

REPOSITORIO ACADÉMICO UPC

Diseño de un sistema de contenedores inteligentes para mejorar la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martín de Porres

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Vera Villanueva, Carlos Alberto
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess; Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
Download date	18/10/2022 01:15:46
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/656265



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE REDES Y COMUNICACIONES

Diseño de un sistema de contenedores inteligentes para mejorar la recolección
de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martin de Porres

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero de Redes y Comunicaciones

AUTOR(ES)

Vera Villanueva, Carlos Alberto (0000-0003-0498-8514)

ASESOR

Gonzales Figueroa, Renatto (0000-0003-3658-3415)

Lima, 17 de abril de 2021

DEDICATORIA

A mis amados hijos Julián y Leonardo, que son mi impulso a seguir adelante con fuerza y optimismo, con su existencia me enseñaron a nunca rendirme desde el día que los conocí.

A mi esposa por su empuje constante de aliento y confianza puesta en mí, por ser mi compañera en cada paso que doy.

A mis padres, a quienes debo la vida, por su apoyo y respeto en mis decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mi asesor, quien con sus conocimientos y apoyo me orientó a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba. También, quiero agradecer a mi esposa e hijos y a mis padres, por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mí esposa, que siempre estuvo ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación muestra la propuesta de una red de contenedores inteligentes ubicados dentro de la urbanización San Diego Vipol y el diseño de un prototipo que tenga la capacidad de monitorear en línea el nivel de basura y determinar la ubicación de cada contenedor. Para ello se incorporaron cinco nodos inteligentes denominados nodo final, Gateway, servidor de Red, aplicación web y el cliente que supervisara vía web las variables físicas y geográficas de cada contenedor. Asimismo, se utiliza el protocolo de comunicación MQTT para la comunicación entre los diversos nodos. El nodo final procesa los datos para ser enviados a través de la red inalámbrica de tipo estrella mediante el transceptor LoRa RFM95 de 915 MHz. Este a su vez se comunica con el nodo Gateway para enviar los datos a través de Internet mediante una conexión Wi-Fi. Todos los datos son recibidos y almacenados en el servidor de red, para ello se usó un servidor privado virtual (VPS) de la plataforma de Amazon Web Services (AWS). Asimismo, para el alojamiento de la aplicación web y el almacenamiento de la base de datos se instala un panel Web hosting llamado Vesta CP, que es un panel muy potente y liviano que tiene servicios como WEB, DATABASE, MAIL, DNS, FTP, FIREWALL y otros servicios, que permiten la configuración de la aplicación web de monitoreo. La funcionalidad de la aplicación web es mostrar todos los valores medidos en el nodo final y en intervalos de tiempo de 10 segundos.

Palabras clave: LoRa; Contenedor; Servidor de Red; Aplicación Web; Protocolo MQTT; Gateway LoRaWAN; Sensor.

Design of a smart container system to improve household solid waste collection in the
district of San Martin de Porres

ABSTRACT

This degree work shows the proposal for a network of smart containers located within the San Diego Vipol urbanization and the design of a prototype that has the ability to monitor the level of garbage online and determine the location of each container. For this, five intelligent nodes called end node, Gateway, Network server, web application and the client that would supervise the physical and geographic variables of each container via the web were incorporated. Besides, the MQTT communication protocol is used for communication between the various nodes. The end node processes the data to be sent through the star-type wireless network through the LoRa RFM95 915 MHz transceiver. This in turn communicates with the Gateway node to send the data through the Internet through a Wi-Fi connection. All data is received and stored on the network server, for which a virtual private server (VPS) of the Amazon Web Services (AWS) platform was used. Likewise, for the hosting of the web application and the storage of the database, a Web hosting panel called Vesta CP is installed, which is a very powerful and lightweight panel that has services such as WEB, DATABASE, MAIL, DNS, FTP, FIREWALL and other services, which allow the configuration of the monitoring web application. The functionality of the web application is to display all the measured values at the end node and in time intervals of 10 seconds.

Keywords: LoRa; Container; Network Server; Web Application; MQTT Protocol;
LoRaWAN Gateway; Sensor

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN	III
1 CAPITULO 1.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ORGANIZACIÓN OBJETIVO	3
1.2.1 Campo de Acción	4
1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.3.1 Situación Problemática	8
1.3.2 Problema a Resolver	10
1.4 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.4.1 Objetivo General	10
1.4.2 Objetivos Específicos	10
1.4.3 Indicadores de Logro de los Objetivos	12
1.5 JUSTIFICACIÓN	13
1.6 ESTADO DEL ARTE	13
1.6.1 Smart City.....	13
1.6.2 Contenedores de basura inteligentes.....	15
1.6.3 Clasificación de residuos sólidos	16
1.6.4 Generación de residuos Urbanos.....	17
2 CAPITULO 2: MARCO TEORICO	19
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	19
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	19
2.2 BASES TEÓRICAS	23
2.2.1 Internet de las cosas (IoT)	23
2.2.2 Arquitectura de Internet de las cosas	24
2.2.3 Sensores y Actuadores	26
2.2.4 Plataformas electrónicas.....	31
2.2.5 Conectividad Área Local (LAN).....	33

2.2.6	Conectividad Área Extensa (WAN)	43
2.2.7	Plataforma IoT	54
3	CAPÍTULO 3: ANALISIS DEL PROBLEMA.....	62
3.1	PROBLEMA PARA RESOLVER	62
3.1.1	Proponer la ubicación, la capacidad y la cantidad de contenedores inteligentes que podrían ser utilizados en la urbanización San Diego Vipol.....	62
3.1.2	Diseñar el prototipo de un contenedor inteligente que sea capaz de determinar su nivel y ubicación y que utilice la arquitectura LoRaWAN y sensores de bajo costo.	69
3.3.3	Diseñar un sistema que permita monitorear y almacenar los datos obtenidos de los sensores ubicados en el nodo final.	71
4	CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	74
4.1	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	74
4.1.1	Cálculo de volumen de contenedor inteligente	74
4.1.2	Cálculo de cantidad y ubicación de contenedores inteligentes	77
4.2	DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MONITOREO	83
4.2.1	Bloque A	84
4.2.2	Bloque B.....	90
4.2.3	Bloque C.....	98
4.2.4	Bloque D	100
4.2.5	Bloque E.....	101
4.3	DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA FORMULADO	102
4.3.1	Funcionamiento del sistema propuesto	103
5	CAPÍTULO 5.....	129
5.1	RESULTADOS	129
5.2	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	131
5.2.1	Ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos inteligentes.....	131
5.2.2	Medición de sensores.....	134
5.2.3	Funcionamiento de la aplicación web en la nube.....	151
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
6.1	CONCLUSIONES	155
6.2	RECOMENDACIONES	156
7	REFERENCIAS.....	157

8 ANEXOS.....	161
8.1 ANEXO 1. DATOS OBTENIDOS POR EL SENSOR ULTRASÓNICO EN LOS DIFERENTES ESTADOS DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS.	161
8.2 ANEXO 2. RESULTADO OBTENIDO DE LOS PUNTOS RECORRIDOS POR EL MODULO GPS DEL NODO FINAL.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

NOTA: ZONAS DONDE SE UBICAN LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL DISTRITO DE SAN MARTIN DE PORRES. ADAPTADO DE “LISTADO DE PUNTOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS DE ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y DESMONTE EN EL DISTRITO DE S.M.P”, POR MDSMP, 2016.....	7
NOTA: SE HA REALIZADO LA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE ACUERDO AL TIPO Y ORIGEN. ELABORACIÓN PROPIA.....	16
NOTA: SE HA REALIZADO UNA BÚSQUEDA DE PROYECTOS RELACIONADOS A CONTENEDORES INTELIGENTES. ELABORACIÓN PROPIA.....	21
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES SENsoRES DE NIVEL PARA DETERMINAR EL MÁS ADECUADO PARA EL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	28
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÓDULOS GPS PARA DETERMINAR EL MÁS ADECUADO PARA EL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	30
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES PLATAFORMAS DE PROTOTIPO INDICANDO SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES. ELABORACIÓN PROPIA.....	32
NOTA: SE HA REALIZADO UNA DESCRIPCIÓN DE CADA UNA DE LAS TOPOLOGÍAS DE RED INDICANDO SUS VENTAJAS Y DESVENTAJAS. ELABORACIÓN PROPIA.....	35
NOTA: SE HA ANALIZADO LA INFLUENCIA DEL FACTOR DE ENSANCHAMIENTO COMPARADO CON EL TIEMPO EN EL AIRE Y LA SENSIBILIDAD. ELABORACIÓN PROPIA.....	40
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN EN CUANTO A LA BANDA DE FRECUENCIA, ALCANCE, CONSUMO Y PRECIO PARA DETERMINAR LA TECNOLOGÍA MÁS ADECUADA PARA EL PRESENTE PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA	43
NOTA: SE HA REALIZADO UN ESTUDIO DE LAS FRECUENCIAS QUE UTILIZA LA TECNOLOGÍA LORAWAN. ELABORACIÓN PROPIA.....	49
NOTA: SE HA REALIZADO EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE DATOS DEPENDIENDO DE SU CONFIGURACIÓN. ADAPTADO DE “WHAT IS LORAWAN SPECIFICATION”, POR (LORA ALLIANCE, S.F.).	51
NOTA: ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE PLATAFORMAS IOT. ELABORACIÓN PROPIA	56
NOTA: SE HA REALIZADO UN ESTUDIO DE GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES. ADAPTADO DE “PLAN	

DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN MARTÍN DE PORRES” POR MDSMP, 2014.....	63
NOTA: ESTUDIO DE GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES. ADAPTADO DE “PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN MARTÍN DE PORRES”, POR MDSMP, 2014.	64
NOTA: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL CONTENEDOR PROPUESTO.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	76
NOTA: SE HA REALIZADO EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE MANZANAS QUE EXISTEN EN LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL. ELABORACIÓN PROPIA.....	79
NOTA: SE HA ESTABLECIDO LA UBICACIÓN DE LOS CONTENEDORES Y GATEWAY DENTRO DE LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL. ELABORACIÓN PROPIA.....	81
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SENORES DE ULTRASONIDO. ELABORACIÓN PROPIA.....	85
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÓDULOS GPS PARA DETERMINAR EL MÁS ADECUADO PARA EL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	85
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS CONTROLADORES. ELABORACIÓN PROPIA.	87
NOTA: SE HA REALIZADO UNA COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS. ELABORACIÓN PROPIA.	88
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ANTENA QUE SERÁ USADO EN EL TRANSCEPTOR. ELABORACIÓN PROPIA.	90
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES GATEWAY LORAWAN. ELABORACIÓN PROPIA.	91
NOTA: SE HA REALIZADO EL CUADRO DE PUNTAJE PARA LA EVALUACIÓN DEL GATEWAY LORAWAN. ELABORACIÓN PROPIA.	92
NOTA: SE HA INGRESADO LOS DATOS DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.	94
NOTA: SE HA INGRESADO LOS DATOS DEL GATEWAY. ELABORACIÓN PROPIA.	94
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE DIFERENTES PLATAFORMAS CLOUD. ELABORACIÓN PROPIA.	98
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES DISTRIBUCIONES DE LINUX. ELABORACIÓN PROPIA.	99
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES BROKERS MQTT. ELABORACIÓN PROPIA.	100

NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES BASES DE DATOS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	101
NOTA: SE HA REALIZADO LA COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES PANELES DE	
CONTROL DE ALOJAMIENTO WEB. ELABORACIÓN PROPIA.....	102
NOTA: SE HA REALIZADO EL CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGÍA DE CADA MÓDULO Y	
SENSOR. ELABORACIÓN PROPIA.....	110
NOTA: SE HA REALIZADO LA VALIDACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL GATEWAY Y DE LOS	
CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS POR MEDIO DE LA LATITUD Y LONGITUD.....	134
NOTA: SE HA REALIZADO LA CLASIFICACIÓN DE LOS ESTADOS DE ACUERDO A LOS	
DATOS OBTENIDOS POR EL SENSOR ULTRASÓNICO. ELABORACIÓN PROPIA.....	134
NOTA: SE HA REALIZADO LA VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR	
ULTRASÓNICO DE ACUERDO A LOS DIFERENTES ESTADOS. ELABORACIÓN PROPIA ..	137
NOTA: DATOS OBTENIDOS DEL MÓDULO GPS DENTRO DEL TACHO DE RESIDUOS	
SÓLIDOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES Y SUS LÍMITES. ADAPTADO DE “GOOGLE MAPS”, POR GOOGLE, 2020.....	3
FIGURA 2. MAPA DE SAN DIEGO VIPOL ETAPA 1. ADAPTADO DE “GOOGLE MAPS”, POR GOOGLE, 2021.....	8
FIGURA 3. MAPA DE SAN DIEGO VIPOL ETAPA 2. ADAPTADO DE “GOOGLE MAPS”, POR GOOGLE, 2021.....	8
FIGURA 4. ACUMULACIÓN DE BASURA EN LA BERMA CENTRAL DE AVENIDA PRINCIPAL. ADAPTADO DE “SAN MARTÍN DE PORRES: VECINOS SE QUEJAN POR BASURA EN LAS CALLES (FOTOS Y VIDEO)”, POR CORREO, 2020.....	9
FIGURA 5. INFOGRAFÍA DEL RECOJO INTELIGENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS. ADAPTADO DE “BASUREROS INTELIGENTES”, POR VIGATEC, 2018.....	16
FIGURA 6. ETAPAS Y TECNOLOGÍAS QUE INTERVIENEN EN SOLUCIONES IOT, ELABORACIÓN PROPIA	25
FIGURA 7. TIPOS DE SENsoRES PARA INTERNET DE LAS COSAS, ELABORACIÓN PROPIA.	26
FIGURA 8: DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL SENSOR ULTRASONIDO HC-SR04, ELABORACIÓN PROPIA	28
FIGURA 9. FUNCIONAMIENTO DEL PULSO DE TRIGGER Y ECHO DEL SENSOR DE ULTRASONIDO. ADAPTADO DE “CIRCUITO AUXILIAR DE MEDICIÓN DE DISTANCIAS POR ULTRASONIDOS SRF04”, POR REDRAVEN, S.F.....	29
FIGURA 10: FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR ULTRASONIDOS. ADAPTADO DE “CURSO ARDUINO Y ROBÓTICA”, POR TRUJILLO, S.F.....	29
FIGURA 11. CONEXIÓN TIPO ESTRELLA DE UNA RED LAN. ADAPTADO DE “RED LAN: ¿QUÉ ES, TIPOS Y PARA QUÉ SE UTILIZAN ESTAS REDES DE ÁREA LOCAL?”, POR INTERNETPASOAPASO, S.F.....	33
FIGURA 12. MÓDULO ESP32 DE 30 PINES CON WIFI Y BLUETOOTH, ELABORACIÓN PROPIA.....	35
FIGURA 13. MÓDULO RTL8710. ADAPTADO DE “RTL8710, UN DURO COMPETIDOR PARA ESP8266” , POR ROGERBIT, 2016.	36
FIGURA 14. ARDUINO MKR1000 WIFI. ADAPTADO DE “ARDUINO'S MKR1000 VS MKR1010”, POR DRDUINO, 2018.....	36
FIGURA 15. SEÑAL DE BANDA ANGOSTA Y DE BANDA ENSANCHADA LORA. ADAPTADO DE “LA INTRODUCCIÓN DE LORA™”, POR ASKIX, S.F.....	38

FIGURA 16. SEÑALES CHIRP DE UP (IZQUIERDA) Y DE DOWN (DERECHA). ADAPTADO DE “C-BAND CHIRP SPREAD SPECTRUM (CSS) SIGNAL GENERATION USING DDS-PLL TECHNIQUE”, POR RAJAN ET AL., 2012	39
FIGURA 17: ESTRUCTURA DE PAQUETE LORA. ADAPTADO DE “SX1272/3/6/7/8 LORA MODEM DESIGN GUIDE”, POR SEMTECH CORPORATION, 2013.....	39
FIGURA 18. LA RED WAN INTERCONECTA VARIAS SEDES. ELABORACIÓN PROPIA.....	44
FIGURA 19 UBICACIÓN DE LORA, LORAWAN Y LAS APLICACIONES DE USUARIOS EN EL MODELO OSI. ADAPTADO DE “A TECHNICAL OVERVIEW OF LORA ® AND LORAWAN™ WHAT IS IT?”, POR TECHNICAL MARKETING WORKGROUP, 2015.....	46
FIGURA 20. ARQUITECTURA DE RED LORAWAN. ADAPTADO DE “LORAWAN™ WHAT IS IT? ”, POR TECHNICAL MARKETING WORKGROUP, 2015.....	47
FIGURA 21. ESQUEMA DE TEMPORIZACIÓN PARA NODOS FINALES CLASE A. ADAPTADO DE “LORA TM PROTOCOL EVALUATIONS, LIMITATIONS AND PRACTICAL TEST”, POR RUANO, 2016.....	48
FIGURA 22. MAC HEADER, MAC PAYLOAD Y MIC DE LA CARGA ÚTIL DEL MENSAJE LORA. ADAPTADO DE “LORA TM PROTOCOL EVALUATIONS, LIMITATIONS AND PRACTICAL TEST”, POR RUANO, 2016.....	49
FIGURA 23. ESTRUCTURA DE CARGA ÚTIL DE MAC PAYLOAD. ADAPTADO DE “LORA TM PROTOCOL EVALUATIONS, LIMITATIONS AND PRACTICAL TEST”, POR RUANO, 2016....	49
FIGURA 24. CANALIZACIÓN PARA PLAN AU915. ADAPTADO DE “LORAWAN 1.1 REGIONAL PARAMETERS”, POR LORA ALLIANCE TECHNICAL COMMITTEE REGIONAL PARAMETERS WORKGROUP, 2018.	50
FIGURA 25. ARQUITECTURA SIGFOX. ADAPTADO DE “REDES COLABORATIVAS VS REDES NARROWBAND”, POR IDIART, 2018.....	53
FIGURA 26. APLICACIONES USADAS EN LA PLATAFORMA DE IOT. ELABORACIÓN PROPIA.....	54
FIGURA 27. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO MQTT. ADAPTADO DE “WHAT IS MQTT”, POR MQTT, S.F.	57
FIGURA 28. PANEL DE EC2 CON UNA INSTANCIA EN EJECUCIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.	58
FIGURA 29. PÁGINA WEB DEL FUNCIONAMIENTO DEL MQTT BRÓKER. ADAPTADO DE “EMQ X BROKER”, POR EMQ, 2021.....	59
FIGURA 30. PÁGINA WEB DEL GESTOR DE BASE DE DATOS HEIDISQL. ADAPTADO DE “WHAT'S THIS”, POR HEIDISQL, 2021.....	60

FIGURA 31. PÁGINA WEB DE INSTALACIÓN DEL EDITOR DE TEXTO ATOM. ELABORACIÓN PROPIA.....	60
FIGURA 32. PÁGINA WEB DE GOOGLE MAPS PLATFORM. ELABORACIÓN PROPIA.....	61
FIGURA 33. PÁGINA DE DESCARGA DE NODE JS. ELABORACIÓN PROPIA	62
FIGURA 34. COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS. ADAPTADO DE “ PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS 2016 – 2021”, POR MDSMP, 2016.....	65
FIGURA 35. PUNTOS CRÍTICOS EN LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL ETAPA 1. ELABORACIÓN PROPIA.....	65
FIGURA 36. PUNTOS CRÍTICOS EN LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL ETAPA 2. ELABORACIÓN PROPIA.....	66
FIGURA 37. BOLSAS DE BASURA QUE SON ABANDONADAS Y ESPARCIDAS POR LOS CANES EN LA AV. SAN DIEGO DE ALCALÁ. ELABORACIÓN PROPIA.	66
FIGURA 38. CALLE CERRADA IMPIDIENDO EL ACCESO DE LOS CAMIONES RECOLECTORES DE RESIDUOS SÓLIDOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	67
FIGURA 39. TRANQUERA IMPIDIENDO EL ACCESO DEL CAMIÓN RECOLECTOR DE BASURA EN LA AV. SAN DIEGO DE ALCALÁ CON VIRGEN DEL CARMEN. ELABORACIÓN PROPIA.....	67
FIGURA 40. CAUSAS Y EFECTOS DE LA ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. ELABORACIÓN PROPIA	70
FIGURA 41. CONTENEDOR DE BASURA DEL DISTRITO DE SAN MARTIN DE PORRES SUJETADO A CADENA Y SIN TAPA. ADAPTADO DE “COLOCA LA BASURA EN SU LUGAR”, POR MDSMP, 2016A.....	70
FIGURA 42. CONTENEDORES DESBORDADOS POR LA ACUMULACIÓN DE BASURA. ELABORACIÓN PROPIA.....	71
FIGURA 43. DIVISIÓN DE ZONAS PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. ADAPTADO DE “PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS 2016 – 2021”, DE MDSMP, 2016B.	73
FIGURA 44. MEDIDAS DE LOS DIFERENTES CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	75
FIGURA 45. CONTENEDOR PROPUESTO CON TAPA PLANA Y PEDAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	76
FIGURA 46. DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTENEDORES INTELIGENTES EN LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL. ELABORACIÓN PROPIA.....	77

FIGURA 47. DISTRIBUCIÓN DE CONTENEDORES Y GATEWAY DENTRO DE LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL. ELABORACIÓN PROPIA.....	82
FIGURA 48. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN Y MONITOREO DE CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	83
FIGURA 49. EL MONITOREO CONSTA DE DOS ETAPAS UNA DE ADQUISICIÓN Y OTRA DE PROCESAMIENTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	84
FIGURA 50. TRANSCEPTOR LORA RFM95W DE 915 MHZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	88
FIGURA 51. GATEWAY LORAWAN RAK7249 QUE SOPORTA DE 200 A 1000 NODOS FINALES. ELABORACIÓN PROPIA.	93
FIGURA 52. DIAGRAMA CON DISPOSITIVOS QUE FORMAN PARTE DE SIMULACIÓN FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	93
FIGURA 53. CÁLCULO REALIZADO EN EL SOFTWARE LORA MODEM CALCULATOR TOOL PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE COBERTURA DEL GATEWAY. ELABORACIÓN PROPIA	95
FIGURA 54. COBERTURA CELULAR EN EL DISTRITO DE SAN MARTIN DE PORRES. ADAPTADO DE “OSIPTEL PRESENTÓ RANKING MÓVIL DISTRITAL 2018”, POR OSIPTEL, 2018.	97
FIGURA 55. ESQUEMA GENERAL DEL PROTOTIPO REALIZADO. ELABORACIÓN PROPIA.	102
FIGURA 56. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE CONEXIÓN ENTRE EL ESP32 Y EL MQTT. ELABORACIÓN PROPIA.	104
FIGURA 57. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.	105
FIGURA 58. CIRCUITO ESQUEMÁTICO DE MÓDULOS Y SENsoRES DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.	106
FIGURA 59. CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DE DESARROLLO ESP32 DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.	107
FIGURA 60. FLUJOGRAMA PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL. ELABORACIÓN PROPIA....	108
FIGURA 61. FLUJOGRAMA PARA LA MEDICIÓN DE LA UBICACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.	109
FIGURA 62. ELEMENTOS PARA ALIMENTAR DE ENERGÍA AL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA	112
FIGURA 63. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS COMPONENTES DEL GATEWAY PROTOTIPO. ELABORACIÓN PROPIA.	112

FIGURA 64. CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL GATEWAY PROTOTIPO. ELABORACIÓN PROPIA.....	113
FIGURA 65. CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA DE DESARROLLO ESP32 DEL GATEWAY. ELABORACIÓN PROPIA.....	113
FIGURA 66. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SERVIDOR EN LA NUBE. ELABORACIÓN PROPIA.....	114
FIGURA 67. COMPROBACIÓN DNS DEL DOMINIO CONTENEDORSANDIEGO.ML. ELABORACIÓN PROPIA.....	115
FIGURA 68. INSTALACIÓN DE VESTA CONTROL PANEL EN VPS. ELABORACIÓN PROPIA.....	116
FIGURA 69. CONFIGURACIÓN DE LA APLICACIÓN WEB CON ATOM. ELABORACIÓN PROPIA.....	117
FIGURA 70. HABILITACIÓN DE LA OPCIÓN PARA VISUALIZACIÓN DE ERRORES. ELABORACIÓN PROPIA.....	117
FIGURA 71. CONFIGURACIÓN DE TABLA USERS EN PHPMYADMIN. ELABORACIÓN PROPIA.....	118
FIGURA 72. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA GESTIONAR BASE DE DATOS CON HEIDYSQL. ELABORACIÓN PROPIA	119
FIGURA 73. ENTORNO DE HEIDYSQL Y BASE DE DATOS DEL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	119
FIGURA 74. HABILITACIÓN DE PUERTOS EMQX EN EL PANEL DE CONTROL VESTA. ELABORACIÓN PROPIA.....	120
FIGURA 75. HABILITACIÓN DE PUERTOS EMQX EN AMAZON EC2. ELABORACIÓN PROPIA.....	120
FIGURA 76. PROCESO DE INSTALACIÓN DE EMQ X BROKER EN LA VPS. ELABORACIÓN PROPIA.....	121
FIGURA 77. PROCESO DE INSTALACIÓN DEL EMQ X BROKER EN EL VPS. ELABORACIÓN PROPIA.....	121
FIGURA 78. ENCENDIDO DEL BRÓKER EMQX. ELABORACIÓN PROPIA.....	122
FIGURA 79. APAGADO DEL BRÓKER EMQX. ELABORACIÓN PROPIA.....	122
FIGURA 80. DASHBOARD DE EMQ X BROKER. ELABORACIÓN PROPIA.	123
FIGURA 81. CORRECCIÓN DE LOS PUERTOS DE ESCUCHA EN EL BRÓKER EMQX. ELABORACIÓN PROPIA.....	123

FIGURA 82. CREACIÓN DE LA TABLA MQTT_USER EN HEIDISQL. ELABORACIÓN PROPIA.	124
FIGURA 83. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA ACTIVAR PLUGGIN DE CONTROL DE ACCESO AL BRÓKER EMQX. ELABORACIÓN PROPIA.....	125
FIGURA 84. CONEXIÓN EXITOSA ENTRE LA APLICACIÓN WEB Y EL BRÓKER EMQX. ELABORACIÓN PROPIA.....	125
FIGURA 85. VERSIÓN DEL NODE JS Y DEL MANEJADOR DE PAQUETES INSTALADO. ELABORACIÓN PROPIA.....	126
FIGURA 86. INSTALACIÓN DEL MÓDULO NODE JS PARA MYSQL MEDIANTE EL TERMINAL PUTTY. ELABORACIÓN PROPIA.....	127
FIGURA 87. INSTALACIÓN DEL MÓDULO NODE JS PARA MQTT MEDIANTE EL TERMINAL PUTTY. ELABORACIÓN PROPIA.....	127
FIGURA 88. CREDENCIALES DE MYSQL Y MQTT EN EL ARCHIVO INDEX.JS DE ATOM. ELABORACIÓN PROPIA.....	128
FIGURA 89. CONEXIÓN EXITOSA A MYSQL Y MQTT. ELABORACIÓN PROPIA.....	128
FIGURA 90. UBICACIÓN DE SENsoRES DENTRO DE LA CAJA PROTECTORA. ELABORACIÓN PROPIA.....	129
FIGURA 91. COMPONENTES DENTRO DE LA CAJA PROTECTORA. ELABORACIÓN PROPIA.	129
FIGURA 92. UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO DEBAJO DE LA TAPA DEL CONTENEDOR. ELABORACIÓN PROPIA.....	130
FIGURA 93. DISEÑO DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS CON UNA ALTURA DE 120 CM. ELABORACIÓN PROPIA.	130
FIGURA 94. VALIDACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL GATEWAY Y DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS SÓLIDOS INTELIGENTES DENTRO DE LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL. ELABORACIÓN PROPIA.	131
FIGURA 95. CONTENEDOR UTILIZADO PARA VALIDAR LOS DATOS OBTENIDOS DEL SENSOR ULTRASÓNICO. ELABORACIÓN PROPIA.....	135
FIGURA 96. LLENADO DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	135
FIGURA 97. LLENADO DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS HASTA EL ESTADO MEDIO. ELABORACIÓN PROPIA.	136
FIGURA 98. LLENADO DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS HASTA EL ESTADO LLENO. ELABORACIÓN PROPIA.	136

FIGURA 99. SE VALIDA LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	138
FIGURA 100. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA CALLE STA. MARÍA REYNA.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	138
FIGURA 101. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	139
FIGURA 102. SE VALIDA LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	139
FIGURA 103. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA AVENIDA SANTÍSIMA CRUZ.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	140
FIGURA 104. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	140
FIGURA 105. SE VALIDA LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	141
FIGURA 106. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA CALLE STA. TERESITA DEL NINO JESÚS. ELABORACIÓN PROPIA.....	141
FIGURA 107. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	142
FIGURA 108. VALIDACIÓN DE LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	142
FIGURA 109. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA AVENIDA SAN DIEGO DE ALCALÁ.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	143
FIGURA 110. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	143
FIGURA 111. VALIDACIÓN DE LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	144
FIGURA 112. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA AVENIDA SAN DIEGO DE ALCALÁ.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	144
FIGURA 113. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	145
FIGURA 114. VALIDACIÓN DE LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	145
FIGURA 115. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA AVENIDA SAN DIEGO DE ALCALÁ.	
ELABORACIÓN PROPIA.....	146

FIGURA 116. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	146
FIGURA 117. VALIDACIÓN DE LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS. ELABORACIÓN PROPIA.....	147
FIGURA 118. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA CALLE SAN FÉLIX. ELABORACIÓN PROPIA.....	147
FIGURA 119. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	148
FIGURA 120. VALIDACIÓN DE LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS. ELABORACIÓN PROPIA.....	148
FIGURA 121. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA CALLE SAN MARCELO. ELABORACIÓN PROPIA.....	149
FIGURA 122. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	149
FIGURA 123. VALIDACIÓN DE LA LATITUD Y LONGITUD EN EL MAPA DE GOOGLE MAPS. ELABORACIÓN PROPIA.....	150
FIGURA 124. UBICACIÓN DEL NODO FINAL EN LA AVENIDA SAN DIEGO DE ALCALÁ. ELABORACIÓN PROPIA.....	150
FIGURA 125. DATOS CAPTURADOS DE LA UBICACIÓN DEL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA.....	151
FIGURA 126. ACCESO AL SISTEMA PARA VISUALIZAR LOS CONTENEDORES UBICADOS EN LA URBANIZACIÓN SAN DIEGO VIPOL. ELABORACIÓN PROPIA.....	151
FIGURA 127. VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS RECIBIDOS DESDE EL NODO FINAL. ELABORACIÓN PROPIA	152
FIGURA 128. EJECUCIÓN DEL COMANDO NODE INDEX.JS PARA GRABAR LOS DATOS OBTENIDOS DEL NODO FINAL A LA BASE DE DATOS.	153
FIGURA 129. DATOS OBTENIDOS EN EL NAVEGADOR WEB. ELABORACIÓN PROPIA.....	153
FIGURA 130. SE VALIDA QUE LO DATOS QUE LLEGAN AL GATEWAY COINCIDEN CON LOS DATOS QUE LLEGAN AL NAVEGADOR WEB. ELABORACIÓN PROPIA.	153
FIGURA 131. DATOS OBTENIDOS DE LA BASE DE DATOS MYSQL Y QUE COINCIDEN CON EL GATEWAY Y NAVEGADOR WEB. ELABORACIÓN PROPIA.....	154
FIGURA 132. GRABACIÓN DE DATOS EN LA BASE DE DATOS. ELABORACIÓN PROPIA. ..	154

1 CAPITULO 1

1.1 Introducción

Las ciudades inteligentes han mejorado la infraestructura y los servicios que se ofrecen a los ciudadanos usando principalmente las tecnologías de la información (TI). Estas ciudades tienen el objetivo de crear un ambiente inteligente que ayude a mejorar el nivel de vida de sus ciudadanos. Por lo tanto, las tecnologías de la información se han transformado en cierta medida imprescindible para lograr el desarrollo urbano y buscar la mejora de los servicios habituales, con el fin de que estos sean eficaces y sustentables en el entorno ambiental, económico y energético (Raut & Devane, 2017).

Las ciudades inteligentes tratan de proporcionar un ambiente limpio y cómodo para sus habitantes, para esto se plantea una gestión de residuos que se realice de una manera eficiente y que ocasione el menor impacto ambiental viable. Sin embargo, este trabajo puede ser complejo, puesto que casi todas las actividades que desarrollan los seres humanos producen residuos. Asimismo, el crecimiento poblacional puede ocasionar que la gestión de residuos en algunos países se vuelva complicada, ocasionando fastidio y hasta enfermedades en los habitantes (Gualichicomín, 2018).

Una posibilidad que puede ofrecer una solución óptima en cuanto a la gestión de residuos podría ser el internet de las cosas. El concepto se fundamenta principalmente en el monitoreo de un contenedor de residuos sólidos desde internet; sin embargo, en la actualidad ocurren muchas controversias sobre los obstáculos que pueda tener el Internet de las Cosas (IoT) Uno de estos obstáculos es cómo obtener una mejor autonomía energética en los dispositivos IoT, en este sentido aparecen dispositivos de comunicación de bajo consumo energético, entre ellos surge la tecnología LoRa, la cual asegura rendimiento, alcance y bajo consumo energético. Estas características ponen a LoRa como una alternativa viable para desarrollar propuestas basadas en IoT y destinadas hacia ciudades inteligentes (Lavric & Popa, 2017).

Hoy en día, internet de las cosas ha innovado el internet tradicional; en donde se ofrecían servicios orientados únicamente a personas. En cambio, el objetivo del internet de las cosas es que los objetos tengan la capacidad de conectarse y comunicarse usando Internet. Por ejemplo, los sistemas de gestión inteligentes del agua son un claro ejemplo de aplicaciones que unen el internet de las cosas con las ciudades inteligentes; quienes se caracterizan por conseguir una alta eficiencia energética al igual que una comunicación que cubre grandes

distancias, dando origen al uso de tecnologías de red amplia de baja potencia (LPWAN) para satisfacer las demandas actuales de la sociedad (Khutsoane, Isong, & Abu-Mahfouz, 2017).

En el interior de las redes LPWAN, se encuentra LoRaWAN como una opción. LoRaWAN es una especificación de redes de área amplia y baja potencia. Esta especificación es de capa de enlace de datos según el modelo OSI y para la capa física emplea la tecnología de modulación LoRa; esta se puede usar en una extensa gama de frecuencias que corresponden al espectro ISM (Industrial, Scientific and Medical); por esta razón, no se necesita licencia para su implementación y experimentación, consiguiendo una ventaja notable en comparación con otras tecnologías Low Power Wide Area Network (LPWAN). Por ejemplo, Sigfox es propietaria y tiene licencia de uso. Asimismo, entre las frecuencias que puede funcionar LoRa se tiene: 169 MHz, 433 MHz, 868 Mhz y 915 Mhz (LoRaWAN & LoRa, 2019).

1.2 Organización Objetivo

El presente proyecto beneficiara a la municipalidad de San Martin de Porres que tiene como uno de sus objetivos estratégicos territoriales: “Asegurar la calidad ambiental adecuada para el desarrollo Integral de la población a través de la Gestión Integral de Residuos Sólidos” (Municipalidad Distrital de San Martin de Porres [MDSMP], 2016,p.10). “Esta entidad también se responsabiliza de la administración de los recursos que hacen posible el bienestar de los casi 726,538 vecinos, según estimaciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INEI)” (Municipalidad Distrital de San Martín de Porres, 2017). En cuanto al área bajo la jurisdicción distrital abarca 41.5 Km² y con una altitud de 123 m sobre el nivel de mar.

El distrito de San Martín de Porres limita por el norte con los distritos de Ventanilla, Puente Piedra y Los Olivos. Por el Sur con los distritos de Lima (Cercado) y Carmen de la Legua-Reynoso. Por el Este con los distritos de Los Olivos, Rímac, Independencia y Comas y por el Oeste con la Provincia Constitucional del Callao (MDSMP, 2017).

En la Figura 1 se muestra el mapa del distrito de San Martín de Porres con sus límites.

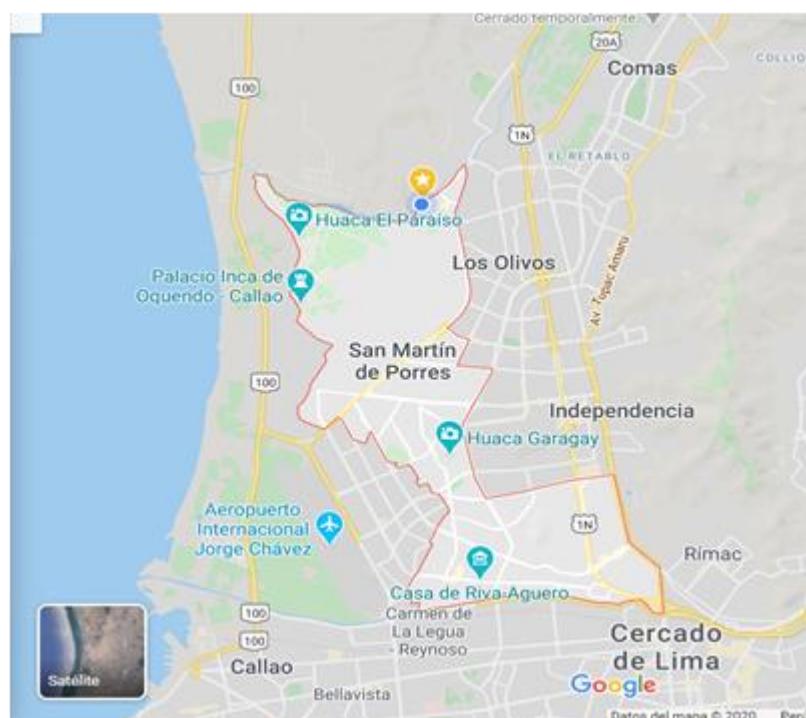


Figura 1. Mapa del distrito de San Martín de Porres y sus límites. Adaptado de “Google Maps”, por Google, 2020.

A continuación, se presentan la misión y visión de la organización objetivo del presente proyecto.

Visión: Al respecto, la Municipalidad Distrital de San Martín de Porres (2017) afirma que:

Al 2030, San Martín de Porres es un distrito seguro, con desarrollo humano creciente en igualdad de oportunidades, sus habitantes se desarrollan en un ambiente saludable y acceden a una educación, salud y servicios básicos de calidad, es ordenado e integrado territorialmente, con un desarrollo comercial, industrial y turístico sostenible y un Estado eficiente y moderno (p.5).

Misión: “Promover el desarrollo integral de la población del distrito de San Martín de Porres, de manera transparente, eficiente, eficaz, moderno e Inclusivo” (MDSMP, 2018).

1.2.1 Campo de Acción

La Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental de la municipalidad de San Martín de Porres es el Órgano de Línea que asume la planificación, ejecución y control del desarrollo de todos los servicios públicos de limpieza pública, además del mantenimiento y conservación de áreas verdes y está a cargo del gerente de servicios públicos y gestión ambiental quien depende de gerente Municipal (MDSMP, 2020).

La Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental está a cargo las siguientes unidades orgánicas:

- a) Sub Gerencia de Limpieza Pública, es la encargada de programar, ejecutar y controlar los servicios públicos, relacionados con la limpieza de áreas públicas y la administración de los residuos sólidos.
- b) Sub Gerencia de Parques, Jardines y Ambiente, ejecuta acciones relacionadas con la conservación, mantenimiento y ampliación de las áreas verdes.

Para cumplir con estos servicios, la gerencia cuenta con 1 gerente de Servicios Públicos y Medio Ambiente, 1 arquitecto, 4 Técnicos Administrativos, 1 Sub Gerente de Limpieza Pública, 1 Ingeniero Sanitario, 1 Sub Gerente de Parques y Jardines, 1 Ingeniero Forestal y un Auxiliar Administrativo (MDSMP, 2013).

Actualmente, la sub gerencia de Limpieza Pública se encarga de la administración de los residuos sólidos y de determinar los puntos críticos de escombros y residuos sólidos en el distrito de San Martín de Porres. En la Tabla 1, se identifican los 105 puntos críticos del distrito de San Martín de Porres (MDSMP, 2016b).

Tabla 1

Puntos críticos ubicados en las seis zonas del distrito de San Martín de Porres.

ZONAS	UBICACIÓN DEL PUNTO CRÍTICO
ZONA I	P.C. 1: Av. Miguel Grau / Av. 10 de Junio
	P.C. 2: Av. Zarumilla / Jr. Pocitos
	P.C. 3: Av. Zarumilla / Jr. Aguas Verdes
	P.C. 4: Av. Zarumilla / Jr. Arenillas
	P.C. 5: Jr. Pocitos / Jr. Virrey Abascal
	P.C. 6: Av. Zarumilla / Jr. Pedregal
	P.C. 7: Av. Zarumilla / Jr. Ernesto Ávila
	P.C. 8: Av. Zarumilla / Puente Trompeta
	P.C. 9: Av. Eduardo de Habich / Jr. Darío Valdizán
	P.C. 10: Jr. Belén / Malecón Rímac
	P.C. 11: Jr. Salvador / Malecón Rímac
	P.C. 12: Av. Canadá / Malecón Rímac
	P.C. 13: Pje. El Inca / Malecón Rímac
	P.C. 14: Jr. Puerto Rico / Malecón Rímac
	P.C. 15: Jr. Riobamba / Pje. El Carmen
	P.C. 16: Jr. Mateo Aguirre / Jr. Alcázar
	P.C. 17: Av. Perú / Av. Canadá
	P.C. 18: Av. Perú / Jr. Veracruz
	P.C. 19: Av. Perú / Jr. Salvador
	P.C. 20: Av. Perú / Jr. Valparaíso
	P.C. 21: Av. Perú / Jr. Puerto Barrios
	P.C. 22: Av. Perú / Av. 27 de Noviembre
	P.C. 23: Av. Perú / Jr. Callao
	P.C. 24: Av. Lima Cdra. 24 (Inst. Luis Negreiros)
	P.C. 25: Av. Lima / Jr. Veracruz
	P.C. 26: Av. Lima / Av. Paz Soldán
	P.C. 27: Av. Lima / Jr. Andahuaylas
	P.C. 28: Av. Lima / Jr. Iquitos
	P.C. 29: Av. Lima / Jr. Callao
	P.C. 30: Av. Lima / Jr. Huancayo
	P.C. 31: Av. Lima / Jr. Huaraz
	P.C. 32: Av. Lima / Jr. Trujillo
	P.C. 33: Av. Paz Soldán / Av. Amalia Puga Lozada
	P.C. 34: Av. Lima / Av. 27 de Noviembre
	P.C. 35: Av. 12 de Octubre / Jr. Ica
	P.C. 36: Av. 12 de Octubre / Jr. Junín
	P.C. 37: Av. 12 de Octubre / Jr. San Martín
	P.C. 38: Av. 12 de Octubre / Jr. Pacasmayo

	P.C. 35: Av. Alcides Carrión / Av. 12 de Octubre P.C. 36: Av. Antúnez de Mayolo / Av. 12 de Octubre P.C. 37: Av. Canta Callao / Av. Dominicos P.C. 38: Av. Canta Callao / Av. Pacasmayo P.C. 39: Av. Canta Callao / Av. Bertello P.C. 40: Av. Bertello / Jr. Cuzco P.C. 41: Av. Universitaria / Av. Angélica Gamarra P.C. 42: Av. Universitaria / Jr. Juan Fermel (Pacífico) P.C. 43: Av. Universitaria / Jr. Picher (Pacífico) P.C. 44: Av. Universitaria / Av. Antúnez de Mayolo P.C. 45: Av. San Germán Aguirre / Jr. Quiroga
ZONA V	P.C. 1: Av. Canta Callao / Asoc. de vivienda "El Olivar" P.C. 2: Av. Canta Callao / Av. Marañón P.C. 3: Av. Canta Callao / Av. Tantamayo P.C. 4: Av. Canta Callao / Av. Naranjal P.C. 5: Av. Canta Callao / Av. Central (Jardines de Santa Rosa) P.C. 6: Av. Virgen del Carmen / Calle 2 – Urb. San Diego P.C. 7: Av. Virgen de Guadalupe / Parque La Bandera Urb. San Diego P.C. 8: Av. Tantamayo / Calle Llata P.C. 9: La Muralla / Pan de Azúcar P.C. 10: Av. Los Próceres de Huandoy / Av. Naranjal (Mercado) P.C. 11: Av. Los Alisos / Av. Santa Fe P.C. 12: Av. Los Alisos / Av. Canta Callao
ZONA VI	P.C. 1: Av. Santa María / Av. Las Torres

Nota: Zonas donde se ubican los puntos críticos en el distrito de San Martín de Porres. Adaptado de “Listado de puntos críticos identificados de acumulación de residuos sólidos y desmonte en el Distrito de S.M.P”, por MDSMP, 2016.

Luego de identificar las zonas y puntos críticos del distrito San Martín de Porres, se determina que la urbanización San Diego Vipol será nuestro campo de acción, ya que existen puntos críticos que son ocasionados por la acumulación de residuos sólidos en las calles y veredas de la urbanización.

Asimismo, estos puntos críticos pueden ser los siguientes: punto crítico 6 en la Av. Virgen del Carmen/Calle 2 y el punto crítico 7 en la Av. Virgen de Guadalupe/ Parque La Bandera. La urbanización San Diego Vipol pertenece a la zona V y limita: Por el norte, con la Urbanización Pro etapa 3; por el sur con la Urbanización Rivera Azul de San Diego etapa 1; por el este con la Urbanización Rinconada de Pro y la Urbanización Pro etapa 7; y por el oeste con el río Chillón. Además, esta urbanización está dividida en dos etapas: San Diego etapa 1 y San Diego etapa 2. En las Figuras 2 y 3 se muestran los mapas de la etapa 1 y 2 de la urbanización San Diego Vipol.

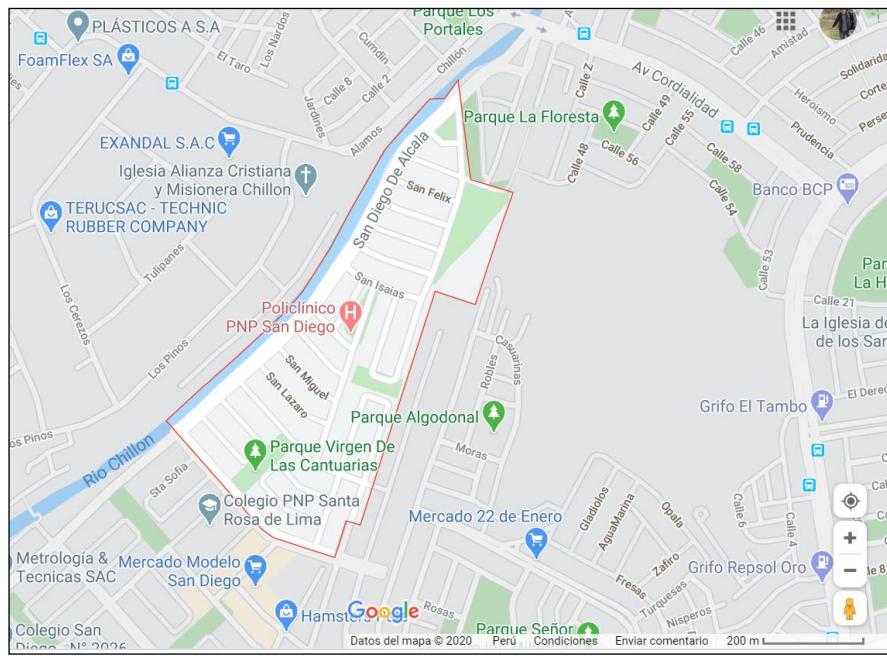


Figura 2. Mapa de San Diego Vipol etapa 1. Adaptado de “Google Maps”, por Google, 2021.

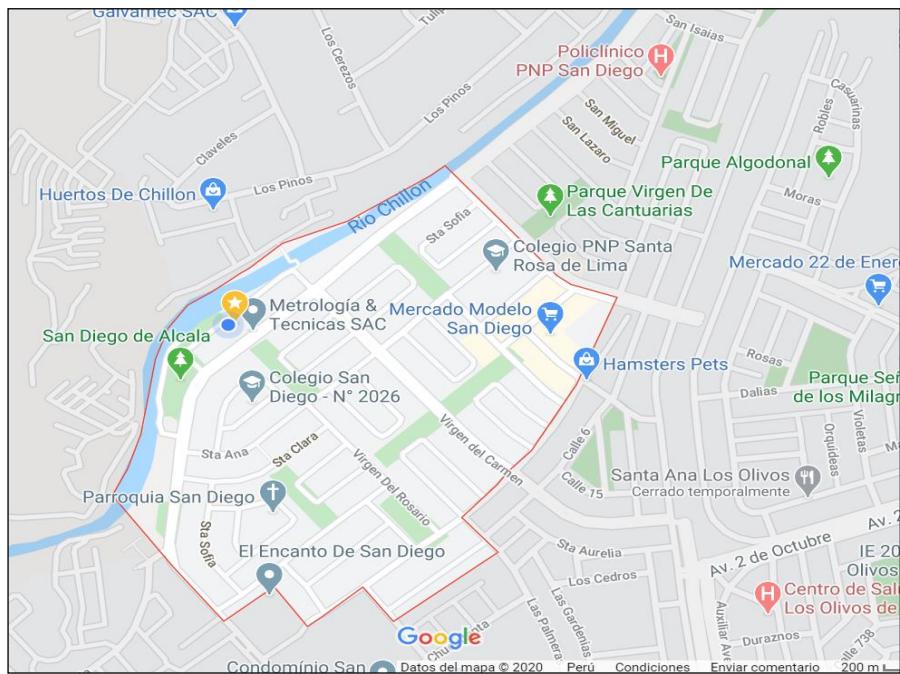


Figura 3. Mapa de San Diego Vipol etapa 2. Adaptado de “Google Maps”, por Google, 2021.

1.3 Identificación del Problema

1.3.1 Situación Problemática

En la actualidad, uno de los problemas más inherentes de las sociedades en crecimiento radica en la acumulación y recolección de los residuos puesto que mientras más crecen en número de habitantes, más residuos se generan y la recolección de aquellos residuos sólidos

se vuelven cada vez más costosos y casi imposible de resolver y exponen a la población a graves enfermedades que pueden afectar la vida y la salud.

El crecimiento económico también genera mayores cantidades de residuos sólidos debido al incremento del consumo. La Defensoría del Pueblo (2019) señala que:

En el Perú, cada año se generan más de 7 millones de toneladas de residuos sólidos municipales y alrededor de 20 mil toneladas al día y aproximadamente mil toneladas por hora. Asimismo, el 70% de estos residuos son generados en los domicilios (p.9).

En el distrito de San Martín de Porres, los residentes alojan sus residuos sólidos en bolsas plásticas que son ubicadas en avenidas, calles, parques y otros, dando lugar al abandono y que queden a la intemperie hasta el momento de su recolección. En la figura 4 se muestra el abandono de la basura en las calles de San Martín de Porres.



Figura 4. Acumulación de basura en la berma central de avenida principal. Adaptado de “San Martín de Porres: vecinos se quejan por basura en las calles (FOTOS Y VIDEO)”, por Correo, 2020.

Actualmente, la municipalidad de San Martín de Porres brinda los servicios de camiones recolectores de basura y personal para los trabajos de limpieza de las calles, pero no son suficientes. En la urbanización San Diego Vipol como en otras zonas existen puntos críticos en donde el servicio de recolección de residuos sólidos no está llegando con la frecuencia establecida, esto es porque el personal del servicio no respeta el itinerario de recolección o algunos días las unidades sufren problemas mecánicos y no cumplen con su itinerario normal de recolección sobre todo en las zonas en expansión. Asimismo, existen las quejas de los vecinos, referidos a que no se realiza el “campaneo” para alertarlos de que deben sacar la

basura y que el vehículo recolector pasa demasiado rápido y sin detenerse, por lo que no llegan a entregar su basura. (MDSMP, 2016). También, si existe un tiempo muy prolongado de exposición de los residuos sólidos en la vía pública o al estar inadecuadamente almacenada genera que los canes y recicladores manipulen estos residuos muchas veces dispensándolos en la calle generando con ello la contaminación del ambiente con olores desagradables, contaminación del suelo y dificultando y encareciendo las actividades de barrido, generando un impacto visual desgradable y sin duda existe un riesgo a la salud en la población.

Asimismo, en la urbanización San Diego Vipol existen calles que se encuentran entre rejas y tranqueras que dificultan el acceso de los camiones de basura e impiden el recojo casa por casa. Esta pérdida de tiempo también ocasiona que los camiones de basura decidan retirarse a otras calles, dando como resultado que los habitantes dejen las bolsas de basura en el suelo, generando un ambiente propicio para que los perros rompan las bolsas en busca de comida, haciendo que los residuos queden dispersos en el suelo y llamen la atención de roedores y demás animales. Asimismo, el hecho de no tener un lugar adecuado para depositar la basura, genera la aparición de puntos críticos, ya que estos residuos mal depositados originan cerros de basura que se amontonan en calles y veredas del distrito de San Martín de Porres.

1.3.2 Problema a Resolver

Los Problemas a resolver son los siguientes:

- La sub gerencia de limpieza pública de la municipalidad de San Martín de Porres carece de un sistema que permita monitorear el nivel y la ubicación de los contenedores de residuos sólidos.

1.4 Objetivo General y Objetivos Específicos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de contenedores inteligentes que permita monitorear el nivel y la ubicación de contenedores de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martín de Porres empleando la arquitectura LoRaWAN.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Proponer la ubicación, la capacidad y la cantidad de contenedores inteligentes que podrían ser utilizados en la urbanización San Diego Vipol.

- Diseñar el prototipo de un contenedor inteligente que sea capaz de determinar su nivel y ubicación y que utilice la arquitectura LoRaWAN y sensores de bajo costo.
- Diseñar un sistema que permita monitorear y almacenar los datos obtenidos de los sensores ubicados en el nodo final.

1.4.3 Indicadores de Logro de los Objetivos

Objetivo Específico	Indicador de Logro	Métrica
Proponer el tipo, la capacidad y la cantidad de contenedores inteligentes que podrían ser utilizados en la urbanización San Diego Vipol.	Cantidad de Basura generada por persona Capacidad del contenedor	Kg. l.
Diseñar el prototipo de un contenedor inteligente que sea capaz de determinar su nivel y ubicación y que utilice la arquitectura LoRaWAN y sensores de bajo costo.	Nivel del contenedor Consumo de energía Frecuencia Ancho de banda	cm mA Hz kbps
Diseñar un sistema que permita monitorear y almacenar los datos obtenidos de los sensores ubicados en el nodo final.	Tiempo de respuesta Almacenamiento	ms kb

1.5 Justificación

Lo que se conseguirá con la presente propuesta será lograr una limpieza mejorada de la urbanización al evitar que los contenedores de residuos sólidos sean desbordados y que las calles tengan un aspecto desagradable. Asimismo, se pretende reducir el contagio por COVID 19 al evitar que los ciudadanos sean expuestos a los residuos sólidos. Asimismo, la sub gerencia de limpieza pública de la municipalidad de San Martín de Porres podrá determinar si los camiones de basura están cumpliendo con recoger toda la basura de la urbanización San Diego Vipol. Por lo tanto, “la solución puede estar en las ciudades inteligentes, ya que estas tienen como objetivo la gestión eficiente de los recursos con la finalidad de hacer mucho más cómoda y segura la vida del ser humano” (Idwan et al., 2016). Al hablar de ciudades inteligentes es necesario hablar del internet de las cosas y como puede contribuir a mejorar la vida de las personas. Mediante el internet de las cosas se busca agregar sensores a los objetos, que permitan monitorear y controlar ciertas acciones con la finalidad de que la toma de decisiones sea más sencilla a partir de toda la información generada o capturada por los objetos (Draz, 2017).

La solución propuesta permitirá la reducción de los costos operativos propios de la municipalidad, ya que teniendo un control de todo lo que acontece en cada contenedor, permitirá una movilización más eficiente de los camiones recolectores y se tendrá un ahorro en tiempo, logística y combustible.

Esta solución está plenamente justificada y se alinea con los principios de las ciudades inteligentes ya que resuelven una problemática actual de manera eficiente y sostenible priorizando la salud y la calidad de vida de los ciudadanos de la Urbanización San Diego Vipol.

1.6 Estado del Arte

1.6.1 Smart City

Autores como (Gurdiev et al., 2010) colaboradores de IBM, presentan en su estudio un análisis de la situación actual de las ciudades en donde el crecimiento, el valor económico y competitivo de las ciudades se verá influenciado por las personas que residan en ellas, sus habilidades, que tan creativos son y los conocimientos con que cuenten. Por tal motivo las ciudades deben de proveer a sus habitantes de distintas herramientas o servicios que permitan a estos desarrollar su trabajo de una manera eficiente y eficaz. Los gobernantes deben

impulsar que sus ciudades logren ser competentes y logren atraer cada vez más personas con mejores habilidades y por ende lograr un mejor crecimiento económico, así como proporcionar una mejor calidad de vida para los que en ellas residan.

La anterior referencia da cuenta de la importancia de pensar y configurar el concepto de ciudad inteligente en términos que desbordan el espacio y que implica un sentido de lo humano en términos de bienestar, por ello se amplía esta concepción desde las siguientes referencias:

- Una ciudad inteligente sería la que está en mejores condiciones para servir de escenario a la felicidad de sus ciudadanos. Es aquella capaz de estimular, en vez de deprimir, la iniciativa de los ciudadanos. Aumenta el bienestar, pero también protege las acciones, las actividades innovadoras que van a redundar en beneficio de ellos. No solamente tiene en cuenta sus estados económicos y los de sus ciudadanos, sino que se dedica a medir sus niveles de vida por otras variables.

Algunas de las variables que han tomado mayor importancia son: las calidades de vida; las posibilidades de desarrollarse, las buenas condiciones que les permitan mantener unas relaciones afectivas lo menos obstaculizadas posibles; las facilidades para hacer compatibles sus vidas familiares y sus vidas laborales; las posibilidades de conexión con el resto del mundo; las facilidades para poder conseguir puestos de trabajo dentro de la misma ciudad; las continuas ampliaciones no sólo de las infraestructuras, sino también de las redes de comunicación, de las pequeñas sociedades de capital riesgo para favorecer nuevas iniciativas.

En conclusión, según (GARCÍA G. & otros., 2007) las ciudades inteligentes son las que se mantienen vivas, innovadoras, estimulantes y facilitadoras de las acciones de sus ciudadanos.

- "Una ciudad inteligente es aquella que optimiza procesos en salud, que tiene todo un sistema informático de seguridad funcionando en línea o que su módulo de transporte está integrado tecnológicamente. Esto proporciona calidad de vida a sus habitantes y facilidad en trámites de largas filas", dijo Humberto Gómez, Director de Enterprise de Huawei y experto en ciudades inteligentes (La Patria, 2012).
- Una ciudad inteligente es aquella que hace uso de los avances tecnológicos para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. La práctica, sin embargo, sugiere que

este concepto tiene múltiples matices e interpretaciones. "Una ciudad inteligente es una urbe única que tiene un valor de identidad", según Aina Calvo. "En los tiempos que corren es una ciudad capaz de hacer mucho con menos" (EL PAIS, 2010).

- Una Smart City se puede definir como aquella ciudad que usa las nuevas tecnologías TIC (servidores, Smartphone, Internet...) para hacer interactivas sus infraestructuras y servicios públicos, con el objetivo de que sean más eficientes para los ciudadanos, promoviendo el desarrollo sostenible (Hostalia, 2012).

1.6.2 Contenedores de basura inteligentes.

Un contenedor inteligente es aquel que está conectado a una red y se encuentra equipado con sensores que monitorean el volumen de basura, dando la posibilidad de detectar cuando un contenedor de basura ha llegado al máximo de su capacidad de almacenaje. Por lo general, estos datos llegan a las secretarías o empresas de limpieza, permitiendo que se realice una mejor planificación de las rutas de recolección, además de proporcionar información actualizada sobre la capacidad usada y disponible del contenedor. Esto permite una optimización del costo del servicio de la recolección de residuos y evita tener contenedores repletos de basura (Bouskela, Casseb, Bassi, Luca, & Facchina, 2016).

Los contenedores de basura inteligentes fueron creados con una finalidad integral acerca de los beneficios que puede tener una ciudad o espacio en el cual sean implementados. Lo ideal de estos contenedores inteligentes es que funcionen mediante energía solar ya que en los lugares en donde los suelen ubicar no cuentan con opción a conexión eléctrica. Esta solución busca contribuir con las empresas e instituciones a la generación de herramientas inteligentes que mejoren el bienestar de la sociedad y el medioambiente. Esta tecnología no solo busca el ahorro de costos, sino también busca mejorar la limpieza en los espacios públicos (VIGATEC, 2018).

En la Figura 5, se puede ver las fases que tiene una solución inteligente de gestión de residuos. Comienza con contenedores inteligentes que poseen sensores que envían datos en tiempo real o periódico dependiendo del tipo de tecnología que se emplee, también debe contar con un centro de monitoreo que pueda visualizar el estado de cada contenedor ubicado en distintos lugares geográficos (VIGATEC, 2018).



Figura 5. Infografía del recojo inteligente de residuos sólidos. Adaptado de “Basureros Inteligentes”, por VIGATEC, 2018.

1.6.3 Clasificación de residuos sólidos

La clasificación de los Residuos Sólidos según su origen se detalla a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

Clasificación de residuos sólidos

Tipo	Origen
Domiciliarios	Viviendas en general
Comerciales	Tiendas, restaurantes, mercados, hoteles, oficinas, etc.
Limpieza de espacios públicos	Limpieza de calles, parques, poda de árboles
Establecimientos de atención de salud	Hospitales, postas
Industriales	Industrias, fábricas, plantas de tratamiento
Actividades de construcción	Escombros, demolición, reparación de caminos
Agropecuarios	Cosechas, ganadería
De instalaciones o actividades especiales	Muebles y electrodomésticos en desuso: automóviles

Nota: Se ha realizado la clasificación de los residuos sólidos de acuerdo al tipo y origen. Elaboración propia.

Dentro de los principales tipos de residuos encontramos los siguientes:

- Domésticos o urbanos: son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares. Buena parte de estos residuos

pueden llegar a ser biodegradables, este tipo de residuos se los conoce comúnmente como “basura” (Valtueña, 2002).

- Comerciales: son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas. Estos residuos están constituidos mayormente por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.
- Industriales: Estos residuos por lo general no son biodegradables, inclusive algunos pueden llegar a ser tóxicos e inalterables (Valtueña, 2002).
- Agrícolas: Estos residuos pueden generarse de la explotación agrícola, como por ejemplo el estiércol o los productos forestales no aprovechables como lo son las hojas secas (Valtueña, 2002).

Luego de la clasificación de los residuos sólidos podemos indicar que el proyecto de investigación está enfocado en los residuos sólidos domiciliarios de la Urbanización San Diego Vipol.

1.6.4 Generación de residuos Urbanos

Son algunos los factores que influyen en la generación de residuos, de los cuales se destacan los siguientes:

- Tamaño del núcleo urbano: Entre mayor sea el núcleo urbano, la generación de residuos será mayor (Vértice, 2007).
- Actividad económica: La generación de residuos dependerá muchas veces de la actividad económica que en cierto lugar se desarrolle (Vértice, 2007).
- Época de año: Esto se da porque los hábitos de consumo de los ciudadanos cambian dependiendo la época del año (Vértice, 2007).

Los residuos urbanos generalmente se generan de los siguientes materiales:

- Materia orgánica procedente de residuos de alimentos. Casi el 50% de la "basura urbana" que se genera en las ciudades está formada por restos de comida (Vértice, 2007).

- Vidrio: Empleado como envase para líquidos y en menor cantidad para alimentos. Desde el punto de vista ecológico, los envases de vidrio son reciclables en su totalidad (Vértice, 2007).
- Metales y latas: Empleados para almacenar alimentos en conserva, por lo general tienen un solo uso (Vértice, 2007).
- Plásticos: Empleados en su mayoría en envolturas o empaques de un solo uso. Estos plásticos generalmente provienen de derivados del petróleo, lo cual hace que tarden mucho tiempo en degradarse (Vértice, 2007).
- Papel y cartón: Empleados principalmente en herramientas de oficina (Vértice, 2007).
- Tetrabrik: Empleados como envases de alimentos de un solo uso, por lo general están elaborados de cartón, aluminio y polietileno (Vértice, 2007).

2 CAPITULO 2: MARCO TEORICO

En este capítulo se desarrollan aquellos antecedentes relacionados a la problemática planteada, las cuales son investigaciones realizadas en otras partes del mundo, así como los conceptos teóricos requeridos para entender los componentes que forman parte de la solución propuesta.

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la Tabla 3 se muestra la recolección de trabajos relacionados a la recolección de residuos sólidos.

Tabla 3

Recolección de trabajos relacionados al desarrollo de contenedores inteligentes

Título	Autor	Cita
FastCollect: Offloading Generational Garbage Collection to integrated GPUs.	Abhinav; Rupesh Nasre	(Abhinav & Nasre, 2016)
IoT based garbage management (Monitor and acknowledgment) system: A review).	Sudharani Ashok, Ghadage; Neeta Anilkumar Doshi	(Ghadage & Doshi, 2018)
A real-time smart dumpster monitoring and garbage collection system.	Umar Draz; Tariq Ali; Jamshaid Ali Khan; Muhammad Majid; Sana Yasin	(Draz et al., 2018)
Smart Solutions for Smart Cities: Using Wireless Sensor	Sahar Idwan; Junaid Ahmed Zubairi; Imran Mahmood	(Idwan, Zubairi, & Mahmood, 2016)

Network for Smart Dumpster Management.		
Design and implementation of remote monitoring system of solar lanterns, based on LoraWan and cloud technology.	Udaya Kumar Sahoo; Bijayananda Patnaik	(Sahoo & Patnaik, 2018)
Analysis of the use of LoRaWan technology in a large-scale smart city demonstrator.	Marine Loriot; Ammar Aljer; Isam Shahrour	(Loriot, Aljer, & Shahrour, 2017)
Garbage Management using Internet of Things.	Pallavi Nehete; Dhanshri Jangam; Nandini Barne; Prajakta Bhoite; Shalak Jadhav	(Nehete, Jangam, Barne, Bhoite, & Jadhav, 2018)
IoT based smart garbage monitoring & collection system using WeMos & Ultrasonic sensors.	Saadia Kulsoom Memon; Faisal Karim Shaikh; Naeem Ahmed Mahoto; Abdul Aziz Memon	(Memon, Karim Shaikh, Mahoto, & Aziz Memon, 2019)
Iot Based Garbage Monitoring and Clearance Alert System.	Himadri Nath Saha; Sourav Gon; Annesha Nayak; Samabrita kundu; Sumandrita Moitra	(Saha, Gon, Nayak, Kundu, & Moitra, 2019)
Arduino-based Smart garbage monitoring system: Analysis requirement and implementation.	Namakambo Muyunda; Muhammad Ibrahim	(Muyunda & Ibrahim, 2018)

Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors.	Agustin Candia; Soledad Natacha Represa; Daniela Giuliani; Miguel Ángel Luengo; Andrés Atilio Porta; Luis Armando Marrone	(Candia et al., 2018)
---	---	-----------------------

Nota: Se ha realizado una búsqueda de proyectos relacionados a contenedores inteligentes. Elaboración propia.

Luego de realizar la recolección de trabajos relacionados en la tabla 3 se procede a seleccionar los estudios que tengan mayor semejanza con el tema de investigación que se está realizando y se procede a realizar el análisis de los estudios seleccionados y distinguir las áreas temáticas.

a. IoT based garbage management (Monitor and acknowledgment) system: A review

En este artículo se aborda el problema que tiene la India con los desperdicios, ya que muchas veces se los encuentra regados al borde de la carretera, generando un mal olor y condiciones antihigiénicas para las personas que viven en los alrededores. Los autores proponen un sistema basado en sensores ultrasónicos e infrarrojos con la ayuda de un Arduino UNO y una Raspberry Pi2 para detectar el nivel de basura en un contenedor. El método de comunicación se da mediante un mensaje de texto por parte del Raspberry al conductor del camión recolector. Por lo cual se puede determinar que emplea GSM para las comunicaciones.

b. A real-time smart dumpster monitoring and garbage collection system

Este artículo aborda las problemáticas del desbordamiento de los contenedores de basura por el exceso de basura que pueden llegar a soportar. A esto se le suma la falta de monitoreo por parte de la autoridad competente, lo cual genera un ambiente insalubre y condiciones desagradables para los habitantes. La propuesta para resolver el problema mencionado es un dispositivo IoT que incluya un GPS y cuando el contenedor de basura se encuentre lleno enviará un mensaje de texto con la ubicación del contenedor y que la autoridad competente pueda tomar las medidas respectivas con aquel contenedor de basura lleno. El método de comunicación de esta solución es GSM.

c. Smart Solutions for Smart Cities: Using Wireless Sensor Network for Smart Dumpster Management

Este artículo relata las ventajas de las ciudades inteligentes para la gestión de servicios. Propone el empleo de sensores inalámbricos destacando su versatilidad, bajo costo y capacidad de comunicación. Se propone tres niveles para de lectura del nivel de basura de un contenedor de basura; alto, medio y bajo. Esta medición permite a la autoridad competente tomar acciones sobre los camiones de recolección de basura y poder planificar los viajes de mejor manera, minimizando el consumo de combustible de los camiones. En el artículo no se especifica el tipo de comunicación que se empleó

d. Garbage Management using Internet of Things

En este artículo relata las ventajas de IoT para ayudar a tener una ciudad limpia y ordenada, tratando de disminuir la desdicha y los malestares causados por los contenedores de basura. Por lo cual se busca monitorear estos contenedores para evitar posibles enfermedades. Se propone un contenedor de basura inteligente que busca controlar la acumulación de basura para contribuir a la formación de una ciudad inteligente. El método de comunicación empleado en este artículo es GSM.

e. IoT based smart garbage monitoring & collection system using WeMos & Ultrasonic sensors

Este artículo propone una solución para frenar el enorme aumento de la basura que no solo pone en riesgo a la raza humana sino también el medio ambiente. Además, que en las ciudades inteligentes cada vez es más común sistemas inteligentes que contribuyan de manera eficaz a la resolución de problemas y frenar el impacto ambiental que generan las actividades que realiza el ser humano. La solución se basa en sensores ultrasónicos y WeMos lo cual permite que se pueda ver los resultados en tiempo real de la cantidad de basura que tiene un contenedor en ese preciso momento. El método de comunicación empleado en esta investigación es WiFi.

f. IoT Based Garbage Monitoring and Clearance Alert System

En este artículo se relata el problema del desbordamiento de los contenedores de basura, los cuales podrían desencadenar enfermedades para las personas. La solución propuesta es un sistema de alerta de recolección y monitoreo de la basura. Se monitorea el nivel de basura

que posea un contenedor y al estar al máximo de su nivel enviará una alerta al municipio correspondiente. El sistema estará conectado mediante WiFi y las alertas se enviarán mediante una aplicación de Android.

g. Arduino-based smart garbage monitoring system: Analysis requirement and implementation

En este artículo se propone una solución para que las autoridades puedan monitorear la basura en los contenedores. De tal manera que se pueda gestionar de mejor manera los recursos para la recolección de la basura. Evitando que la basura se acumule en ciertas áreas y genere enfermedades para los habitantes, además de entornos desagradables. En esta investigación se emplea como módulo principal un Arduino, y el método de comunicación es mediante WiFi.

h. Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors

En esta investigación no se habla sobre el problema del desbordamiento de los contenedores de basura. Pero menciona las ventajas de una red LoRaWAN para medir la calidad del aire. Para ello se empleó hardware y software gratuito. La información se transmite a una plataforma escalable para IoT en la nube. Los resultados obtenidos en la investigación aportan para la construcción de futuras ciudades inteligentes. Después de realizar el estado del arte se puede evidenciar que ya existen soluciones para el problema de la acumulación de basura, sin embargo; todas estas soluciones emplean una conectividad GSM o WiFi, y en ningún estudio se prioriza el bajo consumo y una aplicabilidad más real, con mayor alcance y con varios nodos conectados al mismo tiempo. De igual manera todos los estudios se realizan en ambientes controlados ya que proveen una conexión WiFi, pero se conoce que sería muy complejo proveer una conexión WiFi para miles de contenedores de basura que puede haber en una ciudad, por lo cual la solución no es muy aplicable a las condiciones actuales y demanda de la sociedad. En el caso de emplear la tecnología GSM se emplea mensajes de texto y la comunicación no es muy transparente y hace más complejo la gestión de los nodos que se instalarían en los contenedores de basura.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Internet de las cosas (IoT)

El término Internet de las cosas fue acuñado por Kevin Aston en el año 2009 señalando que toda la información que manejaban las computadoras incluida la Internet dependía casi completamente de los seres humanos (introducida por diversos medios) y que los seres humanos tienen limitaciones tanto en tiempo, exactitud y en la atención que esto involucra para capturar otro tipo de datos del mundo real (Jurado Pérez et al., 2014).

El internet de las cosas ha ido evolucionando en las últimas décadas, a medida que crece la población mundial crece el número de dispositivos interconectados a nivel mundial. El Internet de las cosas es actualmente más que una revolución tecnológica, fruto de los avances en la computación y el vuelco que ha dado la comunicación humana a humano.

En la actualidad el internet de las cosas también se le conoce como la industria 4.0. Esta expresión Industria 4.0 fue acuñada en Alemania en el año 2011 para describir a la fábrica inteligente, una perspectiva de la fabricación informatizada con todos los procesos interconectados por medio del Internet de las Cosas (IOT) (Tapia, 2014).

A medida que pasan los años se hace más necesario la interconexión de nuestros dispositivos lo cual permite una mejor calidad de vida por esta razón el internet de las cosas surge: “ya que en la actualidad estamos en la necesidad de que exista comunicación entre dispositivos sin la intervención del humano para mejorar y facilitar nuestra calidad de vida” (González et al., 2016).

Uno de los principales objetivos del internet de las cosas es reducir el tiempo y maximizar producción de tareas simples para así poder enfocarnos en aquellas tareas de más complejidad. El internet de las cosas integra los objetos de la vida cotidiana y les entrega inteligencia para que respondan a estímulos externos, sin necesidad de intervención humana. De esa forma, logran un mundo más eficiente donde se optimizará el uso de recursos y de tiempo en procesos de la industria y el hogar, lo que permite que la sociedad se enfoque en tareas más importantes de su vida en los planos personal y laboral (Luis García et al., 2018).

2.2.2 Arquitectura de Internet de las cosas

En la presente investigación se propone una arquitectura para Internet de las cosas (IoT), con la cual se logre integrar de forma adecuada los principales elementos a tener en cuenta en esta tecnología, ofreciendo así una base que sirve de guía, tanto para desarrollar un sistema IoT, como para realizar arquitecturas más específicas que respondan a características

particulares de determinada aplicación. En la Figura 6 se muestra la arquitectura general de soluciones IOT.

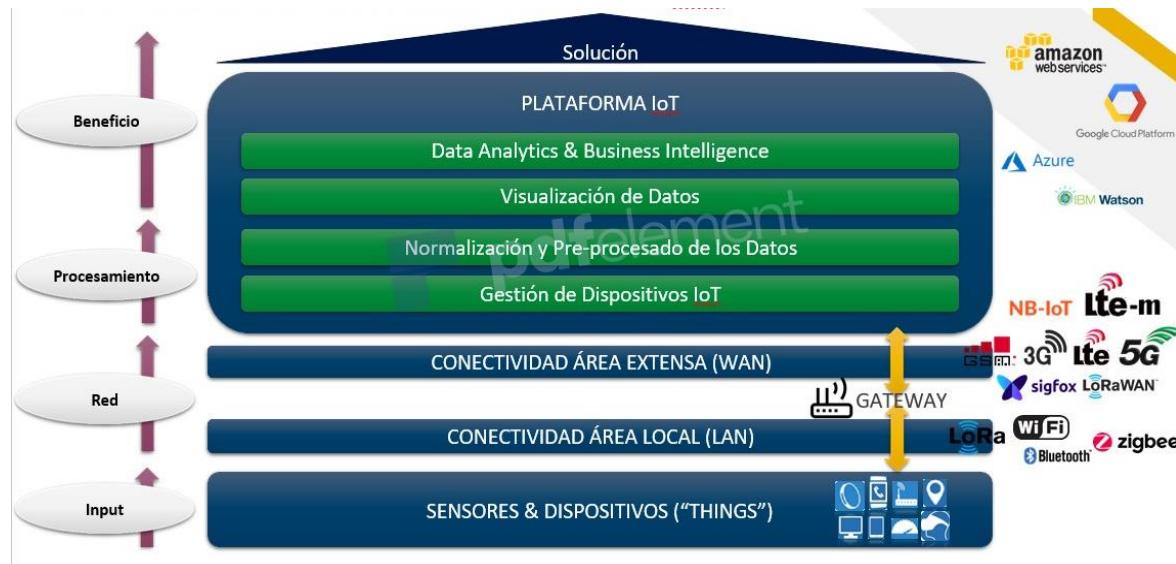


Figura 6. Etapas y tecnologías que intervienen en soluciones IOT. Elaboración propia.

En la figura anterior podemos observar que en primer lugar se tiene a los sensores y dispositivos que son conocidos como las things, quienes serán nuestros dispositivos conectados que van a estar aportando información y datos. Es decir, esto será el input de lo que realmente está transmitiendo la información de partida para que luego podamos obtener la solución concreta. En el siguiente nivel esta la conectividad, en este caso la conectividad de área local de todos nuestros dispositivos (things). Lo normal sería que se conecten a un Gateway, es decir, un elemento que va a agregar la información de todos los múltiples dispositivos que tenemos desplegado y este hará que se conecte a otra unidad de jerarquía superior. Puede ser algo tan sencillo como por ejemplo nuestro teléfono inteligente. Es posible tener diferentes elementos como puede ser un smartwatch o cualquier otro elemento que se tenga en casa o cualquier cosa que se nos ocurra. Este podría ser conectado al teléfono inteligente que en este caso sería el Gateway que se conecte a otra plataforma de nivel superior, por lo que se puede decir que es como un ente intermedio que permite la conexión de área local de todas nuestras things. Además, en este nivel también existen diferentes tecnologías para realizar la conectividad de área local y estas pueden ser: Lora, Zigbee, WiFi o Bluetooth. En el siguiente escalón se encuentra la conectividad de área extensa la WAN. En donde se logra conectar el Gateway a la siguiente jerarquía. Para la conexión WAN se

tiene una serie de protocolos que pueden ser sixfog o LoRaWAN, o cualquier protocolo de comunicación móvil como 2G 3G LTE o 5G u otros protocolos que pueden estar diseñados específicamente para IOT entre ellos tenemos a NB-IoT o LTe-M. Ahora ya se tiene toda la parte de Red cubierta es decir conectada para poder enviar los datos de las things a la siguiente jerarquía que en este caso sería la plataforma IOT. En conclusión, desde nuestras Things vamos a tener una conectividad LAN por medio de un Gateway y ese Gateway tendrá una conectividad WAN a la plataforma de IOT. La plataforma IOT es una capa de visualización de todos los datos obtenidos en las things y es donde se analizan todos esos datos a través de la inteligencia de negocio (Business Intelligence). Entre las plataformas más comunes y populares tenemos la AWS de Amazon, el Google Platform, la plataforma de Microsoft Azure e IBM Watson. A continuación, se describirán los componentes de cada nivel de la arquitectura de IOT.

2.2.3 Sensores y Actuadores

2.2.3.1 Sensor

Podemos definir un sensor como un medidor de una magnitud física o química. Por eso decimos que los sensores permiten dotar de sentidos a máquinas y objetos midiendo parámetros como: temperatura, posición, cantidad de luz, gases, etc. En la Figura 7 se muestran los diferentes tipos de sensores.

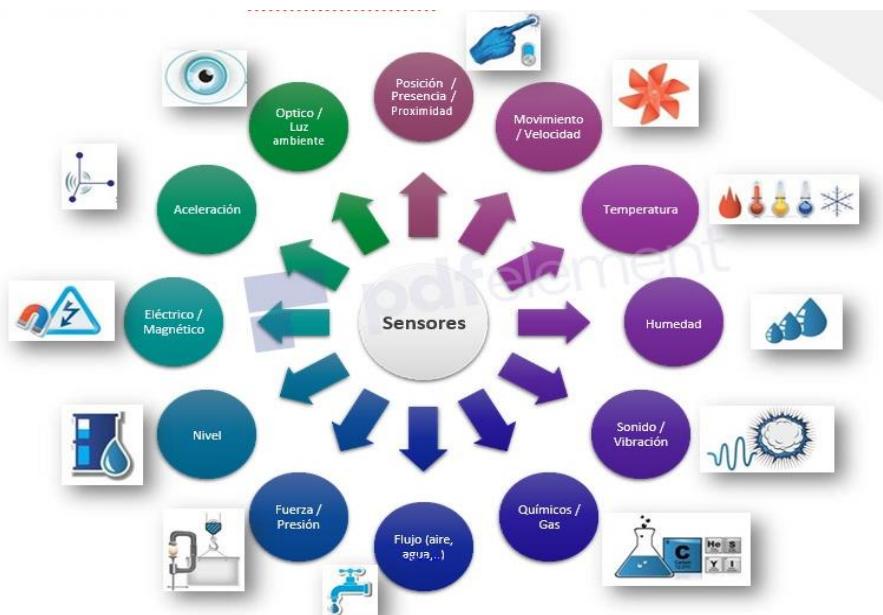


Figura 7. Tipos de sensores para internet de las cosas. Elaboración propia.

a) Tipo de sensor

En la actualidad, existen diversos elementos de detección de parámetros y actuadores eléctricos. A continuación, se presentan los tres tipos de sensores que han sido contemplados: sensor láser, sensor infrarrojos y sensor ultrasonidos.

El primero, el sensor láser, es un sensor que mide distancias entre algunos metros y decenas de metros, pero que no detecta los objetos que reflejan la luz láser (vidrios, objetos cromados, etc.). Además, es un sensor muy direccional y relativamente caro. A pesar de su precisión, no responde a las necesidades de este proyecto.

El sensor infrarrojo mide la distancia entre 5 y 80 cm, y la transmite en forma de señal analógica. Es un sensor sensible al color y a la naturaleza de los obstáculos, por lo que tampoco se adapta a las necesidades requeridas.

Por último, el sensor ultrasonido, es capaz de detectar los obstáculos que están dentro de un ángulo de 15° y a una distancia de 2 a 400 cm. Sus resultados son estables y relativamente precisos. En la Tabla 4 se realiza la Comparación de los sensores infrarrojos, ultrasonido y laser.

En la Tabla 4

Características de los principales sensores de nivel.

	Ultrasonidos	Infrarrojos	Láser
Alcance	de 2 a 400 cm	de 5 a 80 cm	de algunos metros a varias decenas de metros según el modelo
Direccionalidad	15° aprox.	5° aprox.	entre 0,5° y 1°

Precisión	relativamente preciso, pero la precisión disminuye con la distancia, el ángulo de medida y las condiciones de temperatura y presión	relativamente preciso, pero la precisión disminuye con la distancia	preciso, con error de algunos centímetros en medidas de varios metros
Coste	barato	barato	relativamente caro
Sensibilidad a interferencias	sensible a la temperatura y la presión	sensible a las fuentes de luz que contienen infrarrojos y al color y la naturaleza de los obstáculos	no detecta los objetos que reflejan la luz láser (vidrios, objetos cromados,...)

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes sensores de nivel para determinar el más adecuado para el proyecto. Elaboración propia.

Por su alcance, su direccionalidad y su precio, el sensor elegido ha sido el sensor ultrasonidos HC-SR04. Aunque este sensor no es extremadamente preciso, en este caso no es necesaria una precisión excesiva. En la Figura 8 se muestra la imagen del sensor ultrasonido, el cual será usado en el presente proyecto.



Figura 8. Distribución de pines del sensor ultrasonido HC-SR04. Elaboración propia

El módulo HC-SR04 (Anexo A) dispone simplemente de 4 pines: VCC, TRIG, ECHO y GND. El pin “TRIG” emite un impulso a nivel alto (5V) durante al menos 10 µs y entonces el módulo comienza la lectura (una ráfaga de 8 impulsos ultrasónicos). Después de haber realizado la medida, si se detecta un objeto, el pin “ECHO” pasa a nivel alto (5V).

En la Figura 9 se muestra el funcionamiento del sensor de ultrasonido.

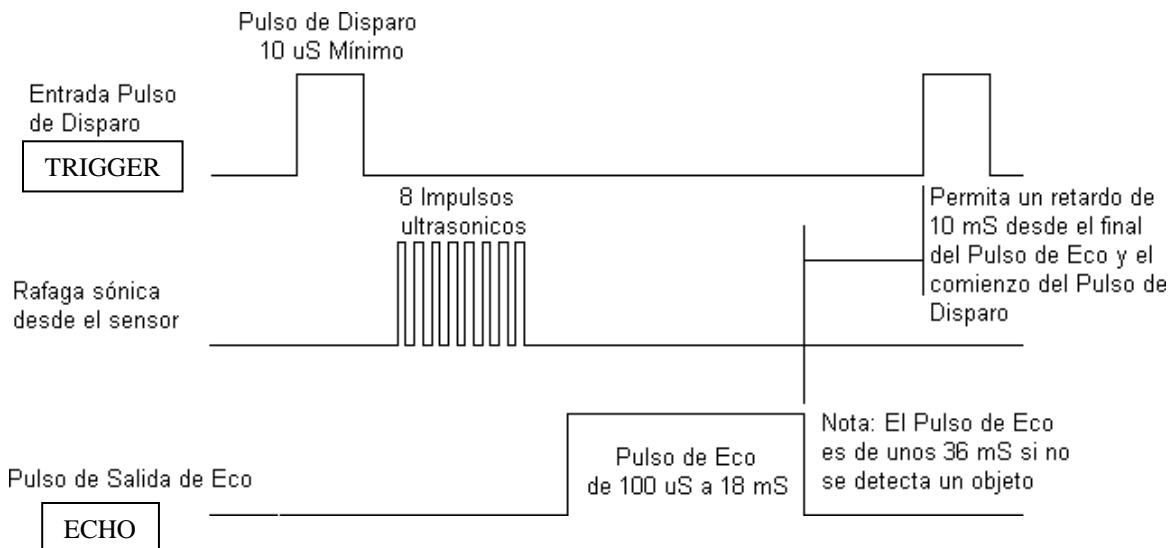


Figura 9. Funcionamiento del Pulso de Trigger y Echo del sensor de ultrasonido. Adaptado de “Circuito auxiliar de medición de distancias por ultrasonidos SRF04”, por RedRaven, s.f.

La distancia a la cual se sitúa el obstáculo es proporcional a la duración del impulso. Esto permite calcular fácilmente la separación al objeto detectado con la siguiente fórmula:

En la Figura 10 se muestra el pulso de inicio, la ráfaga y el eco del sensor de ultrasonido.

$$\text{Distancia} = ((\text{Duración del impulso a nivel alto}) * (\text{velocidad del sonido: } 340 \text{ m/s})) / 2$$

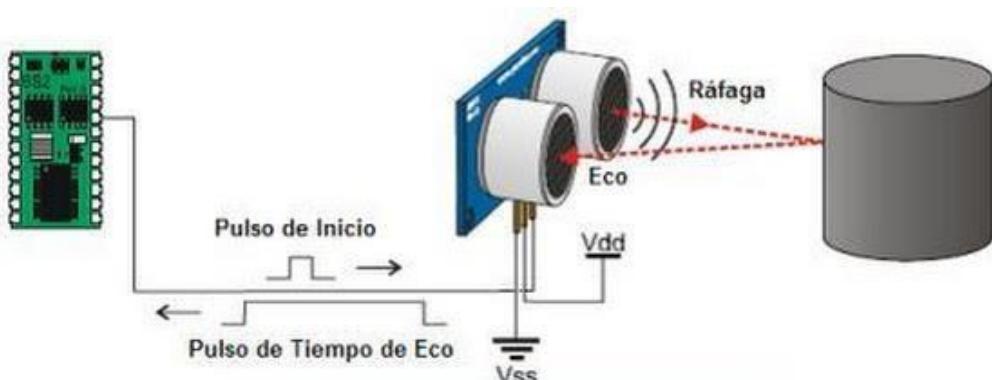


Figura 10. Funcionamiento del sensor ultrasonidos. Adaptado de “Curso Arduino y Robótica”, por Trujillo, s.f.

b) Dispositivos de Posicionamiento global

En la Tabla 5 se muestra un cuadro comparativo de los diferentes dispositivos GPS

Tabla 5

Cuadro comparativo de módulos GPS

PARÁMETROS	DISPOSITIVOS GPS		
	GPS Ublox Neo 6m	SIM 908	SHIELD ARDUINO SIM808
Dimensiones	31 x 24 mm	81 x 70 mm	50.13 x 77.64 mm
Voltaje de Alimentación	3.3 V - 5 V	5 – 10 V	5 V – 10 V
Temperatura	-40 °C a 85 °C	-40°C a 85 °C	-40°C a 85 °C
Canales de recepción	50 canales, GPS L1 frequency, C/A CodeSBAS: WAAS, EGNOS, MSAS	42 canales, GPS L1 C/A code, High-performance STE engine	66 canales, GPS L1 C/A code
Modo de comunicación	Librerías Arduino	Comandos AT	Comandos AT
Tiempo de primera respuesta de GPS	27 s	30 s	30 s
Sensibilidad – 162	dBm - 160	dBm	-165 dBm
Protocolos de recepción GPS	NMEA, UBX binary y RCTM	NMEA, OSP	NMEA
Costo BAJO	(15 dólares)	ALTO (45 dólares)	ALTO (45 dólares)

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes módulos GPS para determinar el más adecuado para el proyecto. Elaboración propia.

A pesar de sus dimensiones tan pequeñas en comparación con las tarjetas SIM908 y SIM808, el GPS Ublox Neo 6m presenta una gran variedad de ventajas como un tiempo de primera respuesta GPS menor a las otras dos tarjetas, combinado con el uso de varios protocolos de recepción y un costo sumamente bajo, lo que lo convierte en la mejor elección para la elaboración del sistema de geolocalización.

2.2.3.2 Actuador

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía en una acción con la finalidad de automatizar un proceso. Entre los más comunes se encuentran los relés para cortar o permitir el paso de corriente eléctrica, los indicadores luminosos, las electroválvulas, los motores, etc.

2.2.4 Plataformas electrónicas

Existen diferentes plataformas electrónicas para el despliegue de soluciones de Internet de las Cosas:

a) Arduino

Es una plataforma de desarrollo electrónico ampliamente utilizada. Sus tarjetas electrónicas utilizan los microcontroladores Atmel AVR y son fabricadas por Arduino.cc y Arduino.org. Para extender las entradas, salidas y funcionalidades se utilizan placas adicionales denominadas “shields”. Existen shields para agregar funciones de comunicaciones (Wi-Fi, Bluetooth, GSM), adquisición de datos, sensores, entre otros.

b) Raspberry Pi

Es un computador pequeño de bajo precio creado por Eben Upton para fines educativos. Sus principales tarjetas electrónicas son los modelos Pi 3 B y Pi Zero. El Pi 3 B pertenece a la 3º genealogía de la familia Raspberry, el cual contiene un microprocesador Quad-Core de 64 bits, un módulo de comunicaciones Wi-Fi y Bluetooth Low Energy (BLE).

c) Microcontrolador ESP32

Es un microcontrolador Wi-Fi de bajo costo desarrollado para aplicaciones IoT que incluye la pila de protocolos TCP/IP. Es producido por la compañía Espressif Systems. Existe una variedad de placas basadas en este microcontrolador. Una de ellas es NodeMCU, la cual fabrica kits de desarrollo con firmware de código abierto capaz de ser configurados mediante el lenguaje de programación Lua.

d) Wespmove

Es una plataforma de sensores inalámbricos de bajo consumo y de código abierto desarrollado por la empresa Libelium especializada para aplicaciones del Internet de las Cosas. Contiene numerosas placas de comunicaciones tales como ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth, LoraWAN, etc. Asimismo, tiene la posibilidad de añadir sensores

variados para diferentes aplicaciones tales como ciudades inteligentes, medioambiente inteligente, seguridad, control industrial, agricultura, etc.

En la Tabla 6 se realiza la comparación de las diferentes plataformas electrónicas para las things.

Tabla 6

Comparación de plataformas de prototipo IoT

CARACTERÍSTICAS	ARDUINO UNO	RASPBERRY PI 3 MODELO B	NODE MCU	WASPMOTE
Procesador	ATmega328P	Broadcom BCM2837	ESP32	ATmega1281
Frecuencia de procesador	16 MHz	1200 MHz	240 MHz	14 MHz
Memoria de sistema	2 KB	1024 KB	520 KB	8 KB
Cantidad de entradas analógicas	6	0	18	7
Cantidad de entradas/salidas digitales	16	40	24	8
Comunicaciones Inalámbricas	Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoraWAN (tarjetas adicionales)	Wi-Fi y Bluetooth bajo consumo (BLE)	Wi-Fi y Bluetooth	Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoraWAN (tarjetas adicionales)
Interfaces seriales	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI	UART, I2C, SPI, I2S	UART, I2C, SPI
Lenguajes de programación	C/C++	Python, C, C++, Java, Scratch, Ruby	Lua/Python	C++
Voltaje de operación	5V	5.1V	5 V	3.7 V
Consumo de amperaje	50 mA	700-1000 mA	80-180 mA	17 mA
Funcionamiento estimado (24/7)	> 3 años	> 5 años	> 3 años	> 5 años
Garantía fabricante	1 año	1 año	1 year	2 años

Nota: Se ha realizado la comparación de las diferentes plataformas de prototipo indicando sus características principales. Elaboración propia.

2.2.5 Conectividad Área Local (LAN)

2.2.5.1 Red LAN

Las redes LAN “Local Área Network”, es decir, red de área local. Normalmente son redes de un área geográfica pequeña o local, como una vivienda, una pequeña empresa o un departamento dentro de una gran corporación. Las redes LAN pueden conectar dos o más dispositivos, como computadoras, impresoras y dispositivos inalámbricos, en la Figura 11 se muestra la imagen de una red LAN.



Figura 11. Conexión tipo estrella de una red LAN. Adaptado de “Red LAN: ¿Qué es, tipos y para qué se utilizan estas redes de área local?”, por Internetpasoapaso, s.f.

2.2.5.2 Análisis de las topologías

Tabla 7

En la Tabla 7 se puede analizar las conexiones de las diferentes topologías, así mismo las ventajas y desventajas.

Análisis de las diferentes topologías de red.

Topología	Conexión	Ventajas	Desventajas
Bus	Varios nodos se conectan a una misma central	<ul style="list-style-type: none">✓ Arquitectura simple y fácil de instalación.✓ No utiliza mucho cableado para su implementación.	<ul style="list-style-type: none">✓ El canal tiende a degradarse con facilidad

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuando una estación falla, las demás siguen comunicándose. 	<p>problemas que existan en el canal.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El desempeño es distribuido según como crece la red
Anillo	Varios nodos se conectan unos a otros	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene un acceso equitativo y el rendimiento no decae. ✓ Todos los dispositivos conectados a esta red tienen un acceso equitativo ✓ Si varios usuarios se conectan a la red esta no decae. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Todos los usuarios pueden ver la información hasta que esta llegue a su destinatario. ✓ Si la red crece, el canal tiende a degradarse. ✓ Si existe problemas es difícil de dar con ellos o repararlos.
	Varios nodos se conectan a un hub central	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilidad de detección de daños o anomalías. ✓ Posee un gasto energético homogéneo. ✓ Muy sencilla y rápido en su desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuando el canal o una estación falla, las demás estaciones quedan sin comunicación. ✓ Mas tendencia a colisiones de acuerdo como aumenten los nodos. ✓ No posee mucha escalabilidad. ✓ Si el nodo central tiene fallas o deja de

			funcionar, la red se cae.
--	--	--	---------------------------

Nota: Se ha realizado una descripción de cada una de las topologías de red indicando sus ventajas y desventajas. Elaboración propia.

Luego de analizar la Tabla 7 se determinó que la topología de red a utilizar es la Topología Estrella, debido a que varios nodos sensores ubicados dentro de los contenedores estarán conectados a un nodo Gateway, este permitirá recolectar toda la información de los nodos, para ser transmitida a internet, servidor de red y almacenada en la base de datos.

2.2.5.3 Tecnologías Local Área Network (LAN)

Actualmente se habla de las ventajas y beneficios del Internet de las cosas en múltiples sectores, pero realmente se habla poco de cómo implementar de forma práctica esa gran red de sensores y actuadores en las ciudades e industrias.

Estas redes implican retos significativos debido a que entre otras cosas requieren soportar un gran número de dispositivos conectados con muy alta confiabilidad y bajo consumo de recursos. Afortunadamente ya existen tecnologías diseñadas para superar estos retos, y estas tecnologías pueden ser las siguientes.

2.2.5.4 WIFI

Es una de las tecnologías más conocidas y adoptadas. Una de las ventajas de esta tecnología es su gran capacidad para transferencia de datos, lo cual permite enviar video, audio y otros archivos de gran tamaño. En internet de las cosas existen una gran variedad de módulos, sensores y actuadores que trabajan con esta tecnología y van desde los más económicos como lo son el ESP32 o el RTL8710 hasta los más completos como el ArduinoMKR1000. En las siguientes figuras 12,13 y 14 se muestran los sensores y actuadores que funcionan con la tecnología WIFI.



Figura 12. Módulo ESP32 de 30 pines con WIFI y Bluetooth, Elaboración propia.

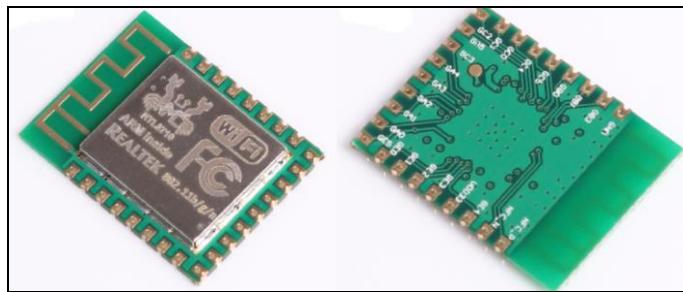


Figura 13. Módulo RTL8710. Adaptado de “RTL8710, un duro competidor para ESP8266” , por RogerBit, 2016.



Figura 14. Arduino MKR1000 WIFI. Adaptado de “Arduino's MKR1000 Vs MKR1010”, por DRDUINO, 2018.

2.2.5.5 BLUETOOTH

La tecnología Bluetooth es muy conocida debido a que se utiliza en una gran cantidad de dispositivos como teléfonos, audífonos o cámaras. Además, si vamos a utilizar Bluetooth para IoT debemos hablar de la versión 4.0 o BLE (Bluetooth Low Energy), especialmente creada para wearables y todo dispositivo que requiere estar enviando información de manera constante, pero requiere minimizar el consumo de energía ya que típicamente son dispositivos que operan en base a baterías. Asimismo, BLE proporciona tasas de transferencia de datos de poco menos de 1 Mbps, lo cual lo pone en un rango medio.

2.2.5.6 LORA

LoRa es el nivel físico o modulación adoptada para las comunicaciones de larga distancia, que es propietaria y pertenece a la empresa Semtech. Basa su funcionamiento en la técnica

de espectro ensanchado pulsado (CSS). LoRa tiene un bajo consumo de energía, similar a la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, por sus siglas en inglés), sin embargo, logra un mayor alcance. Tiene un elevado presupuesto de enlace en comparación con otras tecnologías, lo que garantiza que la información se transmita a grandes distancias. La comunicación se puede producir en distintos canales de frecuencia y a distintas tasas de datos, las cuales se hallan en el intervalo de 300 y 20 000 bits por segundo (Ruano, 2016).

La capacidad de transmisión de datos que alcanza LoRa se fundamenta en el teorema de Shannon-Hartley. Este teorema nos indica la cantidad máxima de información que es posible cursar en un enlace de comunicación dado el ancho de banda y con existencia de ruido interferente aleatorio. El teorema de Shannon-Hartley se define de la siguiente forma (University of Manchester, 2006):

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bps}$$

Donde:

- | | | |
|-----|---|--|
| C | = | Capacidad del canal en bits por segundo (bps) |
| B | = | Ancho de banda (Hercios) |
| S | = | Potencia señal promedio (Watts) |
| N | = | Potencia de interferencia o ruido promedio (Watts) |
| S/N | = | Relación señal a ruido expresado en correlación lineal |

El teorema previo nos señala la importancia de los conceptos ancho de banda y la correlación señal ruido en las comunicaciones. Nos muestra también que, para una capacidad de canal dada, incrementar el ancho de banda puede ser intercambiado con una disminución de la potencia de la señal. Sin embargo, estas variaciones no son proporcionales, pues al incrementar el ancho de banda, se incrementa el ruido y, por tanto, disminuye la relación señal a ruido (Maini & Agrawal, 2007). Si la relación señal a ruido es menor a 1, es decir, la potencia emitida está debajo del piso de ruido, esta relación resulta similar a la existente entre la capacidad y el ancho de banda, por lo cual, enviar información sin errores en un

canal con una relación ruido a señal fija, sólo requiere aumentar el ancho de banda de origen. (Semtech, 2015).

Asimismo, LoRa utiliza la técnica de espectro ampliado, la cual fue concebida originalmente para propósitos militares con la finalidad de proveer seguridad en las comunicaciones. La técnica de espectro ensanchado permite extender una señal sobre un amplio ancho de banda. Esto produce que la señal sea difícil de distinguir, interceptar o decodificar, así como de ser interferida con otras señales (Prabakaran, 2003). En la Figura 15, se muestra una señal antes y después del proceso de ensanchado.

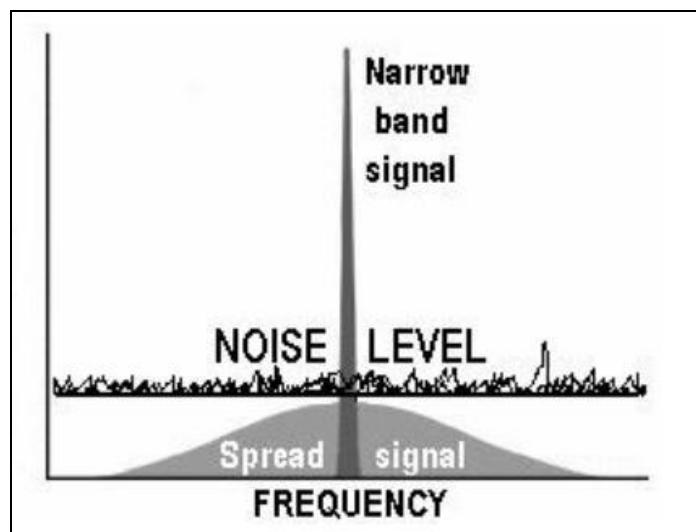


Figura 15. Señal de banda angosta y de banda ensanchada LoRa. Adaptado de “La introducción de LoRa™”, por AsKix, s.f.

LoRa utiliza específicamente la técnica de espectro ensanchado pulsado (CSS, por sus siglas en inglés). Emplea señales conocidas como chirps (del inglés, “pulso de radar de alta intensidad comprimida”), las cuales son señales sinusoidales cuya frecuencia se incrementa o disminuye con el tiempo, para transmitir señales utilizando todo el ancho de banda asignado cada cierto tiempo. Si la frecuencia cambia desde baja hacia alta frecuencia, se le conoce como un “chirp de subida” y se cambia de alta a baja frecuencia, se le conoce como un “chirp de bajada” (Ghoslya, 2017). En la Figura 16, se aprecian los espectrogramas de un chirp de subida (izquierda) y de un chirp de bajada (derecha).

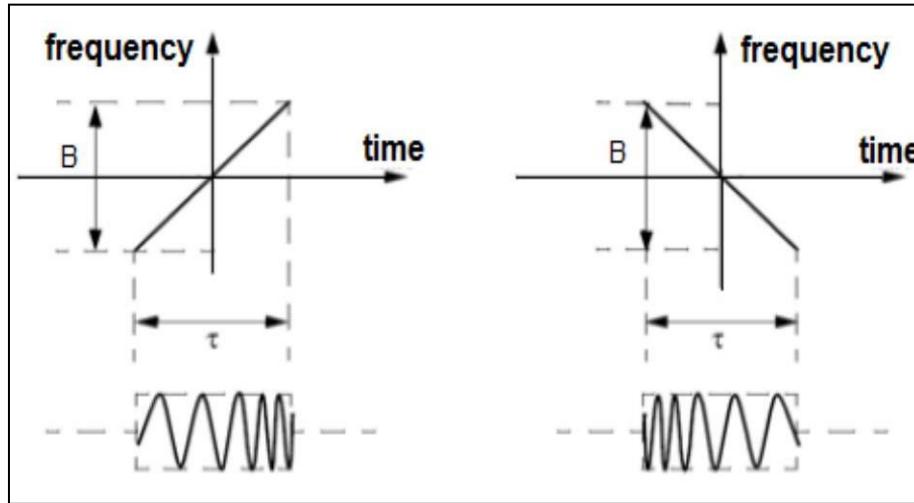


Figura 16. Señales chirp de Up (izquierda) y de Down (derecha). Adaptado de “C-Band Chirp Spread Spectrum (CSS) Signal Generation Using DDS-PLL Technique”, por Rajan et al., 2012

A diferencia de la técnica del espectro ensanchado de secuencia directa, el espectro ensanchado pulsado, no necesita agregar secuencias de chips a la señal original para ampliarla en todo el ancho de banda. CSS requiere poca potencia para la transmisión de información y es potente frente al ruido e interferencias del canal de comunicación, así como el efecto Doppler, multipath y el fading, por lo cual es ideal para transmisiones de larga distancia con bajas tasas de datos.

Asimismo, la estructura de un paquete LoRa está conformado por un preámbulo (normalmente de 8 símbolos), un encabezado (obligatorio en el modo explícito), la carga útil (con un tamaño máximo entre 51 y 242 bytes, dependiendo del factor de ensanchamiento) y un campo de verificación de redundancia cíclica (CRC) que otorga una tasa de codificación desde 4/5 hasta 4/8. La Figura 17 representa una trama de datos correspondiente a LoRa.

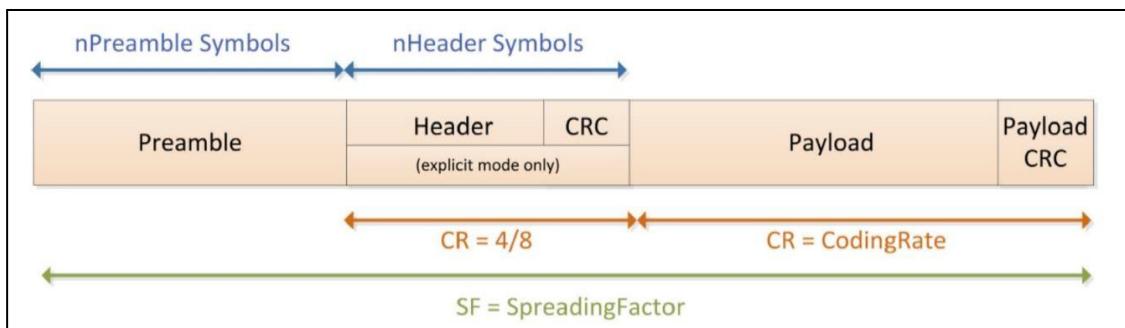


Figura 17: Estructura de paquete LoRa. Adaptado de “SX1272/3/6/7/8 LoRa Modem Design Guide”, por Semtech Corporation, 2013.

La transmisión de las tramas se efectúa utilizando en cada caso un factor de ensanchamiento (“spreading factor”, SF, por sus siglas en inglés). Existe una relación estrecha entre el factor de ensanchamiento y el alcance. Mientras mayor sea el SF, la comunicación será más lenta y por tanto el alcance será mayor. Los valores de los factores de ensanchamiento varían desde 7 hasta 12. Asimismo, los anchos de banda (BW) asignados para su operación son 125, 250 y 500 KHz. El ciclo de trabajo es el porcentaje de tiempo en el cual el nodo final ocupa el canal. El máximo ciclo de trabajo es una restricción importante para las redes que operan en bandas de frecuencia no licenciada. Por ejemplo, en la Unión Europea, el ciclo de trabajo máximo para los nodos finales es de 1% (Adelantado et al., 2017). En la Tabla 8, se muestra la influencia del factor de ensanchamiento en la sensibilidad y en el tiempo en el aire para un ancho de banda (BW) de 250 KHz.

Tabla 8

Influencia del factor de ensanchamiento en el tiempo en el aire y sensibilidad

Factor de ensanchamiento (SF)	Tiempo en el aire (ms)	Sensibilidad (dBm)
12	528.4	-134
10	132.1	-129
8	39.2	-124

Nota: Se ha analizado la influencia del factor de ensanchamiento comparado con el tiempo en el aire y la sensibilidad. Elaboración propia

Basándose en la información de la tabla precedente, se advierte que para un ancho de banda (BW) fijo, al incrementarse el factor de extensión (SF), el tiempo de uso del canal aumenta y la sensibilidad requerida para decodificar la señal disminuye, por lo cual la señal puede llegar a distancias más lejanas. Asimismo, la velocidad de bits que puede alcanzar un canal LoRa, se encuentra determinada por la siguiente fórmula:

$$R_b = SF * \frac{4}{\left[\frac{4 + CR}{2^{SF}} \right] \left[\frac{1}{BW} \right]} \text{bits/segundo}$$

Donde:

Rb: Velocidad de datos (bits/segundo)

SF: Factor de ensanchamiento [7...12]

CR: Tasa de código [1...4]

BW: Ancho de banda (Hz)

Como se ha mencionado ya anteriormente, un dispositivo LoRa, puede ser configurado para utilizar diferente Potencia de Transmisión (TP), Frecuencia de Portadora (CF), Factor de Ensanchamiento (SF), Ancho de banda (BW) y Tasa de Codificación (CR) para conseguir el mejor desempeño de conexión y menor consumo energético.

La combinación de estas variables resulta en alrededor de 6720 posibles configuraciones, lo que permite al usuario ajustar completamente LoRa a su aplicación. A continuación, se hace una breve descripción de cada uno de los parámetros mencionados:

- Potencia de Transmisión (TP): (TP) en LoRa, puede ser variado entre -4 dBm y 20 dBm, pero debido a límites de implementación, se puede ajustar de 2 dBm a 20 dBm. Con potencias mayores a 17 dBm sólo se puede usar el 1 % del ciclo de trabajo.
- Frecuencia de Portadora (CF): Es la frecuencia central que puede ser variada en saltos de 61 Hz entre 137 MHz y 1020 MHz, dependiendo del chip y la región de uso.
- Factor de Ensanchamiento (SF): Es la razón entre la tasa de símbolos y la tasa de chips. Un mayor SF no solo incrementa el SNR, el alcance y la sensibilidad, sino también el tiempo aire del paquete. Cada incremento en el SF también disminuye a la mitad la tasa de transmisión, duplica la duración de la transmisión y el consumo de energía. El SF puede variar entre 6 y 12, siendo útil para la separación de redes ya que los SF son ortogonales.
- Ancho de banda (BW): Es el rango de frecuencias en la banda de transmisión. Un BW mayor, da una mayor tasa de datos (menor tiempo aire), pero menor sensibilidad por agregación de ruido. Un menor BW requiere cristales más precisos, es decir menos partes por millón (ppm). Los datos son enviados a una tasa de chips equivalente al BW; un BW de 125 kHz equivale a una tasa de chips de 125 kbps. Una red LoRa típica opera en: 125 kHz, 250 kHz o 500 kHz.
- Tasa de Codificación (CR): CR es la tasa de corrección de errores hacia adelante (FEC) usada por LoRa en contra de interferencias y puede ser configurada con: 4/5, 4/6, 4/7 y 4/8. Un CR mayor ofrece más protección frente a ruido, pero incrementa el tiempo aire. Transmisores con diferente CR pueden comunicarse ya que el CR se encuentra en una cabecera del paquete que siempre se encuentra codificado a 4/8.

A continuación, se presentan algunos aspectos clave que resaltan a LoRa y lo convierten en el mejor candidato para aplicaciones IoT:

- Ancho de Banda Escalable: Puede usarse en saltos de frecuencia de banda estrecha y en aplicaciones de secuencia directa de banda ancha.
- Bajo Consumo Energético: La potencia de salida puede reducirse en comparación a FSK manteniendo el mismo o mejor presupuesto de enlace.
- Alta Robustez: Debido a naturaleza asíncrona, la señal LoRa es resistente a interferencias dentro y fuera de banda.
- Resistente a Desvanecimiento: Gracias a la banda ancha de los pulsos chirp, LoRa ofrece inmunidad a desvanecimiento y multirayectoria, haciéndolo ideal para ambientes urbanos y suburbanos.
- Resistente a Doppler: El desplazamiento Doppler provoca un pequeño desplazamiento de frecuencia en el impulso LoRa que introduce un desplazamiento insignificante en el eje de tiempo de la señal de banda base, haciéndolo inmune al efecto Doppler.
- Capacidad de Amplia Cobertura: Comparado con FSK, manteniendo una misma potencia de transmisión, el presupuesto de enlace es mayor en LoRa.
- Capacidad de Red Mejorada: La modulación de SemTech LoRa emplea SF ortogonales que permiten transmitir múltiples señales de propagación al mismo tiempo y en el mismo canal sin una degradación considerable de la sensibilidad RX. Las señales moduladas con diferentes SF aparecen como ruido al receptor objetivo y pueden ser tratadas como tales.

2.2.5.7 ZIGBEE

ZigBee es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación y se utiliza para la radiodifusión digital de datos buscando ahorrar lo máximo posible en energía. Además, es una tecnología basada en el estándar de la IEEE, el IEEE 802.15.4.

La tecnología de comunicación inalámbrica ZigBee utiliza la banda ISM y por lo general, adopta la banda 2.4GHz para comunicarse con el resto de dispositivos ya que esta se adopta en todo el mundo. También, esta tecnología es una alternativa interesante para la comunicación entre distintos dispositivos que necesiten de un consumo energético reducido. Al contrario que el Bluetooth o el WiFi, ZigBee es una opción a tener en cuenta a la hora de

domotizar una casa. Además, el Internet de las Cosas puede recurrir a esta tecnología en lugar de dispositivos conectados por WiFi (Gutiérrez, 2015).

En la Tabla 9 se realiza la comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas que se usan en internet de las cosas.

Tabla 9 *Comparación de Tecnologías Inalámbricas usadas en IoT*

Tecnología	Banda de Frecuencia	Throughput	Alcance (m)	Ventajas	Desventajas	Consumo	Precio módulo
 WiFi	2,4 / 5 GHz	11 / 54 / 300 / 433 / 1300 Mbps	30	Velocidad elevada	Baja capacidad penetración / Interferencias	Moderado	S/.35
 Bluetooth	2,4 GHz	0,125 / 1 / 2 Mbps	10	Compatibilidad con dispositivos existentes. Muy utilizado en posicionamiento de interiores	Gestión de perfiles (emparejamiento)	Bajo	S/.35
 LoRa	433 MHz / 868 MHz / 915 MHz	10 kbps	15000	Muy bajo consumo, gran alcance	Baja velocidad	Muy bajo (no hay señalización, solo "active" cuando hay datos para transmitir). Hasta 1000 veces menos que WiFi	S/.50
 zigbee	868 MHz / 2,4 GHz	20 - 250 kbps	100	Bajo consumo, permite estructura en cadena (IoT mesh). Muy utilizado en smartcity y	Baja capacidad penetración	Bajo	S/.90

Nota: Se ha realizado la comparación en cuanto a la banda de frecuencia, alcance, consumo y precio para determinar la tecnología más adecuada para el presente proyecto. Elaboración propia.

Luego de analizar la Tabla 9 se deduce que para evaluar la tecnología inalámbrica a utilizar se debe considerar los siguientes criterios:

- Transferencia de datos: Capacidad de transferencia de datos por nodo.
- Bajo consumo de energía: Energía requerida para transmitir o recibir datos.
- Costo: Costo de implementación y renta del servicio por nodo.
- Alcance: Distancia máxima de conexión entre emisor y receptor.

2.2.6 Conectividad Área Extensa (WAN)

2.2.6.1 Red WAN

La Wide Área Network (WAN) incorpora diversas redes LAN o redes de tamaño menor que se encuentran interconectados en variados niveles y mayores tasas de transmisión. En la Figura 18 se muestra la imagen de una Red WAN.

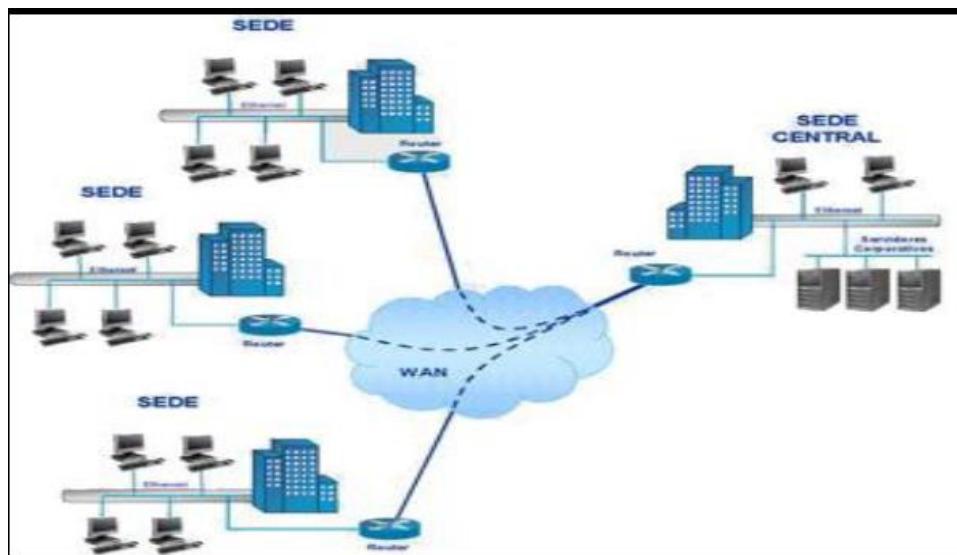


Figura 18. La Red WAN interconecta varias sedes. Elaboración propia.

2.2.6.2 Tecnologías Wide Area Network (WAN)

Entre las principales tecnologías WAN tenemos las siguientes:

2.2.6.3 GSM

La cobertura extendida GSM IoT (EC-GSM-IoT) es una tecnología de área amplia de baja potencia que ha sido estandarizada por 3GPP para su uso en espectro con licencia. Basado en eGPRS, EC-GSM-IoT está diseñado como un sistema celular de alta capacidad, largo alcance, baja energía y baja complejidad para soportar el IoT. EC-GSM-IoT se puede implementar a través de una actualización de software a las redes GSM existentes, lo que garantiza una cobertura generalizada y un tiempo de comercialización acelerado. Los dispositivos conectados a EC-GSM-IoT pueden tener una duración de batería de hasta 10 años en una amplia gama de casos de uso.

2.2.6.5 3G

3G es el nombre utilizado para clasificar la tercera generación de redes móviles. La tecnología comenzó a ser popularizada a principios de los años 2000 y para él esta nueva generación “trajo la promesa de velocidades superiores a 2G, con tasas inicialmente de hasta 384 kbps y que finalmente alcanzaron hasta 21 Mb/s (megabits por segundo), con la evolución que se produjo a lo largo de los años (Salas, 2020).

2.2.6.5 LTE

LTE significa Evolución a largo plazo, y no es tanto una tecnología en sí, sino el camino seguido para alcanzar velocidades 4G. Durante mucho tiempo, cuando tu teléfono mostraba

el símbolo “4G” en la esquina superior derecha, realmente no era así. Cuando el UIT-R estableció las velocidades mínimas para 4G, eran relativamente inalcanzables, a pesar de la ingente cantidad de dinero que los fabricantes de tecnología pusieron para lograrlas. Como consecuencia de ello, el organismo regulador decidió que LTE, el nombre dado a la tecnología utilizada en la búsqueda de esos estándares, podría ser etiquetado como 4G si proporcionaba una mejora sustancial con respecto a la tecnología 3G (Mendiola, 2019).

2.2.6.6 Lte-m

LTE-M es la punta de lanza para la conectividad de red de Baja Potencia y Largo Alcance (LPWA, por sus siglas en inglés) y el catalizador para los despliegues de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) a gran escala. Esta red, a diferencia de las opciones de conectividad IoT tradicionales, permite tamaños de módulos más pequeños, costos más bajos, vida de batería más larga y mejor cobertura dentro de los edificios. Y todo eso con un nivel de seguridad similar a aquellos de un operador (Luna, 2018).

2.2.6.7 NB-IoT

Las redes Narrow Band Internet of Things o NB-IoT son una iniciativa de 3GPP o 3rd Generation Partnership Project. El objetivo de esta red es lograr estandarizar los dispositivos IoT para que puedan ser interoperables y fiables. NB-IoT es una tecnología inalámbrica de tipo móvil que emplea la modulación OFDM, por lo cual sus chips son complejos, pero de igual manera sus enlaces son mejores. Esto hace que la complejidad en esta tecnología aumente y además genere un mayor consumo de energía.

Estas redes son empleadas para enviar pequeñas cantidades de datos que son generados por dispositivos IoT. La velocidad de modulación es más rápida que las tecnologías Sigfox y LoRa. Esta tecnología es para dispositivos simples para que se conecten a una red de operadora a través de un espectro licenciado. La gran ventaja de esta tecnología es que no se requiere de gateways o equipos intermedios para lograr la comunicación, ya que emplea las antenas de la telefonía celular.

2.2.6.8 LORAWAN

LoRaWAN es una red de área extensa de bajo consumo (LPWAN) que define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema mientras que la capa física de LoRa habilita el enlace de comunicación de largo alcance. El protocolo y la arquitectura de red tienen más influencia en determinar el tiempo de vida de la batería de un nodo, la capacidad de la red,

la calidad de servicio, la seguridad, y la variedad de aplicaciones atendidos por la red (Technical Marketing Workgroup, 2015). Por lo tanto, LoRa opera en la capa 1 “capa física” del modelo de referencia OSI mientras que LoraWAN es de código abierto y opera en la capa 2 “capa de enlace de datos del modelo OSI. La Figura 19 muestra la pila del protocolo LoRaWAN dentro del modelo OSI.

Capa de aplicación	Aplicaciones de usuarios (HTTP, MQTT)			
Capa de presentación				
Capa de sesión				
Capa de transporte				
Capa de red				
Capa de enlace de datos	MAC LoRa (LoRaWAN)			
	Opciones MAC			
	Clase A	Clase B	Clase C	
Capa física	Modulación LoRa			
	Bandas ISM regionales			
	EU 868	US 915	AU 915	AS 430

Figura 19 Ubicación de LoRa, LoraWAN y las aplicaciones de usuarios en el modelo OSI. Adaptado de “A technical overview of LoRa ® and LoRaWAN ™ What is it?”, por Technical Marketing Workgroup, 2015.

Los elementos de hardware que forman parte de las redes LoRaWAN son los siguientes (Semtech, 2019):

- a) Nodo final: También denominado dispositivo final o mota. Es el elemento que tiene incorporado una interfaz de comunicación de baja potencia LoRa.
- b) Gateway: Dispositivo que retransmite los mensajes provenientes desde los nodos hacia un servidor central y viceversa. Se conecta al servidor LoraWAN mediante una conexión IP (celular o ethernet) y actúa como un enlace directo transformando las señales RF a paquetes y en sentido inverso.
- c) Servidor de red: Servidor que procesa los mensajes recibidos desde los nodos finales. Se encarga de los aspectos de autenticación, encriptación, mensajes duplicados en la red, control de transmisión de los nodos, gestión de tráfico y redirección hacia aplicaciones como plataformas IoT.
- d) Aplicaciones: Son los servidores de aplicación y plataformas IoT. Utilizan la carga útil de los nodos remotos para generar información productiva para los usuarios finales del sistema a través de interfaces gráficas de usuario. La Figura 20 plantea

la arquitectura de red de LoRaWAN.

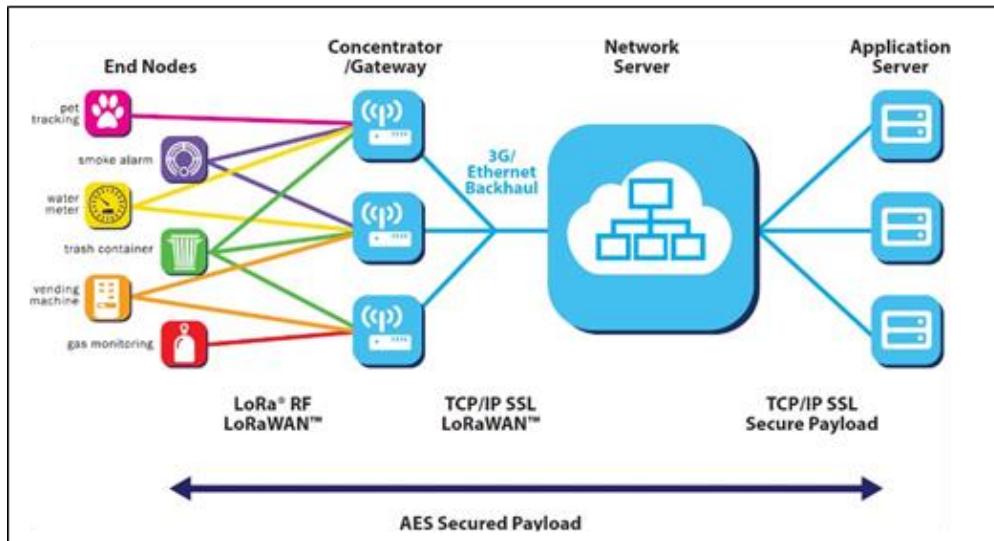


Figura 20. Arquitectura de red LoRaWAN. Adaptado de “LoRaWAN™ What is it?”, por Technical Marketing Workgroup, 2015.

Además, LoRaWAN posee 3 clases de nodos finales con diferentes capacidades (LoRa Alliance, s.f.):

- a) Clase A: Es la clase por defecto para todos los nodos finales LoraWAN. El nodo final inicia la transmisión de acuerdo a la configuración conferida. Luego de enviar una transmisión de subida (uplink), el nodo final genera 2 ventanas de recepción en tiempos específicos, generalmente 1 y 2 segundos después de la transmisión, para recibir transmisiones de bajada (downlink) proveniente desde el servidor de red, dando la oportunidad a que la comunicación sea bidireccional. El servidor de red puede responder en cualquiera de esas 2 ventanas, pero no en ambas. Si el servidor de red no responde en alguna de las 2 ventanas, tendrá que esperar hasta la próxima transmisión del nodo final para enviarle un mensaje (LoRa Alliance, s.f.). En la Figura 21, se muestra el esquema de temporización de recepción para los nodos finales clase A.

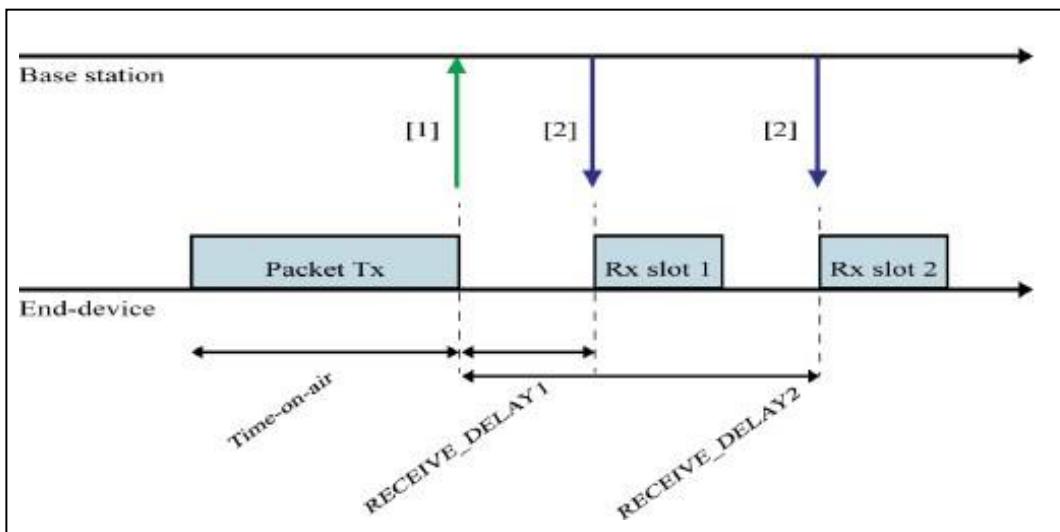


Figura 21. Esquema de temporización para nodos finales clase A. Adaptado de “LoRa TM protocol Evaluations, limitations and practical test”, por Ruano, 2016.

- b) Clase B: Adicionalmente a las capacidades de los nodos finales anteriores, los nodos clase B incorporan rendijas para recepción programadas para recibir mensajes de bajada (downlink) provenientes desde el servidor LoRaWAN, las cuales se activan de forma regular. Esto genera una latencia determinística y un mayor consumo de energía por parte del nodo final (LoRa Alliance, s.f.).
- c) Clase C: En adición a las capacidades de los nodos clase A, los nodos clase C mantienen encendido permanentemente su receptor y únicamente lo apagan para transmitir. Esto reduce la latencia en el downlink, pues el servidor de red puede transmitir en cualquier momento hacia el nodo final. El consumo de energía es elevado y es propicio para aplicaciones que mantienen una fuente de energía constante (LoRa Alliance, s.f.).

La carga útil (payload) del paquete de datos LoRa es procesada por LoRaWAN. Está conformado por 3 campos: MAC Header, MAC payload y MIC. El MAC Header (MHDR) tiene un tamaño de 1 byte y especifica el tipo de mensaje, los cuales pueden ser hasta 8. El MAC payload, también llamado “trama de datos”, contiene una cabecera, un campo opcional denominado port field (FPort) y un campo de carga útil de trama. El código de integridad de mensaje (MIC) es determinado sobre todos los sectores del paquete. En la Figura 22, se muestra la estructura de la carga útil de un mensaje LoRa.

PHY Payload		
1 Byte	1..M Bytes	4 Bytes
MHDR	MACPayload	MIC

Figura 22. MAC Header, MAC payload y MIC de la carga útil del mensaje LoRa. Adaptado de “LoRa TM protocol Evaluations, limitations and practical test”, por Ruano, 2016.

La Figura 23 representa la estructura de una MAC payload.

MAC Payload		
7..23 Bytes	0..1 Bytes	0..N Bytes
FHDR	FPort	FRMPayload

Figura 23. Estructura de carga útil de MAC payload. Adaptado de “LoRa TM protocol Evaluations, limitations and practical test”, por Ruano, 2016.

La alianza Lora (“Lora Alliance”) ha definido planes de canalización regional en base a las bandas de frecuencias asignadas a aplicaciones industriales, científicas y médicas (ISM) en diferentes regiones del mundo. Cada uno de estos planes de canal tiene un conjunto de parámetros técnicos de operación para LoRaWAN en su respectiva región, tales como un rango de frecuencia, número de canales, ancho de banda de canales, ciclo de trabajo, velocidad de datos, potencias de transmisión máxima y carga útil máxima, entre otros (LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup, 2018). En la Tabla 10, se muestra el plan de canalización LoRaWAN a nivel mundial definida por la Lora Alliance.

Tabla 10

Canalización y frecuencias LoRaWAN

Nº	Plan de canal	Nombre común	Rango de frecuencias
1	EU863-870	EU868	863-870 MHz
2	US902-928	US915	902-928 MHz
3	CN779-787	CN779	779-787 MHz
4	EU433	EU433	433-434 MHz
5	AU915-928	AU915	915-928 MHz
6	CN470-510	CN470	470-510 MHz
7	AS923	AS923	923-923.5 MHz
8	KR920-923	KR920	920-923 MHz
9	IN865-867	IN865	865-867 MHz
10	RU864-870	RU864	864-870 MHz

Nota: Se ha realizado un estudio de las frecuencias que utiliza la tecnología LoRaWAN. Elaboración propia.

De acuerdo a la Alianza Lora, el rango de frecuencia en el cual puede operar LoRaWAN en el Perú es 915 - 928 MHz, por lo cual el plan de canalización que le corresponde es el de Australia, el cual es AU915-928 (AU915). Este plan de canalización cuenta con los siguientes canales:

- 64 canales de 125 kHz en el uplink iniciando en 915.2 MHz con un incremento lineal de 200 kHz hasta 927.8 MHz.
- 8 canales de 500 kHz en el uplink iniciando en 915.9 MHz con un incremento lineal de 1.6 MHz hasta 927.1 MHz.
- 8 canales de 500 kHz en el downlink iniciando en 923.3 MHz con un incremento lineal de 600 kHz hasta 927.5 MHz.

En la Figura 24, se muestra los canales definidos para el plan de canalización AU915.

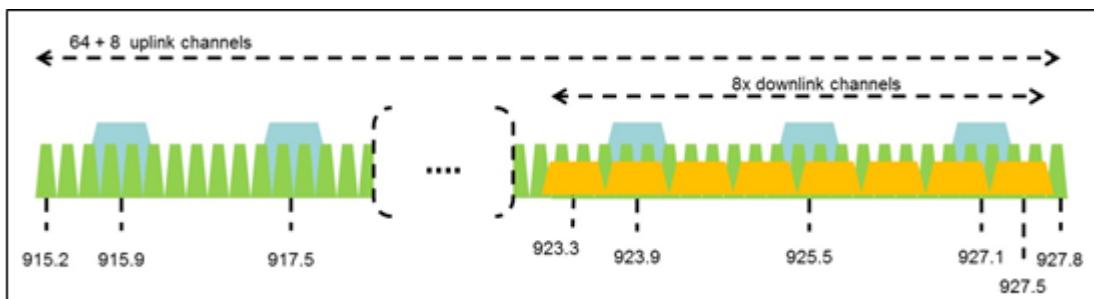


Figura 24. Canalización para plan AU915. Adaptado de “LoRaWAN 1.1 Regional Parameters”, por LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup, 2018.

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima que pueden utilizar los nodos finales en el plan AU915 es de +30 dBm. Asimismo, las velocidades de datos en bits por segundo para cada canal, se logran en base a las configuraciones de factor de ensanchamiento (SF) y anchos de canal (BW). En la Tabla 11, se muestra la velocidad de datos para el plan AU915 para distintas configuraciones.

Tabla 11

Velocidad de datos para el plan AU915.

Velocidad de datos	Configuración	Velocidad de bits física indicativa (bit/s)
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125

5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF8 / 500 kHz	12500
7	Reservado para uso futuro	
8	LoRa: SF12 / 500 kHz	980
9	LoRa: SF11 / 500 kHz	1760
10	LoRa: SF10 / 500 kHz	3900
11	LoRa: SF9 / 500 kHz	7000
12	LoRa: SF8 / 500 kHz	12500
13	LoRa: SF7 / 500 kHz	21900
14	Reservado para uso futuro	
15	Definido en LoRaWAN	

Nota: Se ha realizado el cálculo de la velocidad de datos dependiendo de su configuración. Adaptado de “What is LoRaWAN Specification”, por (LoRa Alliance, s.f.).

Posee implementada un mecanismo denominado Adaptive Data Rate (ADR), en la cual los nodos finales pueden optimizar su tasa de transmisión, tiempo en el aire y consumo de energía. Esta función se activa en los nodos finales LoRaWAN y se utiliza cuando las condiciones de radio frecuencia (RF) son estables. El servidor de red asigna una velocidad de datos óptima en base a las primeras mediciones en el uplink. Para ello considera el contador de tramas, relación señal a ruido (SNR) y cantidad de gateways que reciben las transmisiones del uplink. En base a estos parámetros, asigna a cada nodo final la velocidad de datos más favorable (The Things Network, 2019a). En el Perú, las frecuencias situadas en el rango de 915 y 928 megahercios se consideran como banda no licenciada de acuerdo al decreto supremo N° 6 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del año 2013, el cual sustituyó el vigésimo octavo artículo del reglamento de la ley de telecomunicaciones promulgada mediante decreto supremo N° 20 del MTC en el año 2007. Una potencia máxima de transmisión de 1 watt correspondiente a la potencia efectiva irradiada en la antena se definió para el referido rango de frecuencia. Los usuarios de equipos que utilicen esta banda de frecuencia requieren registrar en el MTC una declaración jurada indicando que éstos han sido modificados para operar únicamente en el intervalo de frecuencias descrito. Asimismo, en el caso de equipos que fueron fabricados para operar exclusivamente en el referido rango de frecuencia, la presentación de la declaración jurada no es aplicable (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

Asimismo, la activación se puede hacer de dos maneras: Activación en el Aire (OTAA), cuando se desea agregar un dispositivo nuevo o, Activación por Personalización (ABP).

Para la Activación en el Aire (OTAA), los dispositivos finales deben seguir un

procedimiento de agregación antes del envío de información con el servidor de red.

Una OTAA requiere que el dispositivo final tenga la siguiente información antes del procedimiento de agregación: un identificador único global (DevEUI), el identificador de aplicación (AppEUI) y la clave AES-128 (AppKey).

- Identificador de Dispositivo Final (DevEUI): Es una identificación global en el espacio de direcciones IEEE EUI64 que identifica de manera única al dispositivo.
- Clave de Aplicación (AppKey): Es una clave AES-128 única del dispositivo. Cuando el dispositivo final realiza una OTAA, se utiliza la AppKey para generar la NwkSKey y AppSKey específicas del dispositivo que son usadas para encriptar y verificar la comunicación con la red.

En cambio, para la Activación por Personalización (ABP), los dispositivos finales pueden ser activados o agregados a la red por personalización. Este procedimiento agrega al dispositivo directamente a la red sin la necesidad de los mensajes de solicitud y aceptación de la red utilizados en la ABP. Esta activación requiere que las claves la DevAddr y las dos claves de sesión NwkSKey y AppSKey estén ya almacenadas en el dispositivo final. Cada dispositivo debe tener NwkSKey y AppSKey únicas, para no comprometer la seguridad de la comunicación de otros dispositivos. Estas claves deben ser creadas de tal manera que no puedan ser calculadas a partir de información pública.

2.2.6.9 Sigfox

Las redes Sigfox son una solución LPWAN de tipo propietario de la empresa francesa que lleva el mismo nombre, esta empresa se identifica como un operador de tecnología IoT. Esta red trabaja en la banda no licenciada o ISM. En Europa trabaja a 858 MHz, en América a 915 MHz y en Asia a 433 MHz. Sigfox gestiona esta red, la cual se basada en su propia tecnología.

El funcionamiento de esta red empieza en el envío de datos por parte de los dispositivos hacia el backend propietario de Sigfox, a partir de allí Sigfox se encarga totalmente de la gestión de la comunicación, lo cual hace que el proceso sea bastante sencillo para los desarrolladores, además para la interacción con el módulo de radio del dispositivo final se proporciona una única API que no requiere configuración alguna. Para empezar en Sigfox solo se necesita adquirir un módulo de radio compatible y estar suscrito a algún plan que la plataforma de Sigfox ofrece (Idiart, 2018). En la Figura 25, se puede ver la arquitectura de una red Sigfox.

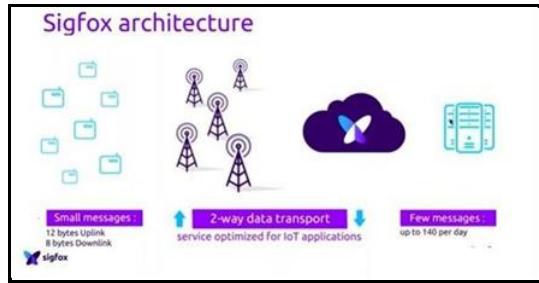


Figura 25. Arquitectura Sigfox. Adaptado de “Redes Colaborativas vs Redes Narrowband”, por Idiart, 2018.

Al ser una tecnología propietaria que funciona sobre su propia red, esto puede generar ciertas limitantes en algunos países en los cuales aún no llega Sigfox, actualmente la red abarca 65 países. De igual manera existe una limitante a la hora del envío de mensajes, ya que solo se pueden enviar hasta 140 mensajes diarios, limitados a 7 mensajes cada hora, la longitud del mensaje no debe sobrepasar los 12 bytes. En lo que se refiere a recepción de mensajes por parte de los dispositivos finales, hay una limitación de 4 transmisiones por día (Idiart, 2018). Por lo que se refiere a costos, tomando como referencia a Estados Unidos que cuenta con cobertura Sigfox y sus costos están publicados en el sitio web de Sigfox, una suscripción anual para el envío de un máximo de 140 mensajes por día puede llegar a costar \$33 dólares por dispositivo.

También, en la Tabla 12 se realiza la comparación de las diferentes tecnologías WAN que se utilizan en internet de las cosas.

Tabla 12

Tecnologías WAN para internet de las cosas

Tecnología	Banda de Frecuencia	Throughput	Ventajas	Desventajas	Consumo	Precio por dispositivo
2G	900 / 1800 MHz	20 kbps	Bajo consumo respecto 3G/4G/5G	Bajo Throughput	Bajo	\$./100
3G	900 / 2100 MHz	2 Mbps	N/A	Alto consumo	Alto	\$./100
4G	800 / 1800 / 2600 MHz	100 Mbps	Throughput elevado	Sigue teniendo un consumo elevado	Medio	\$./100
5G	800 / 1800 / 2600 MHz & 26/28 GHz (redes privadas por el corto alcance de esta banda)	1 Gbps	Bajo consumo, Throughput, eficiencia, latencia ~1ms		Bajo (modo bajo consumo)	\$./100
4G-m	800 / 1800 / 2600 MHz	1 Mbps	Menor consumo batería, latencia 50-100 ms. Más fácil de implantar que NB-IoT	Consumo mayor que NB-IoT. Latencia ~50ms < NB-IoT	Bajo (10 años), como 2G	\$./50
NB-IoT	800 / 1800 / 2600 MHz	20-250 kbps	Bajo consumo, modo para reducir señalización.	Latencia 1,5-10 s	Muy bajo (+10 años)	\$./40
LoraWAN	868 MHz / 915 MHz / 923 MHz	50 kbps	Muy bajo consumo, alcance: Hasta 1000 dispositivos conectados, sin señalización	Bajo throughput, sensibilidad ruido	Muy bajo	\$./30
Sigfox	868 MHz	100-600 bps	Bajo consumo, alta resistencia al ruido. Alcance ligeramente superior que LoraWAN (rápido despliegue), es una compañía de servicios por tanto hay soporte, no como LoraWAN	Bajo throughput	Muy bajo	\$./30

Nota: Se ha realizado un estudio de las diferentes tecnologías WAN. Elaboración propia.

Cada tecnología puede ser aprovechada según la necesidad de solución IoT que se quiera desarrollar. En este caso; las redes LoRaWAN se presentan como una mejor alternativa, en lo que se refiere a consumo de energía y además brinda la facilidad de poder implementarla sin necesidad de pagar alguna suscripción a una empresa de soluciones IoT o una operadora de telefonía. LoRaWAN también posee una gran comunidad incentiva para la cultura Maker para realizar proyectos que se adapten a la necesidad de cada desarrollador. LoRaWAN no tiene limitante geográfica ni depende de un tercero para su uso. Toda su documentación se encuentra en el sitio web de LoRa Alliance lo cual además de facilitar la implementación de una solución de este tipo, permite comprender a detalle el funcionamiento de esta tecnología.

2.2.7 Plataforma IoT

En el tercer nivel de la arquitectura IoT, se encuentran las plataformas computacionales IoT, las bases de datos para el registro histórico y las herramientas de analítica para adquirir conocimiento valioso de la data obtenida. La Figura 26 manifiesta el nivel del procesamiento de la arquitectura detallada.

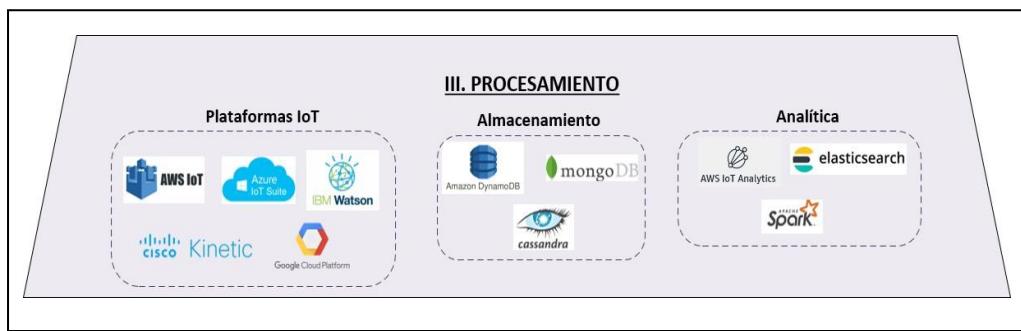


Figura 26. Aplicaciones usadas en la plataforma de IoT. Elaboración propia.

Una plataforma IoT es un conjunto de servicios computacionales que administra la operación de los dispositivos remotos, gestiona las comunicaciones y mecanismos de seguridad, procesa los datos obtenidos y remite la información a múltiples aplicaciones o servicios computacionales. En la Tabla 13 se muestra el cuadro comparativo con las características técnico-económicas de las plataformas en la nube que ofrecen soluciones IoT.

Tabla 13

Análisis técnico comparativo de plataformas IoT.

Especificaciones	Amazon Web Services – IoT Core	Azure – IoT Hub	IBM – Watson IoT Platform
Protocolos	MQTT, HTTP, WEBSOCKET	MQTT, AMQP, HTTPS	MQTT, HTTP
Herramientas de elaboración de software (SDK)	android arduino Yún lenguaje c c++ iOS java javascript python	lenguaje c .net java iOS node.js python	node.js python swift unity .net java
Autenticación	Certificados X.509 Usuarios, grupos y roles IAM Identidades de Amazon Cognito Identidades Federadas	- Certificados X.509 - Tokens	- Watson tokens - IAM tokens - Cloud Foundry authentication (IBM)
Regiones disponibles	Estados Unidos Irlanda Alemania Inglaterra Japón Australia	- Estados Unidos - Canadá	- Estados Unidos - Inglaterra - Alemania

Disponibilidad ofrecida	99.9%	99.9%	99.9%
Formas de licenciamiento	Variable de acuerdo a recursos utilizados	Fijo de acuerdo a número de nodos y mensajes por día	Fijo de acuerdo a instancia utilizada (1,000 nodos/instancia)
Precio referencial	Conectividad = \$0.042 por nodo al año Mensajes = \$1 por millón de mensajes Estado-metadata dispositivos = \$1.25 por millón de operaciones Motor de reglas = \$0.15 por millón de reglas activadas	\$ 25 mensual/nodo	\$ 500 mensual/instancia

Nota: Análisis técnico comparativo de plataformas IoT. Elaboración propia.

Luego de analizar la tabla de las plataformas IoT se verifica que la plataforma de Amazon Web Services – IoT Core utiliza los mismos protocolos que serán usado en el presente proyecto de investigación. A continuación, se describen los principales protocolos de mensajería IoT y las herramientas utilizadas en el presente proyecto.

2.2.7.1 Protocolos de Mensajería para IoT

Existen diversos protocolos de mensajería para aplicaciones de IoT, que ofrecen características eficaces, seguras y escalables en la administración de datos. Entre ellos tenemos:

a) Transporte de Telemetría de cola de mensajes (MQTT)

Protocolo para circulación de mensajes ligero muy sencillo fundamentado en suscribir y publicar, creado para terminales restringidos y conexiones no confiables, con alta latencia y bajo ancho de banda. Busca reducir el uso de los recursos de red y los requerimientos de servicios del terminal mientras asegura confiabilidad y algún grado de certeza en la entrega. Fue inventado en 1999 por Andy Stanford Clark y Arlen Nipper. Desde el año 2014 se encuentra estandarizado por la Organización para el Avance de las Normas de Información Estructurada (OASIS, por sus siglas en inglés). Los puertos TCP/IP 1883 se encuentran reservados para el protocolo MQTT por la Autoridad de Asignación de Números de Internet (IANA, por sus siglas en inglés) (MQTT, s.f.).

La arquitectura del protocolo MQTT cuenta con los siguientes elementos:

- Broker: Es el elemento principal del sistema encargado de poner en cola los mensajes recibidos desde los publicadores y transmitir mensajes hacia los clientes suscriptores.
- Cliente: Los clientes pueden ser de 2 tipos: publicadores o suscriptores. Los publicadores pueden transmitir mensajes utilizando un topic. Similarmente, los suscriptores pueden recibir mensajes correspondientes a un determinado topic.
- Topic: Es una ruta a través de la cual los clientes pueden suscribirse o publicar mensajes específicos. Cada transmisión en el sistema se basa en un topic en particular.

En la Figura 27 se muestra un diagrama de operación correspondiente al protocolo MQTT.

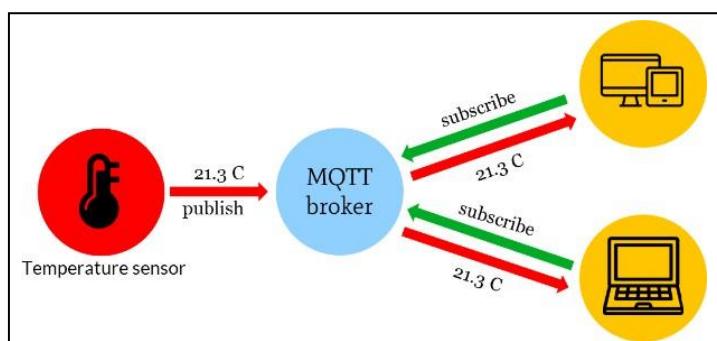


Figura 27. Funcionamiento del protocolo MQTT. Adaptado de “What is MQTT”, por MQTT, s.f.

b) Protocolo de Aplicación restringida (CoAP)

CoAP es un protocolo de transferencia web empleado en nodos restringidos y redes limitadas pertenecientes al ecosistema IoT. Está basado en el RFC 7252 y utiliza el

modelo de Transferencia de Estado Representacional (REST). Dispone de una cabecera de 4 bytes y los formatos de datos soportados son XML, JSON, CBOR, entre otros. Hace uso del protocolo UDP sobre IP y utiliza el protocolo Seguro en el Nivel de Transporte de Datagrama (DTLS) como mecanismo de seguridad (Bormann, 2021).

c) Protocolo de colas de mensaje avanzado (AMQP)

El protocolo de colas de mensaje avanzado (AMQP) es un esquema estandarizado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) con la numeración ISO/IEC 19464. Es un protocolo de comunicación orientado a mensajes con control de flujo. El protocolo envía los datos en forma de tramas de manera serial a través de canales virtuales asociados a los clientes. Cada mensaje remitido consta de un identificador único (Lea, 2018).

2.2.7.2 AWS EC2

Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) es un servicio web que proporciona capacidad informática en la nube segura y de tamaño modifiable. Está diseñado para simplificar el uso de la informática en la nube a escala web para los desarrolladores. En la Figura 28 se muestra el panel de control de la VPS creada en Amazon EC2.

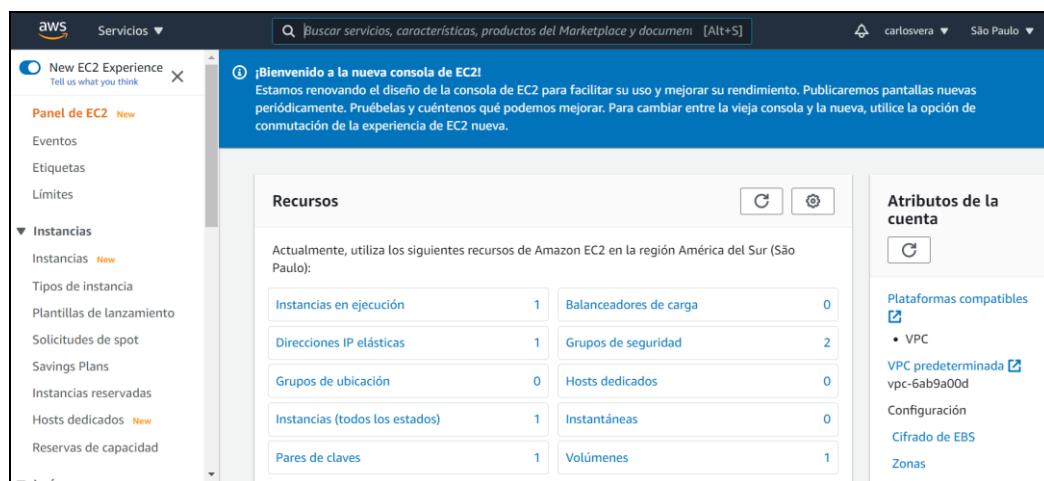


Figura 28. Panel de EC2 con una instancia en ejecución. Elaboración propia.

Amazon EC2 permite aumentar o disminuir la capacidad en minutos, no en horas ni en días. Puede encargar una, cientos o incluso miles de instancias de servidor simultáneamente. También puede usar Auto Scaling de Amazon EC2 para conservar la disponibilidad de su flota de EC2 y aumentar o disminuir automáticamente la escala de la flota en función de sus

necesidades para maximizar el nivel de rendimiento y minimizar los costos. Para ajustar la escala de varios servicios, puede usar AWS Auto Scaling (Amazon Web Services, 2021).

2.2.7.3 EMQ X Broker

EMQ X es un agente de mensajes MQTT distribuido altamente escalable y extensible escrito en Erlang / OTP. Ya sea que se necesite para una configuración experimental o para la creación de prototipos de una pequeña aplicación SME o incluso para una implementación comercial a gran escala, EMQ X Broker es de código abierto para todos. Cualquiera puede acceder al código fuente de EMQ X Broker en GitHub y descargar paquetes binarios. EMQ X Broker se puede implementar en cualquier lugar, desde dispositivos de borde x86/ARM con recursos limitados hasta nubes privadas, híbridas y públicas (EMQ, 2021).

En la Figura 29 se muestra la imagen de la página web del MQTT Broker.

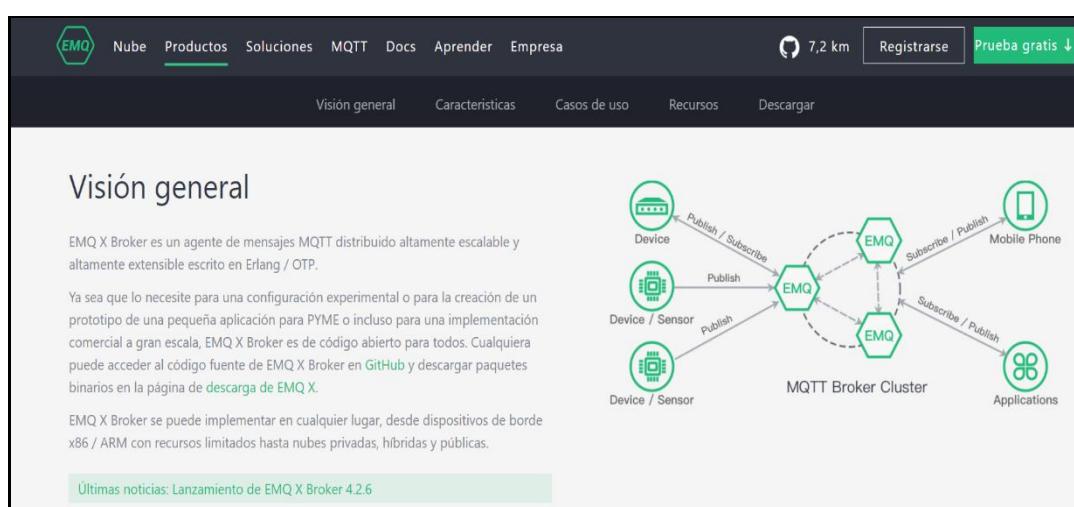


Figura 29. Página Web del funcionamiento del MQTT bróker. Adaptado de “EMQ X Broker”, por EMQ, 2021.

2.2.7.4 HeidiSQL

HeidiSQL es software libre y tiene el objetivo de ser fácil de aprender. "Heidi" le permite ver y editar datos y estructuras desde computadoras que ejecutan uno de los sistemas de bases de datos MariaDB, MySQL, Microsoft SQL o PostgreSQL. Inventado en 2002 por Ansgar, con un pico de desarrollo entre 2009 y 2013, HeidiSQL pertenece a las herramientas más populares para MariaDB y MySQL en todo el mundo (HeidiSQL, 2021).

Esta herramienta administra privilegios de usuario, crea, edita tablas, vistas, rutinas almacenadas, disparadores y eventos programados, se enlaza a través del túnel SSH o

mediante la configuración del puerto para SSL (HeidiSQL, 2021). En la Figura 30 se muestra la imagen de la página web del gestor de base de datos HeidiSQL.

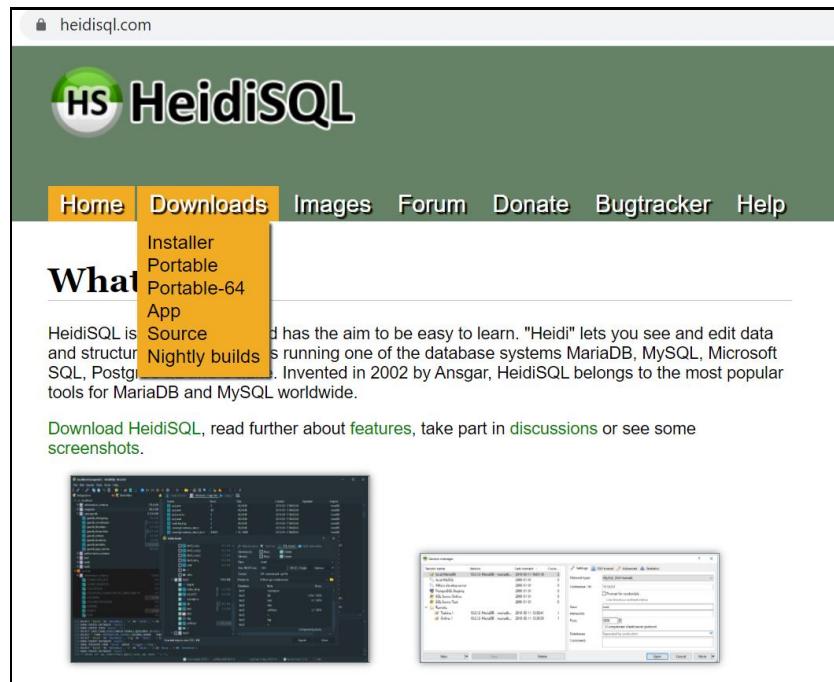


Figura 30. Página web del gestor de base de datos HeidiSQL. Adaptado de “What's this”, por HeidiSQL, 2021.

2.2.7.5 ATOM

Esta plataforma de edición de textos es increíblemente flexible y poderosa, lo que la diferencia de otras aplicaciones web tradicionales es que ya está diseñada para ser un editor de texto en lugar de un navegador web.

Una de sus ventajas es que cada ventana es visualizada localmente a la página web, también cuenta con todas las API disponibles para una aplicación Node.js también están disponibles para el código que se ejecuta en el contexto de JavaScript de cada ventana. Este híbrido entrega un Experiencia de desarrollo realmente exclusiva del lado del cliente. En la Figura 31 se muestra la imagen de la página web del editor de texto ATOM.

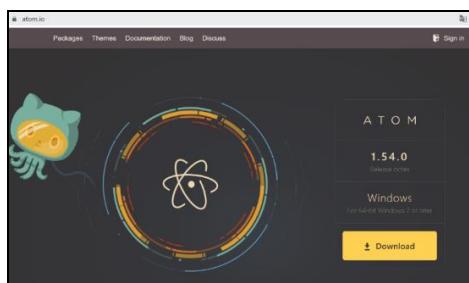


Figura 31. Página web de instalación del editor de texto ATOM. Elaboración propia.

2.2.7.6 Google Maps Platform

“Google Maps Platform es una interfaz de programación de las APIs de Google Maps. Por medio de esta herramienta es posible implementar mapas y funciones asociadas a Google en sus aplicaciones y sitio web” (Maplink, 2020). “Esta herramienta hace uso de la más poderosa y completa plataforma de mapeo de Google. En ella puede desarrollar procesos interactivos, creando experiencias verdaderamente increíbles. Igualmente, es posible utilizar recursos como” (Maplink, 2020) :

- Mapas con estilo.
- Street View.
- Imágenes de satélites.
- Sistema de rutas.

En la Figura 32 se muestra la imagen de la página web de Google Maps Platform.

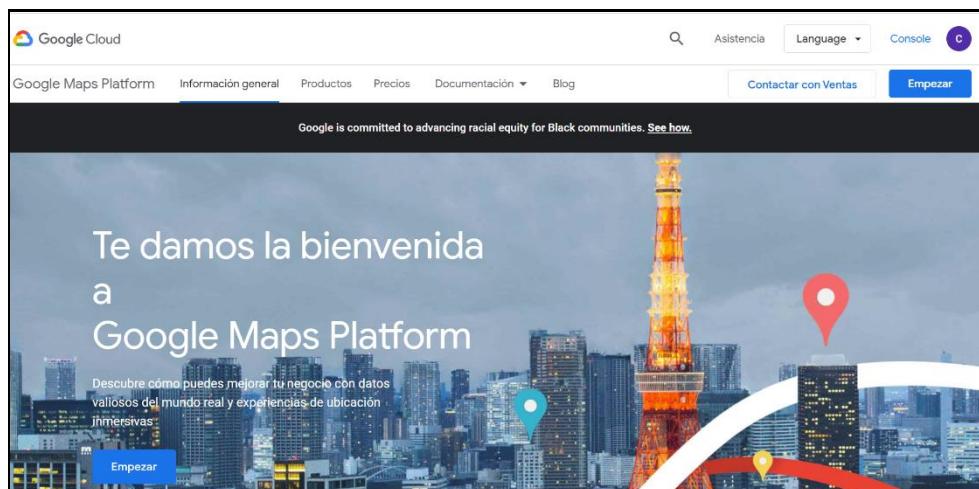


Figura 32. Página web de Google Maps Platform. Elaboración propia.

2.2.7.7 Node JS

Node.js es un entorno de tiempo de ejecución de JavaScript (de ahí su terminación en .js haciendo alusión al lenguaje JavaScript). Este entorno de tiempo de ejecución en tiempo real incluye todo lo que se necesita para ejecutar un programa escrito en JavaScript (Lucas, 2019). También aporta muchos beneficios de solución a muchos problemas. “Node.js utiliza un modelo de entrada y salida sin bloqueo controlado por eventos que lo hace ligero y eficiente (con entrada nos referimos a solicitudes y con salida a respuestas)” (Lucas, 2019). Por lo tanto, puede relacionarse a cualquier operación, desde leer o escribir archivos de cualquier tipo hasta realizar una solicitud HTTP.

En la Figura 33 se muestra la imagen de la página web de servicio Node JS.



Figura 33. Página de descarga de Node JS. Elaboración propia.

3 CAPÍTULO 3: ANALISIS DEL PROBLEMA

El presente capítulo se identificarán los problemas que afectan a la organización objetivo y al campo de acción en cuanto al almacenamiento y recolección de residuos sólidos, asimismo, determinar los requerimientos necesarios para llevar a cabo el diseño de la solución.

3.1 Problema para resolver

3.1.1 Proponer la ubicación, la capacidad y la cantidad de contenedores inteligentes que podrían ser utilizados en la urbanización San Diego Vipol.

Problemática:

- La presencia de puntos críticos por la inadecuada colocación de residuos sólidos.
- Los camiones de basura no pueden acceder a las calles de la urbanización por estar cerradas con rejas y tranqueras.

Requerimientos:

- El contenedor debe estar ubicado fuera de las calles que se encuentran cerradas por rejas o tranqueras.
- El contenedor debe tener tapa plana y pedal, ya que este mecanismo permite que el contenedor siempre permanezca cerrado y además evita que las personas se contaminen al manipular la tapa del contenedor.
- Los Contenedores deben estar ubicados como mínimo a 50 metros y como máximo a 100 metros del habitante más lejano.

- El contenedor no debería superar el 1.5 m de ancho, ya que las bermas centrales abarcan estas medidas, y la altura tampoco debería sobrepasar el 1.70m.

La Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios en San Martín de Porres es de 0.611 Kg/hab/día, el Ministerio del Ambiente - MINAM en su “Informe Anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú – Gestión 2009”, en su página 42 indica que “de acuerdo a lo sugerido en el documento de la OPS , para estimar la generación distrital de residuos, se considera que el 20% de lo que se genera en los domicilios equivale a lo generado por la actividad de almacenamiento público (barrido, papeleras, depósitos de almacenamiento de residuos), mientras que el 30% equivale a lo generado por comercio, instituciones entre otros residuos municipales; con lo cual se estima que la generación per cápita de residuos sólidos municipales del distrito de San Martín de Porres asciende a 0.917 Kg/hab/día. En la siguiente Tabla 14 se muestra la Generación per cápita de residuos sólidos municipales de distrito de San Martin de Porres por estrato y distrital.

Tabla 14

Gpc por estrato y distrital (Kg/hab/día).

Ítem	Estrato	GPC por estrato
	Socioeconómico	(Kg/hab/día)
1	Medio Alto	0.684
2	Medio	0.61
3	Medio Bajo	0.588
4	Bajo	0.587
<i>PROMEDIO DISTRITAL</i>		0.611

Nota: se ha realizado un estudio de generación y caracterización de residuos sólidos del distrito de San Martín de Porres. Adaptado de “PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN MARTÍN DE PORRES” por MDSMP, 2014.

De la tabla anterior se deduce que el estrato Socioeconómico medio y medio alto son los que generan mayor cantidad de residuos sólidos debido a su alto consumismo. Asimismo, la composición física general de los residuos sólidos domiciliarios del distrito San Martín de Porres presenta la siguiente composición de residuos sólidos. En la Tabla 15 se muestra la composición física de los residuos sólidos domiciliarios.

Tabla 15

Composición física de residuos sólidos domiciliarios

COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (%PESO)					
Tipo de residuos sólidos	Estrato Bajo	Estrato Medio Bajo	Estrato Medio	Estrato Medio Alto	Distrital
Materia Orgánica	49,27%	52,73%	59,79%	69,97%	58,90%
Madera, Follaje	4,68%	4,59%	1,35%	0,34%	2,04%
Papel	2,57%	3,39%	3,97%	5,34%	3,92%
Cartón	2,44%	1,44%	1,56%	1,39%	1,56%
Vidrio	1,70%	2,31%	2,09%	1,20%	2,03%
Plástico PET	0,99%	0,76%	2,10%	1,04%	1,68%
Plástico Duro	2,66%	2,03%	1,80%	0,76%	1,79%
Bolsas	3,95%	2,96%	2,77%	1,63%	2,76%
Tetrapak	0,32%	0,26%	0,35%	0,16%	0,31%
Tecnopor y similares	0,29%	0,64%	0,73%	0,31%	0,65%
Metal	0,32%	0,19%	0,44%	0,20%	0,36%
Telas, textiles	4,08%	2,17%	2,05%	0,67%	2,04%
Caucho, cuero, jebe	1,26%	0,87%	0,67%	0,41%	0,71%
Pilas	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
Restos de medicinas, focos, etc.	0,36%	0,09%	0,20%	0,13%	0,18%
Residuos Sanitarios	7,07%	11,65%	11,52%	8,15%	11,00%
Residuos Inertes	5,52%	5,04%	2,26%	1,46%	2,88%
Envolturas	1,09%	0,96%	1,37%	0,67%	1,21%
Latas	1,18%	0,95%	1,45%	1,09%	1,30%
RAEE	0,36%	0,04%	0,45%	0,11%	0,33%
Huesos	2,56%	1,47%	1,58%	1,11%	1,56%
Otros	7,31%	5,47%	1,50%	3,86%	2,78%

Nota: Estudio de Generación y Caracterización de residuos sólidos del distrito de San Martín de Porres.

Adaptado de “PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN MARTÍN DE PORRES”, por MDSMP, 2014.

A continuación, se muestra en la Figura 34 la composición física de los residuos sólidos domiciliarios.

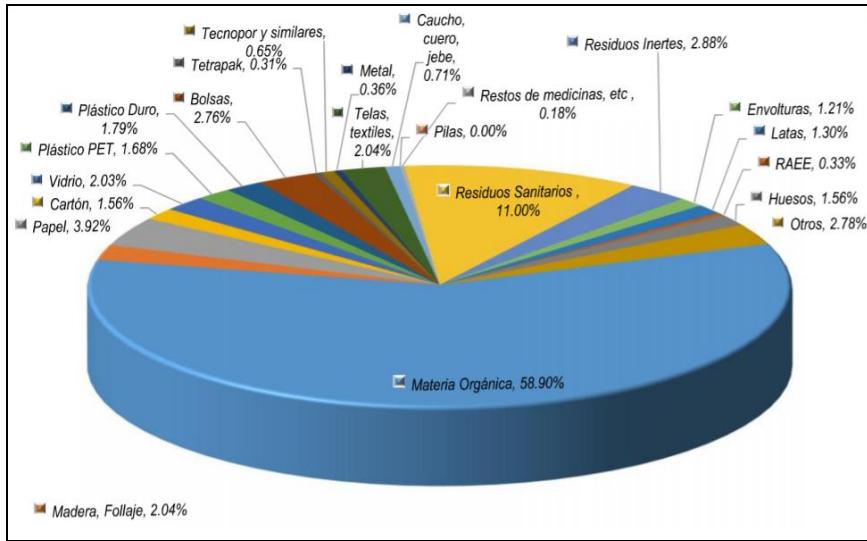


Figura 34. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios. Adaptado de “ PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS 2016 – 2021”, por MDSMP, 2016.

En la Urbanización San Diego Vipol existen quejas de los vecinos de que no se realiza el “campaneo” para alertarlos de que deben sacar la basura y que el vehículo recolector pasa demasiado rápido y sin detenerse, por lo que no llegan a entregar su basura (MDSMP, 2016). También, si existe un tiempo muy prolongado de exposición de los residuos sólidos en la vía pública o al estar inadecuadamente almacenada genera que los canes y recicladores manipulen estos residuos muchas veces dispensándolos en la calle generando con ello la contaminación del ambiente con olores desagradables, contaminación del suelo y dificultando y encareciendo las actividades de barrido, generando un impacto visual desagradable y sin duda existe un riesgo a la salud en la población. En la Figura 35 y 36 se muestran los puntos críticos en la etapa 1 y 2 de la urbanización San Diego Vipol.

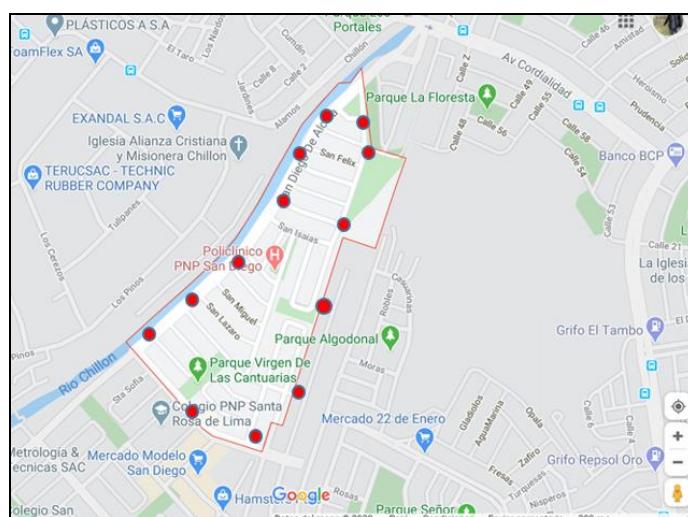


Figura 35. Puntos críticos en la urbanización San Diego Vipol etapa 1. Elaboración propia.

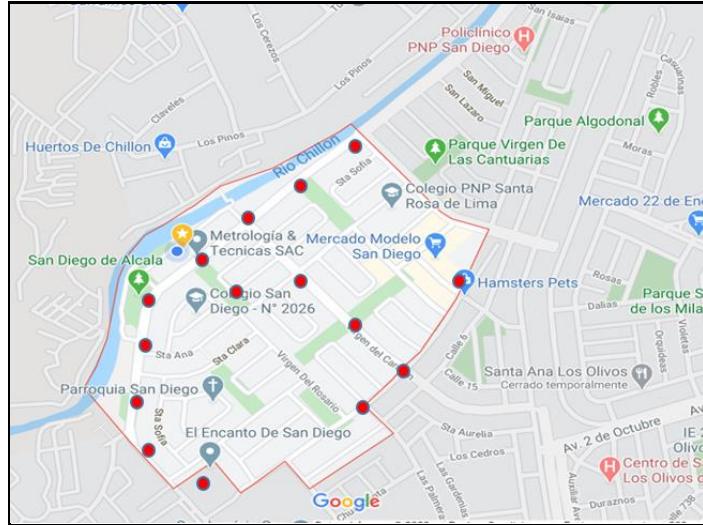


Figura 36. Puntos críticos en la urbanización San Diego Vipol etapa 2. Elaboración propia.

De las figuras anteriores se puede determinar que los puntos críticos en la urbanización San Diego Vipol se encuentran en la Av. San Diego de Alcalá, la Av. Virgen del Carmen y la Av. Santísima Cruz. En la Figura 37 se muestran las bolsas de basura depositadas en la vereda de la Av. San Diego de Alcalá.

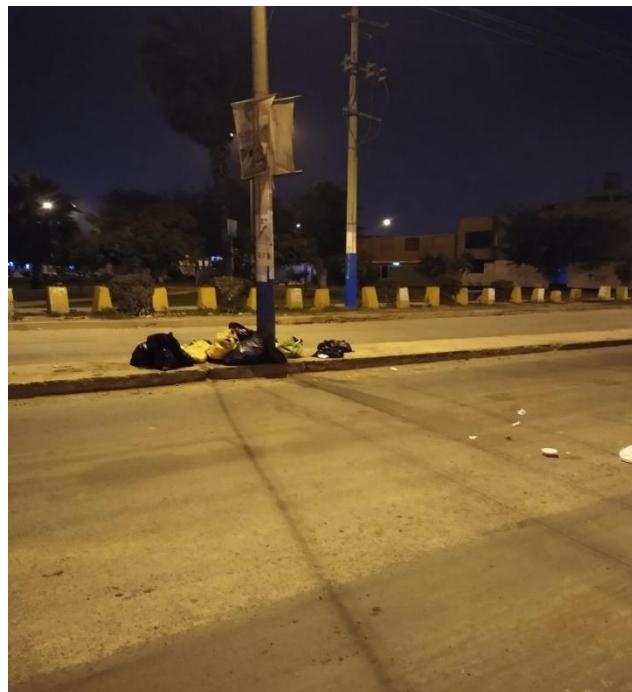


Figura 37. Bolsas de basura que son abandonadas y esparcidas por los canes en la Av. San Diego de Alcalá. Elaboración propia.

Actualmente, en el distrito de San Martín de Porres existen 50 zonas de recolección de recolección de residuos sólidos en donde la urbanización San Diego Vipol se encuentra

ubicada en la zona de recolección N° 27. Asimismo, la municipalidad San Martín de Porres paga por cada tonelada 95 soles y cada camión de basura tiene una capacidad máxima de carga de 12 toneladas. Por lo tanto, se estima que cada camión recolector ocasiona un gasto diario de 1,140 soles en cada zona de recolección. Además, se estima que cada camión que carga 12 toneladas de basura se demora aproximadamente 10 horas para completar su carga y esto se debe a que se realizan recorridos no planificados y que existen calles de difícil acceso, debido a que están cerradas por rejas y tranqueras dificultando el recojo de basura casa por casa. En la Figura 38 se muestra la imagen de una calle cerrada en la intersección de la Av. San Diego del Alcalá con San Lázaro.



Figura 38. Calle cerrada impidiendo el acceso de los camiones recolectores de residuos sólidos. Elaboración propia.

En la Figura 39 se muestra imagen de una tranquera ubicada en el cruce de la Av. San Diego de Alcalá con Virgen del Carmen.

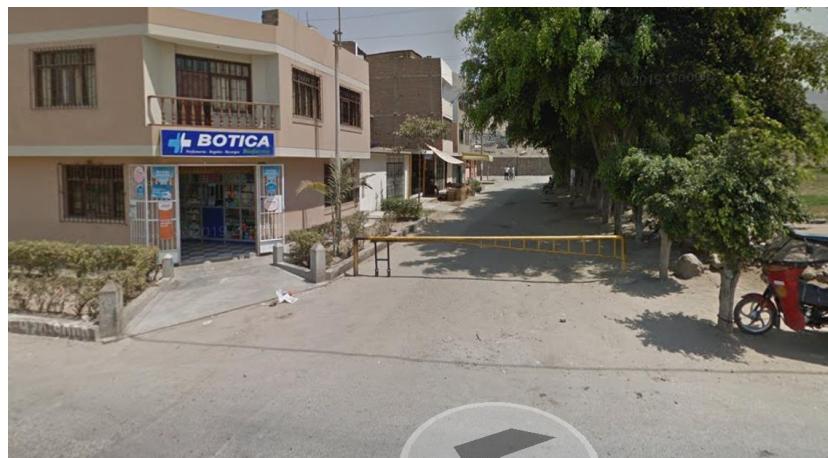


Figura 39. Tranquera impidiendo el acceso del camión recolector de basura en la Av. San Diego de Alcalá con Virgen del Carmen. Elaboración propia.

Asimismo, la municipalidad de San Martín de Porres debería gestionar la implementación un sistema adecuado de almacenamiento público de residuos sólidos, que permita solucionar los problemas que se vienen presentando. A continuación, se mencionan los principales problemas de almacenamiento en el distrito de San Martín de Porres:

- El almacenamiento de los residuos sólidos intradomiciliario se realiza en muchos casos de forma inadecuada; los recipientes varían desde cajas de cartón, baldes y bolsa de plástico desechables, los cuales no son suficientemente resistentes para contener la basura almacenada y representan un problema una vez que son dejados en la acera de los predios debido a la presencia de canes que destrozan los recipientes en la búsqueda de comida dispersando la basura en toda la calle, igual situación es generada por los recicladores informales.
- También se presentan problemas en el almacenamiento de los residuos sólidos generados por los condominios, edificios multifamiliares que, pese a contar con un área destinada al almacenamiento temporal de los residuos sólidos no son los más adecuados por ser espacios pequeños, ubicados cerca de departamentos, escasa ventilación y presentan problemas a los residentes más cercanos que se quejan por los malos olores, ruidos molestos y otros aspectos sanitarios.
- El almacenamiento en los mercados se realiza en cilindros de metal generalmente sin tapas y en número insuficiente para almacenar la cantidad total de residuos sólidos que generan.
- Las papeleras que se encuentran en los parques y avenidas principales del distrito que funcionan para el almacenamiento de los residuos sólidos, se les da un uso inadecuado al ser utilizado por muchos vecinos como depósito de los residuos sólidos generados en sus viviendas cuando su uso está restringido como papeleras a los usuarios del parque o transeúntes de las calles.
- En el distrito existen muchos establecimientos dedicados a la prestación de atenciones de salud tanto públicos como privados que generalmente hacen uso del sistema convencional de recolección y no efectúan un adecuado almacenamiento de los residuos sólidos que generan diferenciando los residuos comunes de los peligros lo cual representa un riesgo a la salud de los trabajadores que prestan el servicio de recolección.

- El personal del servicio de barrio de calles realiza un almacenamiento de los residuos de barrio en bolsas negras de 140 litros de alta densidad (de 2 a 3 bolsas por barredor) los cuales son dejados en la vía pública y no siempre en los puntos de recogida señalados por lo que su permanencia en la vía pública se prolonga al no ser recogido por el vehículo camión compactador de repaso y el camión baranda destinado para tal fin.

3.1.2 Diseñar el prototipo de un contenedor inteligente que sea capaz de determinar su nivel y ubicación y que utilice la arquitectura LoRaWAN y sensores de bajo costo.

Problemática:

- Contenedores de residuos sólidos desbordados.
- Robo de contenedores.

Requerimientos:

- El contenedor debe ser capaz de medir el nivel de residuos sólidos.
- El contenedor debe enviar su ubicación cada intervalo de tiempo.
- Alimentación autónoma energética.
- Dispositivo capaz de acoplarse al contenedor.
- Capaz de funcionar en la red LoRa.
- El prototipo debe ser escalable para poder agregar otros sensores.

Actualmente, la municipalidad de San Martín de Porres brinda los servicios de camiones recolectores de basura y personal para los trabajos de limpieza de las calles, pero no son suficientes. Asimismo, la existencia de un inadecuado y deficiente sistema de almacenamiento intradomiciliario y público para los residuos sólidos representa un riesgo y propicia la aparición de vectores (moscas, roedores, cucarachas, etc.) que son el medio para transmitir enfermedades (respiratorias, estomacales, alergias e infecciones a la piel, etc.). En la Figura 40 se muestran las posibles causas y sus efectos del problema de la acumulación de basura.



Figura 40. Causas y efectos de la acumulación de residuos sólidos. Elaboración propia

Actualmente la municipalidad de San Martín de Porres ha colocado contenedores de basura en lugares estratégicos, pero no son suficientes para albergar todo el distrito. Además, estos contenedores son colocados a la intemperie y no cuentan con sistema de monitoreo por lo que son dañados por depósitos de desmonte y también llegan a ser robados, ya que solo están sujetos a una cadena. En la Figura 41 se muestra la imagen del tipo de contenedor utilizado por la Municipalidad de San Martín de Porres para la recolección de residuos sólidos.



Figura 41. Contenedor de Basura del distrito de San Martín de Porres sujetado a cadena y sin tapa. Adaptado de “Coloca la Basura en su lugar”, por MDSMP, 2016a.

Asimismo, la gestión inadecuada de los residuos sólidos afecta la economía familiar por incremento innecesario del costo de los arbitrios municipales, deteriora la imagen de la institución municipal, del distrito y disminuye la calidad de vida de sus ocupantes, afectando el valor de los inmuebles y reduce el atractivo comercial y residencial y esto afecta a toda la

economía local. En la Figura 42 se muestra la imagen de contenedores de residuos sólidos llenos.



Figura 42. Contenedores desbordados por la acumulación de basura. Elaboración propia.

3.3.3 Diseñar un sistema que permita monitorear y almacenar los datos obtenidos de los sensores ubicados en el nodo final.

Problemática:

- La sub gerencia de limpieza pública de la municipalidad de San Martín de Porres carece de un sistema que permita monitorear el nivel y la ubicación de los contenedores de residuos sólidos.

Requerimientos:

- Mapa para el monitoreo de nivel y ubicación de los contenedores de residuos sólidos domiciliarios.
- Sistema que pueda almacenar los datos obtenidos de los sensores.
- Los datos enviados de los nodos finales deben actualizarse cada 10 segundos.
- El usuario debe estar registrado para acceder al sistema.

La prestación del servicio de recolección de residuos sólidos se brinda en el distrito de forma mixta es decir 10% de la cobertura se realiza con el equipamiento de la Municipalidad y 90% de la cobertura se realiza a través de la EPS-RS REPRESENTACIONES PERUANAS DEL SUR S.A -REPERSA contratada para tal fin. Actualmente se recolecta alrededor de 800

toneladas diarias de las cuales 100 toneladas de residuos sólidos por parte de la Municipalidad y 700 toneladas por parte de la empresa siendo ejecutados y monitoreados por la Sub Gerencia de Limpieza Pública que forma parte de la Gerencia de Servicios Públicos y Gestión Ambiental. Asimismo, cabe precisar la recolección de residuos sólidos (maleza) producto de los trabajos de mantenimiento de parques y jardines son recolectados y transportados con una unidad Camión de Baranda por administración directa, siendo ejecutados y monitoreados por la Subgerencia de Parques y Jardines.

En los últimos años el servicio de recolección de residuos sólidos se venía prestando a través de 36 zonas generando en promedio 15 toneladas cada uno y con una frecuencia diaria de recogida, Sin embargo, este servicio no era prestado igual en todo el distrito sobre todo en la zona de la Agencia Santa Rosa y Chuquitanta donde existían zonas de servicio que tenían una frecuencia de servicio variable diaria, inter diaria 2 veces por semana hasta 1 vez por semana. Esta situación se ha corregido a partir del año 2015 habiéndose desdoblado algunas zonas de servicio en función a la capacidad de carga de las unidades de la nueva empresa que asumió la prestación del servicio a partir del mes de abril del 2015 y se incrementó la frecuencia de recolección en la zona de expansión generándose un incremento en el volumen de recolección

A partir del año 2016 se viene trabajando en la reestructuración de zonas pasando de 36 zonas a 50 zonas haciendo que la generación por zonas sea de aproximadamente 12 toneladas equiparando la capacidad de los vehículos que prestan servicio en el distrito con el objetivo de cubrir el 100% del distrito y homogenizar la frecuencia de recolección diaria en todo el distrito. En la Figura 43 se muestran las 50 zonas de recolección de residuos sólidos.



Figura 43. División de zonas para la Recolección de Residuos Sólidos. Adaptado de “Plan de manejo de residuos sólidos 2016 – 2021”, de MDSMP, 2016b.

Actualmente, el monto contratado con EPS REPRESENTACIONES PERUANAS DEL SUR S.A. (REPERSA) es de s/ 95 soles por tonelada de residuos sólidos por realizar el servicio de recolección, transporte y disposición final. En el distrito de San Martín de Porres existen 50 zonas de recolección de residuos sólidos en donde la urbanización San Diego Vipol se encuentra ubicada en la zona de recolección N° 27. Asimismo, la municipalidad San Martín de Porres paga por cada tonelada 95 soles y cada camión de basura tiene una capacidad máxima de carga de 12 toneladas. Por lo tanto, se estima que cada camión recolector ocasiona un gasto diario de 1,140 soles en cada zona de recolección.

En la Urbanización San Diego Vipol como en otras zonas existen puntos críticos en donde el servicio de recolección de residuos sólidos no está llegando con la frecuencia establecida, esto es porque el personal del servicio no respeta el itinerario de recolección al recoger otro tipo de material que no tiene nada que ver con la basura domiciliaria y de esa manera llenan el camión más rápido o algunos días las unidades sufren problemas mecánicos y no cumplen con su itinerario normal de recolección sobre todo en las zonas de acumulación de residuos sólidos domiciliarios.

4 CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

La propuesta técnica busca resolver la problemática planteada mediante una alternativa tecnológica fundamentada en el internet de las cosas empleando LoRaWAN. Para lo cual se establecieron criterios y consideraciones para el diseño de la propuesta técnica, así como una arquitectura general del diseño, la ubicación de los contenedores y una descripción de los componentes que forman parte del sistema planteado.

4.1 Criterios para el diseño de la solución

El diseño del requerimiento se sustentó en los siguientes criterios y consideraciones:

4.1.1 Cálculo de volumen de contenedor inteligente

El cálculo del volumen es necesario, debido a que con ese parámetro se deben definir los elementos del contenedor, como sus características. Por lo que para el cálculo se toma como referencia el estudio de (Melgarejo, 2018).

En primer lugar, tomamos de referencia la generación per cápita de residuos sólidos urbanos en el distrito de San Martín de Porres según el estudio de caracterización de residuos sólidos (ECRS, 2016), dando como resultado una cantidad de 0.611 kg/hab./día. Para fines de cálculo se redondea a la cantidad de 0.7 kg/hab./día. En segundo lugar, se toma como referencia la cantidad de personas que habitan una vivienda (lote), según el último censo nacional del 2017, realizado por (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática INEI, 2018) es de “El promedio de miembros del hogar fue casi similar en el área urbana (**3,7 personas**) y en el área rural (3,6 personas). Para fines de cálculo se redondea a la cantidad de 4 personas por vivienda.

En tercer lugar, se realiza una multiplicación entre la generación per cápita de residuos sólidos urbanos: 0.611 kg/hab./día y la cantidad de personas por vivienda, dando como resultado: 2.8kg/vivienda por día.

En cuarto lugar, se realiza un estimado de la cantidad de viviendas (lotes), que cubrirá un contenedor, en este cálculo también considera a las viviendas de otras manzanas que se encuentran a los costados, dando como promedio 4 kg de basura al día. En quinto lugar, se toma como referencia lo indicado en el estudio de (MELGAREJO QUIJANDRÍA, 2018), donde calcula el volumen de las bolsas con residuos por día, e indica el peso de cada bolsa, es decir aproximadamente:

$$1 \text{ bolsa de polietileno} \rightarrow 4 \text{kg de residuos} \rightarrow 140 \text{ litros} \rightarrow 0.14 \text{ m}^3$$

En sexto lugar, según el número de viviendas establecidos por manzana realizada en la tabla 7, nos da un promedio de 45 viviendas (lotes) por manzana.

En séptimo, se realiza una regla de tres simples entre la cantidad de viviendas y el volumen de residuos generados por cada una, dando un total de **6.30 m³**, el cual debe ser la capacidad mínima del contenedor, para temas de diseño se recomienda aproximar a **7 m³**.

En octavo lugar, se especifica las dimensiones del contenedor: altura (h), largo (l) y ancho (a). Según el recorrido en campo realizado, se recomienda que el ancho no debe superar el **1.5 m**, debido a que las bermas centrales abarcan estas medidas, la altura se recomienda que no sobre pase el **1.70m**, y el largo varía según el tipo de contenedor. En la figura 44 se muestra las características técnicas de los contenedores de residuos sólidos.

The table provides the following data:

VOLUMEN	400 L	800 L	1.000 L	1.100 L TP
A	1 050 mm	1 215 mm	1 200 mm	1 205 mm
B	1 145 mm	1 320 mm	1 295 mm	1 330 mm
C1	780 mm	775 mm	1 070 mm	1 075 mm
C2	835 mm	835 mm	1 105 mm	1 125 mm
D	820 mm	1 265 mm	1 265 mm	1 245 mm
E	440 mm	855 mm	860 mm	860 mm
F	440 mm	470 mm	740 mm	740 mm
PESO	25 kg	41 kg	56 kg	65 kg
CARGA ÚTIL	160 kg	310 kg	400 kg	440 kg

Figura 44. Medidas de los diferentes contenedores de residuos sólidos. Elaboración propia.

Luego de analizar las diferentes características técnicas de los contenedores de residuos sólidos se elige al contenedor de 1100 L con tapa plana y pedal, ya que cumple con las recomendaciones en cuanto al ancho, alto y largo y soporta mayor carga útil. En la Figura 45 se muestra la imagen del contenedor de 1100 litros con tapa plana y pedal.



Figura 45. Contenedor propuesto con tapa plana y pedal. Elaboración propia.

En la Tabla 16 se muestra las características del contenedor de 1100 litros con tapa plana y pedal.

Tabla 16

Principales características del contenedor de residuos sólidos

Volumen	1100L
Tamaño	L1200 × W1035xH1295mm
Material	Materias Primas de HDPE 100% (polietileno de alta densidad), moldeo por inyección de un paso, sin costuras.
Rueda	La capa exterior es de caucho natural, marco de rueda de plástico, Funda de acero incorporada con bloqueo de freno,Φ200mmAltura100mm
Boom	De plástico
Pasador	ABS
Espesor	Bariles:7Mm;Tapa sólida:4,3Mm; BOttom:6,5Mm
Peso	50Kg
Color y logotipo	Puede ser personalizado
Pedal	Está instalado

Nota: Principales características del contenedor propuesto. Elaboración propia.

Asimismo, en el contenedor propuesto se van a considerar tres estados en la medida del nivel de basura:

- a) Contenedor vacío: si el sensor de ultrasonido mide una distancia mayor a 114 cm.
- b) Contenedor medio: si el sensor de ultrasonido mide una distancia de menor igual a 30 y menor igual a 114 cm.
- c) Contenedor lleno: si el sensor de ultrasonido mide una distancia menor de 30 cm.

4.1.2 Cálculo de cantidad y ubicación de contenedores inteligentes

Para determinar el cálculo de la cantidad de contenedores, localizamos los contenedores de forma que, prácticamente, la totalidad de la población quede cubierta y con el objetivo de reducir en lo posible la distancia entre los contenedores y las personas. Para ello se considera que la distancia mínima entre el habitante más lejano y el contenedor será de 50 m. y la máxima de 100 m. En la Figura 46 se muestra la posible ubicación de contenedores (globo rojo), y la delimitación entre manzanas.

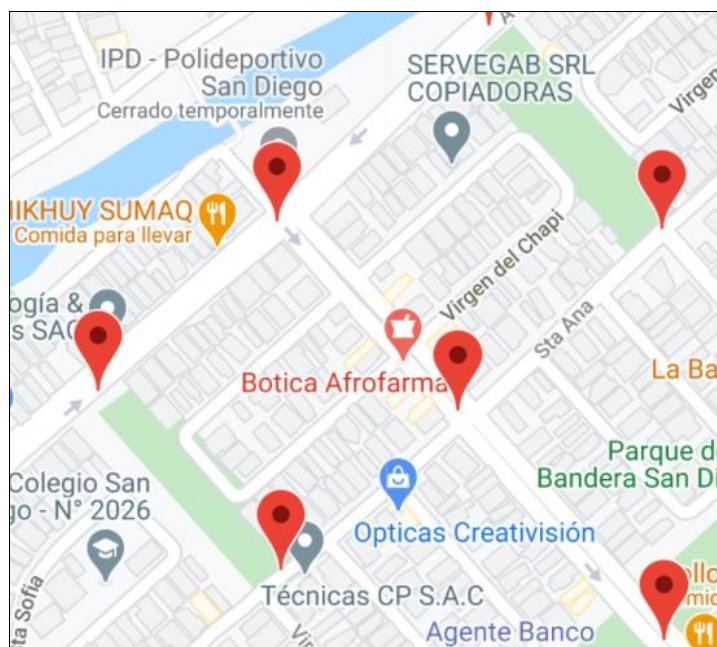


Figura 46. Distribución de los contenedores inteligentes en la urbanización San Diego Vipol. Elaboración Propia

Para determinar el promedio de lotes por manzana dentro de la urbanización San Diego Vipol, nos basaremos en el mapa de google Maps para calcular la cantidad de manzanas y lotes dentro de la urbanización y de esta manera poder determinar la capacidad del contenedor de residuos sólidos que será usado, en la siguiente tabla 17 se resume la cantidad

de lotes por manzana en la urbanización San Diego Vipol:

Tabla 17

Cantidad de lotes por manzana en la urbanización San Diego Vipol

Mz.	Lotes
A	48
A1	46
A2	40
A3	35
A4	40
A5	48
B	48
B1	40
B2	40
B3	49
B4	45
C	48
C1	40
C2	40
D	48
D1	48
F	46
F1	46
G	48
G1	40
G2	40
H	48
H1	40
H2	40
I	48
I1	45
I2	40
J	40
J1	45
K	48
K1	40
K2	40
L	48
L1	48
L2	45
M	48
M1	40
N	40
N1	48

O	48
O1	40
O2	48
P	48
P1	48
P2	48
Q	48
R	48
R1	48
R2	48
S	48
S1	40
T	48
T1	45
U	45
U1	48
U2	40
V	48
V1	48
V2	48
W	45
W1	45
W2	45
Total aproximado	2779

Nota: Se ha realizado el cálculo de la cantidad de manzanas que existen en la urbanización San Diego Vipol.
Elaboración Propia

Para calcular el promedio de lotes por manzana se divide el total aproximado de lotes entre la cantidad de manzanas que son 62 y el resultado es el promedio de 45 lotes por manzana.

En la Tabla 18 se muestra la posible ubicación geográfica de cada contenedor de acuerdo a su latitud y longitud.

Tabla 18

Possible ubicación geográfica de cada contenedor de residuos sólidos.

id	nombre	dirección	nivel	latitud	longitud
1	C1	Contenedor ubicado por parque 2026	50	-11.946375	-77.092651
2	C2	Contenedor cruce de san diego de Alcalá con virgen del Carmen	25	-11.945470	-77.091667

3	C3	Contenedor en Av. San Diego de Alcalá	90	-11.947217	-77.093544
4	C4	Av. San Diego de Alcalá	35	-11.948711	-77.093781
5	C5	Av. San Diego de Alcalá	25	-11.950047	-77.093918
6	C6	Av. San Diego de Alcalá	30	-11.951175	-77.093140
7	C7	Av. San Diego de Alcalá	40	-11.951995	-77.092438
8	C8	Sta. Dora	35	-11.951179	-77.091522
9	C9	Virgen de las Mercedes	10	-11.950271	-77.092110
10	C10	Sta. Sofía	20	-11.950518	-77.093040
11	C11	Sta. María de los Ángeles	45	-11.949338	-77.092804
12	C12	Sta. Teresa Del Nino	35	-11.949985	-77.090012
13	C13	Sta. Verónica	50	-11.946696	-77.087746
14	C14	Virgen de Rosario	60	-11.948884	-77.090485
15	C15	Sta. Teresa Del Nino Jesús	25	-11.949470	-77.089294
16	C16	Cruce virgen del Carmen con santa teresa	45	-11.948705	-77.088470
17	C17	Virgen del Carmen	40	-11.947719	-77.089531
18	C18	Sta. Teresa Del Nino Jesús	25	-11.947864	-77.087906
19	C19	Cruce Santa Verónica con Sta. María de Los Ángeles	45	-11.946135	-77.088280
20	C20	Sta. María Reyna	60	-11.945641	-77.086418
21	C21	Av. Santísima Cruz	45	-11.945514	-77.086868
22	C22	Av. La Unión	30	-11.944327	-77.085983
23	C23	Santa María Reyna	20	-11.942875	-77.085510
24	C24	Santa María Reyna	25	-11.941042	-77.084915
25	C25	Santa María Reyna	45	-11.938166	-77.084167
26	C26	Av. San Diego de Alcalá	55	-11.937931	-77.084732
27	C27	Fray Padre Urraca	45	-11.938337	-77.085159
28	C28	San Félix	20	-11.939267	-77.084167
29	C29	San Joaquín	15	-11.939673	-77.084335
30	C30	San Joaquín con Av. San Diego de Alcalá	22	-11.939217	-77.085640

31	C31	Cruce Santa Sofía con Sta. Ana	40	-11.948327	-77.093193
32	C32	San Eugenio	45	-11.940134	-77.084518
33	C33	San Marcelo	54	-11.940597	-77.084641
34	C34	San Marcelo con Av. San Diego de Alcalá	20	-11.940010	-77.086044
35	C35	Virgen del Rosario	10	-11.949732	-77.089714
36	C36	San Simón	45	-11.942419	-77.086288
37	C37	San Isaías	56	-11.940368	-77.086304
38	C38	San Simón con Av. San Diego de Alcalá	25	-11.941459	-77.087158
39	C39	Virgen de Guadalupe	20	-11.946639	-77.088562
40	C40	Av. la Unión	15	-11.943942	-77.086838
41	C41	San Lázaro	10	-11.943268	-77.086601
42	C42	San Lázaro con Av. San diego de Alcalá	35	-11.942127	-77.087883
43	C43	Av. la Unión	40	-11.942461	-77.088234
44	C44	Santa María Reyna	30	-11.942528	-77.085365
45	C45	Calle San Gregorio	25	-11.945039	-77.086700
46	C46	Santa Verónica	40	-11.947339	-77.086937
47	C47	Santo Toribio de Mogrovejo con San Diego de Alcalá	35	-11.943065	-77.088943
48	C48	Av. Santísima Cruz	30	-11.945047	-77.087906
49	C49	Av. Santísima Cruz	40	-11.944349	-77.088493
50	C50	Av. Santísima Cruz	20	-11.943792	-77.089012
51	C51	Virgen del Carmen	35	-11.946490	-77.090668
52	C52	Santa Ana	20	-11.947347	-77.091644
53	C53	Av. San Diego de Alcalá	10	-11.944406	-77.090500
54	C54	Sta. Ana	20	-11.945513	-77.089539
55	GW	Av San Diego de Alcalá		-11.944928	-77.091277

Nota: Se ha establecido la ubicación de los contenedores y Gateway dentro de la urbanización San Diego

Vipol. Elaboración propia.

De la Tabla 18 se estima que la cantidad de contenedores que serán necesarios para abarcar toda la urbanización San Diego Vipol será de 54 contenedores. Asimismo, se toma en cuenta que existen calles en las cuales el acceso está restringido. Por esta razón, los contenedores serán ubicados fuera de las calles cerradas.

En la Figura 47 se muestra la posible ubicación de los contenedores y Gateway que serán implementados en la urbanización San Diego Vipol.

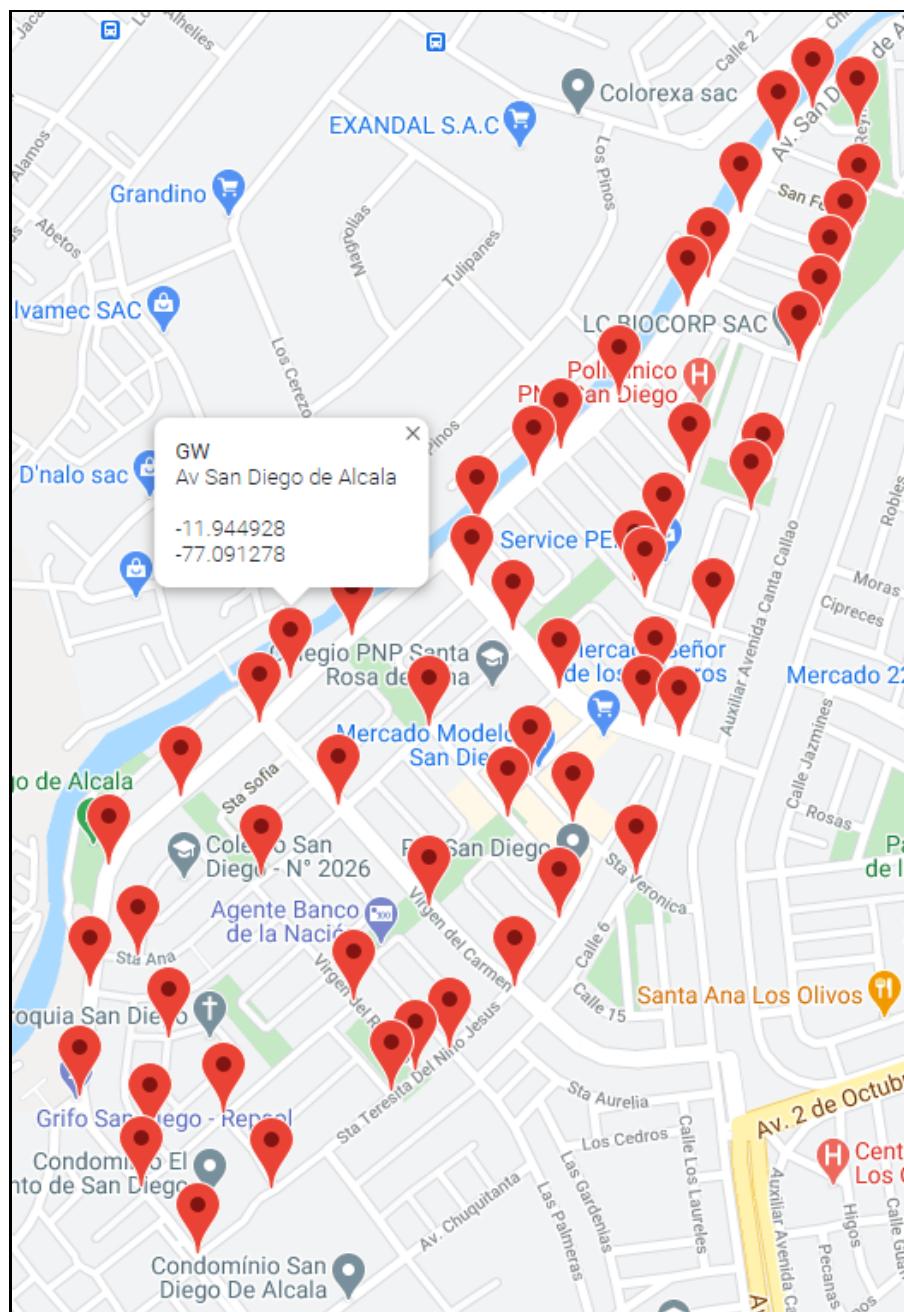


Figura 47. Distribución de contenedores y Gateway dentro de la urbanización San Diego Vipol. Elaboración propia.

4.2 Diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo

Para el diseño de la arquitectura se tomó en cuenta una alternativa que reduzca los costos de implementación y uso, razón por la cual dentro de la arquitectura están contemplados componentes que son ofrecidos por terceros de manera gratuita y bajo un uso moderado. En la Figura 48 se muestra el esquema del sistema de Geolocalización y Monitoreo que consta de varios bloques que a continuación, son descritos de manera general.

Esta arquitectura contiene los siguientes bloques:

- Bloque A: Monitoreo
- Bloque B: Comunicaciones
- Bloque C: Cloud Service
- Bloque D: Recolección y almacenamiento
- Bloque E: Visualización

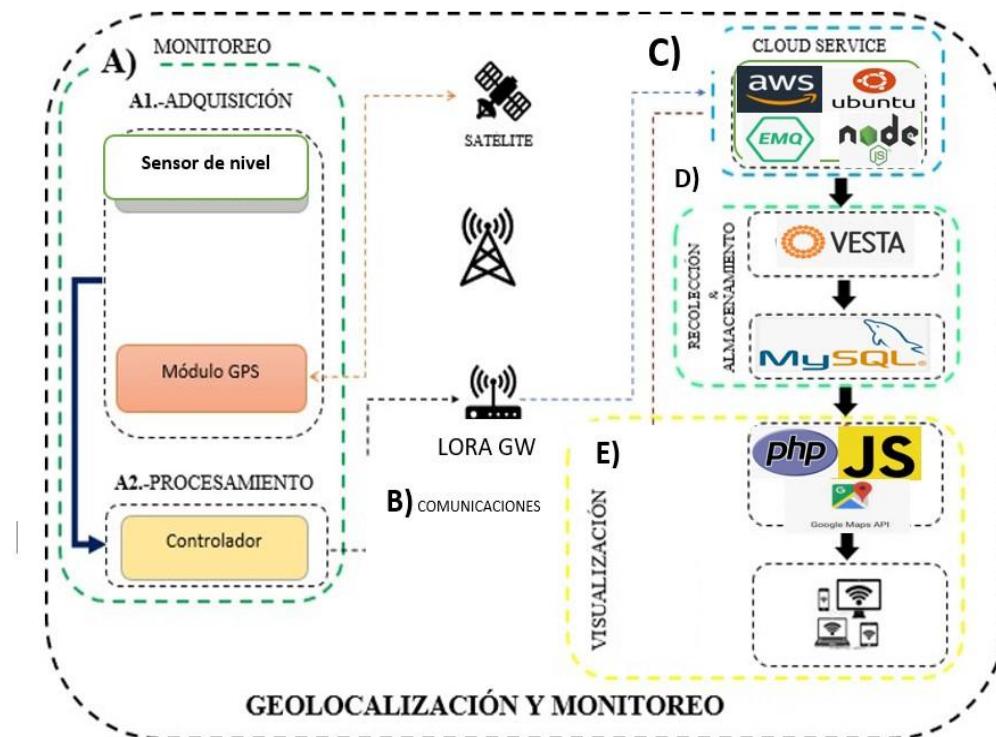


Figura 48. Esquema general del sistema de geolocalización y monitoreo de contenedores de residuos sólidos. Elaboración propia.

4.2.1 Bloque A

Está compuesto de dos sub-bloques: Adquisición, que mediante distintos tipos de sensores recolecta datos de mediciones como nivel, latitud y longitud; Procesamiento, formado por un controlador central, el cual es el encargado del procesar y acondicionar la señal proveniente de cada sensor. A continuación, se describe cada uno de los sub-bloques.

4.2.1.1 Adquisición

En la Figura 49 se muestran las etapas de monitoreo, medición del nivel y la etapa de procesamiento de los datos.

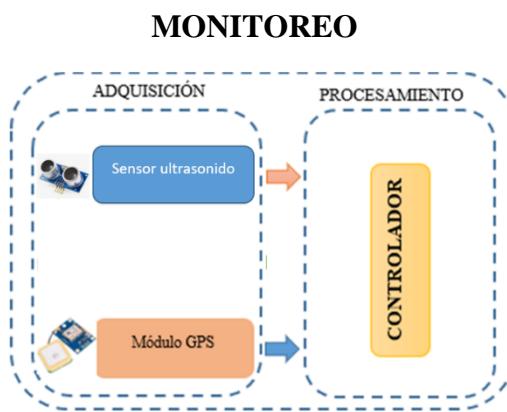


Figura 49. El monitoreo consta de dos etapas una de adquisición y otra de procesamiento. Elaboración propia.

En el bloque de Adquisición se usan dos tipos de módulos para la obtención de señales tales como Nivel, Latitud y Longitud. Para escoger el módulo adecuado que se ajuste a los requerimientos del sistema fue necesaria la realización de una tabla comparativa. En la Tabla 19 se describen las características más relevantes del sensor para que el prototipo pueda medir el nivel de llenado de la basura efectivamente.

Tabla 19

Características de los sensores ultrasónicos

Características	US-100	HC-SR04	JSN-SR04T(IP68)
Voltaje de operación	2.4 – 5 V DC	5 V DC	5 V DC
Rango de medición	2 – 450 cm	2 – 450 cm	2 – 600 cm
Precisión	1 mm	3 mm	2mm
Frecuencia del pulso	40 KHz	40 KHz	40 KHz
Ángulo de medición	Menor de 15°	Menor de 15°	Menor de 50°
Consumo (suspendido)	< 2mA	< 2mA	5mA

Consumo (trabajando)	15mA	15mA	30mA
---------------------------------	------	------	------

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes tipos de sensores de ultrasonido. Elaboración propia.

Después de realizar la selección como se muestra en la Tabla 19, se escoge el sensor HC-SR04 ya que tiene un menor consumo de energía que es uno de los requerimientos más importantes para el prototipo, su rango de medición de 2 cm a 450 cm apto para aplicarlo dentro de un contenedor de residuos sólidos, debido a que los contenedores no tienen una altura superior a 2 m. En la siguiente Tabla 20 se muestran los diferentes dispositivos GPS para el cálculo de la latitud y longitud de cada contenedor.

Tabla 20

Cuadro comparativo dispositivos de posicionamiento global

PARÁMETROS	DISPOSITIVOS GPS		
	GPS Ublox Neo 6m 	SIM 908 	SHIELD ARDUINO SIM808 
Dimensiones	31 x 24 mm	81 x 70 mm	50.13 x 77.64 mm
Voltaje de Alimentación	3.3 V - 5 V	5 – 10 V	5 V – 10 V
Temperatura	-40 °C a 85 °C	-40°C a 85 °C	-40°C a 85 °C
Canales de recepción	50 canales, GPS L1 frequency, C/A CodeSBAS: WAAS, EGNOS, MSAS	42 canales, GPS L1 C/A code, High-performance STE engine	66 canales, GPS L1 C/A code
Modo de comunicación	Librerías Arduino	Comandos AT	Comandos AT
Tiempo de primera respuesta de GPS	27 s	30 s	30 s
Sensibilidad	-160 dBm	-162 dBm	-165 dBm
Protocolos de recepción GPS	NMEA, UBX binary y RCTM	NMEA, OSP	NMEA
Costo BAJO	BAJO (15 dólares)	ALTO (45 dólares)	ALTO (45 dólares)
Consumo de energía	67 mA	100 mA	No especifica

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes módulos GPS para determinar el más adecuado para el proyecto. Elaboración propia.

A pesar de sus dimensiones tan pequeñas en comparación con las tarjetas SIM908 y SIM808, el GPS Ublox Neo 6m presenta una gran variedad de ventajas como un tiempo de primera respuesta GPS menor a las otras dos tarjetas, combinado con el uso de varios protocolos de recepción y un costo sumamente bajo, lo que lo convierte en la mejor elección para la elaboración del sistema de geolocalización.

4.2.1.2 Procesamiento

4.2.1.2.1 Elección del dispositivo controlador

Para la etapa de Procesamiento se realizó un análisis de varios dispositivos que puedan cumplir la función de controlador central. Las características de cada dispositivo son presentadas en la Tabla 21.

Tabla 21

Cuadro comparativo dispositivos controladores

PARÁMETROS	DISPOSITIVO CONTROLADOR		
	SHIELD WI-FI ARDUINO HDG204	ESP8266 NODEMCU	ESP32 WROOM-32
Estándar	802.11 b/g	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Potencia de Tx	17 dBm	20 dBm	20.5 dBm
Umbral de Recepción	-88 dBm (11Mbps)	-91 dBm (11Mbps)	-93 dBm (MSC0, HT20)
Voltaje de Alimentación	3.3 V – 1.2 V	3.3 V	3.3 V
Frecuencia de Operación CPU	Depende del microprocesador que se utilice	160Mhz	2x240 Mhz
Rango de Frecuencia WIFI	2.4 Ghz	2.412 – 2.484 GHz	2.4 – 2.5 Ghz
Protocolo de Red	Ipv4, HTTP	Ipv4, TCP/UDP HTTP/FTP/	Ipv4, Ipv6, SSL, TCP/UDP HTTP/FTP/WQTT
Microprocesador	Depende del modelo	16 bits	32 bits
Consumo de Corriente mín.	250 mA	80 mA	80 mA
Consumo de Corriente max.	No especifica	250 mA	250 mA
Tipo de comunicación	SDIO/SPI and UART	SPI, UART, I2C, I2S, PWM GPIO	UART, SPI, SDIO, I2C, PWM I2S IR
Seguridad	WPA2, WEP	WPA, WPA2	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Modo ahorro de energía	Power Save Mode	Ultra Low Power	Low Power

Costo	ALTO (80 dólares)	BAJO (11 dólares)	BAJO (12 dólares)
Disponibilidad en Perú	SI	SI	SI

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes dispositivos controladores. Elaboración propia.

Una de las principales desventajas que presenta el dispositivo Shield de Arduino a comparación de las tarjetas ESP32 y ESP8266 es el limitado uso de protocolos de comunicación. Además de su alto consumo de energía, el cual alcanza los 250mA frente a los 80mA de los dispositivos ESP, su costo en el mercado es muy elevado. Por otro lado, el dispositivo ESP32 es claramente superior a la ESP8266, con un mayor umbral de recepción, mayor frecuencia de operación, variedad de protocolos y mayor potencia de transmisión. Por las características antes mencionadas, para la realización del prototipo se usó la tarjeta ESP32 como controlador central en la etapa de procesamiento de información.

4.2.1.2.2 Elección de la tecnología inalámbrica

La elección de la tecnología inalámbrica empleada para la transmisión de datos se basa en los requerimientos de diseño tales como: transmisión eficiente de información y gran alcance. Con base en estos factores, se realiza un análisis técnico comparativo de las principales tecnologías inalámbricas y posteriormente, se elige la que mejor se ajuste tanto al hardware como al software utilizado en la implementación del sistema de geolocalización y monitoreo. En la Tabla 22 se muestra un cuadro comparativo de las diferentes tecnologías inalámbricas.

Tabla 22

Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas

PARÁMETROS	TECNOLOGÍAS			
	LORA	ZIGBEE	WI-FI	GSM -GPRS
Frecuencia de la Señal	433 Mhz 915 Mhz 868 Mhz	2.4 Ghz 915 Mhz 868 Mhz	2.4 – 5 Ghz	300-1200 Mhz Banda Privada
Ancho de banda	150-250 kbps	20-250Kbps	2-100 Mbps	20- 100 Mbps
Número de nodos por red	1 millón	65000	255	Dependiente de la operadora celular
Distancia de transmisión sin interferencias	5km (urbano) 20km (rural)	1 -75 m	50-100 m	Depende de la operadora
Memoria	243 bytes	32-60KB	100KB	Dependiente de los dispositivos que se utilicen

Topología	Estrella	Punto a punto, estrella, malla, árbol clúster	Bus, anillo, estrella, árbol	Topología celular
------------------	----------	---	------------------------------	-------------------

Nota: Se ha realizado una comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas. Elaboración propia.

En la actualidad, existen varios tipos de tecnologías inalámbricas con las que se pueden realizar el proyecto. Los módulos Zigbee, debido a su elevado costo, quedan descartados. WI-FI, basada en el estándar 802.11 presenta un amplio rango de cobertura, además de su versatilidad en el uso y una amplia gama de dispositivos con un precio accesible. La tecnología GSM/GPRS tiene una cobertura mucho mayor a las tecnologías antes mencionadas, sin embargo, para su uso se requiere un chip celular con saldo disponible para realizar la comunicación, lo que resultaría en un costo elevado para el usuario.

Por lo tanto, para la realización del sistema se consideró la utilización de la tecnología LoRa debido a su menor consumo de energía, largo alcance y mayor cantidad de nodos soportados.

4.2.1.2.3 Elección de transceptor LoRa

Después de analizar las diferentes tecnologías inalámbricas de la Tabla 22 se elige el transceptor LoRa RFM95W como medio de comunicación inalámbrica. Este transceptor RFM95 cuenta con un modem de largo alcance LoRa, el cual transmite a una frecuencia de 915 MHz y a una potencia de 20 dBm, gracias a la técnica de modulación “LoRa” el transceptor RFM95 alcanza una sensibilidad muy alta, además de que cuenta con inmunidad alta a la interferencia, mientras que minimiza el consumo de corriente. En la Figura 50 se muestra la imagen del transceptor utilizado en el presente proyecto de investigación.



Figura 50. Transceptor LoRa RFM95W de 915 MHz. Elaboración propia.

4.2.1.2.4 Elección de antena del transceptor LoRa

Este componente es de suma importancia para alcanzar la distancia máxima en el enlace de comunicación inalámbrica entre el nodo final y la puerta de enlace o Gateway LoRaWAN. El objetivo de una antena es transformar las señales eléctricas en ondas electromagnéticas de RF, propagándose al espacio libre (modo de transmisión (TX)) y transformar ondas

electromagnéticas de RF en señales eléctricas (modo de recepción (RX)). Por lo tanto, su tipo, diseño, orientación y posicionamiento puede enlazar o romper el enlace de comunicación RF.

Dentro de los cinco tipos de antenas más comunes para los dispositivos IoT se encuentran:

- Antena de alambre de cuarto de onda simple
- Antena en PBC (ya impresa en la placa del circuito)
- Antena de chip
- Antena helicoidal simple de cuarto de onda
- Antena de látigo de cuarto de onda externa.

El transceptor LoRa RFM95W requiere de una antena de 17 mm de longitud específicamente para el espectro de frecuencia de portadora LoRa de 915 MHz. En la Tabla 23 se muestra las ventajas y desventajas de cada uno de estos tipos de antenas. Para la elección de la antena que usará el transceptor se tomará en cuenta el costo, tamaño y rendimiento.

Tabla 23

Ventajas y desventajas de los tipos de antena analizados

Tipo de antena	Ventajas	Desventajas
Antena de cable	-Extremadamente barata -Buen rendimiento	- Repetitividad del rendimiento de la antena en la fabricación en serie.
Antena en PBC	-Muy bajo costo -Buen rendimiento -Tamaño relativamente pequeño -Antenas de diseño estándar ampliamente disponibles	-Sensible a la calidad del diseño del plano de tierra y la colocación de componentes cercanos. -Requiere un área de PCB relativamente grande.
Antena de chip	-Tamaño pequeño -Muchas opciones diferentes en el mercado	-Costo y rendimiento medios. -Necesitan de circuitos adicionales para su funcionamiento que vayan de acuerdo a las especificaciones.
Antena helicoidal	-Baratas -Buen rendimiento	- Desempeño medio. -Cuidado especial en el montaje en la PCB.

Antena de látigo	<ul style="list-style-type: none"> -El mejor rendimiento de las antenas. -Ciclo de diseño más corto. 	<ul style="list-style-type: none"> -Precio más elevado. -La ubicación puede ser problemática, especialmente en dispositivos IoT pequeños -Requiere de pruebas de emisiones conducidas.
------------------	--	---

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes tipos de antena que será usado en el transceptor.

Elaboración propia.

Luego de analizar el costo, tamaño y rendimiento de cada antena se elige a la antena helicoidal como la antena que se ubicara en el transceptor del nodo final y el transceptor del Gateway, ya que es barata, tiene buen rendimiento y el tamaño de la antena es pequeña.

4.2.2 Bloque B

compuesto por un Gateway que es una parte clave de esta solución, dado que el nodo sensor necesita enviar la información a algún lugar donde pueda analizarse y así enviarse a la nube. Funciona con un programa interno llamado “Packet Forwarder” que le permite retransmitir los mensajes al servidor. A grandes rasgos el ciclo de funcionamiento de transmisión de mensajes va desde el nodo final, pasa por el Gateway y los mensajes son reenviados hacia el servidor de Red.

4.2.2.1 Gateway LoRaWAN

Se realizó la comparación de las especificaciones técnicas y económicas de tres Gateway LoRaWAN de diferentes empresas fabricantes. La Tabla 24 muestra la tabla del análisis elaborado.

Tabla 24

Análisis técnico comparativo de Gateway LoRa

Características	Modelos		
	Four Faith – F8L10GW	Rak Wis device – RAK7249	Dragino– OLG02
Frecuencias de operación	915 – 928 MHz	915 – 928 MHz	915 – 928 MHz
Potencia máxima	25 ± 2 dBm	27 dBm	+20 dBm
Sensibilidad de recepción	-140 dBm	-142 dBm	-148 dBm
Puerto de comunicaciones de salida	Integrado	Integrado	Integrado

Tipo de comunicación de salida	Ethernet WiFi Celular (3G, 4G)	Ethernet WiFi Celular (3G, 4G)	Ethernet WiFi Celular (3G, 4G)
Potencia de consumo	6.6 watts	12 watts	No indica
Tiempo medio entre fallas(MTB)	No indica	No indica	No indica
Rango Máximo	6 km	5-10 Km	5-10 Km
Grado de protección	IP67	IP67	IP 67
Cantidad de Nodos	No indica	200-1000	50-300
Costo de referencia	\$800	\$599	\$110

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes Gateway LoRaWAN. Elaboración propia.

La fórmula de evaluación para la calificación del Gateway LoRaWAN es la siguiente:

$$Puntaje_{gateway} = \frac{P_{ptx} + P_{srx} + P_{puerto} + P_{out} + P_{consumo} + P_{MTBF} + P_{IP} + P_{precio}}{\sum P_{max}}$$

Donde:

$Puntaje_{gateway}$: Puntaje obtenido por modelo de Gateway.

P_{ptx} : Puntaje asignado a potencia máxima.

P_{srx} : Puntaje asignado a sensibilidad de recepción.

P_{puerto} : Puntaje asignado a puerto de comunicaciones.

P_{out} : Puntaje asignado tipo de comunicación de salida.

$P_{consumo}$: Puntaje asignado a consumo de energía.

P_{MTBF} : Puntaje asignado a MTBF

P_{IP} : Puntaje asignado a grado de protección.

P_{precio} : Puntaje asignado a precio referencial.

$\sum P_{max}$: Sumatoria total de puntajes máximos.

La Tabla 25,

Puntaje y valores para cada modelo de Gateway LoRaWAN.

Características	Escala	Puntaje	Modelos		
			Four Faith – F8L10GW	Rak Wis device – RAK7249	Dragino-OLG02
Potencia máxima	Menor a 25 dBm	1	2	2	1
	Mayor igual a 25 dBm	2			
Sensibilidad de recepción	Mayor igual a -140 dBm	1	1	2	2
	Menor a -140 dBm	2			
Puerto de comunicaciones de salida	Externo	1	2	2	2
	Integrado	2			
Tipo de comunicación de salida	LTE (banda 2,4)	1	1	1	1
	LTE (banda 2,4, 28)	2			
Potencia de consumo	Mayor igual a 25 W	1	2	2	2
	Menor a 25 W	2			
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	No indica	0	0	0	0
	Menor igual a 180,000 horas	1			
	Mayor a 180,000 horas	2			
Grado de protección	No indica	0	2	2	2
	IP-66	1			
	IP-67	2			
Costo de referencia	Mayor igual a \$700	1	1	2	2
	Menor a \$700	2			
	Suma Total	16	11	13	12
Puntaje Total			68.8	81.3	75

Nota: Se ha realizado el cuadro de puntaje para la evaluación del Gateway LoRaWAN. Elaboración propia.

Basándose en el resultado anterior, se evidencia que el Gateway de la empresa **Rak Wis device – RAK7249** tiene el mayor puntaje para sus características técnicas (81.3 puntos). En la Figura 51 se muestra la imagen del Gateway **RAK7249** de la compañía **Rak Wis device**.



Figura 51. Gateway LoRaWAN RAK7249 que soporta de 200 a 1000 nodos finales. Elaboración propia.

4.2.2.2 Calculo de la cobertura de radio

El cálculo de distancia de cobertura del nodo final y el Gateway se efectúa empleando el modelo de propagación de Okumura Hata. Para ello, se consideró calcular la máxima distancia existente entre un nodo final LoRaWAN instalado dentro de un contenedor de residuos sólidos y el Gateway LoRaWAN ubicado en la Av. San Diego de Alcalá de la urbanización San Diego Vipol, a una potencia de recepción adecuada para garantizar la comunicación entre ambos equipos. En este sentido, se utilizó el software LoRa Modem Calculator Tool, para calcular el nivel de potencia en el receptor y la tasa de datos equivalente que garanticen un óptimo enlace. La Figura 52 muestra un diagrama de los dispositivos involucrados en la simulación.

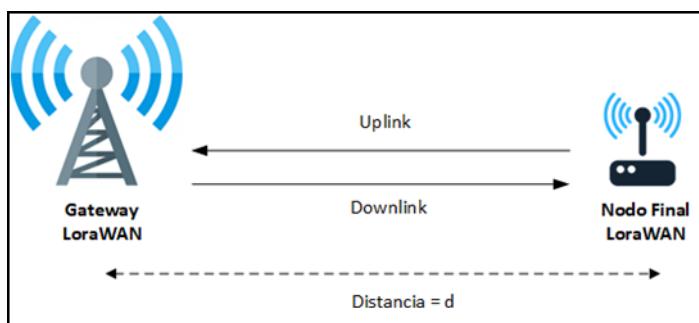


Figura 52. Diagrama con dispositivos que forman parte de simulación Fuente: Elaboración propia

La Tabla 26 registra las particularidades de transmisión y recepción del nodo final

LoRaWAN considerado en los cálculos.

Tabla 26

Especificaciones técnicas de nodo final

Nodo final LoRaWAN	
Parámetro	Valor
Ubicación	Contenedor de residuos sólidos
Altura de antena	1.3 metros
Potencia de transmisión	13 dBm (0.019 W)
Canal empleado uplink	915 000 000 Hz
Clase antena	Omnidireccional
Ganancia elemento irradiante	2.5 dBi
Pérdidas cables	1 dB
Sensibilidad de recepción	-120 dBm

Nota: Se ha ingresado los datos del nodo final. Elaboración propia.

La Tabla 27 registra las particularidades de transmisión y recepción del Gateway LoRaWAN considerado en los cálculos, así como sus coordenadas de ubicación.

Tabla 27

Especificaciones técnicas del Gateway LoRaWAN

Gateway LoRaWAN	
Parámetro	Valor
Ubicación	Av. San Diego de Alcalá
Coordenadas	Latitud: -11.944928 Longitud: -77.091277
Altitud (m.s.n.m.)	123 m.s.n.m.
Altura de antena	30 metros
Potencia de transmisión	18 dBm (0.1 W)
Canal empleado downlink	923 300 000 Hz
Clase antena	Omnidireccional
Ganancia elemento irradiante	8 dBi
Pérdidas cables	1.5 dB
Sensibilidad receptor	-142 dBm

Nota: Se ha ingresado los datos del Gateway. Elaboración propia.

Se utilizó el software “Lora Modem Calculator Tool” desarrollado por la empresa Semtech (<https://sx1272-lora-calculator.software.informer.com/download/>) para calcular la potencia de recepción y la tasa de datos equivalente en base a características de modulación y transmisión. Se ingresaron la frecuencia de operación y potencia de transmisión, así como

las propiedades del modem LoRa utilizado por el nodo final LoRaWAN:

- Factor expansión LoRa : 7
- Ancho canal de frecuencia : 125 KHz
- Tasa de codificación : 4/5

Se utilizó el factor de ensanchamiento más reducido disponible para la banda AU915, para obtener la mayor tasa de datos y menor tiempo en el aire del mensaje. En la Figura 53 se demuestra el cálculo efectuado en el software LoRa Modem Calculator Tool.

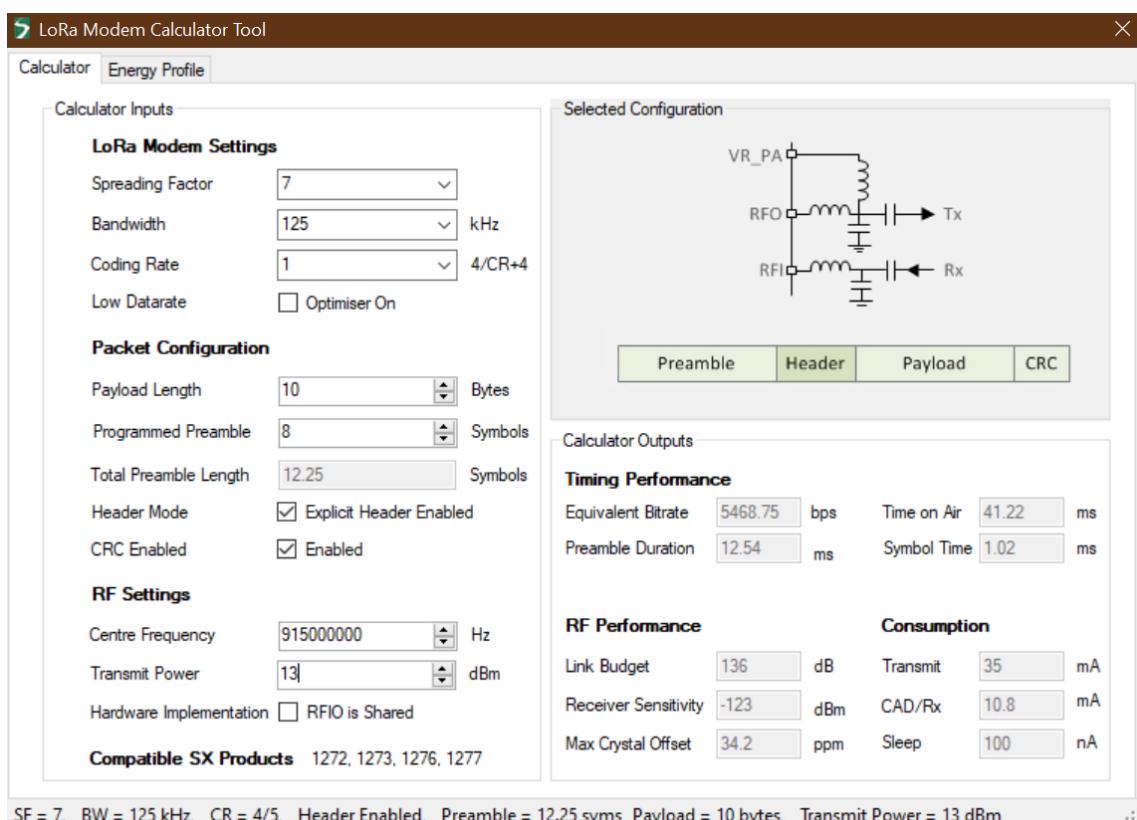


Figura 53. Cálculo realizado en el software LoRa Modem Calculator Tool para determinar la distancia de cobertura del Gateway. Elaboración propia

El gráfico precedente evidencia que la potencia de recepción requerida por el nodo final para transmitir en la frecuencia de 915 MHz, en un ancho de canal de 125 kHz con un factor de ensanchamiento de 7 es de **-123 dBm**. Asimismo, el tiempo en el aire del paquete enviado es de 41.22 milisegundos y la tasa de datos equivalente es de 5.46 kbps.

Se calcularon las pérdidas de trayectoria (PLdB) en base al presupuesto del enlace o “link budget”, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$RSL = P_{TxdBm} + G_{TxdB} - L_{TxdB} - PL_{dB} + G_{RxdB} - L_{RxdB}$$

Donde:

RSL	:	Nivel de señal recibida = -123 dBm
PTxdBm	:	Potencia del transmisor = 13 dBm
GTxdB	:	Ganancia antena transmisora = 2.5 dBi
LTxdB	:	Pérdida lado transmisor = 1 dB
PLdB	:	Pérdidas de trayectoria
GRxdB	:	Ganancia recepción antena = 8 dBi
LRxdB	:	Pérdida lado receptor = 1.5 dB

Reemplazando los valores anteriores en la fórmula:

$$-123 = 13 + 2.5 - 1 - PL_{dB} + 8 - 1.5$$

$$PL_{dB} = 123 + 13 + 2.5 - 1 + 8 - 1.5$$

$$\mathbf{PL_{dB} = 144 dB}$$

Como resultado se obtiene que las pérdidas de trayectoria permitidas para el presente escenario tienen un valor igual a **144 dB**.

4.2.2.3 Distancia de cobertura con modelo Okumura-Hata

Se calculó la distancia de enlace máxima entre un nodo final y el Gateway LoRaWAN, empleando el modelo Okumura-Hata. Se consideró como ambiente una ciudad grande, debido a que tiene la más alta cantidad de pérdidas y es el peor escenario del modelo. Se empleó la siguiente fórmula:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b - [3.2[\log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97] + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d$$

Donde:

Lp	:	Pérdidas de trayectoria = 144 dB
f	:	Frecuencia = 915 MHz
hb	:	Altura de estación de recepción= 30 m.

hm : Altura del nodo final= 1.3 m.

d : Distancia de separación

Reemplazando en la fórmula anterior con los valores correspondientes al nodo final y Gateway LoRaWAN utilizados, se halló la distancia de separación:

$$144 = 69.55 + 26.16 \log_{10}(915) - 13.82 \log_{10}(30) - [3.2[\log_{10}(11.75 * (1.3))]$$

$$- 4.97] + (44.9 - 6.55 \log_{10}(30)) \log_{10}(d)$$

$$d = 10^{\frac{-144+69.55+26.16 \log_{10}(915)-13.82 \log_{10}(30)-[3.2[\log_{10}(11.75*(1.3))]^2-4.97]}{(44.9-6.55 \log_{10}(30))}}$$

$$\mathbf{d = 3.86 Km}$$

4.2.2.4 Backhaul

La comunicación de backhaul entre el Gateway LoRaWAN y los servicios de red en la nube se efectuará a través de la red Móvil la cual utilizará los servicios de una empresa operadora de telefonía móvil con cobertura de tecnologías 4G/3G en la zona de interés para el acceso del Gateway a internet. En la Figura 54 se muestra la cobertura de las 4 empresas operadores móviles en el distrito de San Martín de Porres.

Nº	DISTRITO	CLARO	MOVISTAR	ENTEL	BITEL
25	LA VICTORIA	70.50%	65.78%	57.51%	59.17%
26	SAN JUAN DE LURIGANCHO	71.60%	62.24%	62.14%	48.94%
27	SANTA MARÍA DEL MAR	80.72%	35.16%	84.98%	74.16%
28	LA PERLA	65.13%	57.77%	67.70%	66.84%
29	LINCE	65.92%	58.33%	64.67%	65.19%
30	PUENTE PIEDRA	64.17%	58.95%	69.09%	61.95%
31	SAN MIGUEL	63.99%	59.85%	65.57%	63.78%
32	SAN LUIS	66.09%	61.08%	61.09%	60.54%
33	JESÚS MARÍA	64.57%	60.36%	63.13%	62.05%
34	BREÑA	63.00%	61.02%	62.88%	63.49%
35	PUEBLO LIBRE	63.12%	59.90%	63.81%	64.41%
36	SURQUILLO	62.75%	60.69%	62.58%	62.16%
37	RÍMAC	64.37%	57.95%	60.88%	63.28%
38	MIRAFLORES	62.06%	60.30%	60.08%	61.98%
39	SAN MARTÍN DE PORRES	62.43%	59.47%	58.79%	61.13%
40	CALLAO	62.88%	56.94%	62.84%	57.76%
41	MAGDALENA DEL MAR	62.08%	54.06%	62.92%	63.15%
42	VENTANILLA	63.01%	53.72%	60.36%	60.84%
43	COMAS	62.63%	58.29%	49.91%	58.40%
44	VILLA EL SALVADOR	60.72%	57.78%	52.79%	55.47%
45	ANCÓN	61.28%	46.23%	60.87%	60.27%
46	SAN JUAN DE MIRAFLORES	59.72%	52.19%	52.25%	52.46%
47	CARABAYLLO	57.21%	50.20%	50.56%	55.03%
48	SANTA ROSA	53.12%	28.83%	57.02%	64.60%
49	PACHACÁMAC	45.89%	32.92%	61.41%	59.36%

Figura 54. Cobertura celular en el Distrito de San Martín de Porres. Adaptado de “Osiptel presentó ranking móvil distrital 2018”, por OSIPTEL, 2018.

Luego de analizar los cuatro operadores de telefonía móvil con cobertura de tecnologías 4G/3G se determina que el operador que se usará para el presente proyecto será CLARO. Asimismo, para alimentar energía eléctrica al Gateway se usará la red eléctrica del Polideportivo San Diego perteneciente a la Municipalidad de San Martín de Porres.

4.2.3 Bloque C

4.2.3.1 Cloud Service

En el Cloud Service se selecciona la plataforma que permita instalar y configurar el servidor de red, el servidor MQTT, el servidor web y el servicio Node JS. A continuación, se realiza la tabla comparativa de la plataforma, el servidor y el servicio que se usara para el presente proyecto de investigación.

4.2.3.2 Elección de la plataforma Cloud

Se realizó la comparación de las características de cada una de las plataformas Cloud. En la Tabla 28 se muestra las características de las plataformas Cloud más utilizadas.

Tabla 28

Tabla comparativa de plataformas Cloud

Plataforma → Característica ↓	Amazon EC2	Microsoft Windows Azure	Google App Engine
Escalabilidad automática (auto scaling)	Si, a través de Amazon CloudWatch	Autoscaling application block y Windows Azure Fabric Controller.	BigTable y GFS
Blueprints / Imágenes para acelerar el aprovisionamiento	Si (AMI) – Imagen de máquina Amazon	Si, provistas en una galería, y también imágenes propias guardadas	No
Soporta Sistema operativo Windows	• Windows Server® 2003 R2 • Windows Server 2008 • Windows Server 2008 R2 • Windows Server 2012	Si • Windows Server 2012 Datacenter • Windows Server 2008 R2 SP1	No
Soporta Sistema operativo Linux	• Si; • SUSE Linux Enterprise Server • Red Hat Enterprise Linux	• openSUSE 12.3 • SUSE Linux Enterprise Server 11 Service Pack 2 • Ubuntu Server 12.04 LTS • Ubuntu Server 12.10 • Ubuntu Server 13.04 • OpenLogic CentOS 6.3 • Ubuntu Server 12.10 DAILY	Si, pero las aplicaciones corren en un sandbox y Google provee acceso limitado al sistema operativo, el cual no puede ser alterado.
Soporte para lenguajes	• C++ • C# • Java • Perl • Python • Ruby	• .Net • Java • Node.js • Python	• Python • Java • Go(experimental)
Soporte para almacenamiento de datos	• Amazon S3 • Amazon Relational DB Service • Amazon SimpleDB • SQL Server® Express • SQL Web • SQL Server Standard	• SQL Relacional • Almacenes de tablas NoSQL • Blob no estructurado	• Base de datos no relacional "BigTable". • No soporta bases de datos relacionales.
Soporte para Colas	Amazon Simple Queue Service	Windows Azure Service Bus, Colas FIFO con protocolos Rest, AMQP, WS	App Engine Task Queue
Servidor Web	• Apache • IIS • Otros	IIS V7.5	Jetty Web Server
Alternativas de hipervisores	XEN y LXC (Linux Containers)	Windows Azure Hypervisor (customized Hyper-V)	XEN/KVM
Cache In-Memory distribuido / DataGrid	Open: VMWare Gemfire, Oracle Coherence, Gigaspaces XAP, Hazelcast, etc.	Windows Azure Caching / Memcached	Memcached

Nota: Se ha realizado la comparación de diferentes plataformas Cloud. Elaboración propia.

Luego de realizar una comparación en la Tabla 28 se seleccionó la plataforma AWS, ya que este se interrelaciona con el desarrollador de manera fácil de entender, a su vez permite utilizar 750 horas de una instancia de linux por mes y durante los 12 primeros meses que ofrece la capa gratuita. Asimismo, en esta plataforma se puede crear nuestro servidor de red por medio de un Servidor Privado Virtual (VPS), el cual contendrá una instancia con el sistema operativo Ubuntu para poder instalar y configurar los servicios de MQTT, NODE JS y el web hosting de Vesta Control Panel.

4.2.3.3 Elección del Sistema Operativo

Para la elección del sistema operativo se consideraron tres opciones, las cuales se describen en la Tabla 29.

Tabla 29

Cuadro comparativo de sistemas operativos Open Source.

Características	Ubuntu	Fedora	OpenSUSE
Creador	Canonical Ltd.	Fedora Project	SUSE
Productor	Canonical Ltd.	Fedora Project	Linux Novell Inc.
Distribución Base	Debian	Red Hat Linux	SUSE Linux
Arquitecturas	X86, x86-64 Itanium	X86, x86-64	X86, x86-64
Procesador	700Mhz	Superior a 1 GHz	AMD64/Intel64
Memoria RAM	512 Mb	1Gb	1Gb
Espacio en Disco	5Gb	10Gb	Superior a 6Gb
Compatibilidad y Amplia Gama De Librerías	Alta	Media	Media

Nota: Se ha realizado la comparación de las diferentes distribuciones de Linux. Elaboración propia.

Una vez analizados los parámetros descritos en la Tabla 29, se eligió el Sistema Operativo Ubuntu debido a que requiere un procesador de gama baja, bajo consumo de memoria RAM y un espacio mínimo de 5Gb para su instalación. Por lo tanto, este sistema es claramente menor al de los sistemas Fedora y OpenSUSE, ya que tienen características que reducirán al mínimo el consumo de recursos del computador.

4.2.3.4 Elección del Servidor de MQTT

Para la elección del bróker MQTT se consideraron tres opciones, las cuales se describen en la Tabla 30.

Tabla 30

Cuadro comparativo de brokers MQTT

PARÁMETROS	Bróker		
			
IoT	✓	✓	✓
MQTT	✓	✓	✓
Alarmas	✓	✓	✓
Administración por panel web	✓	✓	✓
Bridges	✓	✓	✓
Soporte QoS	✓	✓	✓
Planes Económicos	✓	✓	X
Websockets UI	✓	✓	✓
100 000 nodos	X	✓	X
Clustering	X	✓	X

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes brokers MQTT. Elaboración propia.

Se elige a EMQ X porque es más estable, escalable y soporta más de 100 000 nodos en su capa gratuita. Además, permite realizar clustering y se puede gestionar una mayor cantidad de clientes.

4.2.4 Bloque D

Este bloque consta de un panel web hosting, llamado Vesta, el cual tiene instalado una serie de servicios como firewall, web, mail, ftp y una base de datos en MySQL. Esta base de datos permitirá el almacenamiento de los datos obtenidos en el nodo final y serán recolectados por medio del servicio de Node JS y el Broker MQTT y luego serán visualizados en una interfaz gráfica.

4.2.4.1 Recolección y almacenamiento

La recolección y almacenamiento será realizado por el servicio de Node JS, quien será el encargado de guardar los datos obtenidos de los sensores en un base de datos para su futuro análisis. Estos datos obtenidos serán guardados en un base de datos relacional. En la Tabla 31 se muestra la comparación de las diferentes bases de datos.

Tabla 31

Cuadro comparativo de bases de datos relacionales

CARACTERÍSTICAS			
Interfaz	GUI, SQL	SQL	GUI, SQL, Varios
Lenguaje Soportado	Muchos, incluyendo C, C#, C++, Java, Ruby, y Objective C	Muchos, incluyendo C, C#, C++, D, Java, Ruby, y Objective C	Java, Ruby, Python, VB, .Net, y PHP
Sistema Operativo	Windows, Linux, Solaris, HP-UX, OS X, z/OS, AIX	Windows, Linux, OS X, FreeBSD, Solaris	Windows
Licencia	Propietario	Código Libre	Propietario

Nota: Se ha realizado la comparación de las diferentes bases de datos. Elaboración propia.

Luego de analizar la Tabla 31 se optó por el uso de MySQL, ya que es una distribución Open Source, codificada en el lenguaje de programación C y C++ y puede ser instalado en el sistema operativo Linux.

4.2.5 Bloque E

Este bloque se encarga de la presentación de datos, con la facilidad de mostrarlos en gráficos o mapas y utilizando lenguajes como php, html y javascript y la plataforma google maps api para presentar la información a través de un mapa que muestra el nivel y ubicación de cada contenedor de residuos sólidos. A continuación, en la Tabla 32 se describen las características de los paneles de control de alojamiento web.

Tabla 32

Características de paneles de control de alojamiento web

Característica	VESTA CP	CPANEL	PLESK
Alojamiento	GRATUITO	PAGO	PAGO
Consumo de recursos	Poco	Alto	Alto

Sistemas Operativos	RHEL / CentOS 5,6,7 Debian 6,7,8 Ubuntu 12.04 – 18.04	CentOS, CloudLinux o RHEL 7 o Amazon Linux	Debian, Ubuntu, CentOS, RHEL, Cloud Linux, Amazon Linux, Virtuozzo Linux,
Servidores Web	NGINX y APACHE	APACHE	NGINX y APACHE
Instalación	Sencilla	Compleja	Compleja

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes paneles de control de alojamiento web. Elaboración propia.

Luego de analizar la Tabla 32 se elige a VESTA CP como panel de control de alojamiento web, ya que es sencillo de instalar, consume pocos recursos y es gratuito.

4.3 Diseño y configuración del prototipo del sistema formulado

El diseño y la configuración del prototipo del sistema comprende el hardware, la programación de un nodo final y el Gateway LoRaWAN. Asimismo, la configuración de un servidor de internet de las cosas en una nube computacional, el almacenamiento de datos y la ejecución de una aplicación web para visualizar la ubicación y nivel de los contenedores de residuos sólidos. En la Figura 55 se muestra el esquema general del prototipo realizado.



Figura 55. Esquema general del prototipo realizado. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 55 se propone usar un nodo final LoRaWAN con sus cuatro etapas de sensado, procesamiento, comunicaciones y alimentación como nodos sensores de la red LoRaWAN. Este nodo se comunica con el Gateway vía ondas de radio usando la tecnología LoRaWAN. El Gateway a su vez envía los paquetes recibidos a través de Internet a un servidor en la nube, en este caso un servidor privado virtual (VPS) configurado en Amazon Web Service(AWS). Finalmente, los paquetes llegan a una aplicación o interfaz donde el usuario puede acceder a ellos, en este caso disponible en un Web Hosting llamado Vesta CP.

4.3.1 Funcionamiento del sistema propuesto

El proceso comienza con la inicialización del controlador central, mismo en el que se inician librerías y sensores mediante la programación en Arduino IDE. En el siguiente punto se establece la conexión LoRa del dispositivo ESP32 hacia el Gateway LoRaWAN y se establece la conexión wifi hacia la red de internet validando los datos de usuario y contraseña. Una vez que la conexión ha sido establecida, de acuerdo a la programación, se establece la comunicación con el Bróker MQTT alojado en la VPS y se realiza el proceso de validación de datos de usuario y contraseña. En la Figura 56 se muestra el flujograma del proceso para la conexión a MQTT mediante el ESP32.

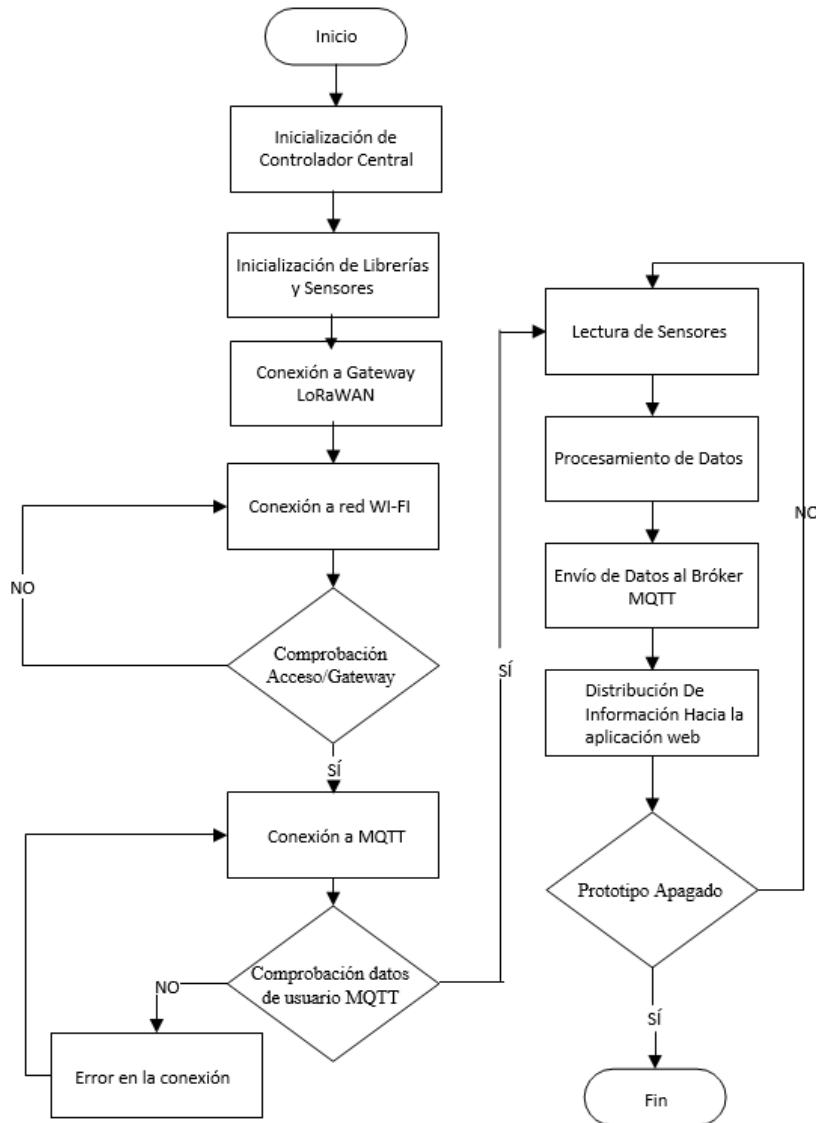


Figura 56. Flujograma del proceso de conexión entre el ESP32 y el MQTT. Elaboración propia.

Siempre que el resultado de la conexión sea exitoso, se efectúa otro proceso en el que las lecturas de los sensores toman parte. Nivel, latitud y longitud son las variables que intervienen en el siguiente proceso denominado Procesamiento de Datos, en el cual los datos son procesados por el controlador central ESP32, acondicionados y enviados al Bróker MQTT. El Bróker MQTT cumple la función de distribuir/enviar los datos recibidos a cada cliente/usuario suscrito al tópico. En la siguiente etapa, la información es recibida y mostrada en una aplicación web desarrollada en PHP. Por último, todo este ciclo se ejecuta si y sólo si el dispositivo sigue encendido; de ser el caso, el proceso comienza otra vez a partir de la fase “Lectura de Sensores”.

4.3.1.1 Nodo Final LoRaWAN

Es el encargado de recolectar toda la información obtenida por los sensores que están colocados dentro de cada uno de los contenedores de residuos sólidos y se encarga de enviar la información al nodo Gateway. Este nodo será energizado por baterías de litio que serán cargadas por paneles solares.

En la Figura 57 se exhibe el diagrama de bloque del nodo final, así como también se muestra la forma en la que están interconectados los diferentes dispositivos. Existen bloques para cada sensor (nivel, ubicación) los cuales generan las variables de entrada, esto es almacenado en el bloque principal ya que este contiene la tarjeta de desarrollo que permite procesar la información que generan los sensores, lo mismo que es transmitido por el transceptor RFM95W. El bloque de alimentación permitirá que el sistema tenga energía renovable fotovoltaica.



Figura 57. Diagrama de bloques del nodo final. Elaboración propia.

4.3.1.1.1 Esquema de conexión del nodo final

En la Figura 58 se muestra el circuito esquemático de cómo se conectarán los equipos adquiridos y la posterior configuración del nodo final, el mismo que tiene como dispositivo central la tarjeta ESP32 a la cual están conectados los 2 sensores (nivel, ubicación) y el módulo transceptor RFM95. También se incluyó lo que es el panel solar y la batería, en medio de estos se encuentra el modulo cargador de batería de litio TP4056PROT.

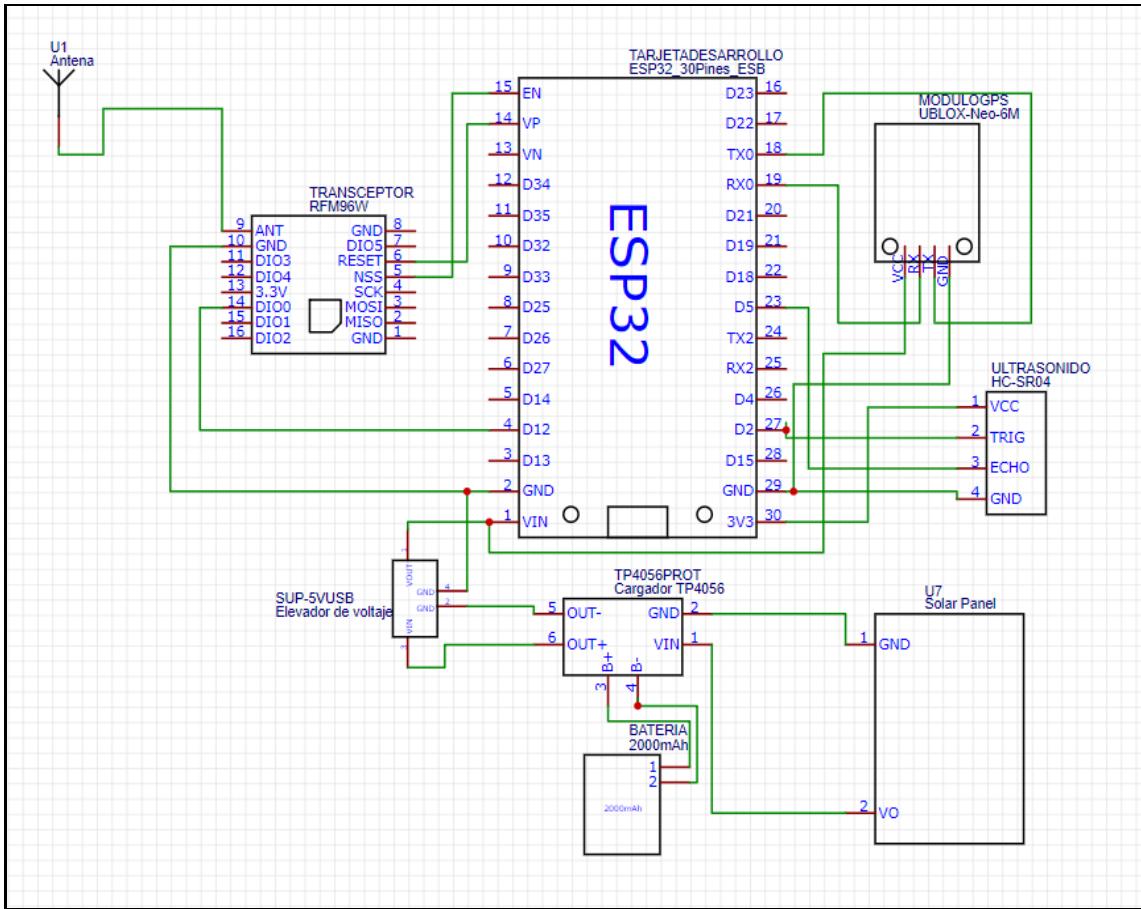


Figura 58. Circuito esquemático de módulos y sensores del nodo final. Elaboración propia.

4.3.1.1.2 Configuración y programación de la tarjeta de desarrollo del nodo final

En la Figura 59 se muestra la configuración y programación de la tarjeta de desarrollo ESP32, mediante el uso de las librerías de Arduino IDE para la programación del ESP32, sensor ultrasónico, modulo GPS y el transceptor LoRa RFM95.

The screenshot shows the Arduino IDE interface with the following details:

- Title Bar:** Nodo_Final_Contenedor Arduino 1.8.10
- Menu Bar:** Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
- Toolbar:** Includes icons for Save, Run, Open, Upload, and Download.
- Code Editor:** The code is titled "Nodo_Final_Contenedor §". It includes comments for Lora, SPI, LoRa, GPS, HC-SR04, and a TinyGPS++ library. It defines pins for the transceiver module (ss: 15, rst: 14, dio0: 4) and the HC-SR04 sensor (trigPin: 2, echoPin: 5). It also includes configuration sections for GPS and HC-SR04, and defines variables for duration, distance, and a counter. A string variable LoRaMessage is initialized to an empty string. The code ends with a section for direct actions and functions.
- Status Bar:** Shows the message "Guardado." (Saved).

Figura 59. Configuración y programación de la tarjeta de desarrollo ESP32 del nodo final. Elaboración propia.

4.3.1.1.3 Proceso para la medición del nivel

El proceso realizado para la medición del nivel del contenedor de residuos sólidos se describe en la Figura 60.

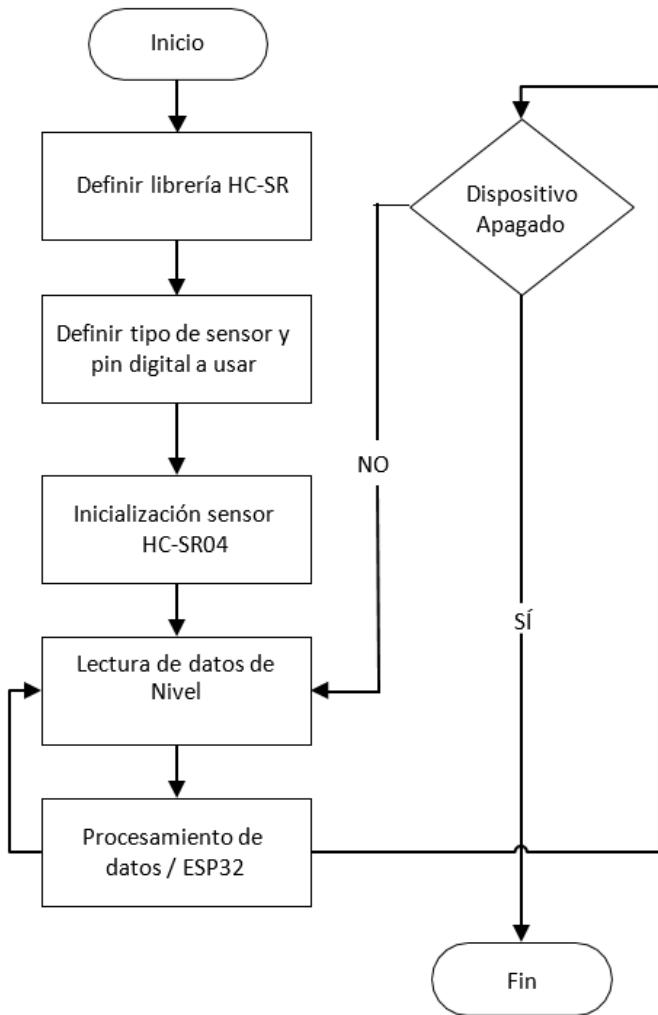


Figura 60. Flujograma para la medición del nivel. Elaboración propia.

En esta fase se requiere la inicialización de la librería HC-SR para que el sensor pueda funcionar correctamente. Se define el tipo de sensor y pin de datos a usar para establecer la comunicación. Posterior a esto, el sensor HC-SR04 es inicializado y comienza a adquirir los datos de nivel y éstos son procesados por el controlador central. Este ciclo se repite siempre y cuando el dispositivo permanezca encendido; caso contrario, el ciclo termina.

4.3.1.1.4 Proceso para la medición de la ubicación

En la Figura 61 se muestra el proceso para la ubicación del contenedor de residuos sólidos a través de la Latitud y la Longitud.

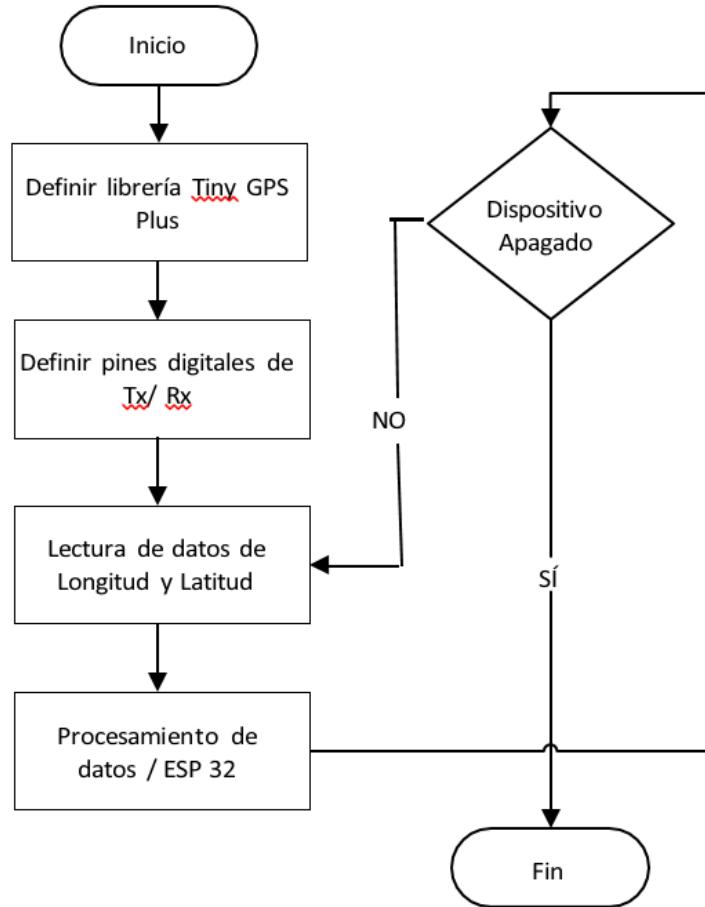


Figura 61. Flujograma para la medición de la ubicación. Elaboración propia.

Para la obtención de los valores de Latitud y Longitud, este proceso inicia con la definición de la librería Tiny GPS Plus necesaria para el funcionamiento y uso de comandos para el modulo GPS Ublox Neo 6M. Se definen los pines digitales de Transmisión y Recepción, por lo tanto, la lectura de datos inicia obteniendo valores que son procesados por el controlador central para su posterior envío. Este ciclo se ejecuta de manera repetitiva siempre y cuando el dispositivo esté encendido, caso contrario se detiene la obtención de datos y el ciclo termina.

4.3.1.1.5 Consumo de corriente de la tarjeta del nodo Final

En la Tabla 33 se observan los valores de corriente y voltaje requeridos por los sensores y el controlador central que fueron tomados de la datasheet de los fabricantes.

Tabla 33

Consumo de corriente del nodo final

Dispositivo	Consumo de Corriente (mA)	Voltaje de Operación(V)	Potencia (W)
HC-SR04	15	5	0,075
Módulo GPS	70	5	0,350
LoRa RFM95	50	3.3	0.165
ESP32	250	5	1.25
Total	385	Total	1.84

Nota: Se ha realizado el cálculo de consumo de energía de cada módulo y sensor. Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 33, la tarjeta electrónica de nodo final presenta un consumo de energía de 1.84 Vatios y los dispositivos que requieren mayor voltaje son el módulo GPS, el transceptor LoRa RFM95 y el controlador central ESP32. El controlador central cumple también la función de proveer o alimentar de energía a los distintos sensores. Por lo tanto, se determina que el voltaje que cumplirá con el objetivo de alimentar a los sensores será de 5Vdc. Por otro lado, el transceptor LoRa será alimentado por el mismo controlador central, ya que cuenta con un pin de 3.3v.

El consumo de corriente de la tarjeta electrónica fue determinado mediante la Ecuación 1, en la que se consideró una fuente de 5Vdc. Por lo que para cubrir el consumo de energía de 1.84 W se requiere una corriente mayor a 0.368A, pero se recomienda el uso de una fuente con mayor corriente.

Ecuación 1.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1.84\text{ W}}{5\text{ V}} = 0.368\text{ A}$$

Para la alimentación de la tarjeta del nodo final se usaron tres baterías de litio de 2000mAh cada una, las cuales se conectaron en paralelo para poder proporcionar una corriente de 6000 mAh a 3.7 Vdc. En la Ecuación 2, se realizó el cálculo de la energía de la batería dando como resultado que la batería proporciona un máximo de 22.2 Wh.

Ecuación 2.

$$\text{Energía}_{\text{batería}} = V \times I = 3.7\text{ V} \times 6\text{ Ah}$$

$$\text{Energía}_{\text{batería}} = 22.2\text{ Wh}$$

Además, es posible calcular la autonomía del sistema utilizando los valores de la energía de la batería dividida entre la potencia total de la placa, y de acuerdo a ese resultado se podrá determinar el tiempo de funcionamiento del sistema. En la ecuación 3 se realizó el cálculo de la autonomía del sistema dando como resultado que el sistema tendrá la capacidad

aproximada de permanecer activo durante un máximo de 12 horas 07 minutos.

Ecuación 3.

$$Autonomía_{sistema} = \frac{Energía_{batería}}{Potencia_{placa}}$$

$$Autonomía_{sistema} = \frac{22.2\text{ Wh}}{1.84\text{ W}}$$

$$Autonomía_{sistema} = 12.07\text{ Horas}$$

Para mantener el sistema en constante funcionamiento se utilizaron 4 paneles solares portátiles de 6 V y 1W de potencia cada uno. Estos paneles se conectaron en paralelo, ya que con esta configuración se logra aumentar los Watts de potencia de 1 a 4 W logrando que las baterías se carguen más rápido. En la ecuación 4 se realizó el cálculo del amperaje proporcionado por los 4 paneles conectados en paralelo.

Ecuación 4.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{4\text{ W}}{6V} = 0.67\text{ A}$$

Luego de realizar el cálculo del amperaje recibido por los cuatro paneles, se realiza el cálculo de cuánto tiempo tomara en cargar las tres baterías de litio, mediante la división entre el amperaje total que ofrecen las 3 baterías de litio que es de 6 A y el amperaje total que otorgan los cuatro paneles solares que es de 0.67 A, dando como resultado que los cuatro paneles solares cargarán las baterías en 9 horas. Para cargar las baterías se utilizó el módulo Tp4056, quien se encargará de regular el voltaje de los paneles solares de 6V a 3.7V, ya que las baterías de litio tienen un voltaje de 3.7V. En la Figura 62 se muestran los elementos de energía solar seleccionados para el nodo final.

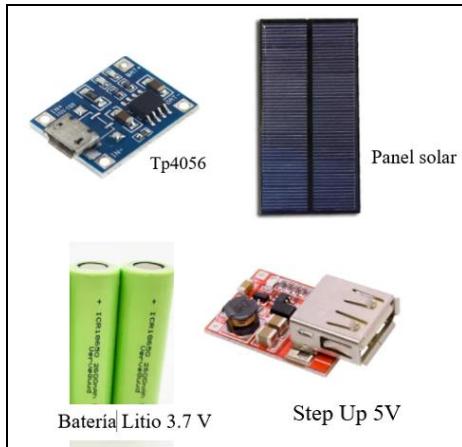


Figura 62. Elementos para alimentar de energía al nodo final. Elaboración propia.

4.3.1.2 GATEWAY

Este nodo estará ubicado en un lugar estratégico en donde se tendrá acceso a una red Móvil o WiFi y a la red Eléctrica. En la Figura 63 se muestran los dispositivos que forman el prototipo de un Gateway y que está formado por un bloque de recepción que posee el transceptor LoRa RFM95 y que recepta toda la información que llega del nodo final, es seguido por el bloque de envío, este mantiene una comunicación inalámbrica con el módulo WiFi, siendo este el intermediario para que toda la información pueda ser subida a internet.

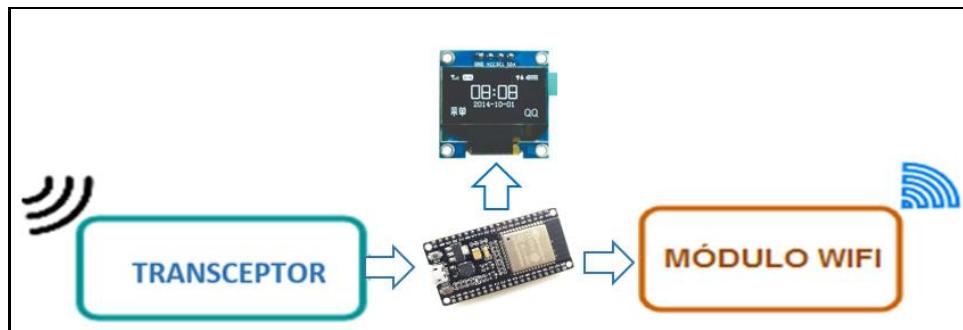


Figura 63. Diagrama de bloques de los componentes del Gateway prototipo. Elaboración propia.

4.3.1.2.1 Esquema de conexión del Gateway

En la Figura 64 se muestra el circuito esquemático de cómo se conectarán los equipos adquiridos y la posterior configuración del Gateway, el mismo que tiene como dispositivo central la tarjeta ESP32 a la cual están conectados el módulo transceptor RFM95 y la pantalla oled de 0.96". No se incluyó el panel solar y la batería, ya este prototipo de Gateway estará conectado a la red eléctrica.

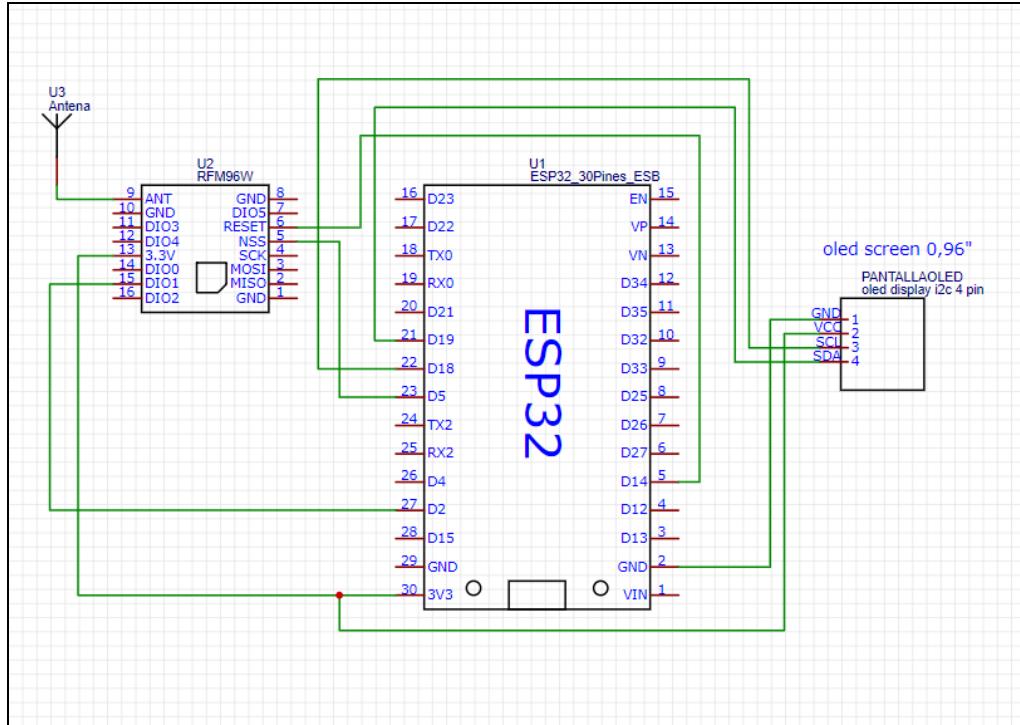


Figura 64. Circuito esquemático del Gateway prototipo. Elaboración propia

4.3.1.2.2 Configuración y programación de la tarjeta de desarrollo del Gateway

En la Figura 65 se muestra la configuración y programación de la tarjeta de desarrollo de la tarjeta de desarrollo ESP32, mediante el uso de las librerías de Arduino IDE para la programación del transceptor LoRa RFM95, el modulo WIFI incorporado en el ESP32 y la pantalla OLED de 0.96”.

```

lora_receptor Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
lora_receptor
*****+
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
//Lora
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

//define the pins used by the transceiver module
#define ss 5
#define rst 14
#define dio0 2
String LoRaData;
| 
*****CONECTARSE A LA RED WIFI*****
const char* ssid = "CARLOS V";
const char* password = "Abril1980";
const char* mqttServer = "contenedorsandiego.ml";
const int mqttPort = 1883;
const char* mqtt_user = "web_client";
const char* mqtt_pass = "1212123";
*****CONFIGURACIONES GLOBALES*****
//espurna Monnit

```

Figura 65. Configuración y programación de la tarjeta de desarrollo ESP32 del Gateway. Elaboración propia.

4.3.1.3 Servidor en la nube

En la Figura 66 se muestra el diagrama bloques del servidor en la nube, el cual contendrá la aplicación web, la base de datos, el bróker MQTT y el servicio Node JS, los cuales estarán configurados dentro de nuestra VPS. En el bloque de comunicación inalámbrica se representan los datos enviados del Gateway al servidor en la nube y a través de la red WiFi. En este servidor en la nube se tendrá una base de datos que registrará los acontecimientos que se den en cada contenedor de residuos sólidos y la aplicación web, la cual fue desarrollada en PHP y que contendrá un mapa de Google Maps Api mostrando el nivel y la ubicación de los contenedores de residuos sólidos.

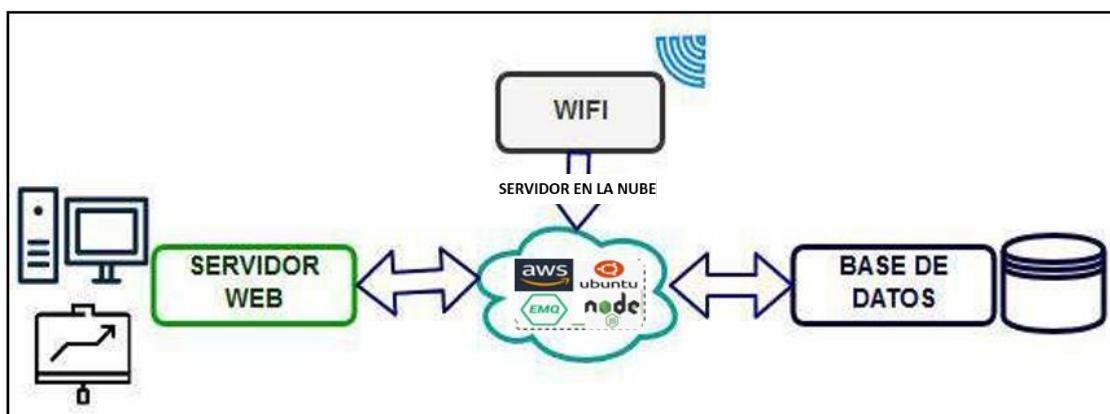


Figura 66. Diagrama de bloques del servidor en la nube. Elaboración propia.

4.3.1.3.1 Creación del servidor VPS

Las prestaciones de los servidores en la nube son similares y por ello se eligió a AWS de AMAZON, quien cuenta con un sin número de servicios en la nube de estas la que se utiliza para el desarrollo de este proyecto en una versión libre EC2, el cual permite el desarrollo de un servidor basado en el sistema operativo Ubuntu de LINUX en su versión 18.04, con una capacidad de 20 Gigas de memoria de almacenamiento y una 1 Giga/Ram de velocidad en el procesamiento, esto ha permitido que sea un servidor apto en el desarrollo del proyecto, se habilitó puertos en esta plataforma permitiendo la comunicación con otro software para el diseño de la página web.

La dirección IP del servidor se vinculó con un dominio que se obtuvo en Freenom, el dominio es gratuito, tiene vigencia de un año, gracias a esto se puede realizar ingresar desde cualquier dispositivo conectado a la red. En la Figura 67 se muestra como se encuentra replicado a nivel mundial el dominio creado en Freenom.

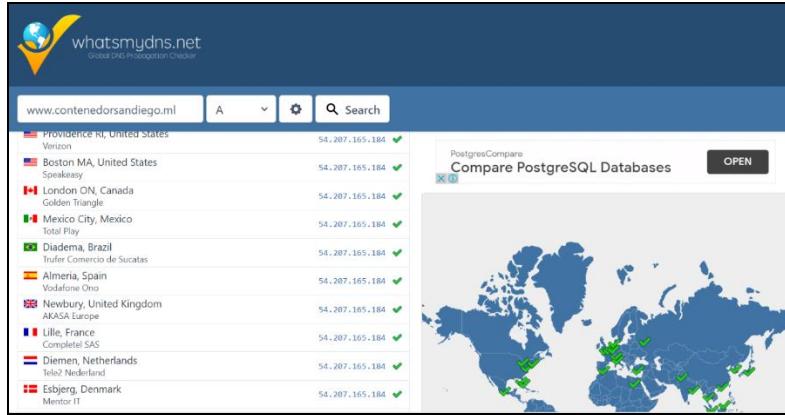


Figura 67. Comprobación DNS del dominio contenedorsandiego.ml. Elaboración propia.

En la Figura 67 se puede verificar que el dominio creado en Freenom y vinculado con la dirección IP elástica de la máquina virtual creada en la plataforma AWS, fue levantada en los servidores a nivel mundial, este análisis se realiza mediante una página web que se dedicada al análisis de la propagación de DNS, el nombre de la página web es Whatsmydns.net.

4.3.1.3.2 Instalación del software VESTA

En la Figura 68 se describe parte del proceso de instalación de la plataforma VESTA, se realiza la instalación de esta plataforma por la facilidad que brinda al momento del desarrollo de páginas WEB, entre una de las cualidades que ofrece es el de modificar los protocolos de seguridad, ya que son necesarios en páginas web, de la misma manera puede modificar la habilitación de protocolos como el FTP, SSL, Proxy, con sus extensiones, y configura las bases de datos utilizadas. Asimismo, se puede visualizar las tareas que se están ejecutando en el servidor, VESTA ocupa el puerto 8083 que también está habilitada en AWS.

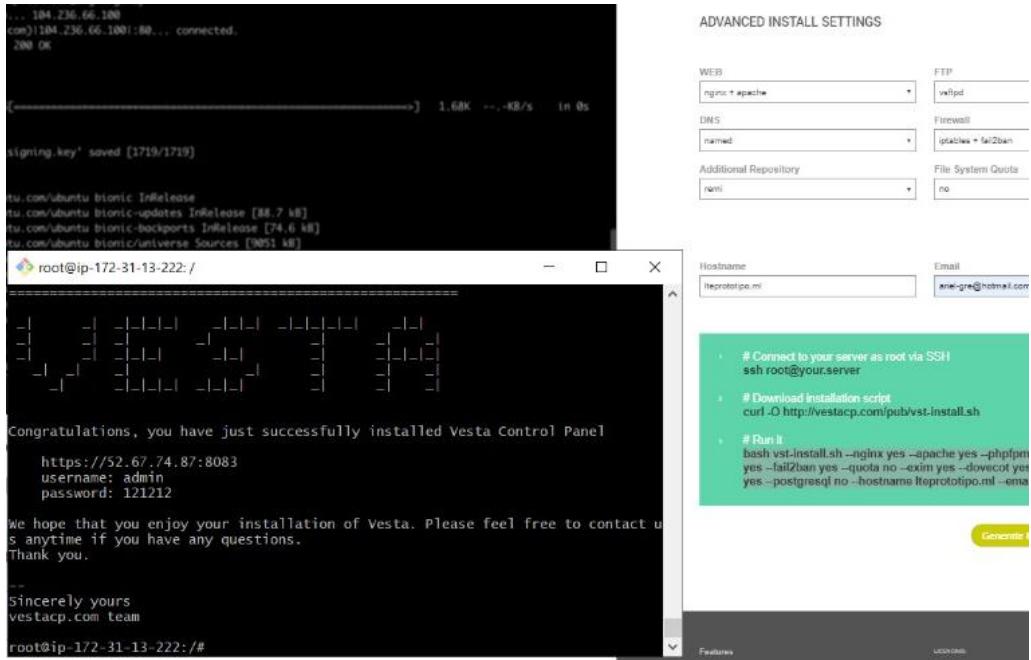


Figura 68. Instalación de Vesta Control Panel en VPS. Elaboración propia.

4.3.1.3.3 Creación de la preliminar de la aplicación web

Para la creación de la aplicación web fue necesario encontrar un software con características amplias que permita reconocer los comandos específicos para los formatos de los protocolos, garantizando la edición de la aplicación WEB y al mismo tiempo que se pueda comunicar con VESTA, esta comunicación se puede lograr mediante el puerto 21 empleando el protocolo FTP. Además, permite que la edición de la página sea en tiempo real y funcione adecuadamente, esto a su vez permite que se realicé un análisis de la aplicación para la verificación de un adecuado funcionamiento y logrando que la transmisión de archivos sea de gran importancia al momento de ser subidos a la aplicación web. Además, permite visualizar los errores y aciertos de los comandos que se utilizan.

La Figura 69 muestra la programación empleada en el desarrollo del sistema planteado, el programa también sirve como indicador de verificación del funcionamiento de la aplicación web, ya que las modificaciones son revisadas en línea.

The screenshot shows the Atom code editor interface. On the left is a sidebar with project navigation, showing a folder named 'contenedorsandiego.ml' which contains subfolders like 'idea', 'assets', 'db', 'html', 'js', 'libs', 'node', 'src', and 'views'. Below these are files such as 'DS_Store', '.ftpconfig', '.gitignore', '.htaccess', 'action.php', 'action1.php', 'admin-map.php', 'app.php', 'astar.py', 'backblue.gif', 'conexion.php', 'conte.html', 'contene.php', and 'dashboard6.php'. A status bar at the bottom indicates '< 200 NOOP ok.' On the right is the main editor area displaying the content of 'dashboard1.php'. The code includes standard HTML headers, a title, and links to external CSS and JS files. It also contains some inline CSS styles for a container and a map element.

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta charset="utf-8">
<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
<title>Contenedor San Diego Vipol</title>
<link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.2.1/css/bootstrap.min.css"></link>
<script type="text/javascript" src="js/jquery-3.2.1.min.js"></script>
<script type="text/javascript" src="js/googlemap1.js"></script>
<style type="text/css">
.container {
    height: 550px;
}
#map {
    width: 100%;
    height: 100%;
    border: 1px solid blue;
}

```

Figura 69. Configuración de la aplicación web con Atom. Elaboración propia.

La subida de los archivos a la dirección web contenedorsandiego.ml se hace en tiempo real gracias a que el software esta comunicado por FTP y direccionado a la página web.

4.3.1.3.4 Visualización de errores

Al desarrollar la página web es necesario que a medida que se avanza saber si cada modificación en las líneas de programación no tiene ningún tipo de error, por lo tanto, es indispensable determinar el tipo de error y en qué línea de la programación se genera el error, la Figura 70 muestra cómo se puede habilitar la visualización de errores. Esta modificación se puede realizar en la ventana de servidores de VESTA. Luego, ingresar a Apache2 y finalmente entrar en configurar PHP.INI.

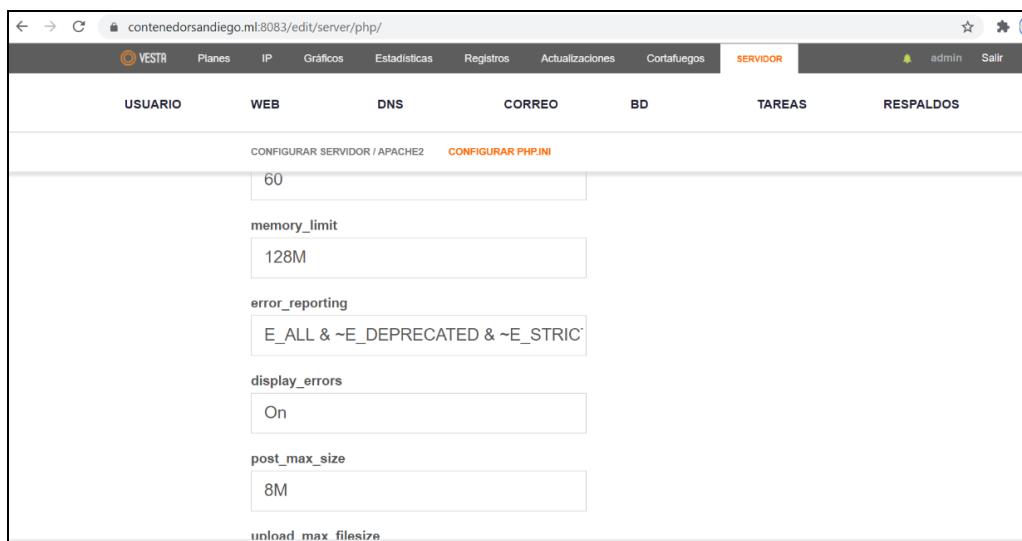
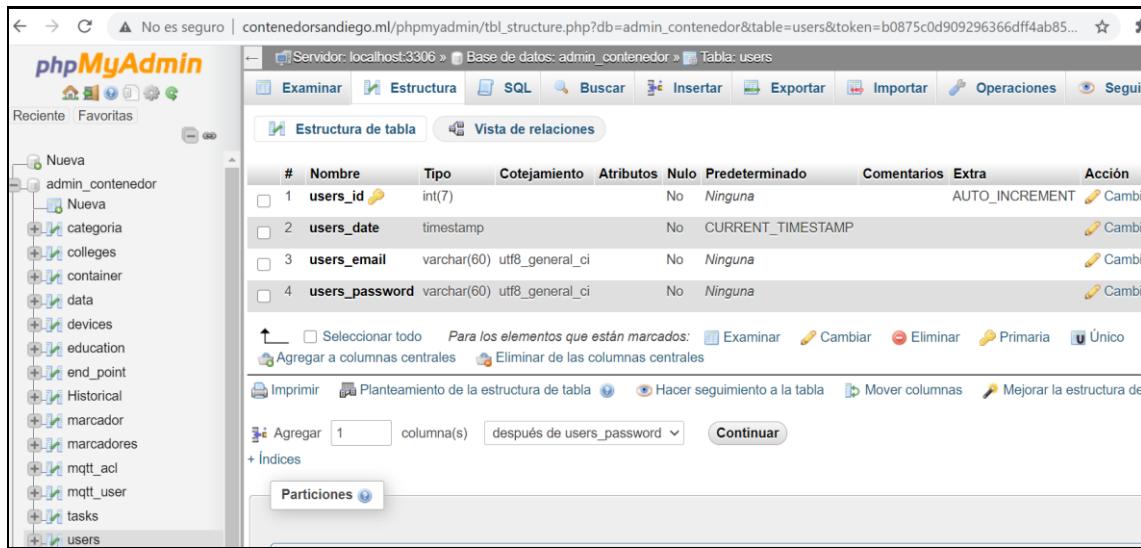


Figura 70. Habilitación de la opción para visualización de errores. Elaboración propia.

4.3.1.3.5 Elaboración de la página de registro

Para brindar seguridad al sistema fue necesario la creación de una página de registro, en la cual se pide los datos necesarios para la validación del ingreso a la página principal. En la Figura 71 se muestra un editor de base de datos, el cual permite generar una tabla para el registro de los usuarios que ingresan al sistema.



The screenshot shows the 'Estructura de tabla' (Table Structure) page in phpMyAdmin. The left sidebar lists databases and tables, with 'users' selected. The main area displays the columns of the 'users' table:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	users_id	int(7)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	
2	users_date	timestamp			No	CURRENT_TIMESTAMP			
3	users_email	varchar(60)	utf8_general_ci		No	Ninguna			
4	users_password	varchar(60)	utf8_general_ci		No	Ninguna			

Below the table structure, there are buttons for 'Examinar', 'Cambiar', 'Eliminar', 'Primaria', 'Único', 'Imprimir', 'Planteamiento de la estructura de tabla', 'Hacer seguimiento a la tabla', 'Mover columnas', 'Mejorar la estructura de tabla', 'Agregar', and 'Continuar'. A sidebar on the right shows 'Particiones'.

Figura 71. Configuración de tabla users en phpMyAdmin. Elaboración propia.

La información suministrada en el registro es manejada por el administrador gráfico de la base de datos (phpMyAdmin), el cual se le considera como un administrador interno. También, es posible la administración externa de la base de datos por medio de un gestor de base de datos llamado HeidySQL. En la Figura 72 se muestra la imagen del administrador externo, el cual tiene que ser instalado en la computadora del programador. Además, para que sea viable este tipo de administración se tiene que habilitar el puerto 3306, en los servidores Vesta y Amazon EC2 con el protocolo TCP.

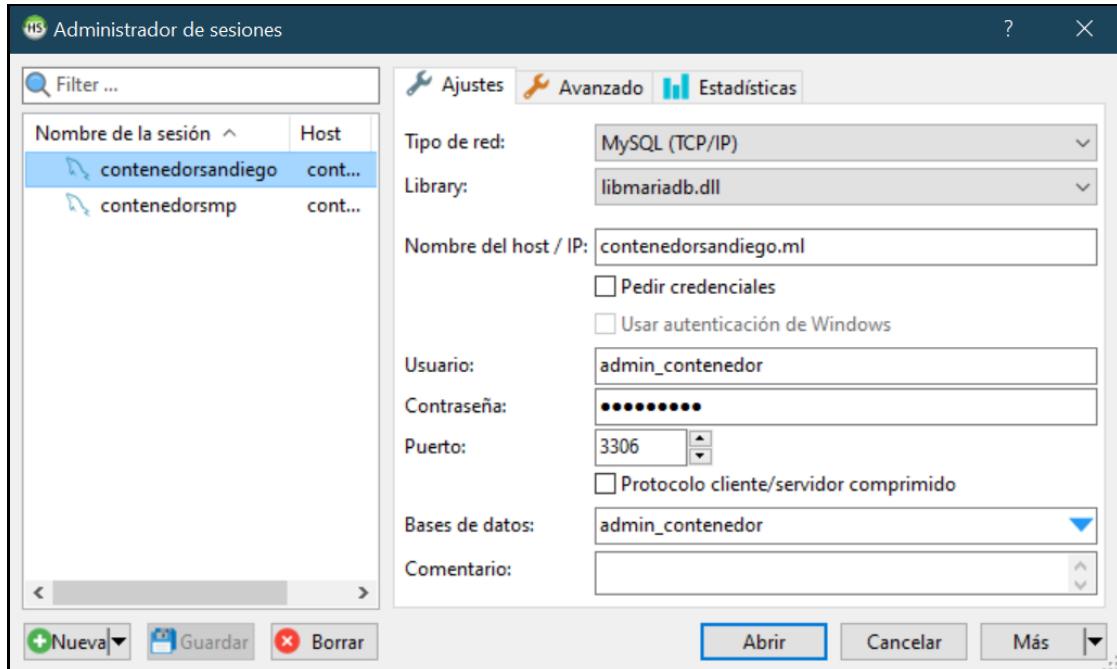


Figura 72. Configuración de parámetros para gestionar base de datos con HeidySQL. Elaboración propia.

En el presente proyecto se utiliza HeidySQL para gestionar la base de datos, ya que su interface gráfica es más amigable y fácil de configurar. En la Figura 73 se muestra el entorno de HeidySQL y la base de datos del proyecto.

#	Nombre	Tipo de datos	Longitud/Co...	Sin signo	Permitir NULL	Rellenar c...
1	users_id	INT	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	users_date	TIMESTAMP		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	users_email	VARCHAR	60	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	users_password	VARCHAR	60	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

```

97 SHOW CREATE TABLE `admin_contenedor`.`colleges`;
98 SHOW FULL COLUMNS FROM `admin_contenedor`.`users`;
99 SHOW INDEXES FROM `users` FROM `admin_contenedor`;
100 SELECT * FROM information_schema.REFERENTIAL_CONSTRAINTS WHERE CONSTRAINT_SCHEMA='admin_contenedor' AND TABLE_NAME='users';
101 SELECT * FROM information_schema.KEY_COLUMN_USAGE WHERE CONSTRAINT_SCHEMA='admin_contenedor' AND TABLE_NAME='users' AND REFERENCED_TABLE_NAME='users';
102 SHOW CREATE TABLE `admin_contenedor`.`users`;
    
```

Figura 73. Entorno de HeidySQL y base de datos del proyecto. Elaboración propia.

4.3.1.3.6 Habilitación de la comunicación a EQMX

Para el desarrollo de la plataforma que permita la ejecución del sistema propuesto es necesario que la página web se encuentre enlazada a un bróker MQTT, por las características

del sistema se ha elegido a EMQ X Broker, que es la versión gratuita de EMQ y que soporta conexiones de hasta 100000 clientes.

Antes de la instalación del bróker EMQ X Broker es indispensable habilitar los puertos 1883, 8883, 8093, 8094, 8090 y 18083 en el panel de control VESTA y en Amazon EC2 con el protocolo TCP. En la Figura 74 y 75 se muestran los puertos habilitados en el servidor VESTA y en Amazon EC2.

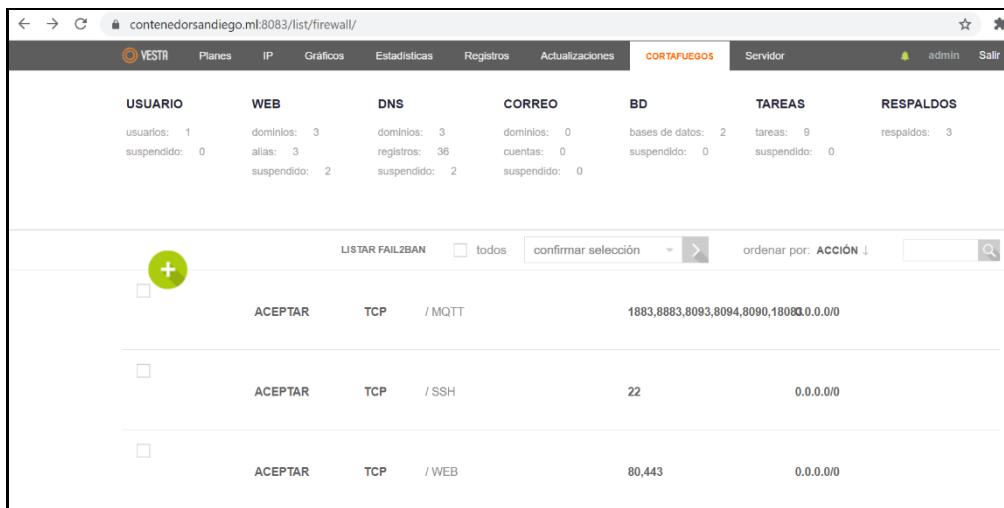


Figura 74. Habilitación de puertos EMQX en el panel de control VESTA. Elaboración propia.

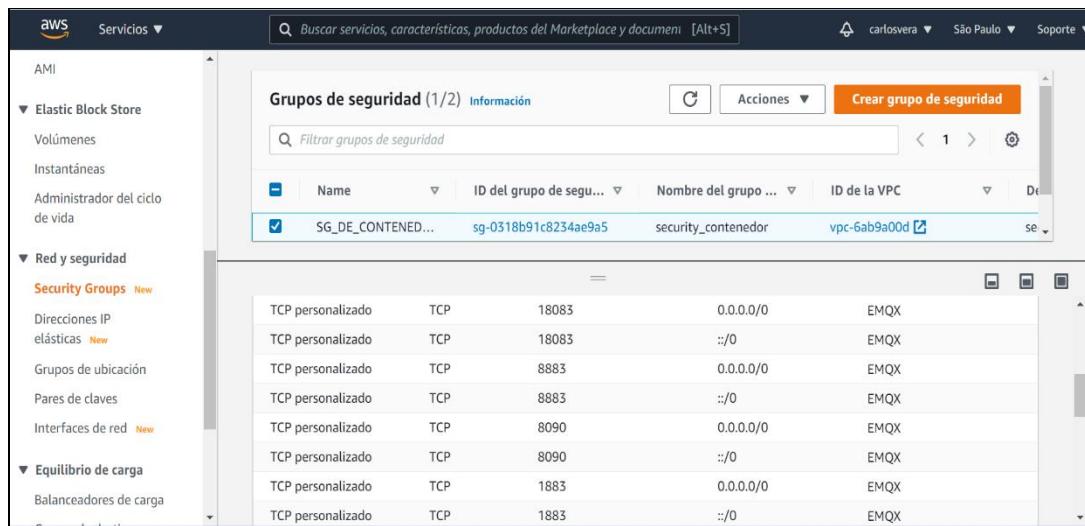


Figura 75. Habilitación de puertos EMQX en Amazon EC2. Elaboración propia.

Para la instalación del bróker EMQ X Broker se debe descargar el software en la versión del sistema operativo que se está corriendo en la VPS, en este proyecto se utilizó como sistema operativo Ubuntu en su versión 18.04 de Linux. En la Figura 76 se muestra la versión del bróker y del sistema operativo donde será instalado el bróker.

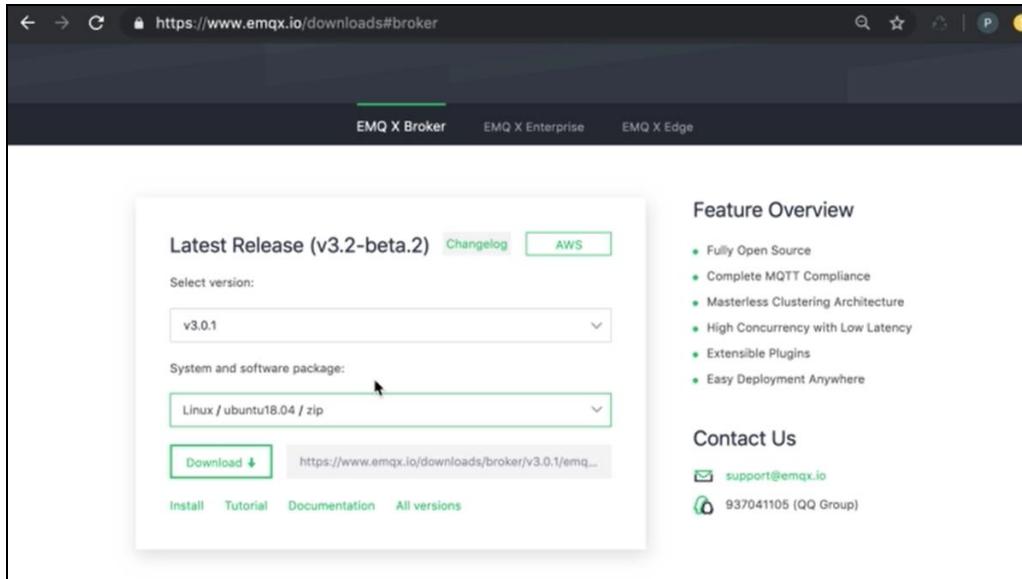


Figura 76. Proceso de instalación de EMQ X Broker en la VPS. Elaboración propia.

Asimismo, como el EMQ X Broker será instalado en el servidor VPS y como se dispone de un pc con Windows el bróker podrá ser instalado mediante el cliente SSH llamado PuTTY. En la Figura 77 se muestra parte del proceso de instalación del broker EMQX.

```

inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_username.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_web_hook.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_mongo.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_mysql.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_pgsql.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_redis.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_dashboard.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_http.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/ekka.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_sn.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_coap.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_reloader.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_stomp.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_jwt.schema
extracting: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_delayed_publish.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_management.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_retainer.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_lwm2m.schema
inflating: emqx/releases/3.0.1/schema/emqx_auth_clientid.schema
inflating: emqx/releases/RELEASES
creating: emqx/bin/
inflating: emqx/bin/emqx
inflating: emqx/bin/no_dot_erlang.boot
inflating: emqx/bin/emqx.cmd
inflating: emqx/bin/emqx_ctl
inflating: emqx/bin/emqx_env
inflating: emqx/bin/install_upgrade_escript
inflating: emqx/bin/start_clean.boot
inflating: emqx/bin/cuttlefish
inflating: emqx/bin/emqx_ctl.cmd
inflating: emqx/bin/nodetool

```

Figura 77. Proceso de instalación del EMQ X Broker en el VPS. Elaboración propia.

Luego de la instalación es necesario encender el broker EMQX y esto se realiza a través del terminal putty y el comando “./bin/emqx start” y para detener el bróker se utiliza el comando “./bin/emqx start” como se muestra en la Figura 78 y 79.

```

*** System restart required ***
Last login: Sat Jan 23 00:42:47 2021 from 179.6.205.89
ubuntu@contenedorsandiego:~$ sudo su
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# ls
index.js
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# ls
index.js
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# ls
index.js
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# cd ..
root@contenedorsandiego:/home# cd ..
root@contenedorsandiego:/# ls
backup          etc        media   sbin  vmlinuz
bin            home      mnt     snap  vmlinuz.old
boot           initrd.img node    srv   vst-install-ubuntu.sh
deb_signing.key initrd.img.old opt     sys   vst-install.sh
dev             lib       proc    tmp
emqx           lib64     root    usr
emqx-ubuntu18.04-v3.0.1.zip lost+found run     var
root@contenedorsandiego:/# cd emqx
root@contenedorsandiego:/emqx# ./bin/emqx start
Node is already running!
root@contenedorsandiego:/emqx#

```

Figura 78. Encendido del bróker EMQX. Elaboración propia.

```

root@contenedorsandiego: /emqx
Simple, hardened, Kubernetes for production, from RaspberryPi to DC.

https://microk8s.io/high-availability

* Canonical Livepatch is available for installation.
  - Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
    https://ubuntu.com/livepatch

36 packages can be updated.
0 updates are security updates.

New release '20.04.1 LTS' available.
Run 'do-release-upgrade' to upgrade to it.

*** System restart required ***
Last login: Sun Jan 24 12:02:52 2021 from 179.6.205.89
ubuntu@contenedorsandiego:~$ sudo su
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# cd ..
root@contenedorsandiego:/home# cd ..
root@contenedorsandiego:/# cd emqx
root@contenedorsandiego:/emqx# ./bin/emqx stop
ok
root@contenedorsandiego:/emqx#

```

Figura 79. Apagado del bróker EMQX. Elaboración propia.

Después de encender el bróker EMQX se realiza el ingreso al dashboard de EMQ X Broker mediante una página web. Para ello se ingresa el dominio <http://contenedorsandiego.ml:18083/> e ingresando el usuario: admin y la contraseña: public que es una contraseña por defecto. En la Figura 80 se muestra el dashboard del bróker EMQ X Broker.

The screenshot shows the EMQ X Broker dashboard with the following details:

- Broker:** System Name: EMQ X Broker, Version: v3.0.1
- Nodes(1):**

Name	Erlang/OTP Release	Erlang Processes (used/available)	CPU Info (1load/5load/15load)	Memory Info (used/total)	MaxFds	Status
carlos@127.0.0.1	R21/10.2	324 / 2097152	0.03 / 0.01 / 0.00	78.85M / 103.75M	1024	Running
- Stats(1):**

Name	Connections/Count	Connections/Max	Topics/Count	Topics/Max	Retained/Count	Retained/Max	Sessions/Count
carlos@127.0.0.1	1	4	1	5	3	3	1

Figura 80. Dashboard de EMQ X Broker. Elaboración propia.

Es necesario revisar la documentación de EMQX para correr por primera vez el bróker, ya que es importante realizar algunos cambios en la configuración de los puertos de escucha de EMQX y de esta manera evitar mensajes de error al momento de realizar conexiones con el bróker. Primero se debe detener el bróker y luego cambiar el puerto del websocket para poder conectarme desde cualquier navegador. Para ello se corrige el puerto de escucha listener.ws.external =8083 y se cambia el puerto por listener.ws.external =8093. Segundo, se reemplaza el puerto del listener management.listener.http=8080 por el puerto listener management.listener.http =8090. Tercero, se corrige el puerto de escucha del puerto seguro del listener.wss.external= 8084 por el listener.wss.external= 8094. En la Figura 81 se muestra la corrección de los puertos de escucha en el bróker EMQX.

The screenshot shows the EMQ X Broker dashboard with the following listeners configuration:

Protocol	Listen On	Max Connections
mqqtssl	8883	102400
mqqtcp	0.0.0.0:1883	102400
mqqttcp	127.0.0.1:1883	102400
http:dashboard	18083	512
http:management	8090	512
mqqtws	8093	102400
mqqtwss	8094	16

Figura 81. Corrección de los puertos de escucha en el bróker EMQX. Elaboración propia.

Para dar seguridad en el acceso al bróker, se crea un usuario y contraseña de control de acceso para que solo algunos clientes puedan conectarse a nuestro bróker EMQX. Para ello se crea una tabla llamada mqtt_user en nuestra base de datos. En la Figura 82 se muestra la creación de la tabla mqtt_user, la cual estará relacionada tanto a la aplicación web como al servidor MQTT. La creación de esta tabla se encuentra en una plantilla que se encuentra en la documentación de EMQX, la cual se modifica según se requiera en el desarrollo de cualquier proyecto.

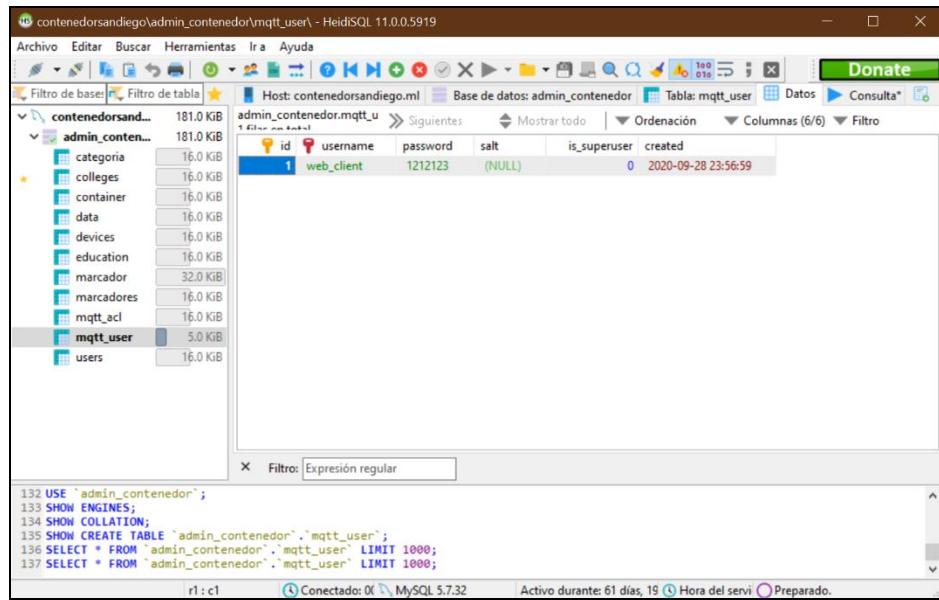


Figura 82. Creación de la tabla mqtt_user en HeidiSQL. Elaboración propia.

Luego de crear la tabla mqtt_user, se tiene que ingresar al dashboard de EMQ y buscar la opción plugins para poder configurar y activar el control de acceso. Dentro de pluggins seleccionamos emqx_auth_mysql y se ingresa a config para poder completar los parámetros de configuración requeridos y finalmente se presiona start para activar el plugin. En la Figura 83 se muestra la configuración de los parámetros para activar el plugin de control de acceso al bróker EMQX.

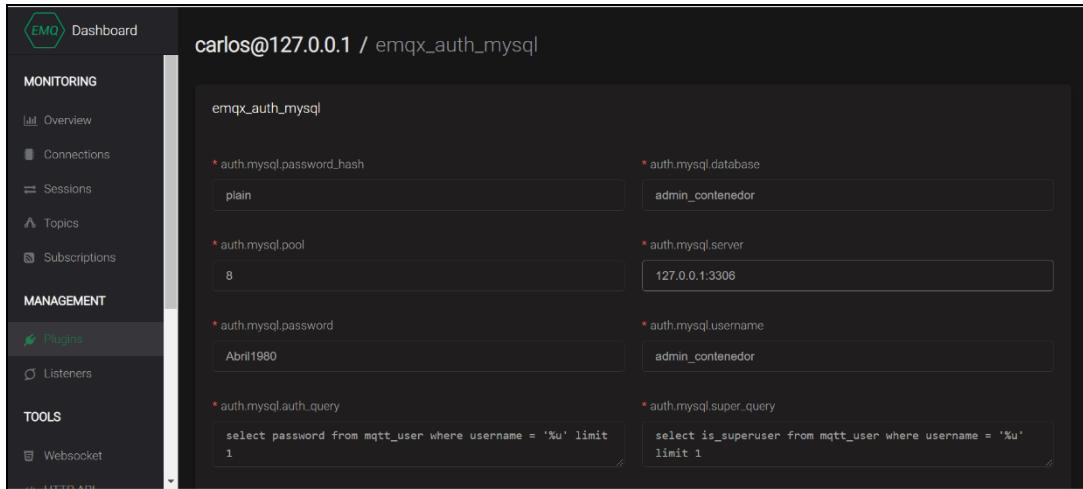


Figura 83. Configuración de parámetros para activar pluggins de control de acceso al bróker EMQX.
Elaboración propia.

En la Figura 84 se muestra la conexión exitosa entre la aplicación web y el bróker EMQX, luego de ingresar el nombre usuario y contraseña en el código de la aplicación web creada en ATOM.

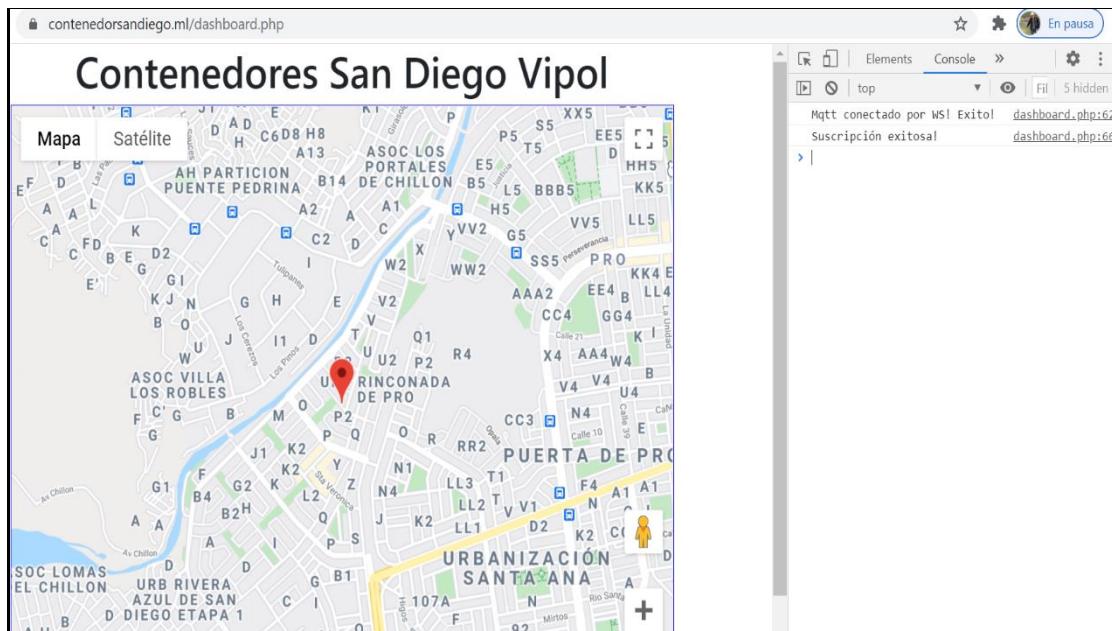
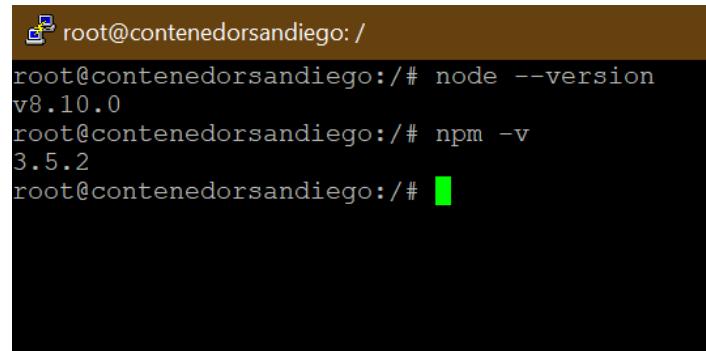


Figura 84. Conexión exitosa entre la aplicación web y el bróker EMQX. Elaboración propia.

4.3.1.3.7 Habilitación de la comunicación a la base de datos

PHP es capaz de recibir, guardar y recuperar valores de una base de datos. Asimismo, puede comparar y generar alarmas vía emails, pero el sistema propuesto necesita un programa que funcione como un servicio y que este servicio sea constante, ya que constantemente tiene que estar chequeando todos los valores que se transmiten. PHP es un programa que una vez

que empieza a ejecutarse evidentemente en algún momento finaliza y por lo general esto es muy rápido para nuestro sistema, además a PHP no le gustan los bucles infinitos. Por esta razón se requiere un servicio que nunca se corte y que soporte bucles infinitos, ya que el sistema va a estar funcionando y controlando todo el tiempo. Por lo tanto, PHP no va a ser la solución y se utilizará Node JS como servicio. Antes de instalar Node JS se debe actualizar el manejador de paquetes de UBUNTU mediante el comando sudo apt update, luego se realiza la instalación mediante el comando apt install nodejs y por último se instala un manejador de paquetes mediante el comando apt install npm. En la Figura 85 se muestra la versión del Node JS y del manejador de paquetes instalado.

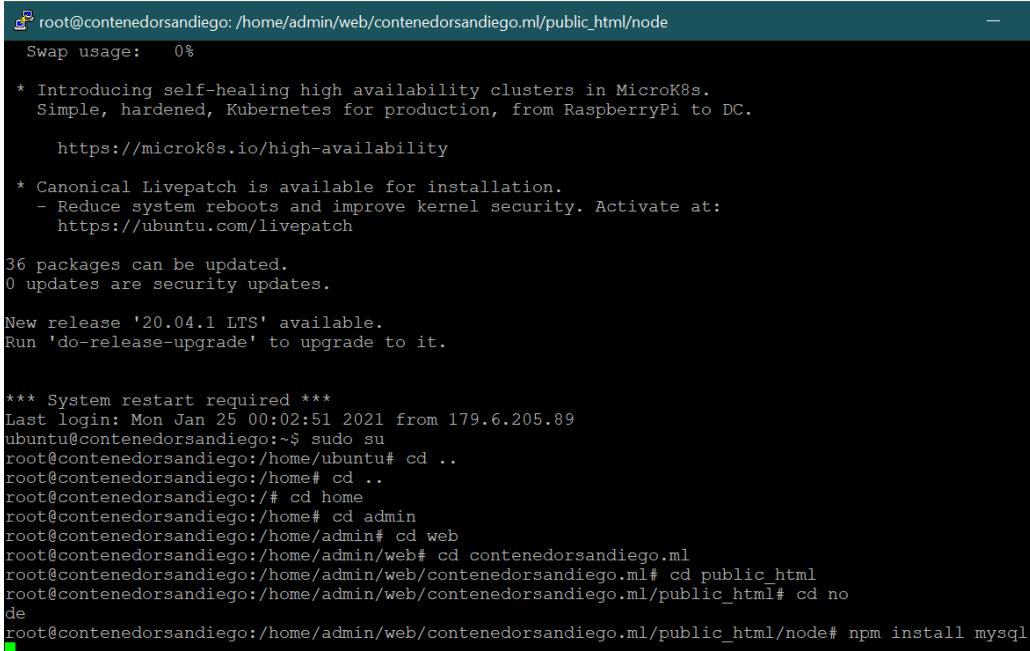
A screenshot of a terminal window with a dark background and light-colored text. It shows the following command-line session:

```
root@contenedorsandiego:/# node --version
v8.10.0
root@contenedorsandiego:/# npm -v
3.5.2
root@contenedorsandiego:/#
```

The first two lines are in white text, and the third line has a small green square icon at the end of the command.

Figura 85. Versión del Node JS y del manejador de paquetes instalado. Elaboración propia.

Para habilitar la comunicación entre Node JS y MySQL se tiene que instalar el módulo de Node JS para MySQL mediante el comando npm install mysql. El módulo Node JS solo será instalado para este proyecto por lo que si se usa otro proyecto se tendría que volver a instalar el módulo Node JS para MySQL. En la Figura 86 se muestra la instalación del módulo Node JS para MySQL mediante el terminal Putty.



```

root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html/node
Swap usage: 0%
* Introducing self-healing high availability clusters in MicroK8s.
  Simple, hardened, Kubernetes for production, from RaspberryPi to DC.

  https://microk8s.io/high-availability

* Canonical Livepatch is available for installation.
  - Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
    https://ubuntu.com/livepatch

36 packages can be updated.
0 updates are security updates.

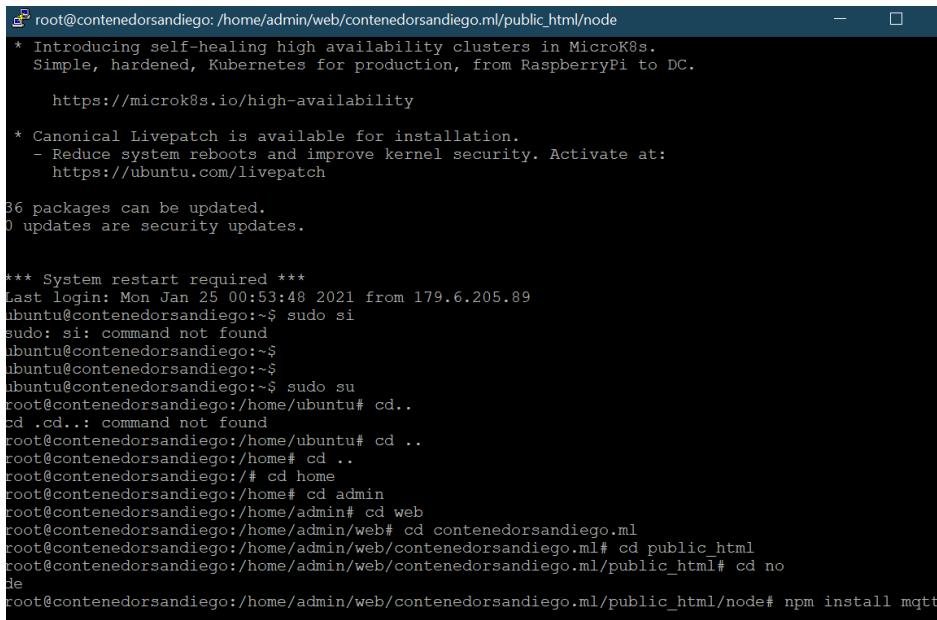
New release '20.04.1 LTS' available.
Run 'do-release-upgrade' to upgrade to it.

*** System restart required ***
Last login: Mon Jan 25 00:02:51 2021 from 179.6.205.89
ubuntu@contenedorsandiego:~$ sudo su
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# cd ..
root@contenedorsandiego:/home# cd home
root@contenedorsandiego:/home# cd admin
root@contenedorsandiego:/home/admin# cd web
root@contenedorsandiego:/home/admin/web# cd contenedorsandiego.ml
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml# cd public_html
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html# cd node
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html/node# npm install mysql

```

Figura 86. Instalación del módulo Node JS para MySQL mediante el terminal Putty. Elaboración propia.

Para habilitar la comunicación entre Node JS y MQTT se tiene que instalar el módulo de Node JS para MQTT mediante el comando `npm install mqtt`. El módulo Node JS solo será instalado para este proyecto por lo que si se usa otro proyecto se tendría que volver a instalar el módulo Node JS para MQTT. En la Figura 87 se muestra la instalación del módulo Node JS para MQTT mediante el terminal Putty



```

root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html/node
* Introducing self-healing high availability clusters in MicroK8s.
  Simple, hardened, Kubernetes for production, from RaspberryPi to DC.

  https://microk8s.io/high-availability

* Canonical Livepatch is available for installation.
  - Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
    https://ubuntu.com/livepatch

36 packages can be updated.
0 updates are security updates.

*** System restart required ***
Last login: Mon Jan 25 00:53:48 2021 from 179.6.205.89
ubuntu@contenedorsandiego:~$ sudo si
sudo: si: command not found
ubuntu@contenedorsandiego:~$ 
ubuntu@contenedorsandiego:~$ sudo su
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# cd ..
cd ..: command not found
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# cd ..
root@contenedorsandiego:/home# cd home
root@contenedorsandiego:/home# cd admin
root@contenedorsandiego:/home/admin# cd web
root@contenedorsandiego:/home/admin/web# cd contenedorsandiego.ml
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml# cd public_html
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html# cd node
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html/node# npm install mqtt

```

Figura 87. Instalación del módulo Node JS para MQTT mediante el terminal Putty. Elaboración propia.

Luego de instalar el módulo de Node JS para MySQL y MQTT se ingresan las credenciales de MySQL y MQTT en el archivo index.js mediante el editor de código ATOM. En la Figura 88 se muestran las credenciales de MySQL y MQTT en el archivo index.js. de ATOM

```
js index.js

4 //CREDENCIALES MYSQL
5 var con = mysql.createConnection({
6   host: "contenedorsandiego.ml",
7   user: "admin_contenedor",
8   password: "Abril1980",
9   database: "admin_contenedor"
10 });
11
12 //CREDENCIALES MQTT
13 var options = {
14   port: 1883,
15   host: 'contenedorsandiego.ml',
16   clientId: 'access_contenedor_server_' + Math.round(Math.random() * 1000),
17   username: 'web_client',
18   password: '1212123',
19   keepalive: 60,
```

Figura 88. Credenciales de MySQL y MQTT en el archivo index.js de ATOM. Elaboración propia.

Para verificar la configuración y funcionamiento del Node JS, se ejecuta el comando node index.js en el terminal Putty. En la Figura 89 se muestra la conexión exitosa a MySQL y MQTT.

```
[root@contenedorsandiego: /home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html/node
last login: Mon Jan 25 01:06:34 2021 from 179.6.205.89
ubuntu@contenedorsandiego:~$ sudo su
root@contenedorsandiego:/home/ubuntu# cd ..
root@contenedorsandiego:/home# cd admin
root@contenedorsandiego:/home/admin# cd web
root@contenedorsandiego:/home/admin/web# cd contenedorsandiego.ml
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml# cd public_html
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html# cd node
root@contenedorsandiego:/home/admin/web/contenedorsandiego.ml/public_html/node# node index.js
Conexion a MySQL exitosa!!!
Conexion MQTT Exitosa!!!
| RowDataPacket {
|   id: 1987,
|   name: 'C1',
|   date: 2020-11-27T04:20:12.000Z,
|   address: 'Av. San diego de Alcala',
|   level: 24,
|   lat: 1.166667,
|   lng: 0.233333 },
RowDataPacket {
  id: 1988,
  name: 'C1',
  date: 2020-11-27T04:20:17.000Z,
  address: 'Av. San diego de Alcala',
  level: 24,
  lat: 1.166667,
  lng: 0.233333 },
RowDataPacket {
  id: 1989,
  name: 'C1',
  date: 2020-11-27T04:20:22.000Z,
  address: 'Av. San diego de Alcala',
  level: 2,
  lat: 1.166667,
  lng: 0.233333 },
RowDataPacket {
```

Figura 89. Conexión exitosa a MySQL y MQTT. Elaboración propia.

5 CAPÍTULO 5

5.1 RESULTADOS

El resultado final de este proyecto de investigación es el prototipo de un contenedor de residuos sólidos inteligente, el cual tiene instalado un módulo GPS que controla la ubicación y un sensor ultrasonido que mide el nivel de llenado. En la Figura 90 se muestra el diseño del dispositivo que será ubicado dentro de un contenedor de residuos sólidos. Este dispositivo se compone de un sensor ultrasónico, un módulo GPS, un módulo ESP32 con su batería recargable, un Transceptor LoRa RFM95 con una antena helicoidal y panel solar para poder cargar las baterías de litio. En la Figura 91 se muestra los componentes ubicados dentro de la caja protectora.

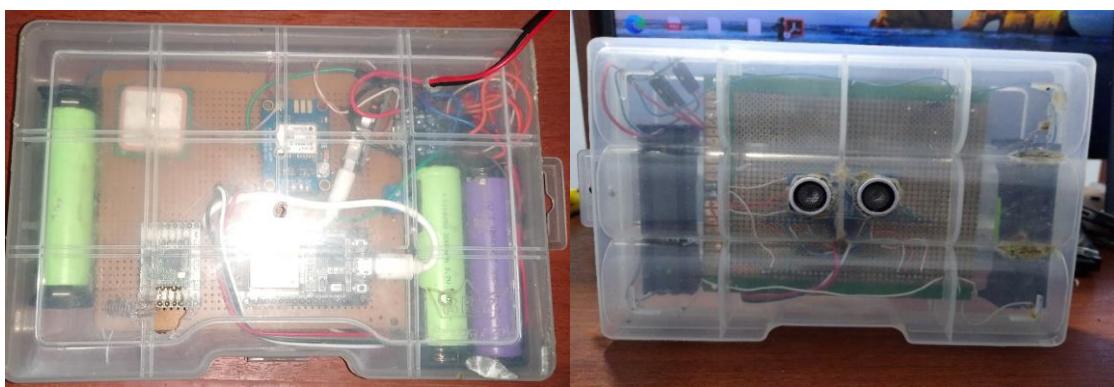


Figura 90. Ubicación de sensores dentro de la caja protectora. Elaboración propia.

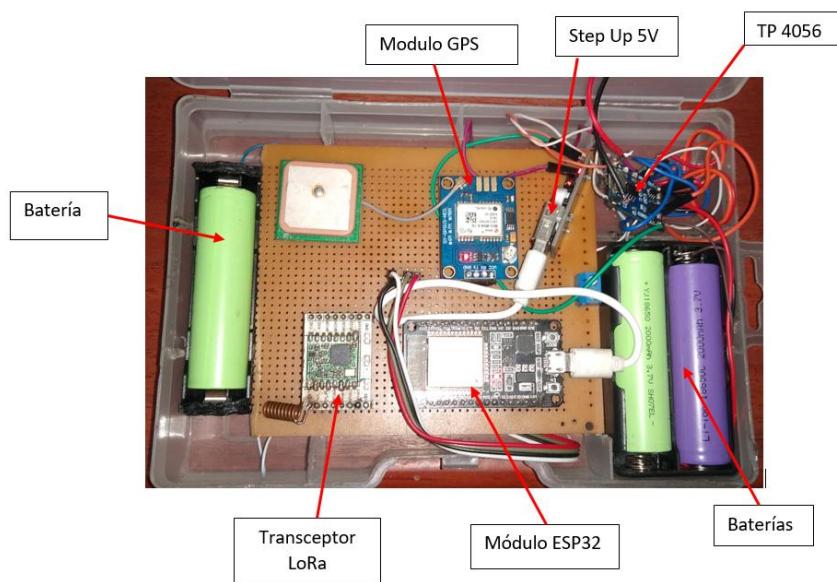


Figura 91. Componentes dentro de la caja protectora. Elaboración propia.

La caja y el diseño es propio y se trata de un objeto de 20 x 14 x 4,5 cm, con dos orificios por los que asoman el emisor y el receptor del sensor ultrasonidos. Dicha caja es de un tamaño manejable, fácilmente instalable y tiene un peso de 360 gr.

La ubicación de la caja que contiene el sensor de ultrasonido y el modulo GPS será ubicado en la tapa del contenedor. En la Figura 92 se muestra la ubicación del dispositivo dentro del contenedor de residuos sólidos.



Figura 92. Ubicación del dispositivo debajo de la tapa del contenedor. Elaboración propia.

Debido a que no se ha podido acceder a un contenedor real se ha diseñado un contenedor de residuos sólidos con las medidas de largo, ancho y altura de un contenedor real. Por lo que este contenedor tendrá una altura de 120 cm. En la Figura 93 se muestra el diseño del contenedor de residuos sólidos.



Figura 93. Diseño del contenedor de residuos sólidos con una altura de 120 cm. Elaboración propia.

5.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se describe las pruebas realizadas en cada una de las partes cruciales para realizar el proyecto: la ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos, la medición de los sensores, y el funcionamiento del sistema del prototipo mediante el protocolo MQTT y servicio Node JS y la grabación de los datos obtenidos del nodo final a la base de datos.

5.2.1 Ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos inteligentes

En la Figura 94 se valida la ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos inteligentes.

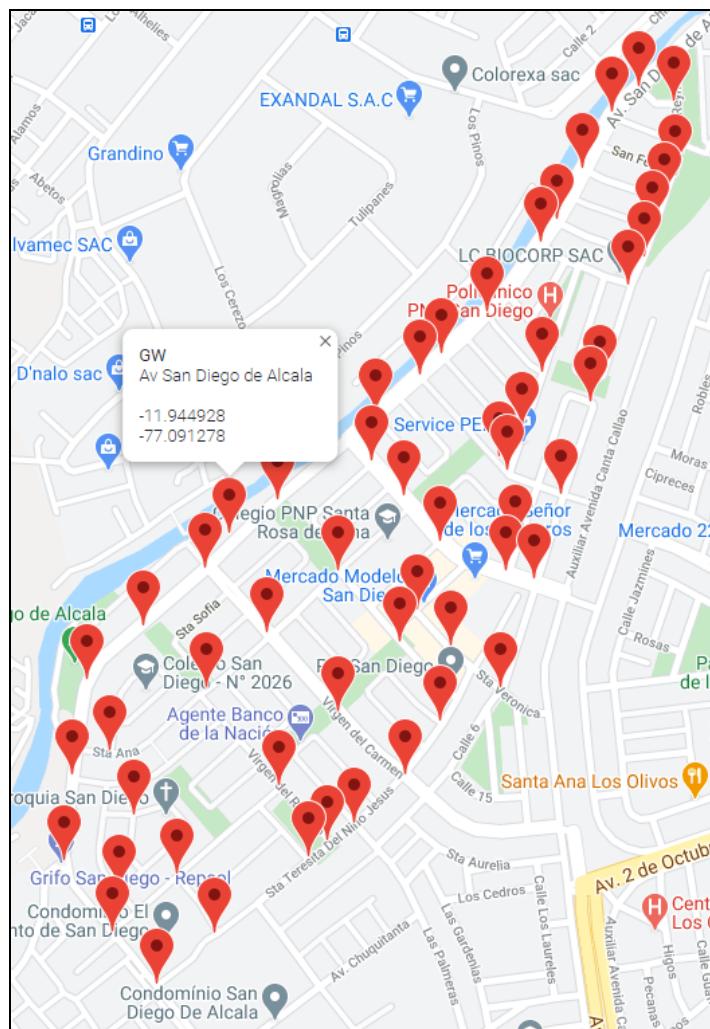


Figura 94. Validación de la ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos inteligentes dentro de la urbanización San Diego Vipol. Elaboración propia.

En la Tabla 34 se valida la ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos a través de la latitud y longitud.

Tabla 34

Geolocalización del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos

id	nombre	dirección	latitud	longitud
1	C1	Contenedor ubicado por parque 2026	-11.946375	-77.092651
2	C2	Contenedor cruce de san diego de Alcalá con virgen del Carmen	-11.945470	-77.091667
3	C3	Contenedor en Av. San Diego de Alcalá	-11.947217	-77.093544
4	C4	Av. San Diego de Alcalá	-11.948711	-77.093781
5	C5	Av. San Diego de Alcalá	-11.950047	-77.093918
6	C6	Av. San Diego de Alcalá	-11.951175	-77.093140
7	C7	Av. San Diego de Alcalá	-11.951995	-77.092438
8	C8	Sta. Dora	-11.951179	-77.091522
9	C9	Virgen de las Mercedes	-11.950271	-77.092110
10	C10	Sta. Sofía	-11.950518	-77.093040
11	C11	Sta. María de los Ángeles	-11.949338	-77.092804
12	C12	Sta. Teresa Del Nino	-11.949985	-77.090012
13	C13	Sta. Verónica	-11.946696	-77.087746
14	C14	Virgen de Rosario	-11.948884	-77.090485
15	C15	Sta. Teresa Del Nino Jesús	-11.949470	-77.089294
16	C16	Cruce virgen del Carmen con santa teresa	-11.948705	-77.088470
17	C17	Virgen del Carmen	-11.947719	-77.089531
18	C18	Sta. Teresa Del Nino Jesús	-11.947864	-77.087906
19	C19	Cruce Santa Verónica con Sta. María de Los Ángeles	-11.946135	-77.088280
20	C20	Sta. María Reyna	-11.945641	-77.086418
21	C21	Av. Santísima Cruz	-11.945514	-77.086868
22	C22	Av. La Unión	-11.944327	-77.085983

23	C23	Santa María Reyna	-11.942875	-77.085510
24	C24	Santa María Reyna	-11.941042	-77.084915
25	C25	Santa María Reyna	-11.938166	-77.084167
26	C26	Av. San Diego de Alcalá	-11.937931	-77.084732
27	C27	Fray Padre Urraca	-11.938337	-77.085159
28	C28	San Félix	-11.939267	-77.084167
29	C29	San Joaquín	-11.939673	-77.084335
30	C30	San Joaquín con Av. San Diego de Alcalá	-11.939217	-77.085640
31	C31	Cruce Santa Sofía con Sta. Ana	-11.948327	-77.093193
32	C32	San Eugenio	-11.940134	-77.084518
33	C33	San Marcelo	-11.940597	-77.084641
34	C34	San Marcelo con Av. San Diego de Alcalá	-11.940010	-77.086044
35	C35	Virgen del Rosario	-11.949732	-77.089714
36	C36	San Simón	-11.942419	-77.086288
37	C37	San Isaías	-11.940368	-77.086304
38	C38	San Simón con Av. San Diego de Alcalá	-11.941459	-77.087158
39	C39	Virgen de Guadalupe	-11.946639	-77.088562
40	C40	Av. la Unión	-11.943942	-77.086838
41	C41	San Lázaro	-11.943268	-77.086601
42	C42	San Lázaro con Av. San diego de Alcalá	-11.942127	-77.087883
43	C43	Av. la Unión	-11.942461	-77.088234
44	C44	Santa María Reyna	-11.942528	-77.085365
45	C45	Calle San Gregorio	-11.945039	-77.086700
46	C46	Santa Verónica	-11.947339	-77.086937
47	C47	Santo Toribio de Mogrovejo con San Diego de Alcalá	-11.943065	-77.088943
48	C48	Av. Santísima Cruz	-11.945047	-77.087906
49	C49	Av. Santísima Cruz	-11.944349	-77.088493

50	C50	Av. Santísima Cruz	-11.943792	-77.089012
51	C51	Virgen del Carmen	-11.946490	-77.090668
52	C52	Santa Ana	-11.947347	-77.091644
53	C53	Av. San Diego de Alcalá	-11.944406	-77.090500
54	C54	Sta. Ana	-11.945513	-77.089539
55	GW	Av San Diego de Alcalá	-11.944928	-77.091277

Nota: Se ha realizado la validación de la ubicación del Gateway y de los contenedores de residuos sólidos por medio de la latitud y longitud.

5.2.2 Medición de sensores

5.2.2.1 Sensor ultrasonido

El sensor de ultrasonido ha sido probado a una altura de 120 cm y para ello se ha simulado el llenado de un contenedor de residuos por medio de tres estados. En la Tabla 35 se describen los 3 estados tomando en cuenta la medición del sensor ultrasónico.

Tabla 35

Clasificación de los estados considerados en el contenedor de residuos sólidos.

Nº	Estado	Medición del sensor ultrasónico
1	Vacío	>114 cm.
2	Medio	<=30<=114 cm.
3	Lleno	<30 cm.

Nota: Se ha realizado la clasificación de los estados de acuerdo a los datos obtenidos por el sensor ultrasónico. Elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 95 se muestra el contenedor utilizado para validar los datos obtenidos por medio del sensor ultrasonido. El contenedor utilizado tiene una altura aproximada de 1.20 cm.



Figura 95. Contenedor utilizado para validar los datos obtenidos del sensor ultrasónico. Elaboración propia.

En la Figura 96 se muestra el contenedor el llenado del contenedor de residuos sólidos.



Figura 96. Llenado del contenedor de residuos sólidos. Elaboración propia.

En la figura 97 se muestra el llenado del contenedor de residuos sólidos al estado medio.



Figura 97. Llenado del contenedor de residuos sólidos hasta el estado medio. Elaboración propia.

En la figura 98 se muestra el llenado del contenedor de residuos sólidos al estado lleno.



Figura 98. Llenado del contenedor de residuos sólidos hasta el estado lleno. Elaboración propia.

Luego de realizar el llenado del contenedor de residuos sólidos se valida el funcionamiento del sensor ultrasonido en los diferentes estados. En la Tabla 36 se valida el funcionamiento del sensor ultrasonido ubicado dentro del contenedor de residuos sólidos de acuerdo a los tres estados descritos en la tabla 35.

Tabla 36

Datos obtenidos del sensor ultrasonido en los diferentes estados.

Nombre	Fecha	Dirección	Nivel	Latitud	Longitud	Estado
C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	115	-11.945858	-77.093185	Vacio
C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	66	-11.945902	-77.093163	Medio
C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9	-11.945888	-77.093155	Lleno

Nota: Se ha realizado la validación del funcionamiento del sensor ultrasónico de acuerdo a los diferentes estados. Elaboración propia.

Asimismo, luego de analizar los resultados obtenidos por el sensor ultrasónico (véase anexo 1), se verifica que el sensor a una distancia de 115 cm tiene una variación de 1 a 2 cm, mientras que a una distancia de 65 cm tiene una variación de 1 cm y a una distancia de 15 cm la medición es precisa.

5.2.2.2 Modulo GPS

Luego de validar el funcionamiento del sensor ultrasónico, se realiza la validación de los datos obtenidos por el módulo GPS al visitar 9 puntos ubicados dentro de la urbanización San Diego Vipol. Para ello, se compararon los datos de latitud y longitud del módulo GPS con los datos ingresados en el mapa de Google Maps para determinar su precisión. En la Tabla 37 se muestran los datos obtenidos del módulo GPS en cuanto a latitud y longitud.

Tabla 37

Datos obtenidos del módulo GPS

Id	name	date	address	lat.	lng
1	C1	6/04/2021 18:13	Sta. María Reyna	-11.938128	-77.084085
2	C1	6/04/2021 18:22	Av. Santísima Cruz	-11.945685	-77.086448
3	C1	6/04/2021 18:30	Sta. Teresita Del Niño Jesús	-11.949730	-77.089817
4	C1	6/04/2021 18:38	Av. San diego de Alcalá	-11.951187	-77.093197
5	C1	6/04/2021 18:46	Av. San diego de Alcalá	-11.946375	-77.092613
6	C1	8/04/2021 13:09	Av. San diego de Alcalá	-11.944538	-77.090553
7	C1	8/04/2021 13:17	San Félix	-11.939267	-77.084167
8	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940580	-77.084618
9	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcalá	-11.940442	-77.086417

Nota: Datos obtenidos del módulo GPS dentro del tacho de residuos sólidos. Elaboración Propia.

A continuación, se realiza la validación de cada dato obtenido por el módulo GPS y se comparan con los datos ingresados en el mapa de Google Maps.

a). En el punto 1, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 99 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

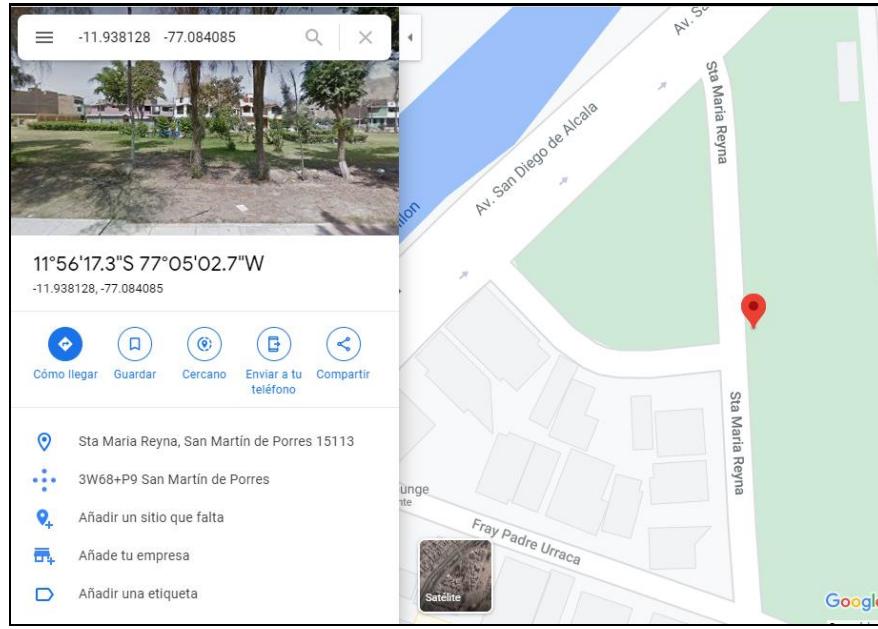


Figura 99. Se valida la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 100 se muestra la ubicación del nodo final en la calle Sta. María Reyna.



Figura 100. Ubicación del nodo final en la calle Sta. María Reyna. Elaboración propia.

En la Figura 101 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.

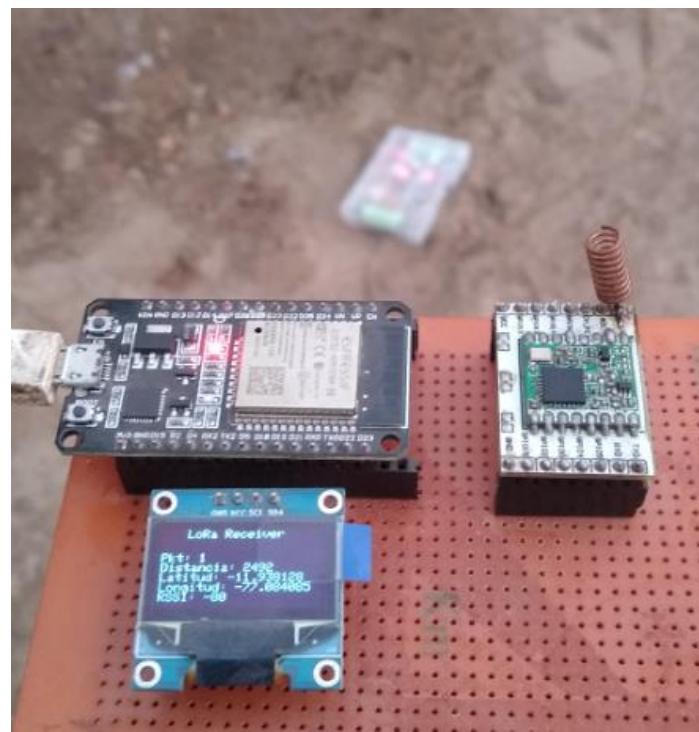


Figura 101. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

b). En el punto 2, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 102 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

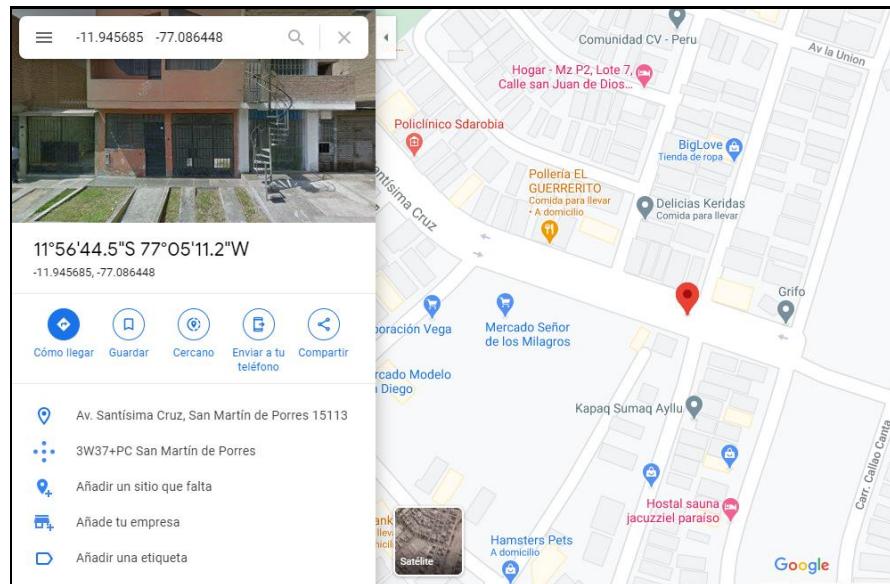


Figura 102. Se valida la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 103 se muestra la ubicación del nodo final en la Avenida Santísima Cruz.

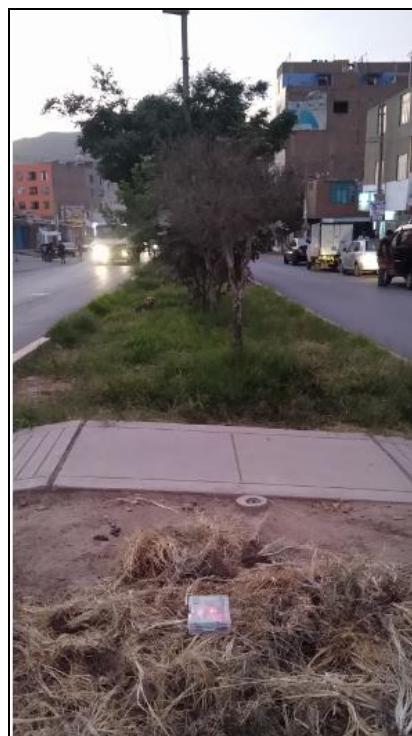


Figura 103. Ubicación del nodo final en la Avenida Santísima Cruz. Elaboración propia.

En la Figura 104 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.



Figura 104. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

c). En el punto 3, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 105 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

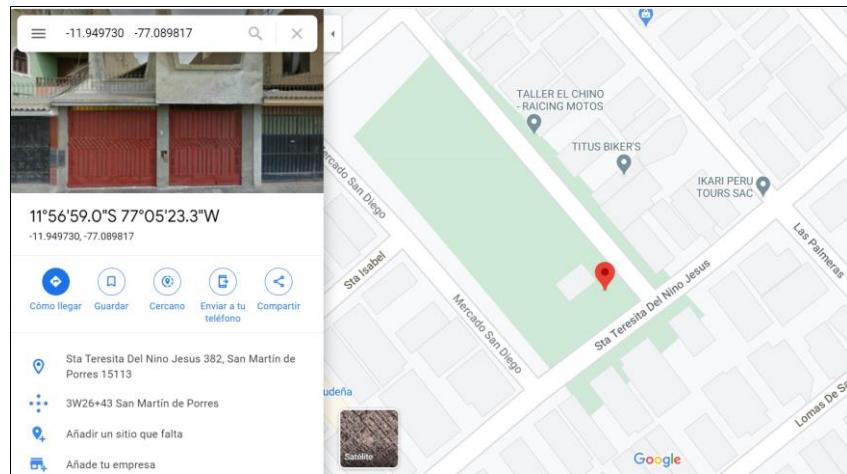


Figura 105. Se valida la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 106 se muestra la ubicación del nodo final en la calle Sta. Teresita Del Nino Jesús.



Figura 106. Ubicación del nodo final en la calle Sta. Teresita Del Nino Jesús. Elaboración propia.

En la Figura 107 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.



Figura 107. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

d). En el punto 4, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 108 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

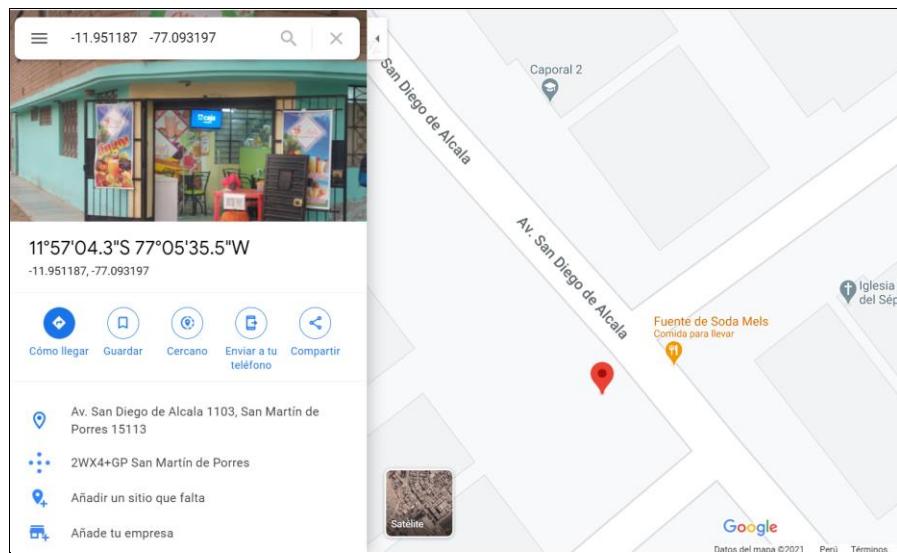


Figura 108. Validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 109 se muestra la ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá.



Figura 109. Ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá. Elaboración propia.

En la Figura 110 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.



Figura 110. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

e). En el punto 5, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 111 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

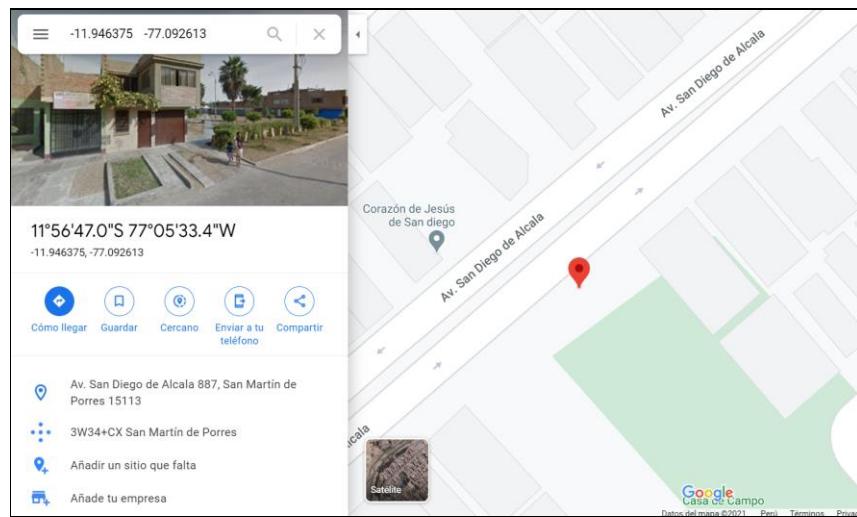


Figura 111. Validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 112, se muestra la ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá.



Figura 112. Ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá. Elaboración propia.

En la Figura 113 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.



Figura 113. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

f). En el punto 6, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 114 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

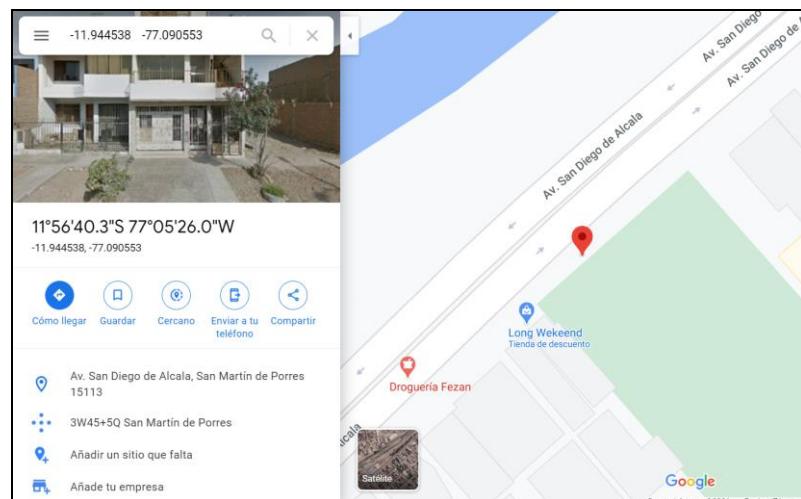


Figura 114. Validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 115, se muestra la ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá.



Figura 115. Ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá. Elaboración propia.

En la Figura 116 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.

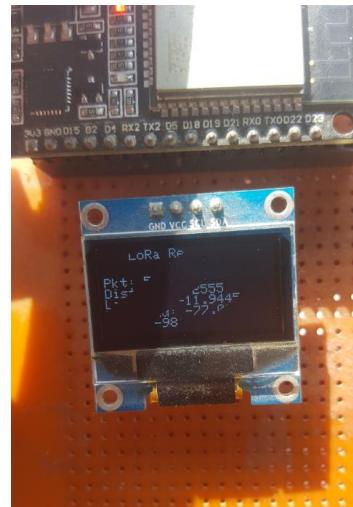


Figura 116. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

g). En el punto 7, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 117 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

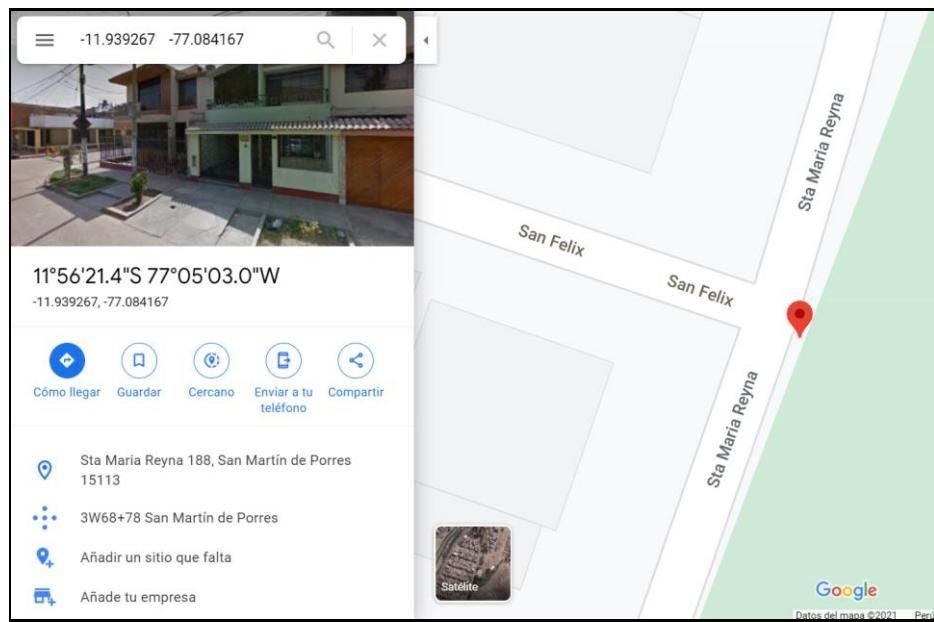


Figura 117. Validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 118, se muestra la ubicación del nodo final en la calle San Félix.



Figura 118. Ubicación del nodo final en la calle San Félix. Elaboración propia.

En la Figura 119 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.

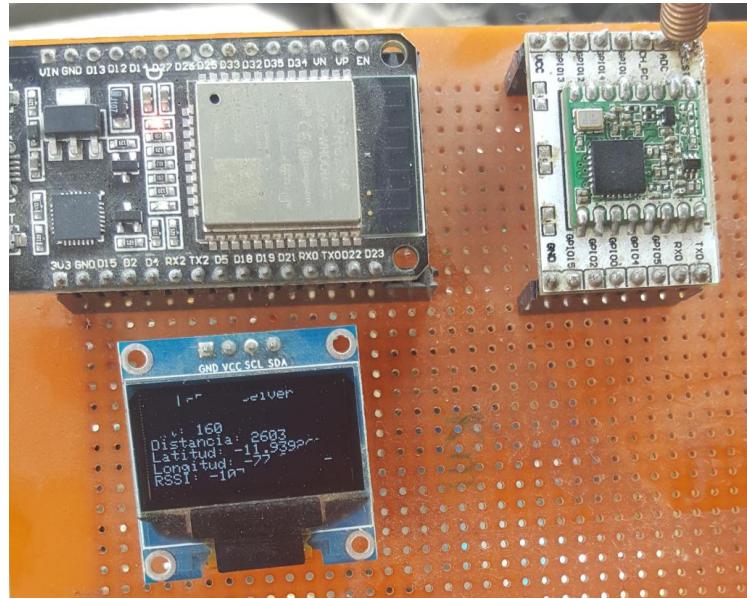


Figura 119. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

h). En el punto 8, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 120 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

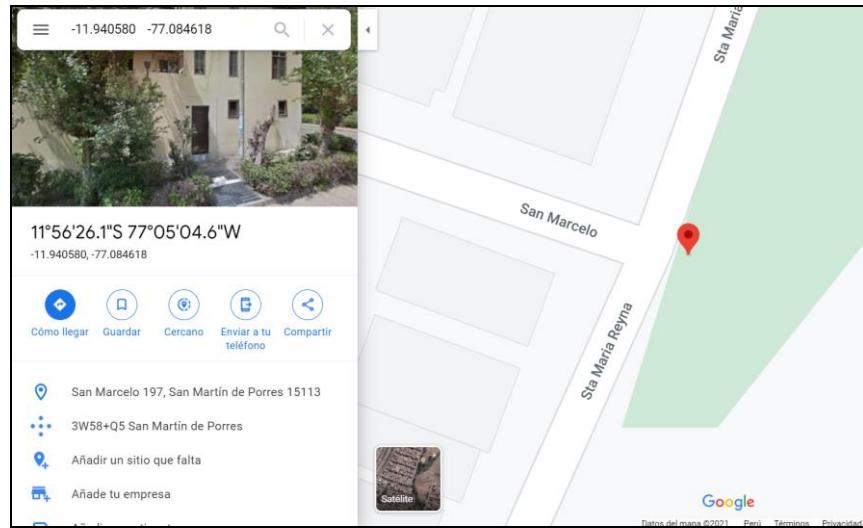


Figura 120. Validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 121, se muestra la ubicación del nodo final en la calle San Marcelo.



Figura 121. Ubicación del nodo final en la calle San Marcelo. Elaboración propia.

En la Figura 122 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.



Figura 122. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

- i). En el punto 9, se verifica que las medidas de latitud y longitud del módulo GPS coinciden con la ubicación mostrada en el mapa de Google Maps. En la Figura 123 se muestra la validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps.

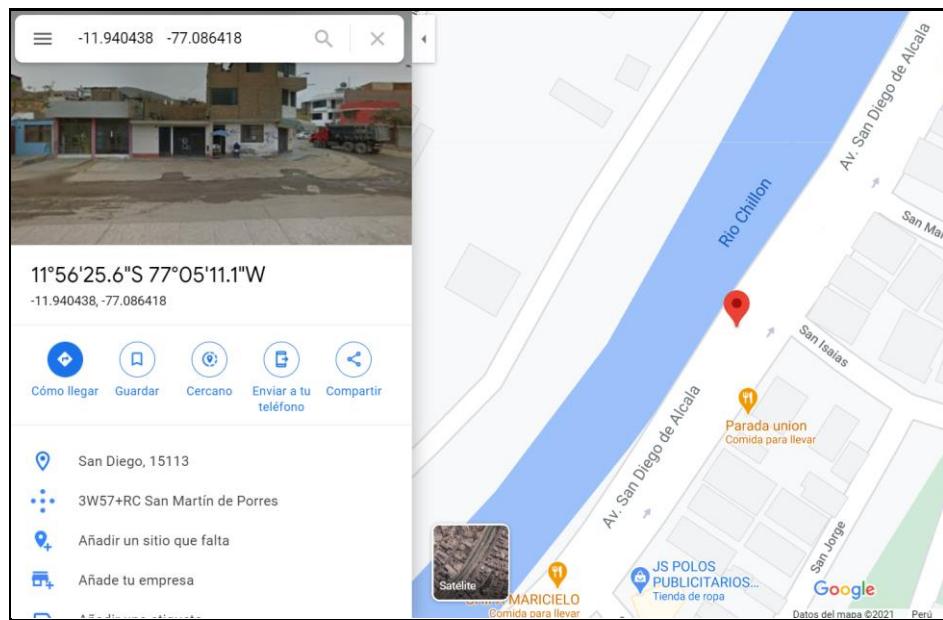


Figura 123. Validación de la latitud y longitud en el mapa de Google Maps. Elaboración propia.

En la Figura 124, se muestra la ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá.



Figura 124. Ubicación del nodo final en la avenida San Diego de Alcalá. Elaboración propia.

En la Figura 125 se muestran los datos capturados de la ubicación del nodo final.

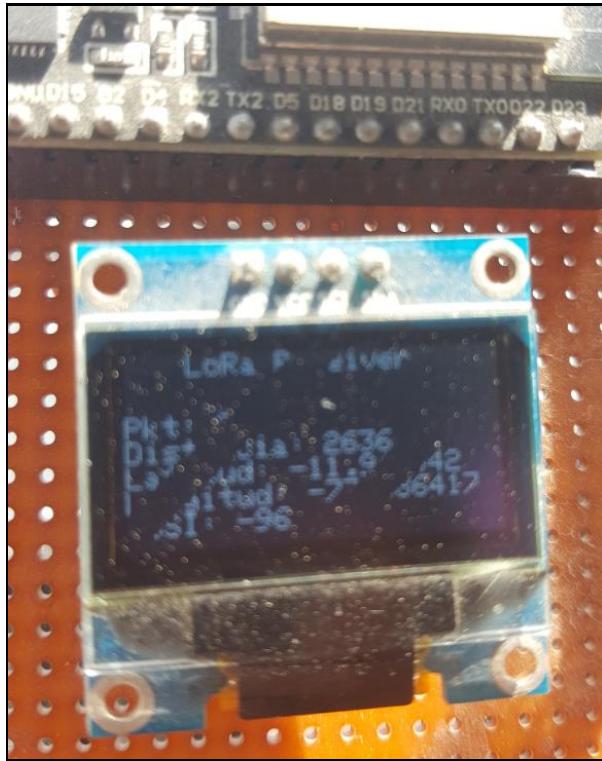


Figura 125. Datos capturados de la ubicación del nodo final. Elaboración propia.

Asimismo, el resultado de la prueba completa lo podemos ver en el Anexo 2, donde se muestran todos los resultados obtenidos de todos los puntos que se recorrieron.

5.2.3 Funcionamiento de la aplicación web en la nube

Para acceder al sistema el usuario debe tener un usuario y contraseña y en caso de no tener credenciales se puede registrar en el sistema como un usuario nuevo. En la Figura 126 se muestra el acceso al sistema mediante un usuario y contraseña.

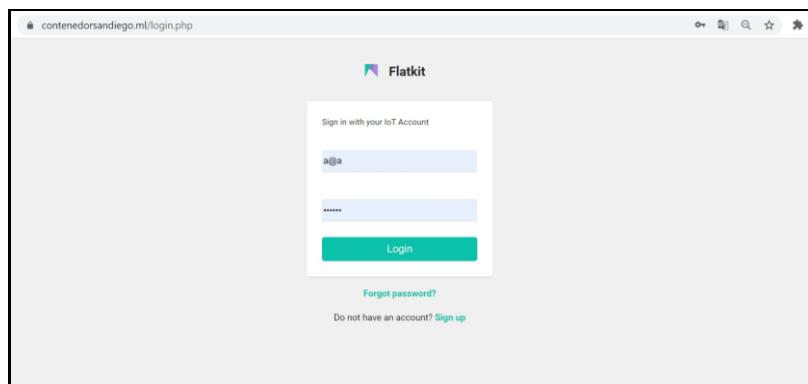


Figura 126. Acceso al sistema para visualizar los contenedores ubicados en la urbanización San Diego Vipol.
Elaboración propia.

Al ingresar al sistema el usuario puede observar la ubicación y el estado del contenedor de residuos sólidos. Además, es posible observar los datos que llegan del nodo final a la aplicación web mediante la opción inspeccionar del navegador web. En la Figura 127 se puede observar los datos que llegan al navegador web mediante la opción inspeccionar.

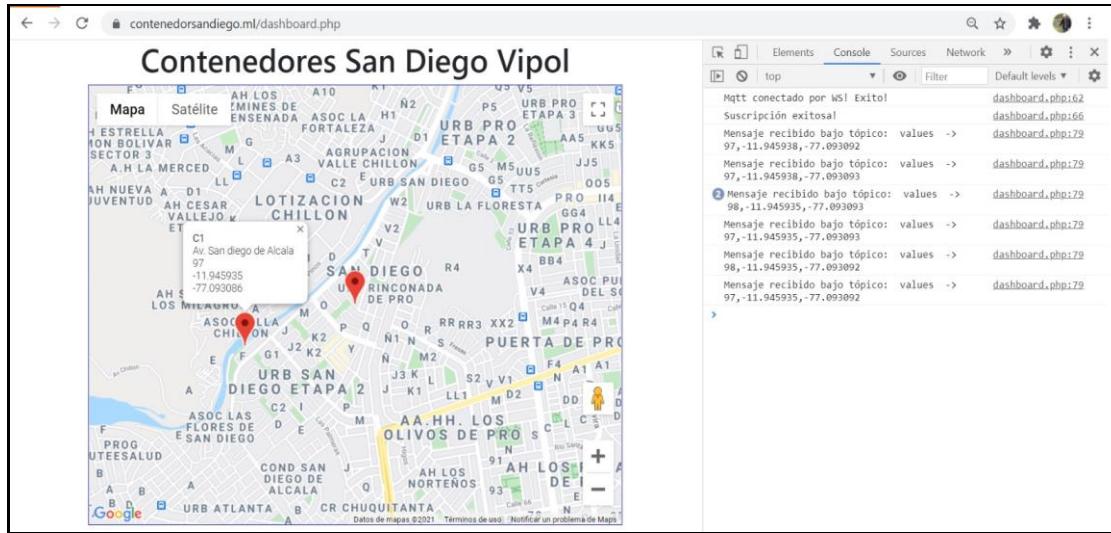


Figura 127. Visualización de los datos recibidos desde el nodo final. Elaboración propia

Para validar el funcionamiento de la aplicación web y la grabación de los datos en la base de datos se utiliza el protocolo MQTT y el servicio NodeJS. Para validar la grabación de los datos en la base de datos se requiere conectarse al servidor de red mediante la aplicación PuTTY y ejecutar el comando `Node index.js` para iniciar la grabación de los datos. En la figura 128 se muestra la ejecución del comando “`node index.js`” para iniciar la grabación de los datos en la base de datos y para mantener el sistema en producción se ejecuta una aplicación NodeJS mediante el comando “`pm2 start index.js`”.

```
ubuntu@contenedorsandiego:~$ node index.js
Conexión MQTT Exitosa!!
Subscripción exitosa!!
Conexión a MySQL exitosa!!!
Mensaje recibido desde -> values Mensaje -> 96,-11.945930,-77.093087
Fila insertada correctamente
Mensaje recibido desde -> values Mensaje -> 98,-11.945930,-77.093087
Fila insertada correctamente
Mensaje recibido desde -> values Mensaje -> 97,-11.945930,-77.093087
Fila insertada correctamente
Mensaje recibido desde -> values Mensaje -> 97,-11.945930,-77.093087
Fila insertada correctamente
Mensaje recibido desde -> values Mensaje -> 97,-11.945930,-77.093087
Fila insertada correctamente
Mensaje recibido desde -> values Mensaje -> 97,-11.945930,-77.093087
Fila insertada correctamente
```

Figura 128. Ejecución del comando node index.js para grabar los datos obtenidos del nodo final a la base de datos.

En la figura 129 se valida los datos obtenidos en el navegador web que llegan desde el nodo final.

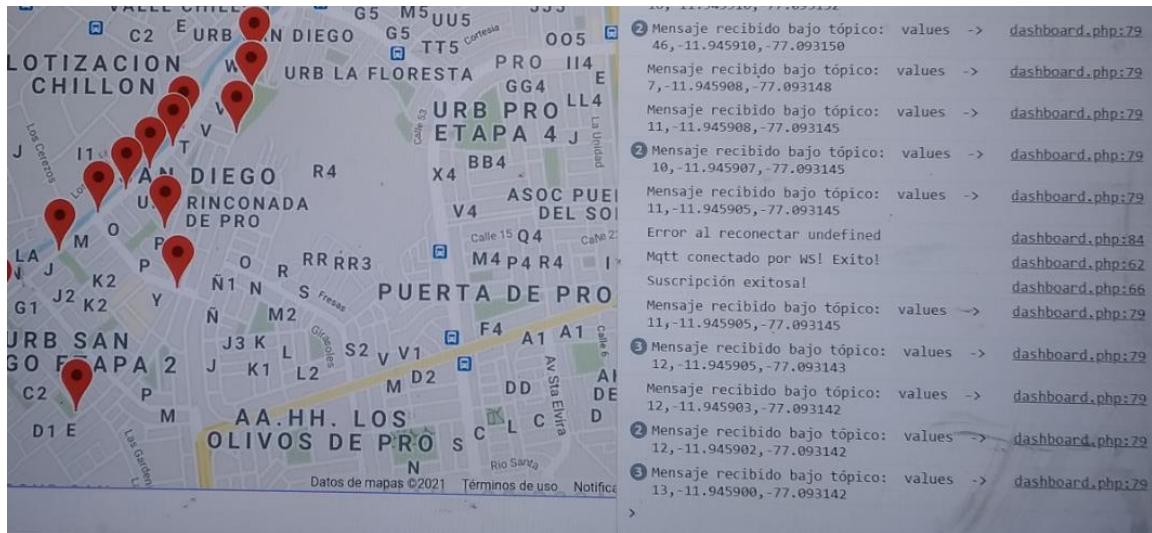


Figura 129. Datos obtenidos en el navegador web. Elaboración propia.

Asimismo, se verifica que los datos que llegan al Gateway coinciden con los datos que llegan al navegador web. En la Figura 130 se muestran los datos que llegan al GATEWAY.

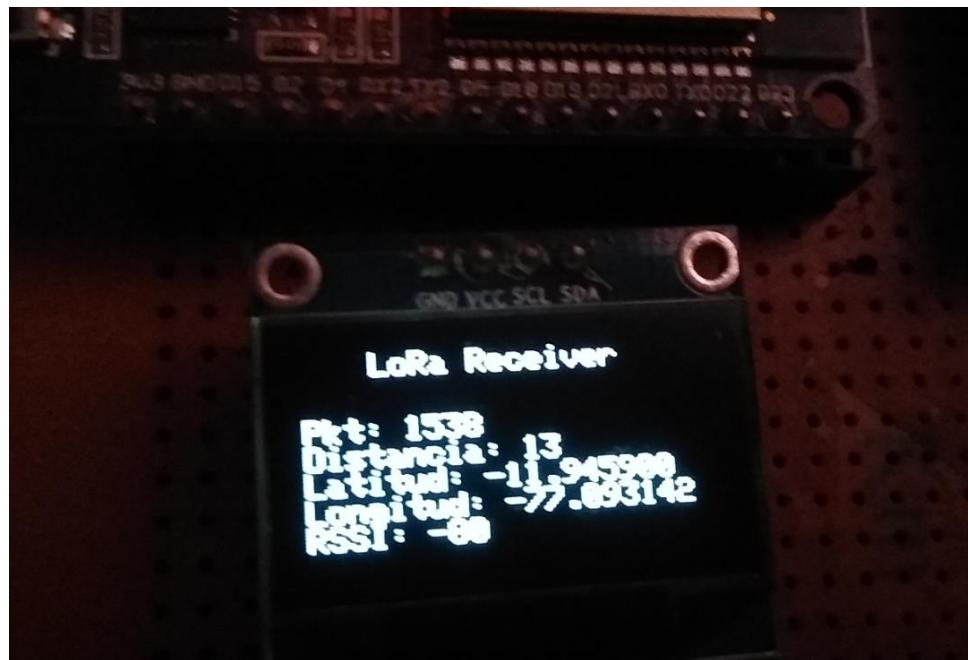


Figura 130. Se valida que los datos que llegan al GATEWAY coinciden con los datos que llegan al navegador web. Elaboración propia.

Además, se valida que los datos que se almacenan en la base de datos son los mismo que aparecen en el GATEWAY y el navegador web. En la figura 131 se muestran los datos que se graban en la base de datos y que coinciden con el GATEWAY y navegador web.

909	C1	2021-04-08 18:15:52	Av. San diego de Alcala	13	-11.945900	-77.093140
910	C1	2021-04-08 18:16:02	Av. San diego de Alcala	13	-11.945900	-77.093140
911	C1	2021-04-08 18:16:12	Av. San diego de Alcala	13	-11.945900	-77.093140

Figura 131. Datos obtenidos de la base de datos MySQL y que coinciden con el GATEWAY y navegador web.
Elaboración propia.

Finalmente se verifica la grabación de los datos en la base de datos mediante el gestor de base de datos HeidiSQL. En la Figura 132 se muestra la grabación de los datos en la base de datos.

Filtro de base: Filtro de tabla ★

Host: contenedorsandiego.ml Base de datos: admin_contenedor Tabla: colleges Datos data1.sql

admin_contenedor.colleges: 390 filas en total (aproximadamente) » Siguientes Mostrar todo

	id	name	date	address	level	lat	lng
909	C1		2021-04-08 18:15:52	Av. San diego de Alcala	13	-11.945900	-77.093140
910	C1		2021-04-08 18:16:02	Av. San diego de Alcala	13	-11.945900	-77.093140
911	C1		2021-04-08 18:16:12	Av. San diego de Alcala	13	-11.945900	-77.093140
912	C1		2021-04-08 18:16:22	Av. San diego de Alcala	13	-11.945898	-77.093140
913	C1		2021-04-08 18:16:32	Av. San diego de Alcala	13	-11.945898	-77.093140
914	C1		2021-04-08 18:16:42	Av. San diego de Alcala	14	-11.945900	-77.093140
915	C1		2021-04-08 18:16:52	Av. San diego de Alcala	15	-11.945900	-77.093140
916	C1		2021-04-08 18:17:02	Av. San diego de Alcala	15	-11.945900	-77.093140
917	C1		2021-04-08 18:17:12	Av. San diego de Alcala	15	-11.945900	-77.093140
918	C1		2021-04-08 18:17:22	Av. San diego de Alcala	15	-11.945902	-77.093140
919	C1		2021-04-08 18:17:32	Av. San diego de Alcala	15	-11.945902	-77.093140
920	C1		2021-04-08 18:17:42	Av. San diego de Alcala	10	-11.945902	-77.093140
921	C1		2021-04-08 18:17:52	Av. San diego de Alcala	10	-11.945902	-77.093140
922	C1		2021-04-08 18:18:02	Av. San diego de Alcala	10	-11.945902	-77.093140
923	C1		2021-04-08 18:18:12	Av. San diego de Alcala	10	-11.945902	-77.093140
924	C1		2021-04-08 18:18:22	Av. San diego de Alcala	9	-11.945902	-77.093140
925	C1		2021-04-08 18:18:32	Av. San diego de Alcala	9	-11.945902	-77.093140
926	C1		2021-04-08 18:18:42	Av. San diego de Alcala	20	-11.945902	-77.093140
927	C1		2021-04-08 18:18:52	Av. San diego de Alcala	8	-11.945902	-77.093140
928	C1		2021-04-08 18:19:02	Av. San diego de Alcala	9	-11.945902	-77.093140

Figura 132. Grabación de datos en la base de datos. Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 132, se valida que los datos se están grabando cada 10 segundos y sin pérdida de paquetes. Asimismo, este intervalo de tiempo de 10 segundos es manejado por el nodo final y puede ser configurado según el requerimiento.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La presente investigación ha demostrado que la implementación de contenedores de basura inteligentes es una solución viable empleando la arquitectura LoRaWAN. Esta solución busca evitar que los contenedores se encuentren al máximo de su capacidad de almacenaje, mediante el monitoreo de contenedores permitiendo que la entidad correspondiente pueda tomar medidas al respecto y evitar la contaminación y la propagación de enfermedades.
- La solución presentada busca resolver un problema social y ambiental empleando un método distinto de comunicación a los que ya se han usado para resolver el mismo problema basándose en los principios del Internet de las Cosas y de las ciudades inteligentes, para lo cual la red LoRa es una alternativa ideal para lograr una comunicación de largo alcance y con un bajo consumo energético. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el tamaño máximo de paquete es de 243 bytes por lo que si quisieramos enviar audio o video no sería posible.
- La convergencia de los distintos componentes de hardware y software desarrollados permitieron tener un contenedor de basura inteligente que permite visualizar de manera periódica su capacidad disponible desde una aplicación web.
- El prototipo ha sido desarrollado en la frecuencia de 915 MHz, con una potencia de transmisión de 13 dBm y los datos fueron enviados cada 10 segundos; sin embargo, cuando se elevó la potencia del transmisor a 20 dBm hubo mayor consumo de energía y se comprobó que si la batería está por debajo de 3.6 V el nodo final comienza a enviar datos falsos a la aplicación web. Por lo tanto, se debe tener un panel solar que tenga la capacidad de cargar rápidamente las baterías.
- La presente investigación fue llevada a cabo únicamente con software y hardware libre, esto permitió reducir notablemente los costos de desarrollo e implementación.
- Se concluye que es posible crear un sistema de internet de las cosas de bajo costo, ya que con un sensor de ultrasonido se puede medir el nivel y con un pequeño modulo GPS

se puede determinar la ubicación, además, de que con un pequeño transceptor LoRa se puede alcanzar largas distancias.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda que el Gateway tenga alta disponibilidad para que los datos obtenidos en los nodos finales puedan ser transmitidos a la aplicación, ya que cualquier caída en la red evitaría de que los datos lleguen a la aplicación web; por lo tanto, se recomienda tener doble conexión a internet.
- A la hora de usar el protocolo LoRaWAN se debe ser cuidadoso en la frecuencia empleada, ya que se ha establecido una frecuencia por defecto para cada región. En Asia se emplea 433 MHz, en Europa 868 MHz y en América 915 MHz.
- Para determinar el factor de propagación a usarse se debe realizar un análisis de lo que busca la solución. Si se desea mayor velocidad de transmisión se deberá emplear un factor de propagación bajo y si se desea priorizar una baja sensibilidad al ruido se puede emplear un factor de propagación alto.
- LoRaWAN puede ser empleada en soluciones de diferentes campos, por ejemplo, en la agricultura sería una solución óptima para el monitoreo de los cultivos, o también para dar el paso hacia las ciudades inteligentes a un bajo costo.

7 REFERENCIAS

- Amazon Web Services. (2021). *Amazon EC2 Auto Scaling*.
<https://aws.amazon.com/es/ec2/autoscaling/>
- AsKix. (n.d.). *La introducción de LoRa™!* Retrieved February 13, 2021, from askix.com/la-introduccion-de-lora_3.html#title
- Bormann, C. (2021). *Protocolo de aplicación restringida RFC7252*.
<https://coap.technology/spec.html>
- Defensoría del Pueblo. (2019). *¿DONDE VA NUESTRA BASURA?*
<https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2019/11/INFORME-DEFENSORIAL-181.pdf>
- Draz, U., Ali, T., Khan, J., Majid, M., & Yasin, S. (2017). *A real-time smart dumpsters monitoring and garbage collection system," 2017 Fifth International Conference on Aerospace Science & Engineering (ICASE)*.
- DRDUINO. (2018). *Arduino's MKR1000 Vs MKR1010*.
<https://www.drduino.com/blogs/news/arduinoss-mkr1000-vs-mkr1010>
- EMQ. (2021). *EMQ X Broker*. <https://www.emqx.io/products/broker>
- González, A., García, Y., Gallego, D. E., Sastoque, J. A., & Ramírez, E. (2016). Impacto medioambiental de la integración de la computación en la nube y la internet de las cosas. *Producción + Limpia*, 11(2), 22–30. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a2>
- Gualichicomín, D. (2018). *TEMA : PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS*.
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14016/T-ESPE-057605.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gurdgiev, C., Keeling, M., & Dirks, S. (2010). Smarter cities for smarter growth. How cities can optimize their systems for the talent-based economy. *IBM Global Business Services, January*, 24. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2001907
- HeidiSQL. (2021). *What's this?* <https://www.heidisql.com/>
- Idiart, M. (2018). Redes Colaborativas vs Redes Narrowband. *HUAWEI*.
<https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and->

Idwan, S., Zubairi, J. A., & Mahmood, I. (2016). Smart solutions for smart cities: Using wireless sensor network for smart dumpster management. *Proceedings - 2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2016*, 493–497. <https://doi.org/10.1109/CTS.2016.90>

Internetpasoapaso. (n.d.). *Red LAN: ¿Qué es, tipos y para qué se utilizan estas redes de área local?* <https://internetpasoapaso.com/red-lan/>

Jurado Pérez, L., Velásquez Vargas, W., & Escobar, Vinueza, N. (2014). Estado del Arte de las Arquitecturas de Internet de las Cosas (IoT). *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación*, 48. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33823351/MasterTelematica_TrabajoFinalAsignatura_Arquitectura_y_Gestion_de_Servicios_Telematicos_v33.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DEstado_del_Arte_de_las_Arquitecturas_de.pdf&X-Amz-

Lea, P. (2018). Internet of Things for Vessels. In *Encyclopedia of Wireless Networks*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78262-1_300300

LoRa Alliance. (n.d.). *What is LoRaWAN Specification*. Retrieved February 13, 2021, from <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>

LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup. (2018). LoRaWAN 1.1 Regional Parameters. *LoRa Alliance*. <https://iotas.ru/files/documents/LoRaWAN/Regional%20Parameters%20v1.1rB.pdf>

Lucas, J. (2019). *Qué es NodeJS y para qué sirve*. <https://openwebinars.net/blog/que-es-nodejs/>

Luis García, L. C., Ceballos Burbano, E. D., Torres Gómez, A. R., Sacristán Bohórquez, F. E., & Alvarado Moreno, J. D. (2018). Internet de las Cosas Hacia una educación inteligente. *Innovación En La Educación Basada En Las TIC, August*, 43–51. <https://www.researchgate.net/publication/329104805>

Maplink. (2020). *Google Maps Platform y todo lo que puede hacer por tu empresa*.

<https://maplink.global/es/blog/que-es-google-maps-platform/>

MDSMP. (2013). *MANUAL DE ORGANIZACION Y FUNCIONES (MOF)*.
https://www.mdsmp.gob.pe/data_files/mof_mdsmp2013.pdf

MDSMP. (2014). PLAN DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN MARTÍN DE PORRES. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
https://www.mdsmp.gob.pe/data_files/ordenanza_n_367-2014_act.pdf

MDSMP. (2016a). *COLOCA LA BASURA EN SU LUGAR*.
<https://www.mdsmp.gob.pe/actividad.php?id=5010>

MDSMP. (2016b). *Plan de manejo de residuos sólidos 2016 - 2021*.
<https://es.scribd.com/document/331104968/Plan-de-Manejo-Mdsmp>

MDSMP. (2018). *PLAN ESTRATEGICO INSTITUCIONAL 2018-2020 DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN MARTIN DE PORRES*.
https://www.mdsmp.gob.pe/data_files/plan_estrategico_institucional_2018-2020_mdsmp.pdf

MDSMP. (2020). *Plan Anual de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental - PLANEFA*.
https://www.mdsmp.gob.pe/data_files/ra_042_2020.pdf

Melgarejo Q, M. (2018). *Mejora de Ingresos Económicos Municipales y Calidad de Vida por caracterización de residuos sólidos en el Distrito, Villa El Salvador*. 143.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3686>

MQTT. (n.d.). *What is MQTT?* Retrieved February 13, 2021, from <https://mqtt.org/faq/>

Municipalidad Distrital de San Martín de Porres. (2017). *PLAN DE DESARROLLO LOCAL CONCERTADO PDLC DEL DISTRITO DE SAN MARTÍN DE PORRES*. 101.
<http://www.mdsmp.gob.pe/transparencia.php?sec=49&id=79&gid=171&anio=0>

Municipalidad Distrital de San Martin de Porres [MDSMP]. (2016). *Plan de desarrollo local concertado PDLC del distrito de San Martín de Porres*.
https://www.mdsmp.gob.pe/data_files/pdlc_2017-2021_smp.pdf

OSIPTEL. (2018). *OSIPTEL PRESENTÓ RANKING MÓVIL DISTRITAL 2018*.
<https://repositorio.osiptel.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12630/666/osiptel-com>

edicion22.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rajan, T., Mahesh, T. Y., & Nalysis, I. I. W. A. A. (2012). C-Band Chirp Spread Spectrum (CSS) Signal Generation Using DDS-PLL Technique. *International Journal of Advanced Electrical and Electronics Engineering*, 1(3), 20–24. https://www.academia.edu/31423589/C_Band_Chirp_Spread_Spectrum_CSS_Signal_Generation_Using_DDS_PLL_Technique
- Raut, C., & Devane, S. R. (2017). *Intelligent transportation system for smartcity using VANET*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8286659/authors#authors>
- RedRaven. (n.d.). *Circuito auxiliar de medición de distancias por ultrasonidos SRF04*. Retrieved February 13, 2021, from http://picmania.garcia-cuervo.net/proyectos_aux_srf04.php
- RogerBit. (2016). *RTL8710, UN DURO COMPETIDOR PARA ESP8266*. <https://rogerbit.com/wprb/2016/12/rtl8710-un-duro-competidor-para-esp8266/>
- Ruano, E. (2016). *LoRa TM protocol Evaluations, limitations and practical test*. 1–128. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/98853>
- Semtech. (2019). *What is LoRa®?* <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- Semtech Corporation. (2013). *SX1272/3/6/7/8 LoRa Modem Design Guide*. July, 9. https://www.academia.edu/31423589/C_Band_Chirp_Spread_Spectrum_CSS_Signal_Generation_Using_DDS_PLL_Technique
- Technical Marketing Workgroup. (2015). *A technical overview of LoRa ® and LoRaWAN™ What is it? November*. <https://lora-alliance.org/resource-hub/what-lorawantm>
- Trujillo, C. (n.d.). *Curso Arduino y Robótica*. Retrieved February 12, 2021, from http://www.feriadetecnologia.com/arduino/5_medidor_de_distancias.html
- Valtueña, J. (2002). *Enciclopedia de la ecología y la salud*. Safeliz.
- Vértice. (2007). *Gestión medioambiental: manipulación de residuos y productos químicos*. https://books.google.com.pe/books/about/.html?id=0FaR35BOfEQC&redir_esc=y
- VIGATEC. (2018). *Basureros Inteligentes*. <https://www.vigatec.com/basureros-inteligentes/>

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1. Datos obtenidos por el sensor ultrasónico en los diferentes estados del contenedor de residuos sólidos.

ID	Name	Date	Address	Level
701	C1	8/04/2021 17:39	Av. San diego de Alcalá	115
702	C1	8/04/2021 17:39	Av. San diego de Alcalá	114
703	C1	8/04/2021 17:39	Av. San diego de Alcalá	114
704	C1	8/04/2021 17:39	Av. San diego de Alcalá	115
705	C1	8/04/2021 17:39	Av. San diego de Alcalá	114
706	C1	8/04/2021 17:40	Av. San diego de Alcalá	115
707	C1	8/04/2021 17:40	Av. San diego de Alcalá	114
708	C1	8/04/2021 17:40	Av. San diego de Alcalá	114
709	C1	8/04/2021 17:40	Av. San diego de Alcalá	115
710	C1	8/04/2021 17:40	Av. San diego de Alcalá	115
711	C1	8/04/2021 17:40	Av. San diego de Alcalá	115
712	C1	8/04/2021 17:41	Av. San diego de Alcalá	115
713	C1	8/04/2021 17:41	Av. San diego de Alcalá	115
714	C1	8/04/2021 17:41	Av. San diego de Alcalá	115
715	C1	8/04/2021 17:41	Av. San diego de Alcalá	114
716	C1	8/04/2021 17:41	Av. San diego de Alcalá	114
717	C1	8/04/2021 17:41	Av. San diego de Alcalá	114
718	C1	8/04/2021 17:42	Av. San diego de Alcalá	114

719	C1	8/04/2021 17:42	Av. San diego de Alcalá	115
720	C1	8/04/2021 17:42	Av. San diego de Alcalá	115
721	C1	8/04/2021 17:42	Av. San diego de Alcalá	114
722	C1	8/04/2021 17:42	Av. San diego de Alcalá	114
723	C1	8/04/2021 17:42	Av. San diego de Alcalá	115
724	C1	8/04/2021 17:43	Av. San diego de Alcalá	114
725	C1	8/04/2021 17:43	Av. San diego de Alcalá	114
726	C1	8/04/2021 17:43	Av. San diego de Alcalá	115
727	C1	8/04/2021 17:43	Av. San diego de Alcalá	115
728	C1	8/04/2021 17:43	Av. San diego de Alcalá	115
729	C1	8/04/2021 17:43	Av. San diego de Alcalá	115
730	C1	8/04/2021 17:44	Av. San diego de Alcalá	115
731	C1	8/04/2021 17:44	Av. San diego de Alcalá	115
732	C1	8/04/2021 17:44	Av. San diego de Alcalá	115
733	C1	8/04/2021 17:44	Av. San diego de Alcalá	115
734	C1	8/04/2021 17:44	Av. San diego de Alcalá	114
735	C1	8/04/2021 17:44	Av. San diego de Alcalá	114
736	C1	8/04/2021 17:45	Av. San diego de Alcalá	115
737	C1	8/04/2021 17:45	Av. San diego de Alcalá	115
738	C1	8/04/2021 17:45	Av. San diego de Alcalá	114
739	C1	8/04/2021 17:45	Av. San diego de Alcalá	114

740	C1	8/04/2021 17:45	Av. San diego de Alcalá	115
741	C1	8/04/2021 17:45	Av. San diego de Alcalá	114
742	C1	8/04/2021 17:46	Av. San diego de Alcalá	114
743	C1	8/04/2021 17:46	Av. San diego de Alcalá	114
744	C1	8/04/2021 17:46	Av. San diego de Alcalá	115
745	C1	8/04/2021 17:46	Av. San diego de Alcalá	114
746	C1	8/04/2021 17:46	Av. San diego de Alcalá	114
747	C1	8/04/2021 17:46	Av. San diego de Alcalá	114
748	C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	115
749	C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	114
750	C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	114
751	C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	114
752	C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	115
753	C1	8/04/2021 17:47	Av. San diego de Alcalá	116
754	C1	8/04/2021 17:48	Av. San diego de Alcalá	116
755	C1	8/04/2021 17:48	Av. San diego de Alcalá	114
756	C1	8/04/2021 17:48	Av. San diego de Alcalá	115
757	C1	8/04/2021 17:48	Av. San diego de Alcalá	114
758	C1	8/04/2021 17:48	Av. San diego de Alcalá	114
759	C1	8/04/2021 17:48	Av. San diego de Alcalá	114
760	C1	8/04/2021 17:49	Av. San diego de Alcalá	115

761	C1	8/04/2021 17:49	Av. San diego de Alcalá	115
762	C1	8/04/2021 17:49	Av. San diego de Alcalá	114
763	C1	8/04/2021 17:49	Av. San diego de Alcalá	114
764	C1	8/04/2021 17:49	Av. San diego de Alcalá	114
765	C1	8/04/2021 17:49	Av. San diego de Alcalá	114
766	C1	8/04/2021 17:50	Av. San diego de Alcalá	114
767	C1	8/04/2021 17:50	Av. San diego de Alcalá	114
768	C1	8/04/2021 17:50	Av. San diego de Alcalá	115
769	C1	8/04/2021 17:50	Av. San diego de Alcalá	115
770	C1	8/04/2021 17:50	Av. San diego de Alcalá	114
771	C1	8/04/2021 17:50	Av. San diego de Alcalá	114
772	C1	8/04/2021 17:51	Av. San diego de Alcalá	114
773	C1	8/04/2021 17:51	Av. San diego de Alcalá	115
774	C1	8/04/2021 17:51	Av. San diego de Alcalá	115
775	C1	8/04/2021 17:51	Av. San diego de Alcalá	115
776	C1	8/04/2021 17:51	Av. San diego de Alcalá	115
777	C1	8/04/2021 17:51	Av. San diego de Alcalá	114
778	C1	8/04/2021 17:52	Av. San diego de Alcalá	115
779	C1	8/04/2021 17:52	Av. San diego de Alcalá	114
780	C1	8/04/2021 17:52	Av. San diego de Alcalá	114
781	C1	8/04/2021 17:52	Av. San diego de Alcalá	115

782	C1	8/04/2021 17:52	Av. San diego de Alcalá	115
783	C1	8/04/2021 17:52	Av. San diego de Alcalá	114
784	C1	8/04/2021 17:53	Av. San diego de Alcalá	114
785	C1	8/04/2021 17:53	Av. San diego de Alcalá	114
786	C1	8/04/2021 17:53	Av. San diego de Alcalá	114
787	C1	8/04/2021 17:53	Av. San diego de Alcalá	115
788	C1	8/04/2021 17:53	Av. San diego de Alcalá	115
789	C1	8/04/2021 17:53	Av. San diego de Alcalá	115
790	C1	8/04/2021 17:54	Av. San diego de Alcalá	115
791	C1	8/04/2021 17:54	Av. San diego de Alcalá	115
792	C1	8/04/2021 17:54	Av. San diego de Alcalá	115
793	C1	8/04/2021 17:54	Av. San diego de Alcalá	115
794	C1	8/04/2021 17:54	Av. San diego de Alcalá	115
795	C1	8/04/2021 17:54	Av. San diego de Alcalá	114
796	C1	8/04/2021 17:55	Av. San diego de Alcalá	114
797	C1	8/04/2021 17:55	Av. San diego de Alcalá	114
798	C1	8/04/2021 17:55	Av. San diego de Alcalá	115
799	C1	8/04/2021 17:55	Av. San diego de Alcalá	114
800	C1	8/04/2021 17:55	Av. San diego de Alcalá	114
801	C1	8/04/2021 17:55	Av. San diego de Alcalá	114
802	C1	8/04/2021 17:56	Av. San diego de Alcalá	116

803	C1	8/04/2021 17:56	Av. San diego de Alcalá	115
804	C1	8/04/2021 17:56	Av. San diego de Alcalá	115
805	C1	8/04/2021 17:56	Av. San diego de Alcalá	115
806	C1	8/04/2021 17:56	Av. San diego de Alcalá	115
807	C1	8/04/2021 17:56	Av. San diego de Alcalá	114
808	C1	8/04/2021 17:57	Av. San diego de Alcalá	115
809	C1	8/04/2021 17:57	Av. San diego de Alcalá	114
810	C1	8/04/2021 17:57	Av. San diego de Alcalá	114
811	C1	8/04/2021 17:57	Av. San diego de Alcalá	115
812	C1	8/04/2021 17:57	Av. San diego de Alcalá	115
813	C1	8/04/2021 17:57	Av. San diego de Alcalá	115
814	C1	8/04/2021 17:58	Av. San diego de Alcalá	115
815	C1	8/04/2021 17:58	Av. San diego de Alcalá	115
816	C1	8/04/2021 17:58	Av. San diego de Alcalá	114
817	C1	8/04/2021 17:58	Av. San diego de Alcalá	115
818	C1	8/04/2021 17:58	Av. San diego de Alcalá	115
819	C1	8/04/2021 17:58	Av. San diego de Alcalá	115
820	C1	8/04/2021 17:59	Av. San diego de Alcalá	115
821	C1	8/04/2021 17:59	Av. San diego de Alcalá	102
822	C1	8/04/2021 17:59	Av. San diego de Alcalá	102
823	C1	8/04/2021 17:59	Av. San diego de Alcalá	83

824	C1	8/04/2021 17:59	Av. San diego de Alcalá	37
825	C1	8/04/2021 17:59	Av. San diego de Alcalá	81
826	C1	8/04/2021 18:00	Av. San diego de Alcalá	68
827	C1	8/04/2021 18:00	Av. San diego de Alcalá	68
828	C1	8/04/2021 18:00	Av. San diego de Alcalá	69
829	C1	8/04/2021 18:00	Av. San diego de Alcalá	69
830	C1	8/04/2021 18:00	Av. San diego de Alcalá	67
831	C1	8/04/2021 18:00	Av. San diego de Alcalá	67
832	C1	8/04/2021 18:01	Av. San diego de Alcalá	88
833	C1	8/04/2021 18:01	Av. San diego de Alcalá	87
834	C1	8/04/2021 18:01	Av. San diego de Alcalá	81
835	C1	8/04/2021 18:01	Av. San diego de Alcalá	81
836	C1	8/04/2021 18:01	Av. San diego de Alcalá	76
837	C1	8/04/2021 18:01	Av. San diego de Alcalá	76
838	C1	8/04/2021 18:02	Av. San diego de Alcalá	76
839	C1	8/04/2021 18:02	Av. San diego de Alcalá	76
840	C1	8/04/2021 18:02	Av. San diego de Alcalá	70
841	C1	8/04/2021 18:02	Av. San diego de Alcalá	70
842	C1	8/04/2021 18:02	Av. San diego de Alcalá	73
843	C1	8/04/2021 18:02	Av. San diego de Alcalá	81
844	C1	8/04/2021 18:03	Av. San diego de Alcalá	81

845	C1	8/04/2021 18:03	Av. San diego de Alcalá	65
846	C1	8/04/2021 18:03	Av. San diego de Alcalá	66
847	C1	8/04/2021 18:03	Av. San diego de Alcalá	65
848	C1	8/04/2021 18:03	Av. San diego de Alcalá	65
849	C1	8/04/2021 18:03	Av. San diego de Alcalá	65
850	C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	66
851	C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	65
852	C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	65
853	C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	65
854	C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	69
855	C1	8/04/2021 18:04	Av. San diego de Alcalá	85
856	C1	8/04/2021 18:05	Av. San diego de Alcalá	85
857	C1	8/04/2021 18:05	Av. San diego de Alcalá	75
858	C1	8/04/2021 18:05	Av. San diego de Alcalá	83
859	C1	8/04/2021 18:05	Av. San diego de Alcalá	70
860	C1	8/04/2021 18:05	Av. San diego de Alcalá	82
861	C1	8/04/2021 18:05	Av. San diego de Alcalá	82
862	C1	8/04/2021 18:06	Av. San diego de Alcalá	83
863	C1	8/04/2021 18:06	Av. San diego de Alcalá	86
864	C1	8/04/2021 18:06	Av. San diego de Alcalá	86
865	C1	8/04/2021 18:06	Av. San diego de Alcalá	86

866	C1	8/04/2021 18:06	Av. San diego de Alcalá	96
867	C1	8/04/2021 18:06	Av. San diego de Alcalá	96
868	C1	8/04/2021 18:07	Av. San diego de Alcalá	96
869	C1	8/04/2021 18:09	Av. San diego de Alcalá	19
870	C1	8/04/2021 18:09	Av. San diego de Alcalá	19
871	C1	8/04/2021 18:09	Av. San diego de Alcalá	21
872	C1	8/04/2021 18:09	Av. San diego de Alcalá	21
873	C1	8/04/2021 18:09	Av. San diego de Alcalá	49
874	C1	8/04/2021 18:10	Av. San diego de Alcalá	49
875	C1	8/04/2021 18:10	Av. San diego de Alcalá	21
876	C1	8/04/2021 18:10	Av. San diego de Alcalá	29
877	C1	8/04/2021 18:10	Av. San diego de Alcalá	34
878	C1	8/04/2021 18:10	Av. San diego de Alcalá	34
879	C1	8/04/2021 18:10	Av. San diego de Alcalá	30
880	C1	8/04/2021 18:11	Av. San diego de Alcalá	21
881	C1	8/04/2021 18:11	Av. San diego de Alcalá	28
882	C1	8/04/2021 18:11	Av. San diego de Alcalá	28
883	C1	8/04/2021 18:11	Av. San diego de Alcalá	28
884	C1	8/04/2021 18:11	Av. San diego de Alcalá	29
885	C1	8/04/2021 18:11	Av. San diego de Alcalá	29
886	C1	8/04/2021 18:12	Av. San diego de Alcalá	28

887	C1	8/04/2021 18:12	Av. San diego de Alcalá	28
888	C1	8/04/2021 18:12	Av. San diego de Alcalá	28
889	C1	8/04/2021 18:12	Av. San diego de Alcalá	28
890	C1	8/04/2021 18:12	Av. San diego de Alcalá	27
891	C1	8/04/2021 18:12	Av. San diego de Alcalá	27
892	C1	8/04/2021 18:13	Av. San diego de Alcalá	28
893	C1	8/04/2021 18:13	Av. San diego de Alcalá	28
894	C1	8/04/2021 18:13	Av. San diego de Alcalá	16
895	C1	8/04/2021 18:13	Av. San diego de Alcalá	46
896	C1	8/04/2021 18:13	Av. San diego de Alcalá	46
897	C1	8/04/2021 18:13	Av. San diego de Alcalá	7
898	C1	8/04/2021 18:14	Av. San diego de Alcalá	11
899	C1	8/04/2021 18:14	Av. San diego de Alcalá	10
900	C1	8/04/2021 18:14	Av. San diego de Alcalá	10
901	C1	8/04/2021 18:14	Av. San diego de Alcalá	11
902	C1	8/04/2021 18:14	Av. San diego de Alcalá	11
903	C1	8/04/2021 18:14	Av. San diego de Alcalá	12
904	C1	8/04/2021 18:15	Av. San diego de Alcalá	12
905	C1	8/04/2021 18:15	Av. San diego de Alcalá	12
906	C1	8/04/2021 18:15	Av. San diego de Alcalá	12
907	C1	8/04/2021 18:15	Av. San diego de Alcalá	12

908	C1	8/04/2021 18:15	Av. San diego de Alcalá	12
909	C1	8/04/2021 18:15	Av. San diego de Alcalá	13
910	C1	8/04/2021 18:16	Av. San diego de Alcalá	13
911	C1	8/04/2021 18:16	Av. San diego de Alcalá	13
912	C1	8/04/2021 18:16	Av. San diego de Alcalá	13
913	C1	8/04/2021 18:16	Av. San diego de Alcalá	13
914	C1	8/04/2021 18:16	Av. San diego de Alcalá	14
915	C1	8/04/2021 18:16	Av. San diego de Alcalá	15
916	C1	8/04/2021 18:17	Av. San diego de Alcalá	15
917	C1	8/04/2021 18:17	Av. San diego de Alcalá	15
918	C1	8/04/2021 18:17	Av. San diego de Alcalá	15
919	C1	8/04/2021 18:17	Av. San diego de Alcalá	15
920	C1	8/04/2021 18:17	Av. San diego de Alcalá	10
921	C1	8/04/2021 18:17	Av. San diego de Alcalá	10
922	C1	8/04/2021 18:18	Av. San diego de Alcalá	10
923	C1	8/04/2021 18:18	Av. San diego de Alcalá	10
924	C1	8/04/2021 18:18	Av. San diego de Alcalá	9
925	C1	8/04/2021 18:18	Av. San diego de Alcalá	9
926	C1	8/04/2021 18:18	Av. San diego de Alcalá	20
927	C1	8/04/2021 18:18	Av. San diego de Alcalá	8
928	C1	8/04/2021 18:19	Av. San diego de Alcalá	9

929	C1	8/04/2021 18:19	Av. San diego de Alcalá	10
930	C1	8/04/2021 18:19	Av. San diego de Alcalá	10
931	C1	8/04/2021 18:19	Av. San diego de Alcalá	10
932	C1	8/04/2021 18:19	Av. San diego de Alcalá	10
933	C1	8/04/2021 18:19	Av. San diego de Alcalá	11
934	C1	8/04/2021 18:20	Av. San diego de Alcalá	11
935	C1	8/04/2021 18:20	Av. San diego de Alcalá	11
936	C1	8/04/2021 18:20	Av. San diego de Alcalá	11
937	C1	8/04/2021 18:20	Av. San diego de Alcalá	11
938	C1	8/04/2021 18:20	Av. San diego de Alcalá	11
939	C1	8/04/2021 18:20	Av. San diego de Alcalá	11
940	C1	8/04/2021 18:21	Av. San diego de Alcalá	11
941	C1	8/04/2021 18:21	Av. San diego de Alcalá	11
942	C1	8/04/2021 18:21	Av. San diego de Alcalá	11
943	C1	8/04/2021 18:21	Av. San diego de Alcalá	11
944	C1	8/04/2021 18:21	Av. San diego de Alcalá	9
945	C1	8/04/2021 18:21	Av. San diego de Alcalá	9
946	C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9
947	C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9
948	C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9
949	C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9

950	C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9
951	C1	8/04/2021 18:22	Av. San diego de Alcalá	9
952	C1	8/04/2021 18:23	Av. San diego de Alcalá	8
953	C1	8/04/2021 18:23	Av. San diego de Alcalá	8
954	C1	8/04/2021 18:23	Av. San diego de Alcalá	8
955	C1	8/04/2021 18:23	Av. San diego de Alcalá	8
956	C1	8/04/2021 18:23	Av. San diego de Alcalá	25
957	C1	8/04/2021 18:23	Av. San diego de Alcalá	13
958	C1	8/04/2021 18:24	Av. San diego de Alcalá	19
959	C1	8/04/2021 18:24	Av. San diego de Alcalá	19
960	C1	8/04/2021 18:24	Av. San diego de Alcalá	16
961	C1	8/04/2021 18:24	Av. San diego de Alcalá	9
962	C1	8/04/2021 18:24	Av. San diego de Alcalá	9
963	C1	8/04/2021 18:24	Av. San diego de Alcalá	9
964	C1	8/04/2021 18:25	Av. San diego de Alcalá	9

8.2 Anexo 2. Resultado obtenido de los puntos recorridos por el modulo GPS del nodo final.

id	name	date	address	lat	lng
568	C1	6/04/2021 18:12	Sta Maria Reyna	-11.938127	-77.084076
569	C1	6/04/2021 18:12	Sta Maria Reyna	-11.938127	-77.084076
570	C1	6/04/2021 18:12	Sta Maria Reyna	-11.938127	-77.084076
571	C1	6/04/2021 18:13	Sta Maria Reyna	-11.938128	-77.084085
572	C1	6/04/2021 18:13	Sta Maria Reyna	-11.938128	-77.084076

573	C1	6/04/2021 18:13	Sta Maria Reyna	-11.938128	-77.084076
574	C1	6/04/2021 18:13	Sta Maria Reyna	-11.938128	-77.084076
575	C1	6/04/2021 18:13	Sta Maria Reyna	-11.938128	-77.084076
576	C1	6/04/2021 18:13	Sta Maria Reyna	-11.938128	-77.084076
577	C1	6/04/2021 18:14	Sta Maria Reyna	-11.93813	-77.084076
578	C1	6/04/2021 18:21	Av. Santisima Cruz	-11.945688	-77.086456
579	C1	6/04/2021 18:21	Av. Santisima Cruz	-11.945687	-77.086456
580	C1	6/04/2021 18:21	Av. Santisima Cruz	-11.945687	-77.086456
581	C1	6/04/2021 18:22	Av. Santisima Cruz	-11.945687	-77.086456
582	C1	6/04/2021 18:22	Av. Santisima Cruz	-11.945685	-77.086448
583	C1	6/04/2021 18:22	Av. Santisima Cruz	-11.945702	-77.086494
584	C1	6/04/2021 18:30	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949735	-77.089813
585	C1	6/04/2021 18:30	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.94973	-77.089817
586	C1	6/04/2021 18:30	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949735	-77.089806
587	C1	6/04/2021 18:30	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949735	-77.089806
588	C1	6/04/2021 18:30	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949735	-77.089806
589	C1	6/04/2021 18:31	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949735	-77.089806
590	C1	6/04/2021 18:31	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949735	-77.089806
591	C1	6/04/2021 18:31	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949737	-77.089813
592	C1	6/04/2021 18:31	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949737	-77.089813
593	C1	6/04/2021 18:31	Sta Teresita Del Nino Jesus	-11.949727	-77.089806

594	C1	6/04/2021 18:38	Av. San diego de Alcala	-11.951180	-77.093193
595	C1	6/04/2021 18:38	Av. San diego de Alcala	-11.951180	-77.093193
596	C1	6/04/2021 18:38	Av. San diego de Alcala	-11.951180	-77.093193
597	C1	6/04/2021 18:38	Av. San diego de Alcala	-11.951187	-77.093197
598	C1	6/04/2021 18:39	Av. San diego de Alcala	-11.951180	-77.093193
599	C1	6/04/2021 18:39	Av. San diego de Alcala	-11.951180	-77.093193
600	C1	6/04/2021 18:39	Av. San diego de Alcala	-11.951182	-77.093193
601	C1	6/04/2021 18:39	Av. San diego de Alcala	-11.951183	-77.093193
602	C1	6/04/2021 18:39	Av. San diego de Alcala	-11.95117	-77.093231
603	C1	6/04/2021 18:46	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092613
604	C1	6/04/2021 18:46	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092613
605	C1	6/04/2021 18:46	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092613
606	C1	6/04/2021 18:46	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092613
607	C1	6/04/2021 18:46	Av. San diego de Alcala	-11.946377	-77.092613
608	C1	6/04/2021 18:47	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092621
609	C1	6/04/2021 18:47	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092621
610	C1	6/04/2021 18:47	Av. San diego de Alcala	-11.946375	-77.092621
611	C1	6/04/2021 18:47	Av. San diego de Alcala	-11.946372	-77.092621
612	C1	6/04/2021 18:47	Av. San diego de Alcala	-11.946372	-77.092628
613	C1	6/04/2021 18:47	Av. San diego de Alcala	-11.946362	-77.092644
614	C1	6/04/2021 18:48	Av. San diego de Alcala	-11.946362	-77.092644

615	C1	6/04/2021 18:48	Av. San diego de Alcala	-11.946362	-77.092644
616	C1	8/04/2021 12:54	Av. San diego de Alcala	-11.944542	-77.090500
617	C1	8/04/2021 12:54	Av. San diego de Alcala	-11.944542	-77.090500
618	C1	8/04/2021 12:54	Av. San diego de Alcala	-11.944542	-77.090500
619	C1	8/04/2021 12:54	Av. San diego de Alcala	-11.944540	-77.090500
620	C1	8/04/2021 12:55	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090500
621	C1	8/04/2021 12:55	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090500
622	C1	8/04/2021 12:55	Av. San diego de Alcala	-11.944540	-77.090500
623	C1	8/04/2021 12:55	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090500
624	C1	8/04/2021 12:55	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090500
625	C1	8/04/2021 13:09	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
626	C1	8/04/2021 13:09	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
627	C1	8/04/2021 13:09	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
628	C1	8/04/2021 13:09	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
629	C1	8/04/2021 13:09	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
630	C1	8/04/2021 13:10	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
631	C1	8/04/2021 13:10	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
632	C1	8/04/2021 13:10	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
633	C1	8/04/2021 13:10	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
634	C1	8/04/2021 13:10	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
635	C1	8/04/2021 13:10	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553

636	C1	8/04/2021 13:11	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
637	C1	8/04/2021 13:11	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
638	C1	8/04/2021 13:11	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
639	C1	8/04/2021 13:11	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
640	C1	8/04/2021 13:11	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
641	C1	8/04/2021 13:12	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
642	C1	8/04/2021 13:12	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
643	C1	8/04/2021 13:12	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
644	C1	8/04/2021 13:12	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
645	C1	8/04/2021 13:12	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
646	C1	8/04/2021 13:12	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
647	C1	8/04/2021 13:13	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
648	C1	8/04/2021 13:13	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
649	C1	8/04/2021 13:13	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
650	C1	8/04/2021 13:13	Av. San diego de Alcala	-11.944538	-77.090553
651	C1	8/04/2021 13:16	San Felix	-11.939268	-77.084160
652	C1	8/04/2021 13:16	San Felix	-11.939267	-77.084160
653	C1	8/04/2021 13:16	San Felix	-11.939267	-77.084167
654	C1	8/04/2021 13:16	San Felix	-11.939267	-77.084167
655	C1	8/04/2021 13:16	San Felix	-11.939267	-77.084167
656	C1	8/04/2021 13:17	San Felix	-11.939267	-77.084167

657	C1	8/04/2021 13:17	San Felix	-11.939265	-77.084160
658	C1	8/04/2021 13:17	San Felix	-11.939265	-77.084160
659	C1	8/04/2021 13:17	San Felix	-11.939265	-77.084160
660	C1	8/04/2021 13:17	San Felix	-11.939265	-77.084160
661	C1	8/04/2021 13:17	San Felix	-11.939265	-77.084160
662	C1	8/04/2021 13:18	San Felix	-11.939265	-77.084160
663	C1	8/04/2021 13:21	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
664	C1	8/04/2021 13:22	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
665	C1	8/04/2021 13:22	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
666	C1	8/04/2021 13:22	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
667	C1	8/04/2021 13:22	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
668	C1	8/04/2021 13:22	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
669	C1	8/04/2021 13:22	San Marcelo	-11.940578	-77.084610
670	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940580	-77.084618
671	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940580	-77.084618
672	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940578	-77.084618
673	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940578	-77.084618
674	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940578	-77.084618
675	C1	8/04/2021 13:23	San Marcelo	-11.940578	-77.084618
676	C1	8/04/2021 13:24	San Marcelo	-11.940580	-77.084618
677	C1	8/04/2021 13:38	Av. San diego de Alcala	-11.940438	-77.086418

678	C1	8/04/2021 13:38	Av. San diego de Alcala	-11.940437	-77.086418
679	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcala	-11.940437	-77.086418
680	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcala	-11.940437	-77.086418
681	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcala	-11.940438	-77.086411
682	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcala	-11.940442	-77.086417
683	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcala	-11.940442	-77.086411
684	C1	8/04/2021 13:39	Av. San diego de Alcala	-11.940440	-77.086418
685	C1	8/04/2021 13:40	Av. San diego de Alcala	-11.940438	-77.086418
686	C1	8/04/2021 13:40	Av. San diego de Alcala	-11.940420	-77.086403
687	C1	8/04/2021 13:40	Av. San diego de Alcala	-11.940420	-77.086403
688	C1	8/04/2021 13:40	Av. San diego de Alcala	-11.940407	-77.08638
689	C1	8/04/2021 13:40	Av. San diego de Alcala	-11.941047	-77.086792
690	C1	8/04/2021 13:40	Av. San diego de Alcala	-11.941790	-77.087555
691	C1	8/04/2021 13:41	Av. San diego de Alcala	-11.942472	-77.088333
692	C1	8/04/2021 13:41	Av. San diego de Alcala	-11.942472	-77.088333
693	C1	8/04/2021 13:41	Av. San diego de Alcala	-11.943255	-77.089241

