.1.3. Recursos de software

En el trabajo de investigación se utilizó diversos programas de software. Tal como, el Arduino IDE que se usó para la configuración del módulo TTGO ESP32 como nodo final. De la misma manera, se empleó la plataforma web TTN para la programación de la red Lorawan. A su vez, se implementó el software ThingsBoard para almacenar y visualizar los datos obtenidos.

En la tabla 6 se observará la relación y costos de los softwares utilizados, En la tabla 7 otros gastos relacionados a la implementación del prototipo.

Tabla 6*Presupuesto de software*

Software	Meses	Precio mensual	Total
Arduino IDE	6	S/0	S/0
TTN	12	S/63.83	S/766
ThingsBoard Cloud	12	S/37	S/444
Costo Total III			S/1210

Tabla 7*Otros Gastos*

Descripción	Precio
Herramientas	S/120
Movilidad	S/60
Costo Total IV	S/180

Tabla 8*Gastos Totales*

Descripción	Costos (S/)
Costo total I	1270
Costo total II	1073
Costo total III	1210
Costo total IV	180
Monto total	3733

4.2. ANÁLISIS DE BENEFICIOS

4.2.1. Beneficios Tangibles

En la perspectiva que aquí se refleja, estará basada en realizar el seguimiento del nivel de residuos internos que almacena los contenedores soterrados en el distrito de san miguel, con el propósito de favorecer al área de limpieza pública y poder obtener un beneficio económico. Cabe destacar, que se tendrá un 20% de utilidad del proyecto realizado. A continuación, se indican los valores en la Tabla 9.

Tabla 9

Beneficios tangibles

Descripción	Costos (S/)
Precio Total	3733.00
Utilidad (20%)	746.60
Precio total + utilidad	4479.60

4.2.2. Análisis de Costo/Beneficio

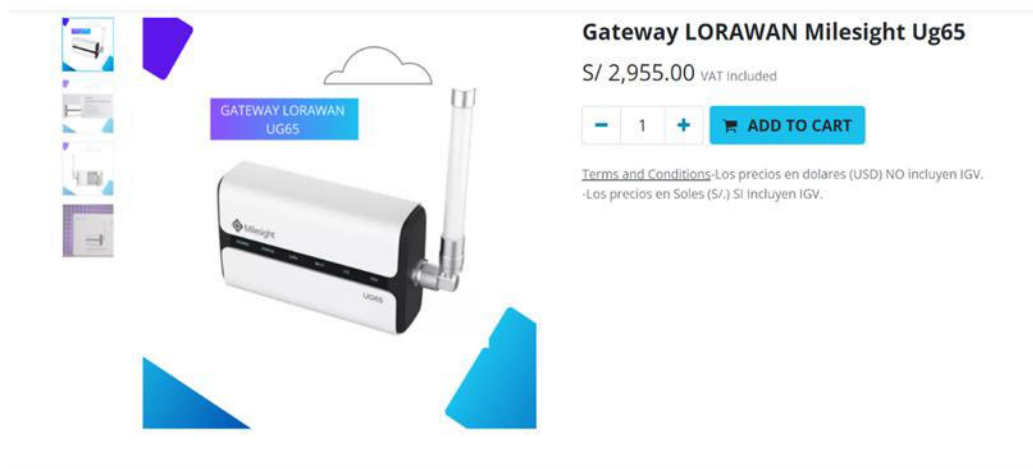
Al Valorar y confrontar el costo /beneficio nos ayudará a tener una apreciación más simple de lo factible y beneficioso que puede resultar el correcto empleo de los recursos que se han de utilizar. De tal manera, que permitirá tomar una adecuada decisión de ejecutar la inversión debido al beneficio que se obtendrá a muy corto plazo.

En las opciones por empresas dedicadas a la gestión de residuos en contenedores, no se pudo encontrar una que pueda desarrollar una la red LoraWan juntamente con los Nodos, y al mismo tiempo con la plataforma web de gestión y visualización de datos obtenidos , por eso se tomó los precios referenciales de los dispositivos, con similares características para realizar y hacer un comparativo entre nuestro prototipo desarrollado y los que se venden en el mercado tecnológico. Como podemos apreciar en La figura 59 , se muestra

el costo de un Gateway con la tecnología de radio similar a nuestro prototipo a implementar, el costo referencial es de los S/2955 soles.

Figura 59

Gateway de uso comercial



GATEWAY LORAWAN UG65 Mulesight | INDOOR IP65 AS923 | BACKHAUL 4G/Ethernet/WiFi

Nota. Adaptado de Gateway Mulesight Ug65 por mercado libre, 2023. por jksoltec (<https://acortar.link/roQr1K>)

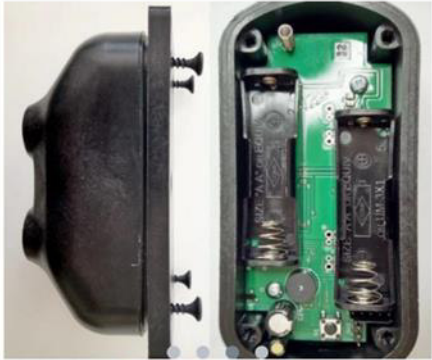
Como Nodo para un sistema Lorawan que sirve de sensor para tomar lecturas de los datos obtenidos de los contenedores, podemos mencionar al single 3.0 de la Marca Sensoneo, como

podemos apreciar en la figura 60, su precio es de 228,90 euros, que nos da un precio referencial en moneda nacional de S/1155.60.

Figura 60

Sensor ultrasonico de la marca sensoneo

Sensor ultrasónico de residuos inteligente Sensoneo LoRaWAN Single 3.0 (((SENSONEO)))



228,90 €*
Precios excl. IVA más gastos de envío
● Disponible en 35 días

Servicios de reservas PLUG&PLAY

Servicio de reserva únicamente B.One Middleware (+12,00€)**	+
Servicio de reservas en B.One Middleware & Gallery (+12,00€)**	+

Listado de puestos

Precio del producto	228,90 €*
Total parcial	228,90 €*

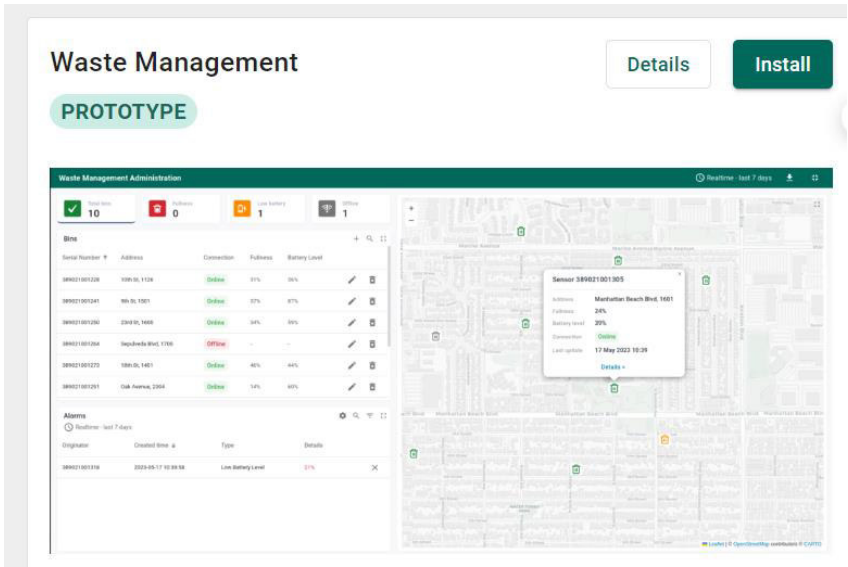
Resumen

Nota. Adaptado de sensor LoRaWAN single 3.0 por zennershop,2023.IoT sensor (<https://acortar.link/AZrfRE>)

En la figura 61, podemos visualizar el programa waste Management de la plataforma en la nube ThingsBoard Cloud, que permite gestión y desarrollo de proyectos en IoT, adicionalmente cuenta con plantilla predeterminadas para diversas gestiones.

Figura 61

Plataforma IoT comercial



Para la adquisición de este plan, está basado en una suscripción mensual de \$149 dólares mensuales, como se muestra en la figura 62, el precio anual es de \$1788 y un precio en moneda nacional que bordea los S/6794.40.

Figura 62

Costos plataforma IoT comercial

Plan de actualización

1 Elija el plan de suscripción 2 Resumen

Resumen

Detalles de suscripción

Plan de suscripción seleccionado
Prototipo de nube ThingsBoard - 149,00 USD / mes

Código promocional Aplicar

Ingrese el código de cupón y haga clic en 'Aplicar' para obtener un descuento

Cargo adicional después del cambio de plan
149.00 USD

Atrás Cancelar Actualizar

Como podemos apreciar los productos relacionados a la implementación del sistema de Gestión de residuos sólidos, tenemos una sumatoria en soles que resulta S/10 905

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{10905}{4479.60} = 2.43$$

Como podemos apreciar el proyecto es rentable en comparación a otras tecnologías que son desarrollados por diversos proveedores con soluciones similares.

4.3.ANALISIS DE SENSIBILIDAD

4.3.1. Desarrollo del Flujo de Caja

Ejecutando el instrumento financiero del flujo de caja permitirá tomar una oportuna decisión de implementar el sistema IoT para la gestión de desperdicios sólidos.

Para ello, se tomará en cuenta tanto las entradas y salidas de efectivo que se generaran en el proyecto en diferentes períodos de tiempo. Permitiendo así, analizar la viabilidad financiera a lo largo del tiempo y reducir los costos y mejor manejo de sus recursos que se han de utilizar, según lo observado en la Tabla 10.

Tabla 10

Flujo de caja del proyecto

Año	0	1	2	3	4	5
Venta de producto		S/17918.40	S/17918.40	S/17918.40	S/17918.40	S/17918.40
Total de ingresos		S/17918.40	S/17918.40	S/17918.40	S/17918.40	S/17918.40
Egresos						
Inversión inicial	S/14932					
Gastos por Recursos Humanos	S/1270					

Gastos por Hardware	S/1073					
Gastos Por Software	S/1210	S/1210	S/1210	S/1210	S/1210	S/1210
Otros Gastos	S/180					
Mantenimiento		S/150	S/150	S/150	S/150	S/150
Producción			S/14932	S/14932	S/14932	S/14932
Total de egresos	S/14932	S/1360	S/16292	S/16292	S/16292	S/16292
Flujo de Caja	-S/14932	S/16558.40	S/1626.40	S/1626.40	S/1626.40	S/1626.40
Ingreso Neto						
Costo Beneficio	-S/14932	S/1626.40	S/3252.80	S/4879.20	S/6505.60	S/8132.00

4.3.2. Análisis del VAN

Al analizar el Valor Actual Neto, se podrá evidenciar la rentabilidad del proyecto. Para tal caso, utilizaremos como dato la inversión inicial de S/3733.00, considerando la venta de 4 sistemas en el periodo de tiempo de un año, por lo que el valor final de la inversión inicial total sería de S/14932. Posteriormente, consideramos una tasa de interés exigible de la inversión, siendo para este proyecto el 20% en un periodo proyectado de 5 años. Y finalmente, se tomará como datos el valor obtenido en los flujos, que se muestra en la Tabla 7.

$$VAN = \frac{F1}{(1+I)^1} + \frac{F2}{(1+I)^2} + \dots + \frac{Fn}{(1+I)^n} - I_0 = 0$$

De la formula del VAN podemos describir

I_0 : inversión inicial

F_1, F_2, F_n : Flujo de caja correspondiente a cada periodo.

i : Tasa de descuento

Por tanto, según la formula del VAN se logra obtener un valor actual neto positivo de S/2375.26 lo cual indica que el proyecto sería rentable y viable.

4.3.3. Análisis del TIR

Al calcular la Tasa Interna de Retorno permitirá evidenciar el porcentaje de rentabilidad en razón del periodo de tiempo que se tardaría en recuperar la inversión al poner en marcha el sistema IoT. Para su cálculo se utilizó el flujo de caja para hallar la tasa que hace que el VAN sea igual a cero. Por tanto, se interpreta que si el TIR es mayor que la tasa de descuento del plan entonces resulta que la inversión es beneficiosa.

$$TIR = \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_1}{(1+TIR)^n} - I_0 = 0$$

Como resultado de utilizar la fórmula se obtuvo una TIR de 33%. Por lo consiguiente, con los valores obtenidos podemos demostrar que existe la seguridad que se puede invertir en el proyecto y

posibilita que se puede llevar a cabo. Siendo así, una proyección a futuro de la provechosa aceptación del presente trabajo.

4.3.4. Análisis de ROI

Se buscó demostrar mediante el cálculo el Retorno de la Inversión si el proyecto generará rentabilidad en comparación con distintos proyectos u opciones disponibles, permitiendo evaluar la eficiencia del proyecto frente a los que existe. Para estimar el ROI se dividirá la ganancia neta que se obtenga del proyecto entre el costo total de la inversión y expresada el resultado como un porcentaje, con el objetivo de calcular la ganancia que se obtendrá por año.

$$ROI = \frac{(Beneficio - Inversión)}{Inversión} * 100$$

$$ROI = \frac{(4479.60 - 3733)}{3733} * 100$$

Utilizando la formula, se obtuvo el resultado de 20% anual. Por ende, se interpreta que cada año alcanzará obtener este porcentaje específico de ganancia para lo cual será obligatorio cinco años para recobrar por completo la inversión inicial.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que el prototipo basado en IoT para lograr mejoras en la gestión de recolección de residuos sólidos en contenedores soterrados en el distrito de San Miguel, en lo siguiente:

- Ahorro tiempo en el recojo de contenedores llenos, sabiendo el nivel de contenedores en tiempo real
- Mantener los puntos de recolección, limpios y saludables evitando la formación de puntos críticos.
- Poder tener un mapa de calor de los puntos críticos del distrito, con la información generada del monitoreo.
- Contar con una propia red de IoT para el control de contenedores, libre de costos mensuales e implementación gradual, pudiendo usar su propia infraestructura para alojar la antena Gateway.
- Contribuir con el medio ambiente.
- Mantener el lugar paisajístico de las áreas urbanas.
- Mejorar la calidad de vida de los ciudadanos
- Contribuir con el plan de mejora en la gestión municipal al 2030 como reto del MINAM

RECOMENDACIONES

- Se recomienda inspeccionar los nodos como rutina de mantenimiento preventivo adicionalmente se puede implementar el monitoreo del estado de la batería en la aplicación.
- Podemos sugerir que la ubicación del Gateway central debe estar ubicado en el centro del área a cubrir y buscar una altura que pueda evadir obstáculos y tener línea vista en la trayectoria de la señal hacia los nodos donde se encuentran los contenedores para lograr un ahorro de batería. Por usar frecuencia de 915Mhz ayuda a evadir obstáculos urbanos y es de mayor penetración.
- Para ganar mayor cobertura en el Gateway, se podría colocar una antena externa de mayor ganancia y del tipo omnidireccional para tener una cobertura homogénea.
- Para cubrir lugares donde existen obstáculos geográficos se puede utilizar un Gateway adicional, el cual se comportaría como otra antena receptora de señal de los datos.
- Se puede implementar alertas visuales en los contenedores para alertar el estado del mismo y concientizar al ciudadano a no crear puntos críticos.
- La antena del nodo debe estar ubicado en la parte exterior y el sensor en el interior herméticamente blindado y protegido, para evitar daños por golpes o líquidos.
- Por ser una tecnología de comunicación inalámbrica se recomienda tener actualizado el software del gateway, para protegerse contra accesos no autorizados
- El uso de software con licencia amplia el uso de poder tener más nodos en simultaneo y gestionar una central de monitoreo.
- Para evitar falsos datos en las mediciones, se puede implementar un algoritmo con los datos históricos para corregir falsas mediciones, también es necesario la implementación de protección hermética del sensor y su buena ubicación

REFERENCIAS

- Acosta, E. (2020). *Sistema prototipo para el monitoreo inalámbrico de la cantidad de desechos de un contenedor de basura para ciudades inteligentes*. [Tesis de bachiller, Escuela Politécnica Nacional de Quito]. Repositorio Digital EPN.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20627>
- Caldas, J. & Diaz, C. (2018). *Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico*. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional de la UCaC.
<https://hdl.handle.net/10983/22412>
- Cavalier, M. (2019). *Propuesta de diseño de contenedor ecológico inteligente, para mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos en el distrito de villa el salvador*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Tecnológica de Lima sur]. Repositorio de la UTELS.
<http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/354>
- Guerrero, J. (2019). *Utilización de contenedores inteligentes como alternativa para la recolección de residuos domiciliarios*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional de la UG.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40607>
- IoT analytics - ThingSpeak internet of things. (s/f). Thingspeak.com.
<https://thingspeak.com/>

- LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup. (2018).
LoRaWAN 1.0.3 Regional Parameters. https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan_regional_parameters_v1.0.3rev_a_0.pdf
- Meijers, J. P. (s/f). TTN coverage. Ttnmapper.org.
<https://ttnmapper.org/heatmap/>
- MINAM. (2023). Indicadores de Gestión de Residuos Sólidos año 2022.
<https://sites.google.com/minam.gob.pe/sigersol2/Sigersol-Municipal?authuser=1>
- Ministerio de Salud. (2004). *Marco institucional de residuos sólidos en el Perú*.
http://bvs.minsa.gob.pe/local/dgsp/000_RES.SOLID.pdf
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2023). *Plan Nacional de atribución de frecuencias PNAF*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4229456/Plan%20Nacional%20de%20Atribuci%C3%B3n%20de%20Frecuencias%20%20PNAF%202023.pdf?v=1678288087>
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Sistema de información para la gestión de los residuos sólidos*.
<https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/panel>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Sistema Nacional de información Ambiental*.
<https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>
- Navarro Ortiz, J., Chinchilla Romero, N., Delgado Ferro, F., y Ramos Muñoz, J. J. (2021). Arquitectura para redes IoT orientada a la sostenibilidad medioambiental. Actas de la XV jornadas de ingeniería telemática universidad A. Coruña, 17-20.
<http://hdl.handle.net/10481/71142>

- Organismo de Fiscalización Ambiental. (2014). Residuos sólidos: *Definiciones y competencias*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471
- Parente, L. L. (2021, mayo). LMIC-node v1.3.0. GitHub.
<https://github.com/lnlp/LMIC-node/releases/tag/v1.3.0>
- The Things Network. (s/f). *The things network*. The Things Network.
<https://www.thethingsnetwork.org/>
- What is LoRaWAN® specification*. (2020, octubre 21). LoRa Alliance®; LoRa Alliance. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- Zegarra, K. (2020). *Diseño de red inalámbrica de sensado remoto con aplicación en un escenario de la selva peruana*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad católica del Perú]. Repositorio de la PUC.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18634>

GLOSARIO

- Frecuencias ISM: Frecuencias de uso libre para fines Industriales, científicas y médicas.
- LPWAN: Redes amplia de baja potencia.
- Chirp Spread Spectrum: Técnica de modulación de espectro ensanchado.
- LoRa: transmisión de largo Alcance usando la modulación chirp variando constantemente en frecuencia.
- LoRaWAN: red de largo alcance y bajo consumo de energía ideal para IoT.
- Nodo Sensor: recopila los datos con sensores y lo envía mediante la red IoT.
- Gateway: Pasarela entre el nodo y la conexión a internet.
- LoRa Alliance: Asociación que promueve el desarrollo de LoRaWAN
- NwkKey: Clave de autenticación para seguridad entre el Nodo y el servidor de red.
- SNR: Relación de señal- ruido.
- RSSI: es un indicador de la medida de potencia recibida por un dispositivo LoRaWAN, se expresa en decibelios milivatios (dBm).
- Payload: parte de los datos enviados, que contiene información de los sensores, encabezados y seguridad. (encriptación AES-128)
- AES-128: Es un estándar de cifrado simétrico ampliamente utilizado en dispositivos con una clave de 128 bits.
- OTA: Activación sobre aire, forma de como conectarse un nodo y un Gateway en LoRaWAN, usando AppKey, AppEUI, DevEui.
- AppKEY: Es la clave AES de 128 bits compartida entre el nodo y el Gateway.
- AppEUI: Identificador de la aplicación de 64 bits
- DevEui: identificador único del dispositivo.

ANEXOS

Anexo A: Relación de contenedores soterrados en el distrito de San Miguel

N°	UBICACIÓN	CANTIDAD	TIPO DE CONTENEDOR	CAPACIDAD m³ o L. x CADA CONT.	CORDENADAS GEOGRAFICAS
1	Calle Santa Justina Cuadra 1 con calle San Carlos	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'56.08"S 77° 4'32.22"O
2	Conjunto Habitacional Maria Iris : Av Bolognesi Cuadra 8	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 5'4.70"S 77° 4'39.41"O
3A	Conjunto Habitacional Julio C. Tello: Av Cosco Cuadra 6	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 5'7.15"S 77° 4'45.40"O
3B	Conjunto Habitacional Julio C. Tello: Jr. Castilla Cuadra 6	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 5'09.09"S 77° 4'29.27"O
3C	Conjunto Habitacional Julio C. Tello: Av Bolognesi Cuadra 6	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 5'18.71"S 77° 4'46.44"O
3D	Conjunto Habitacional Julio C. Tello: Av. Lima con Av. Alfonso Ugarte	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
4	Av. Universitaria Cuadra 4	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
5	Av. Riva Agüero Cuadra 2	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 5'3.68"S 77° 5'12.79"O
6	Av. Riva Agüero Cuadra 9 con Calle Urubamba	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'23.65"S 77° 5'0.20"O
7	Av. Precursores Cuadra 2	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
8	Av. Precursores Cuadra 3	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'14.59"S 77° 5'28.33"O
9	Av. Precursores Cuadra 10	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'08.03"S 77° 6'13.04"O
10	Av. Pio XII Cuadra 5	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 3'52.22"S 77° 6'10.51"O
11	Av. Pio XII Cuadra 3	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 3'51.53"S 77° 6'2.30"O
12	Av. La Marina Cuadra 36	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
13	Calle Bote Sacramento	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
14	Av. La Marina Cuadra 29	2	Hidráulico	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
15	Calle Napo	2	Hidráulico	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
16	Av. Costanera Cuadra 11 (Parque Pedro Planas)	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 5'12.58"S 77° 5'36.91"O
17	Av. La Paz Cuadra 20 (Frente parque perdonar divina)	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'54.96"S 77° 6'2.60"O
18	Av Libertad Cuadra 19	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'53.03"S 77° 5'58.43"O
19	Av Libertad Cuadra 20	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'50.77"S 77° 6'3.64"O
20	Av Libertad con Av. Razuri	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
21	Av. Insurgentes Cuadra 1 con Av. Libertad	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
22	Parque Brasil (CallePátopo con Calle Canamelares)	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'18.74"S 77° 5'34.65"O
23	Parque Chicama (Pucalá con Manco II)	2	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
24	Av. Los Patriotas Cuadra 4	2	Hidráulico	3.73 m³	12° 4'37.06"S 77° 5'53.68"O
25	Av. Costanera con Echenique	1	Doble Gancho	3.73 m³	12° 4'16.74"S 77° 5'24.65"O
26	Parque José Carlos Mariategui (ex - Bancarios) - Calle Puntabrava	3	Cont. Soterrado Hidráulico de 3 buzones	1100 L	12° 3'56.06"S 77° 6'6.84"O
27	Parque San Judas Tadeo	3	Cont. Soterrado Hidráulico de 3 buzones	1100 L	12° 4'55.89"S 77° 5'53.72"O
TOTAL		45			

Anexo B: Diagrama de Gantt



Anexo C: Matriz de Consistencia

PROBLEMÁTICA	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN GENERAL	OBJETIVO GENERAL	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN SECUNDARIAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES
¿Cómo lograr la mejora del sistema del recojo de residuos sólidos y así lograr optimizar la gestión del área de subgerencia de la limpieza pública en el municipio del distrito de San Miguel?	¿Como mejorar la gestión de los residuos solidos en los contenedores soterrados del distrito de San Miguel de lima metropolitana?	Desarrollar un prototipo mediante internet de las cosas para mejorar la gestión de recojo de residuos sólidos en contenedores soterrados, distrito san miguel	¿Cómo se encuentra actualmente el sistema para recoger los residuos sólidos en los contenedores soterrados del distrito de San Miguel?	Analizar la problemática del recojo de basura	Reconocer los puntos donde se genera cumulo de residuos solidos (basura). evaluar el proceso de gestion del recojo de residuos solidos en los contenedores soterrados reconocer puntos criticos
			¿Cómo se podría mejorar los procesos para recoger los residuos sólidos en los contenedores en el distrito de San Miguel?	Diseñar un sistema que permita controlar el nivel del volumen en un contenedor de	evaluar sensores a utilizar evaluar el tipo de comunicación
			¿Cómo podemos seleccionar la mejor tecnología a implementar y que dispositivos se usaran para el monitoreo de los contenedores de basura?	Determinar la mejor tecnología inalámbrica de IoT que se pueda implementar para monitorear el nivel de	evaluar redes IoT evaluar redes inalámbricas evaluar redes LPWAN
			¿Como se desarrollara el monitoreo de los contenedores de basura, para una correcta medición?	Diseñar la estructura de la red IoT a implementar que permita integrar la tecnología empleada para el monitoreo de los contenedores soterrados	Diseñar la Arquitectura Diseñar los bloques del sistema Definir los componentes a utilizar
			¿Como validar el funcionamiento del sistema de monitoreo?	Desarrollar un prototipo que sirva de simulación para poder validar el funcionamiento y verificar el nivel de llenado dentro de los contenedores soterrados	Desarrollar el programa que servira para monitorear los contenedores implementar el nodo implementar el gateway

Anexo D: Hoja técnica Gateway LPS8 Dragino



LoRaWAN Pico Station

LPS8



OVERVIEW:

The LPS8 is an open source LoRaWAN Gateway. It lets you bridge LoRa wireless network to an IP network via WiFi or Ethernet. The LoRa wireless allows users to send data and reach extremely long ranges at low data-rates.

The LPS8 uses semtech packet forwarder and fully compatible with LoRaWAN protocol. It includes a SX1308 LoRa concentrator, which provide 10 programmable parallel demodulation paths.

The LPS8 supports LoRaWAN station connection. It is compatible with the AWS-IoT LoRaWAN Core.

LPS8 has pre-configured standard LoRaWAN frequency bands to use for different countries. User can also customized the frequency bands to use in their own LoRa network.

Specifications:

LoRa Interfaces:

- 1 x SX1308 + 2 x 1257 LoRa Transceiver
- Max Output Power: 20dBm
- Sensitivity: -140dBm

General Interfaces:

- 10M/100M RJ45 Ports x 1
- 1 x 2.4G WiFi (802.11 bgn)
- 1 x USB host port
- 1 x USB Type C port for power
- Power Input: 5v, 2A

Features:

- Open Source OpenWrt system
- Support Semtech UDP packet forwarder
- Support LoRaWAN Station Connection
- Managed by Web GUI, SSH via LAN or WiFi
- LoRaWAN Gateway
- Emulates 49x LoRa demodulators
- 10 programmable parallel demodulation paths
- Auto-Provisioning
- Remote Monitoring

Applications:

- Smart Buildings & Home Automation
- Logistics and Supply Chain Management
- Smart Metering
- Smart Agriculture
- Smart Cities
- Smart Factory

Ordering Info:

- LPS8-470 (For Band: CN470)
- LPS8-868 (For Band: EU868,IN865)
- LPS8-915 (For Bands: US915, AU915, AS923, KR920)

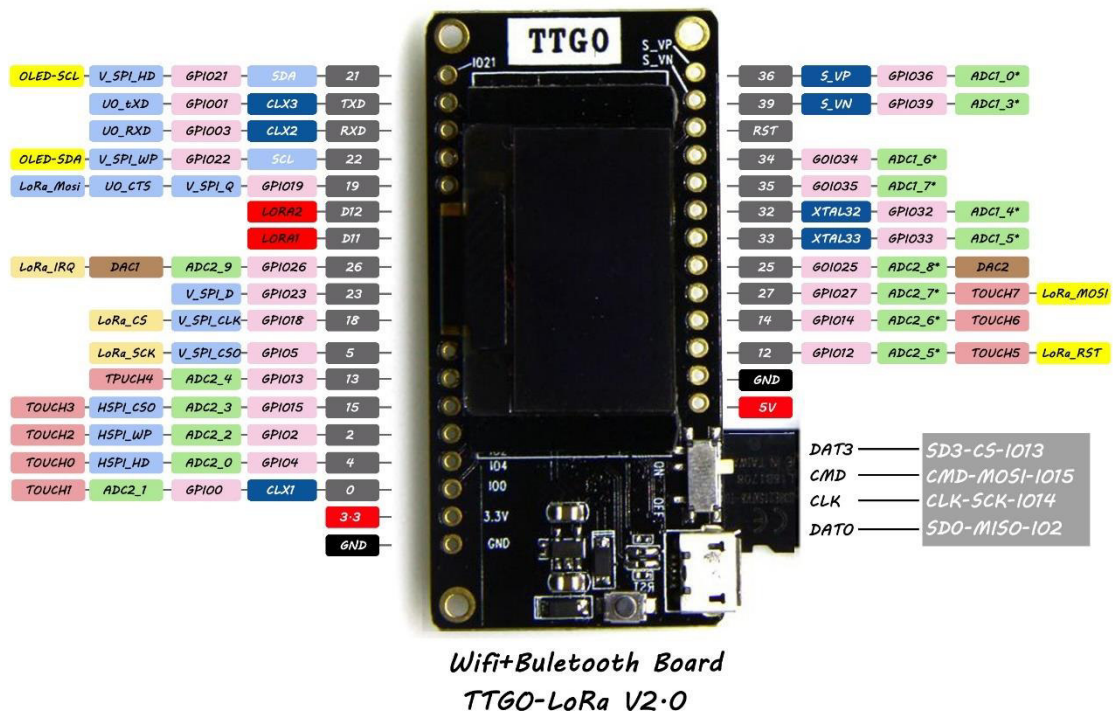
Dragino Technology Co., Limited

Room 202, Block B, BCT Incubation Bases (BaoChengTai), No.8 CaiYunRoad
LongCheng Street, LongGang District ; Shenzhen 518116,China
Direct: +86 755 86610829 | Fax: +86 755 86647123

WWW.DRAGINO.COM

sales@dragino.com

Anexo E: TTGO ESP32 LoRa V2 pinout y características



ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

- Modelo: LILYGO TTGO LoRa32 915Mhz
- Voltaje de alimentación MicroUsb: 5V/1A
- Interruptor de encendido
- Conector IPX / IPEX para antena SMA
- Conector con rosca para antena SMA
- USB a TTL CP2104
- Rango de temperatura: -40 °C ~ + 85 °C
- Dimensiones: 64.47 x 27mm x 8.54mm

Interfaz de carga y descarga de batería de litio

- Conector de batería: JST XH2-2.54mm
- Corriente máxima de carga: 500 mA
- Gestión de carga: IP5306

Pantalla

- Display OLED
- Tamaño: 0.96 pulgadas
- Resolución:128×64 píxeles
- Controlador: SSD1306 dirección I2C 0x3C

Lora32

- Frecuencia de funcionamiento: 915 MHz
- Potencia de transmisión: + 20dBm
- Sensibilidad de recepción:
 - -139dBm @ LoRa y 62.5Khz y SF = 12 y 146bps
 - -136dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 12 y 293bps
 - -118dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 6 y 9380bps
 - -123dBm@FSK&5Khz&1.2Kbps
- Error de frecuencia: +/- 15 KHz
- Espacio FIFO: 64 bytes
- Velocidad de datos:
 - 1.2K~300Kbps@FSK
 - 0.018K~37.5Kbps@LoRa
- Modo de modulación: FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa TM, OOK
- Forma de interfaz: SPI
- Corriente de sueño:
 - 0.2uA@SLEEP
 - 1.5uA@IDLE
- Función RSSI digital
- Corrección automática de frecuencia
- Control de ganancia automática
- Despertar rápido y salto de frecuencia
- Manejador de paquetes de datos altamente configurable
- Pines: 26(DI0 / IO0), 23(IRQ / RESET), 18(NSS / SE), 5(SCK), 27(MOSI / SDI), 19(MISO / SDO)

ESP32

- ESPchip: ESP32 PICO-D4
- Flash: 4MB
- Wifi:
 - Protocolo: 802.11 b / g / n (802.11n, velocidad de hasta 150 Mbps)
 - Polimerización A-MPDU y A-MSDU, admite intervalo de protección de 0,4 μS
 - Rango de frecuencia: 2,4 GHz ~ 2,5 GHz
- Bluetooth:
 - Protocolo: Cumple con el estándar bluetooth v4.2 BR / EDR y BLE
 - Frecuencia de radio: Con receptor NZIF de sensibilidad de -97dBm, emisor AFH de clase 1, clase 2 y clase 3
 - Frecuencia de audio: Frecuencia de audio CVSD y SBC

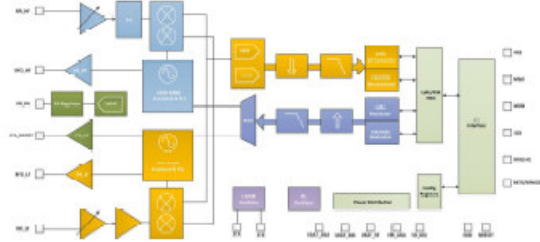
Anexo F: CHIP LoRa Marca Semtech



SX1276/77/78/79

WIRELESS & SENSING PRODUCTS DATASHEET

SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver



GENERAL DESCRIPTION

The SX1276/77/78/79 transceivers feature the LoRa® long range mode that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity whilst minimising current consumption.

Using Semtech's patented LoRa modulation technique SX1276/77/78/79 can achieve a sensitivity of over -148dBm using a low cost crystal and bill of materials. The high sensitivity combined with the integrated +20 dBm power amplifier yields industry leading link budget making it optimal for any application requiring range or robustness. LoRa provides significant advantages in both blocking and selectivity over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption.

These devices also support high performance (G)FSK modes for systems including WMBus, IEEE802.15.4g. The SX1276/77/78/79 deliver exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity and IIP3 for significantly lower current consumption than competing devices.

ORDERING INFORMATION

Part Number	Delivery	MOQ / Multiple
SX1276MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1277MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1278MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1279MLTRT	T&R	3000 pieces
SX1276WS ¹	Wafer Form	1 Wafer (2000 dies)

1. For Wafer deliveries, refer to the corresponding "Wafer Delivery Specification"

- ♦ QFN 28 Package - Operating Range [-40,+85°C]
- ♦ Pb-free, Halogen free, RoHS/WEEE compliant product

KEY PRODUCT FEATURES

- ♦ LoRa® Modem
- ♦ 168 dB maximum link budget
- ♦ +20 dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- ♦ +14 dBm high efficiency PA
- ♦ Programmable bit rate up to 300 kbps
- ♦ High sensitivity: down to -148 dBm
- ♦ Bullet-proof front end: IIP3 = -11 dBm
- ♦ Excellent blocking immunity
- ♦ Low RX current of 9,9 mA, 200 nA register retention
- ♦ Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- ♦ FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa® and OOK modulation
- ♦ Built-in bit synchronizer for clock recovery
- ♦ Preamble detection
- ♦ 127 dB Dynamic Range RSSI
- ♦ Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- ♦ Packet engine up to 256 bytes with CRC
- ♦ Built-in temperature sensor and low battery indicator

APPLICATIONS

- ♦ Automated Meter Reading.
- ♦ Home and Building Automation.
- ♦ Wireless Alarm and Security Systems.
- ♦ Industrial Monitoring and Control
- ♦ Long range Irrigation Systems

Anexo G: Sensor Ultrasonido HC-SR04

Product User's Manual – HC-SR04 Ultrasonic Sensor

3.0 PRODUCT LAYOUT

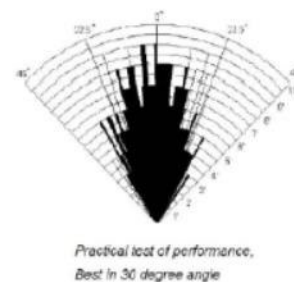
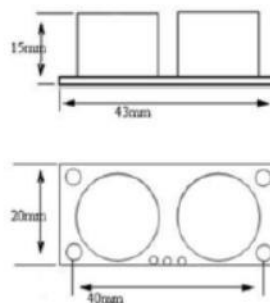


VCC = +5VDC

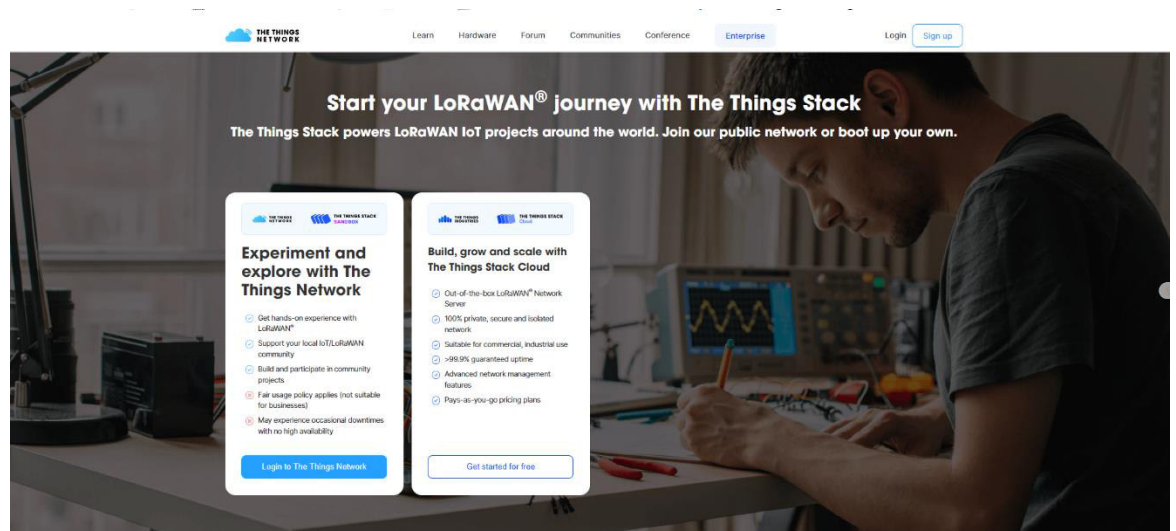
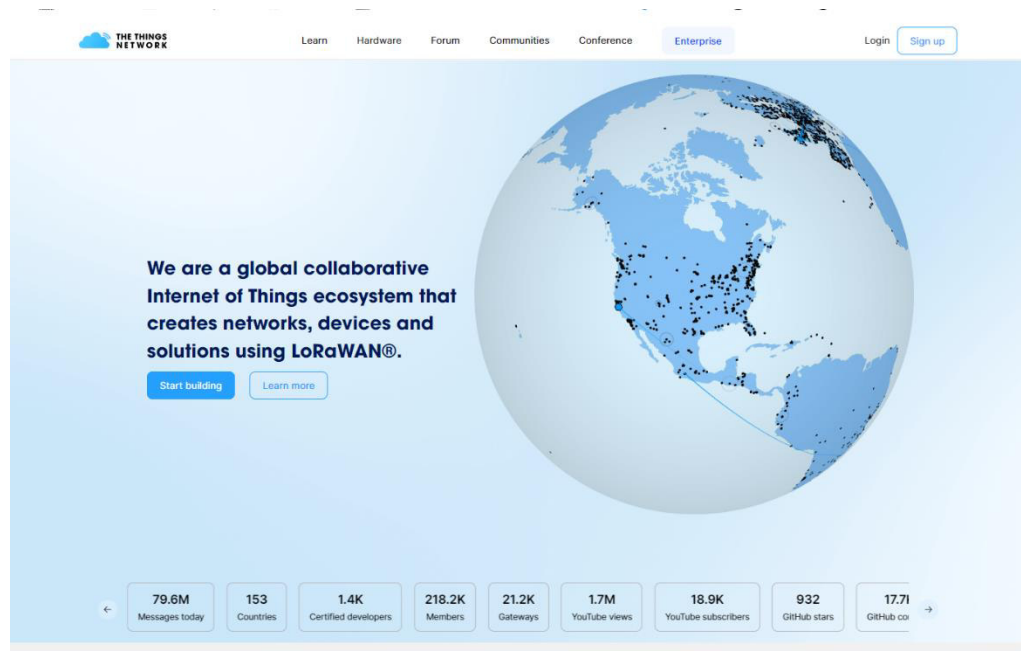
Trig = Trigger input of Sensor

Echo = Echo output of Sensor

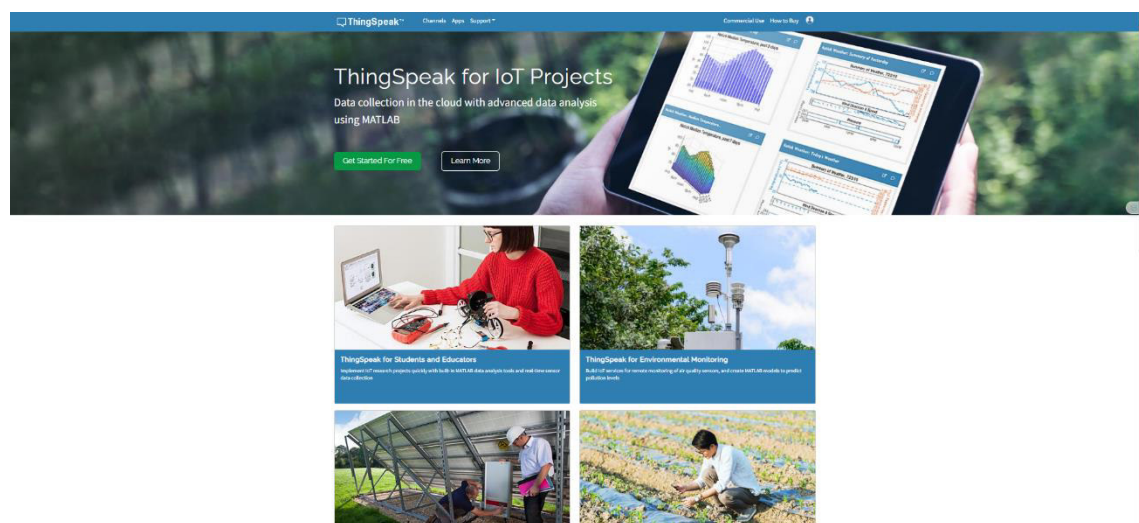
GND = GND



Anexo H: Plataforma web LoRaWAN The Things Network



Anexo I: Plataforma web IoT ThingSpeak



Anexo J: Plataforma web IoT Ubidots STEM

The screenshot shows the Ubidots STEM website homepage. The header includes the Ubidots logo and navigation links: INDUSTRIAS, PLATAFORMA, PRECIOS, RECURSOS, and STEM (with a dropdown arrow). A 'STEM INICIAR SESIÓN' link and a 'CREAR CUENTA STEM' button are also present.

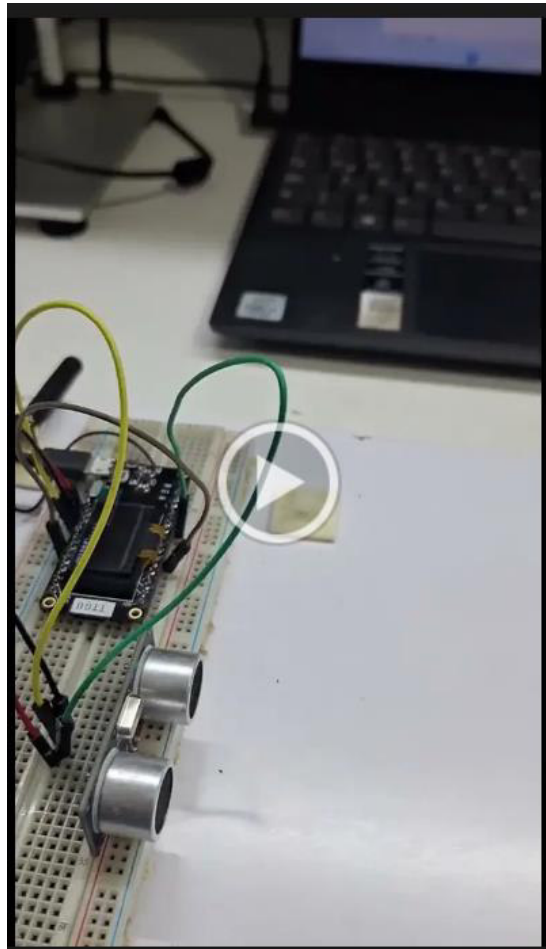
The main section features a large blue background with the headline 'Construya nuestro futuro conectado, hoy'. Below this, a paragraph states: 'Ubidots STEM es el entorno perfecto para creadores, estudiantes e investigadores interesados en probar, aprender o enseñar IoT. Únete a miles de usuarios de todo el mundo para hacer que el futuro esté basado en datos.' A 'CREAR CUENTA GRATUITA' button and a link 'O inicie sesión aquí' are provided.

To the right of the text is a circular diagram titled 'What is Ubidots' with a central red play button icon. The diagram includes links for 'Ver más ta...' and 'Compartir'.

The bottom section is a light gray bar with four statistics:

- 150,000** Estudiantes, investigadores y aficionados.
- 3** Dispositivos gratis a perpetuidad.
- 200+** Bibliotecas y tutoriales de código abierto.
- 150+** Países representados.

Anexo K: Enlace video explicando el funcionamiento del prototipo



<https://drive.google.com/file/d/1NZy74L9IZZMJEG3MzcXViS7puRnIJB21/view?usp=sharing>