



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**ARQUITECTURA IOT APLICADA AL TURISMO INTELIGENTE PARA
LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Programación y Redes

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Electrónica, Telecomunicaciones y Sistemas de
Control

AUTOR: Paúl Alejandro Armendáriz Real

TUTOR: Ing. Ana Pamela Castro Martin, MSc.

Ambato - Ecuador

julio - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: ARQUITECTURA IOT APLICADA AL TURISMO INTELIGENTE PARA LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Paúl Alejandro Armendáriz Real, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, julio 2026.



Validar sólo en FirmaEC.
Firmado Electrónicamente por:
ANA PAMELA
CASTRO MARTIN

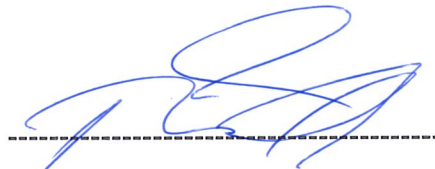
Ing. Ana Pamela Castro Martin, MSc.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: ARQUITECTURA IOT APLICADA AL TURISMO INTELIGENTE PARA LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2026.



Paúl Alejandro Armendáriz Real

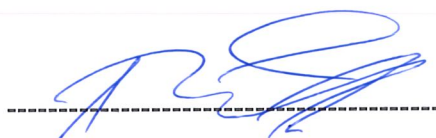
C.C. 1850278456

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, julio 2026.



Paúl Alejandro Armendáriz Real

C.C. 1850278456

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Paúl Alejandro Armendáriz Real, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado ARQUITECTURA IOT APLICADA AL TURISMO INTELIGENTE PARA LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, julio 2026.



Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Víctor Manzano Villafuerte Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Tatiana Paola Zambrano Valverde Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y a San Juan Bautista, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para seguir adelante en los momentos más difíciles de mi vida universitaria. Gracias por iluminar mi camino, sostenerme en cada obstáculo y darme la oportunidad de culminar esta importante meta. Sin su guía y bendición, nada de esto habría sido posible. Proverbios 16:3

A mi madre María Dolores Real Guevara, a mi padre Paco René Armendáriz Elbay y a mi hermano Jairo René Armendáriz Real, por su amor, apoyo constante e incondicional durante cada etapa de este proceso. Gracias por creer siempre en mí, por acompañarme en cada esfuerzo y por enseñarme, con su ejemplo, el verdadero valor del trabajo, la humildad y la perseverancia. Ustedes han sido mi mayor inspiración y el principal motivo para no

rendirme ante las dificultades. Este logro también les pertenece, porque cada sacrificio, consejo y palabra de aliento fueron fundamentales para alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

Dedico también este trabajo a todos aquellos días en los que salí de madrugada desde Mocha para llegar a clases, y a esas noches en las que regresaba agotado, pero con la firme convicción de continuar luchando por mis sueños. Cada sacrificio, cada esfuerzo y cada momento difícil valieron la pena, porque me permitieron crecer personal y académicamente, demostrando que, con dedicación, constancia y fe, todo objetivo se puede alcanzar.

Paúl Armendáriz

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para superar cada uno de los desafíos que se presentaron a lo largo de este camino universitario. Gracias por acompañarme en los momentos más difíciles, por iluminar mi camino y por permitirme culminar esta importante etapa de mi vida académica y profesional.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional, su paciencia y su amor en todo momento. Gracias por cada sacrificio realizado, por confiar siempre en mí y por impulsarme a seguir adelante aun cuando las dificultades parecían grandes. Todo lo que soy y cada logro alcanzado también son gracias a ustedes, porque con su esfuerzo y ejemplo me enseñaron a nunca rendirme y a luchar siempre por mis metas.

A mi hermano, por ser siempre mi compañía y estar presente en cada momento de este proceso. Gracias por acompañarme desde nuestra niñez, por compartir conmigo alegrías y tristezas, y por estar a mi lado en cada etapa de mi vida. Tu apoyo, comprensión y compañía

hicieron más llevadero este camino y fueron fundamentales durante esta etapa tan importante para mí.

A mi tutora de tesis, Ingeniera Pamela Castro, le agradezco profundamente por su paciencia, guía y dedicación durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Gracias por compartir sus conocimientos, por motivarme constantemente a crecer académicamente y personalmente, tener siempre fe en Dios, y por impulsarme a esforzarme cada día para dar lo mejor de mí en este proyecto.

Finalmente, agradezco a mis docentes, compañeros y amigos, con quienes compartí largas jornadas de estudio, aprendizaje, esfuerzo y alegría. Gracias por su compañía, apoyo y amistad, por hacer de esta experiencia universitaria una etapa más llevadera, enriquecedora e inolvidable.

A todos, mi más sincero agradecimiento

Paúl Armendáriz

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xxiv
RESUMEN EJECUTIVO	xxv
ABSTRACT	xxvi
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	6

1.3.1 Turismo Inteligente	6
1.3.2 Internet de las Cosas.....	13
1.3.3 Arquitecturas IoT.	17
1.3.4 IoT Aplicado al Turismo Inteligente	22
1.3.5 Simulación y Evaluación de Arquitecturas IoT	28
1.3.6 Consideraciones Técnicas y Desafíos del IoT en Entornos Turísticos	30
1.3.7 Diagnóstico del entorno turístico de Baños	33
1.4 Objetivos	48
1.4.1 Objetivo general	48
1.4.2 Objetivos específicos	48
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	49
2.1 Materiales	49
2.2 Métodos.....	50
2.2.1 Modalidad de la investigación	50
2.2.2 Población y muestra	51
2.2.3 Recolección de información.....	52
2.2.4 Procesamiento y análisis de datos	52
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
3.1 Introducción	55
3.2 Subsistemas IoT	56
3.3 Diseño de la Arquitectura IoT	70

3.3.1 Capa de Percepción	72
3.3.2 Capa de Red (Comunicación)	78
3.3.3 Capa de Procesamiento	88
3.3.4 Capa de Aplicación	94
3.3.5 Propuesta de Arquitectura IoT	97
3.4 Modelado y Simulación	101
3.4.1 Radio Enlace	101
3.4.2 Simulación y validación de redes.....	127
3.4.3 Prototipo de prueba	197
3.5 Presupuesto	215
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	217
4.1 Conclusiones	217
4.2 Recomendaciones.....	218
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	220
ANEXOS	236

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tecnologías del turismo inteligente [22]	9
Tabla 2. Ciudades con arquitecturas inteligentes [23], [24], [25], [26], [27].....	10
Tabla 3. Usuarios conectados a internet [30]	14
Tabla 4. Tipos de arquitectura IoT [34], [35], [36].....	17
Tabla 5. Tecnologías de comunicación IoT [4], [32].....	19
Tabla 6. Características de las bandas de frecuencias [38]	20
Tabla 7. Características de los tipos de tecnologías en relación a las bandas de frecuencia	21
Tabla 8. Protocolos IoT [38]	22
Tabla 9. Sensores aplicados al turismo IoT [32].....	25
Tabla 10. Dispositivos IoT utilizados en el turismo inteligente [32].....	26
Tabla 11. Comparativa de Gateways	27
Tabla 12. Plataformas IoT [32], [43]	28
Tabla 13. Herramientas de simulación de redes IoT [44], [45], [46].....	29
Tabla 14. Métricas de funcionamiento [44]	30
Tabla 15. Superficie del suelo Urbano y Rural del cantón Baños de Agua Santa [61]	34
Tabla 16. Temperatura media anual de Baños de Agua Santa [73]	39
Tabla 17. Clima y temperatura en los lugares turísticos [74], [75].....	40
Tabla 18. Riesgos naturales en Baños de Agua Santa [76], [77]	41

Tabla 19. Estaciones meteorológicas en Baños de Agua Santa [79]	42
Tabla 20. Tecnología existente en Baños de Agua Santa [80], [81]	44
Tabla 21. Hardware utilizado en el sistema IoT, para el turismo de Baños de Agua Santa	49
Tabla 22. Software utilizado para el desarrollo del sistema.....	50
Tabla 23. Recolección de Información	52
Tabla 24. Tipos de estaciones meteorológicas[89], [90]	58
Tabla 25. Características de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather Station [91].....	59
Tabla 26. Frecuencia de actualización de las variables de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather Station [91]	59
Tabla 27. Monitoreo de afluencia turística [94].....	62
Tabla 28. Cámaras inteligentes [96], [97], [98], [99].....	63
Tabla 29. Cámaras de videovigilancia [100], [101], [102]	64
Tabla 30. Algoritmos de inteligencia artificial [104].....	65
Tabla 31. Características de los procesadores [106]	67
Tabla 32. Sensores en parqueadero inteligente [108], [109], [110].....	68
Tabla 33. Tipos de sensores magnéticos [110], [112], [113], [114]	69
Tabla 34. Parámetros del subsistema IoT monitoreo ambiental	73
Tabla 35. Coordenadas de la ubicación de las estaciones meteorológicas	74
Tabla 36. Parámetros del subsistema control de afluencia	75
Tabla 37. Características del NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer Kit.....	76

Tabla 38. Parámetros del subsistema parqueadero inteligente.....	77
Tabla 39. Calles y espacio para parqueo	78
Tabla 40. Características del Gateway Milesigth UG67	79
Tabla 41. Transmisión de datos de la estación meteorológica.....	81
Tabla 42. Interpretación de los datos de la trama.....	82
Tabla 43. Decodificación de los datos	82
Tabla 44. Protocolos para el monitoreo ambiental.....	83
Tabla 45. Trama de datos de monitoreo de afluencia	85
Tabla 46. Protocolos para el monitoreo de afluencia	85
Tabla 47. Interpretación de los datos que envía el sensor PlacePod.....	86
Tabla 48. Protocolos para el monitoreo ambiental.....	87
Tabla 49. Capa de procesamiento	88
Tabla 50. Datos convertidos en JSON	89
Tabla 51. Estructura de los datos	89
Tabla 52. Estructura de los datos de las estaciones meteorológicas	90
Tabla 53. Estructura de los datos del monitoreo de afluencia.....	91
Tabla 54. Datos adquiridos, que llegan al servidor.....	92
Tabla 55. Estructura de los datos del parqueadero inteligente.....	93
Tabla 56. Capa de aplicación	95
Tabla 57. Fórmulas de conexión inalámbrica	102
Tabla 58. Coordenadas de la zona centro.....	102

Tabla 59. Coordenadas de los dispositivos que se encuentran en la zona montañosa de la ciudad	106
Tabla 60. Coordenadas de los dispositivos que se encuentran en la zona de Río Verde del cantón	110
Tabla 61. Valores de cada radioenlace.....	116
Tabla 62. Datos del radioenlace	120
Tabla 63. Datos de la configuración del radioenlace	124
Tabla 64. Comandos básicos de CupCarbon	128
Tabla 65. Resultados de las simulaciones	130
Tabla 66. Resultados de las simulaciones	133
Tabla 67. Resultado de las simulaciones.....	137
Tabla 68. Resultados de las simulaciones	141
Tabla 69. Spreading Factor seleccionado.....	142
Tabla 70. Resultados de las simulaciones	147
Tabla 71. Resultado de la simulación, comportamiento de la red	151
Tabla 72. Valores de Throughput en redes LoRaWAN [124].....	152
Tabla 73. Resultados obtenidos por la simulación.....	156
Tabla 74. Comportamientos de la red	161
Tabla 75. Resultados de la simulación	168
Tabla 76. Resultados de la simulación	171
Tabla 77. Parámetros del sistema.....	174
Tabla 78. Resultados obtenidos.....	177

Tabla 79. Parámetros para envío de video en tiempo real	178
Tabla 80. Resultados obtenidos.....	181
Tabla 81. Resultados obtenidos.....	185
Tabla 82. Resultados obtenidos.....	188
Tabla 83. Resultados obtenidos.....	191
Tabla 84. Resumen total del tráfico	191
Tabla 85. Solicitudes por segundo del sistema	192
Tabla 86. Servidor seleccionado [125].....	194
Tabla 87. Permisos a usuarios	195
Tabla 88. Capacidad de usuarios.....	195
Tabla 89. Costos de Grafana	195
Tabla 90. Presupuesto total del proyecto	216

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura para turismo inteligente [24]	11
Figura 2. Arquitectura de turismo IoT de Valencia, España [25]	11
Figura 3. Arquitectura de turismo inteligente México [28]	12
Figura 4. Arquitectura ciudad inteligente Santander, España [27]	13
Figura 5. Línea de tiempo del Internet de las Cosas a través de los años [31]	14
Figura 6. Componentes IoT [33].....	17
Figura 7. Arquitectura de 4 capas [37].....	18
Figura 8. Arquitectura 5 capas diagrama [37].....	19
Figura 9. Posicionamiento de las tecnologías de comunicación	20
Figura 10. Arquitectura de parqueo inteligente en el centro histórico en la ciudad de Cuenca [4]	23
Figura 11. Arquitectura del sistema [40].....	24
Figura 12. Arquitectura lógica del sistema [41].....	25
Figura 13. Dispositivos IoT [42].....	26
Figura 14. Plataformas IoT	28
Figura 15. Topografía del cantón Baños de Agua Santa [59].....	33
Figura 16. Mapa turístico de la ciudad Baños de Agua Santa [64].....	35
Figura 17. Lugares turísticos en el centro de la ciudad [65], [66], [67], [68]	36
Figura 18. Zona montañosa de Baños de Agua Santa [70].....	37
Figura 19. Pailón del diablo [72].....	38

Figura 20. Clima de Baños en un año promedio [73]	38
Figura 21. Microclimas en Baños de Agua Santa	40
Figura 22. Posibles riesgos naturales en Baños de Agua Santa	41
Figura 23. Estaciones meteorológicas en Baños de Agua Santa.....	43
Figura 24. Cobertura de red celular de Baños de Agua Santa de la operadora Claro	45
Figura 25. Cobertura de red celular de Baños de Agua Santa de la operadora Movistar [83].....	45
Figura 26. Cobertura de red celular de Baños de Agua Santa de la operadora CNT [83]	46
Figura 27. Cobertura de fibra de la empresa Netlife [84]	47
Figura 28. Tecnologías de comunicación IoT	48
Figura 29. Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather [91]	60
Figura 30. Proceso de la adquisición de datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather	60
Figura 31. Cámara FootfallCam 3D Pro2	63
Figura 32. Cámara Hikvision DS-2CD1023G2-IIZU	65
Figura 33. Algoritmo YOLO.....	66
Figura 34. Proceso de adquisición de datos de cámaras	66
Figura 35. Lugares de parqueo en el centro de Baños de Agua Santa	68
Figura 36. Sensor PlacePod [115].....	70
Figura 37. Proceso de comunicación del sensor PlacePod [110].....	70
Figura 38. Diseño de la arquitectura IoT	71

Figura 39. Percepción de datos de las estaciones meteorológicas	73
Figura 40. Percepción de datos de la cámara hikvision ds-CD1623G2-LIZU	75
Figura 41. Percepción de datos parqueadero inteligente.....	77
Figura 42. Gateway Milesigth UG67	80
Figura 43. Arquitectura y protocolos [121].....	80
Figura 44. Protocolos de comunicación en monitoreo ambiental	83
Figura 45. Esquema de monitoreo de afluencia	84
Figura 46. Protocolos de comunicación en el parqueadero inteligente.....	87
Figura 47. Capa de procesamiento monitoreo ambiental	90
Figura 48. Capa de procesamiento monitoreo de afluencia de personas	92
Figura 49. Diagrama de flujo del procesamiento de datos.....	94
Figura 50. Boceto de dashboard con condiciones climáticas.....	96
Figura 51. Boceto de dashboard de monitoreo de afluencia de personas	96
Figura 52. Boceto de dashboard del parqueo inteligente	97
Figura 53. Arquitectura del sistema de monitoreo inteligente	98
Figura 54. Esquema Subsistema IoT monitoreo ambiental	99
Figura 55. Esquema subsistema control de afluencia	100
Figura 56. Esquema subsistema parqueadero inteligente	101
Figura 57. Ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway	103
Figura 58. Perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y la Gateway de la zona centro	103

Figura 59. Ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway en la parte montañosa	107
Figura 60. Perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y la Gateway de la zona montañosa	107
Figura 61. Ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway en la zona de Río Verde	111
Figura 62. Perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y la Gateway de la zona de Río Verde	112
Figura 63. Radioenlace centro de Baños de Agua Santa	115
Figura 64. Parámetros del radioenlace Estación Centro	116
Figura 65. Parámetros del radioenlace Gateway Centro	117
Figura 66. Parámetros de los sistemas Estación Centro.....	117
Figura 67. Parámetros de los sistemas Gateway Centro	118
Figura 68. Resultados del radioenlace	119
Figura 69. Enlace de radiofrecuencia zona montañosa.....	120
Figura 70. Parámetros de la Estación de zona montañosa	121
Figura 71. Parámetros de la Gateway de zona montañosa.....	121
Figura 72. Parámetros del sistema de la Estación de zona montañosa	122
Figura 73. Parámetros del sistema de la Gateway de zona montañosa.....	122
Figura 74. Resultados del radioenlace zona montañosa.....	123
Figura 75. Enlace de radiofrecuencia zona Río Verde.....	124
Figura 76. Valores de los parámetros de la Estación zona Río Verde	125
Figura 77. Valores de los parámetros de la Gateway zona Río Verde.....	125

Figura 78. Valores de los parámetros del sistema la Estación zona Río Verde	126
Figura 79. Valores de los parámetros del sistema la Gateway zona Río Verde.....	126
Figura 80. Resultados del radioenlace zona Río Verde	127
Figura 81. Spreading Factor 7	130
Figura 82. Spreading Factor 8	131
Figura 83. Spreading Factor 9	131
Figura 84. Spreading Factor 10	131
Figura 85. Spreading Factor 11	132
Figura 86. Spreading Factor 12	132
Figura 87. Spreading Factor 7	134
Figura 88. Spreading Factor 8	134
Figura 89. Spreading Factor 9	135
Figura 90. Spreading Factor 10	135
Figura 91. Spreading Factor 11	136
Figura 92. Spreading Factor 12	136
Figura 93. Spreading Factor 7	138
Figura 94. Spreading Factor 8	138
Figura 95. Spreading Factor 9	139
Figura 96. Spreading Factor 10	139
Figura 97. Spreading Factor 11	140
Figura 98. Spreading Factor 12	140

Figura 99. Simulación en las tres zonas estudiadas, zona centro, zona montañosa y zona Río Verde.....	143
Figura 100. Spreading Factor 7	144
Figura 101. Spreading Factor 8	144
Figura 102. Spreading Factor 9	145
Figura 103. Spreading Factor 10	145
Figura 104. Spreading Factor 11	146
Figura 105. Spreading Factor 12	146
Figura 106. Parámetros generales	148
Figura 107. Parámetros de LoRaWAN	148
Figura 108. Parámetros generales de la Gateway	149
Figura 109. Parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway.....	149
Figura 110. Estación y Gateway en Baños de Agua Santa	150
Figura 111. Comportamientos de la red.....	150
Figura 112. Parámetros generales	153
Figura 113. Parámetros de LoRaWAN	154
Figura 114. Parámetros generales de la Gateway zona montañosa	154
Figura 115. Parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway zona montañosa.	155
Figura 116. Estación y Gateway en Baños de Agua Santa	155
Figura 117. Comportamiento de la red	156
Figura 118. Parámetros generales	158

Figura 119. Parámetros de LoRaWAN	159
Figura 120. Parámetros generales de la Gateway de Río Verde	159
Figura 121. parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway de Río Verde.....	160
Figura 122. Estación y Gateway en Río Verde Baños de Agua Santa.....	160
Figura 123. Comportamiento de la red	161
Figura 124. Ubicación de los sensores LoRa	163
Figura 125. Gateway del centro de Baños para sensores de parqueo	164
Figura 126. Configuración general de los sensores PlacePod.....	164
Figura 127. Configuración de LoRaWAN de los sensores PlacePod.	165
Figura 128. Configuración general del Gateway del parqueadero inteligente.....	165
Figura 129. Configuración LoRaWAN de la Gateway del parqueadero inteligente	166
Figura 130. Sensores de parqueo y Gateway	166
Figura 131. Simulación completa y mapas de calor	167
Figura 132. Simulación completa y mapas de calor	167
Figura 133. Sistema completo del parqueadero inteligente	169
Figura 134. Sistema completo del parqueadero inteligente	169
Figura 135. Simulación del sistema completo del parqueadero inteligente.....	170
Figura 136. Simulación afluencia de personas.....	173
Figura 137. Envío de datos en tiempo real.....	178
Figura 138. Diagrama de conexión de cámaras IP.....	182
Figura 139. Nodos y Gateway.....	199

Figura 140. Diagrama de flujo, del código de las estaciones meteorológicas	200
Figura 141. Adquisición de datos de la cámara	201
Figura 142. Parqueadero inteligente	202
Figura 143. Diagrama de flujo del código de parqueo inteligente	202
Figura 144. Gateway de la arquitectura	203
Figura 145. Diagrama de flujo, del código del Gateway	204
Figura 146. Envío de datos de los sensores de parqueo hacia la Gateway	205
Figura 147. NVIDIA Jetson Nano	206
Figura 148. Base datos InfluxDB Zona Centro.....	207
Figura 149. Base de datos meteorológica Zona Centro	207
Figura 150. Base de datos meteorológica Zona Montañosa	208
Figura 151. Sistema de afluencia de personas	208
Figura 152. Diagrama de flujo del código de detección de personas	209
Figura 153. Base datos InfluxDB.....	210
Figura 154. Dashboard en Grafana de estaciones meteorológicas.....	211
Figura 155. Sistema de afluencia de personas	212
Figura 156. Sistema de afluencia de personas con vehículos	213
Figura 157. Dashboard en Grafana de parqueadero inteligente.....	214
Figura 158. Arquitectura implementada	215

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Código de estaciones y Gateway	236
Anexo B. Código de parqueadero inteligente	243
Anexo C. Scrip para monitoreo de afluencia	245
Anexo D. Configuración de Grafana	255
Anexo E. Especificaciones técnicas de los dispositivos	256

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto propone el diseño de una arquitectura IoT aplicada al turismo inteligente en la ciudad de Baños de Agua Santa, Ecuador, para establecer una infraestructura tecnológica base que permita incorporar progresivamente soluciones digitales para el monitoreo, gestión y análisis de información turística, contribuyendo así al desarrollo de Baños como un destino turístico inteligente. La investigación surge ante la necesidad de integrar soluciones tecnológicas que permitan el monitoreo ambiental, control de afluencia de personas y la gestión de zonas de parqueo, optimizando la conectividad y el acceso a información en tiempo real en una ciudad con alta actividad turística y condiciones geográficas particulares.

La arquitectura propuesta está conformada por cuatro capas fundamentales: percepción, red, procesamiento y aplicación. Estas capas integran sensores, dispositivos IoT, protocolos de comunicación y plataformas tecnológicas que permiten adquisición, transmisión, procesamiento y visualización de datos. Para la comunicación entre nodos IoT y gateways se emplea la tecnología LoRaWAN, seleccionada por su capacidad de cobertura, bajo consumo energético y eficiencia en la transmisión de información. Además, se utilizaron herramientas como CupCarbon, OMNeT++, Radio Mobile, InfluxDB y Grafana para la simulación, evaluación y visualización de datos, permitiendo analizar parámetros de rendimiento, cobertura y conectividad de la red. Además, se consideraron las condiciones geográficas de Baños de Agua Santa para optimizar la ubicación de los dispositivos y garantizar la estabilidad de las comunicaciones.

Como resultado, se obtuvo una arquitectura funcional y escalable, validada mediante simulaciones y pruebas de laboratorio con dispositivos IoT demostrando funcionalidad, conectividad y transmisión eficiente de datos dentro de la arquitectura propuesta.

Palabras claves: Arquitectura IoT, turismo inteligente, LoRaWAN, redes inalámbricas, ciudades inteligentes, internet de las cosas

ABSTRACT

This project proposes the design of an IoT architecture applied to smart tourism in the city of Baños de Agua Santa, Ecuador, in order to establish a foundational technological infrastructure that enables the progressive incorporation of digital solutions for monitoring, managing, and analyzing tourism-related information, thereby contributing to the development of Baños as a smart tourism destination. The research arises from the need to integrate technological solutions that support environmental monitoring, people flow control, and parking area management, optimizing connectivity and access to real-time information in a city with high tourism activity and particular geographical conditions.

The proposed architecture consists of four fundamental layers: perception, network, processing, and application. These layers integrate sensors, IoT devices, communication protocols, and technological platforms that enable data acquisition, transmission, processing, and visualization. LoRaWAN technology is employed for communication between IoT nodes and gateways due to its wide coverage, low energy consumption, and efficient data transmission capabilities. In addition, tools such as CupCarbon, OMNeT++, Radio Mobile, InfluxDB, and Grafana were used for data simulation, evaluation, and visualization, enabling the analysis of network performance, coverage, and connectivity parameters. Furthermore, the geographical conditions of Baños de Agua Santa were considered to optimize device placement and ensure communication stability.

As a result, a functional and scalable architecture was obtained and validated through simulations and laboratory tests using IoT devices, demonstrating functionality, connectivity, and efficient data transmission within the proposed architecture.

Keywords: IoT Architecture, smart tourism, LoRaWAN, wireless networks, smart cities, Internet of Things.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

“ARQUITECTURA IOT APLICADA AL TURISMO INTELIGENTE PARA LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR”.

1.1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, el desarrollo tecnológico ha impulsado a las ciudades a adaptarse a las nuevas tendencias digitales, especialmente aquellas con una fuerte actividad turística. En este contexto, herramientas como el Internet de las Cosas (IoT) se han convertido en aliados fundamentales para optimizar la gestión urbana y mejorar la experiencia de los visitantes. En Ecuador, varias ciudades destacan como destinos turísticos relevantes, entre ellas Baños de Agua Santa, ubicada en la provincia de Tungurahua. Su constante crecimiento turístico y el alto flujo de visitantes y vehículos hacen indispensable la incorporación de tecnologías inteligentes que fortalezcan su competitividad frente a otros destinos [1]. La implementación de una arquitectura IoT permitiría ofrecer una experiencia más inmersiva y personalizada a los turistas. En este sentido, las ciudades inteligentes y el turismo 4.0 emergen como estrategias clave, ya que facilitan la digitalización de los servicios, la recopilación de información en tiempo real y la toma de decisiones basadas en datos que contribuyen al desarrollo sostenible y a la planificación eficiente del territorio [2].

La incorporación de nuevas tecnologías está transformando por completo el turismo y la manera en que los visitantes se relacionan con los destinos. Las grandes ciudades turísticas del mundo ya están aplicando herramientas que facilitan la recolección, integración y análisis de datos urbanos, permitiendo una interacción mucho más dinámica e inmersiva con los visitantes [3]. Entre estas tecnologías se destacan la transmisión mediante redes LoRa, y las plataformas de gestión con datos históricos, que ayudan a optimizar recursos, controlar la movilidad y ofrecer experiencias turísticas personalizadas [4]. Sin embargo, uno de los principales desafíos es la falta de sistemas integrados que permitan administrar de forma eficiente la configuración,

el monitoreo y el análisis de los diferentes dispositivos IoT. Esta limitación puede afectar la capacidad de los destinos turísticos para mantenerse competitivos frente a ciudades que ya cuentan con una infraestructura tecnológica más desarrollada [4].

En Ecuador, la implementación de tecnologías para el desarrollo de ciudades inteligentes aún se encuentra en una etapa inicial, e incluso en algunos casos su aplicación es prácticamente nula. Si bien el Ministerio de Turismo ha realizado esfuerzos por incorporar soluciones tecnológicas e integrar herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), todavía existen limitaciones en su alcance y desarrollo. Según informes del propio ministerio, Baños de Agua Santa se encuentra entre las ciudades más visitadas del país, lo que hace necesario que adopte estrategias de digitalización y tecnología 4.0 para ofrecer una experiencia turística más moderna y atractiva [1], [5].

Aunque Baños de Agua Santa es actualmente uno de los destinos turísticos más reconocidos y visitados del país, la falta de integración tecnológica representa un riesgo considerable para su competitividad a largo plazo [5]. En un entorno global donde la innovación y la digitalización marcan la diferencia, la ausencia de sistemas inteligentes puede limitar su capacidad para ofrecer experiencias personalizadas, optimizar recursos y garantizar una gestión eficiente del flujo de visitantes y vehículos. Si no se adoptan estrategias tecnológicas adecuadas, con el tiempo Baños podría perder atractivo frente a otros destinos que ya cuentan con infraestructura digital avanzada y servicios basados en datos [6]. Por ello, resulta fundamental impulsar la modernización tecnológica del sector turístico local mediante la implementación de herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), sistemas de monitoreo en tiempo real y plataformas de análisis de información, que permitan consolidar a Baños como una ciudad turística inteligente, sostenible y altamente competitiva [6].

En este contexto, el presente proyecto propone una arquitectura IoT aplicado al turismo inteligente para la ciudad de Baños de Agua Santa, Ecuador con el fin de evaluar la factibilidad técnica y funcional, además evaluar requerimientos funcionales y no funcionales del sistema (seguridad, interoperabilidad, latencia, escalabilidad, costo) de la arquitectura propuesta mediante simulaciones, todo con el objetivo de

fortalecer la competitividad de Baños y posicionarla como uno de los destinos turísticos innovador del Ecuador.

1.2 Antecedentes investigativos

La evolución del sector turístico hacia el modelo de los Destinos Turísticos Inteligentes ha impulsado la necesidad de desarrollar infraestructuras tecnológicas robustas, capaces de gestionar la adquisición y procesamiento de datos en entornos dinámicos. En este contexto, la revisión del estado del arte constituye una etapa fundamental para identificar los patrones de diseño, protocolos de comunicación y estrategias de gestión de nodos IoT que han demostrado viabilidad técnica en escenarios de características topográficas y operativas similares a las de Baños de Agua Santa. A continuación, se presentan los antecedentes investigativos nacionales e internacionales más relevantes, cuyo análisis crítico proporciona la base teórica y metodológica para la propuesta de arquitectura y simulación que aborda el presente proyecto.

Tekinerdogan [7] en el año 2019, desarrollaron la investigación "System Architecture Design of IoT-Based Smart Cities". Este estudio se centró en el diseño y propuesta de un enfoque sistemático para la arquitectura de sistemas en ciudades inteligentes basadas en IoT, utilizando un análisis de dominio impulsado por características y vistas arquitectónicas, para guiar el desarrollo de infraestructuras robustas y adaptables que cumplan con los requisitos funcionales y de calidad cambiantes en los servicios urbanos.

Un estudio reciente de Pereira [8] en el año 2022 presentó una plataforma denominada SGeoL, la cual integra datos urbanos heterogéneos con información geográfica. Esta investigación destaca que, mediante una infraestructura middleware con soporte para la gestión de contexto, integración semántica, análisis, visualización y seguridad de datos, SGeoL ofrece un rendimiento eficiente y escalable. Gracias a su diseño modular, la plataforma permite optimizar procesos clave como la planificación urbana, el monitoreo de entornos y la toma de decisiones en tiempo real, proporcionando una base sólida para el desarrollo de aplicaciones inteligentes orientadas a la gestión de recursos y servicios urbanos. Sin embargo, a pesar de sus ventajas en interoperabilidad y eficiencia, el estudio no profundiza en aspectos relacionados con la adaptabilidad

dinámica del sistema frente a grandes volúmenes de datos en entornos distribuidos, lo que podría representar una limitación para escenarios urbanos de rápida evolución.

Diversos estudios han validado la eficacia de las redes de área amplia y baja potencia (LPWAN) para la adquisición de datos en entornos distribuidos. Por un lado, Soza [9] en el año 2020 presenta el diseño de una arquitectura WSN basada en tecnología LoRa, configurada en una topología donde múltiples nodos sensores transmiten datos hacia un gateway central, el cual gestiona la retransmisión hacia la nube a través de The Things Network (TTN). De manera complementaria, Soler [10] en el año 2023 propone un sistema híbrido de monitorización y control que integra interfaces móviles Android mediante Bluetooth con nodos LoRa, facilitando la gestión remota de variables críticas como temperatura y humedad, así como la configuración dinámica de los intervalos de muestreo. Ambas investigaciones convergen en demostrar la idoneidad técnica del protocolo LoRa/LoRaWAN para soportar comunicaciones de largo alcance y bajo consumo energético, alineándose con las tendencias actuales que posicionan a esta tecnología como un estándar para aplicaciones de monitoreo ambiental, agricultura de precisión y desarrollo de ciudades inteligentes

Olivo [11] en el año 2023, desarrolló la investigación "Una arquitectura para la recopilación, integración y análisis de información en el contexto de la internet de las cosas: Caso estudio: aplicaciones en el sector agrícola". Este estudio se centró en el diseño y propuesta de una arquitectura unificada para guiar la implementación de soluciones IoT, utilizando una validación experimental en agricultura de precisión (cultivo de banano) mediante redes de sensores inalámbricos (WSN) y procesamiento en la nube, para mejorar la velocidad de captura, integrar fuentes de datos heterogéneas y facilitar la toma de decisiones basada en analítica de Big Data.

En un estudio de Áreas [12] en el año 2022, desarrollaron la investigación "Arquitectura de red para soportar servicios de IoT en un Smart Campus". Este estudio se centró en el diseño y validación de una arquitectura de red basada en el protocolo LoRa, propuesta como soporte al Programa de Desarrollo Integral (PDI) de la Universidad de los Andes, para impulsar la transformación digital del entorno educativo. La viabilidad de la propuesta fue corroborada mediante la implementación de un prototipo experimental evaluado en dos escenarios (sensores estacionarios y

móviles), demostrando un desempeño satisfactorio en la obtención y transmisión de datos.

Un estudio presentado por Pérez [13] en el año 2023, se desarrolló una aplicación IoT basada en los protocolos LoRa y LoRaWAN, empleando placas TTGO LoRa32 y el entorno PlatformIO con la librería LMIC-node para la comunicación a través de The Things Stack. De forma complementaria Sánchez en [14] en el año 2023, se diseñó un prototipo de telecontrol de riego por goteo utilizando tecnología LoRa, compuesto por nodos sensores, gateway, servidor y actuadores. En ambos casos, los datos obtenidos como temperatura, humedad, pH y nivel de agua fueron procesados y visualizados en una interfaz Node-RED, que permitió el monitoreo en tiempo real, el control remoto de dispositivos y la gestión automática de alertas mediante Telegram. Este enfoque demuestra la versatilidad de Node-RED como plataforma de integración y visualización IoT, al permitir el análisis dinámico y la representación gráfica de variables ambientales y operativas, mejorando la eficiencia en la supervisión de sistemas industriales y agrícolas. Asimismo, las investigaciones resaltan que la combinación de LoRa/LoRaWAN y Node-RED ofrece una solución económica, escalable y adaptable, capaz de optimizar procesos de control y toma de decisiones en entornos distribuidos.

En el ámbito de la monitorización remota y la automatización mediante IoT, diversas investigaciones han demostrado la versatilidad de la tecnología LoRa en entornos rurales e industriales. Muñoz [15] en el año 2025, desarrolló un sistema de gestión para el monitoreo del posicionamiento y la temperatura corporal de ganado bovino, utilizando sensores GPS e infrarrojos conectados a una red LoRa. El enfoque permitió la transmisión de datos a larga distancia y la visualización en una interfaz gráfica, optimizando la toma de decisiones y reduciendo la dependencia de procesos manuales. De manera complementaria, Cárdenas [16] en el año 2018, propuso una aplicación para el control y gestión de sistemas de iluminación LED mediante comunicación Broadcast a través de transceptores LoRa, alcanzando distancias de transmisión de hasta 15 km en zonas rurales con bajo consumo energético. Esta solución permitió controlar luminarias desde una aplicación móvil, ajustando el encendido, apagado y niveles de atenuación según las necesidades del entorno. Ambos estudios evidencian que LoRa constituye una tecnología eficaz, económica y energéticamente eficiente,

ideal para aplicaciones que requieren transmisión de datos a larga distancia, monitoreo continuo y automatización adaptativa, consolidándose como una base sólida para el desarrollo de sistemas inteligentes en sectores como la ganadería, agricultura y gestión energética.

Montoya [17] en el año 2017, desarrollaron la investigación "Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT". Este estudio se centró en el diseño y propuesta de una arquitectura basada en el modelo Lambda y estructurada en capas (captura, almacenamiento, procesamiento y consulta) para la obtención, monitoreo y análisis de variables climáticas en tiempo real, evaluando su factibilidad técnica mediante pruebas de carga y tiempos de respuesta.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Turismo Inteligente

El turismo inteligente tiene sus orígenes en la necesidad de evolucionar el turismo tradicional con el objetivo de mejorar su calidad y competitividad. En sus primeras etapas, el turismo se caracterizaba por procesos manuales y la ausencia de sistemas automatizados, lo que generaba una interacción limitada de información entre los destinos y los visitantes. Con el desarrollo progresivo de la tecnología, especialmente a finales del siglo XX e inicios del siglo XXI, surgió lo que en la actualidad se denomina turismo inteligente. Este nuevo enfoque permitió la aplicación de diversas tecnologías emergentes, como plataformas web, sistemas en línea en tiempo real, interfaces digitales de información, sistemas de reservación de puntos turísticos y herramientas de promoción de destinos. Estos avances marcaron un paso fundamental hacia la consolidación de los destinos turísticos inteligentes, cuya función principal es ofrecer una experiencia turística más eficiente, funcional y accesible para el usuario, optimizando al mismo tiempo la gestión de los recursos turísticos [18].

A partir de la segunda década del siglo XXI, el modelo de turismo inteligente comenzó a consolidarse de la mano de la evolución de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), las cuales impulsaron el desarrollo de las ciudades inteligentes. En esta etapa, el turismo dejó de centrarse únicamente en la digitalización de la información para su

visualización por parte de los turistas y empezó a integrar diversos servicios y tecnologías, tales como la incorporación de sensores, la recolección de datos en tiempo real, el uso de big data, interfaces digitales, enlaces con dispositivos móviles y una conectividad permanente. Esta evolución tecnológica permitió recopilar, almacenar y analizar grandes volúmenes de información en tiempo real, lo que contribuyó significativamente a mejorar la planificación turística, la toma de decisiones estratégicas y la gestión eficiente de los recursos en los destinos turísticos [19].

El turismo inteligente se define como un modelo innovador que utiliza tecnologías digitales para crear experiencias turísticas sostenibles, accesibles y, sobre todo, personalizadas para el visitante. Una de las principales ventajas de este modelo es que no se limita únicamente al uso de la tecnología, sino que también promueve prácticas más amigables con el medio ambiente y fomenta la interacción entre turistas, comunidades locales y el entorno. De esta manera, el turismo inteligente impulsa la colaboración entre los distintos actores del sector turístico, contribuyendo a una gestión más eficiente de los destinos y a un desarrollo turístico equilibrado y responsable [19].

El Turismo 4.0 representa la etapa más avanzada del turismo inteligente y se encuentra estrechamente relacionado con la cuarta revolución industrial. En esta fase se integran las tecnologías más relevantes de la actualidad, como el Internet de las Cosas (IoT), la automatización de procesos, la inteligencia artificial y el análisis de grandes volúmenes de datos, con el objetivo de ofrecer servicios de alta calidad orientados al cliente. Gracias al uso de estas tecnologías y al análisis de datos en tiempo real, el Turismo 4.0 impulsa el desarrollo de destinos más sostenibles, innovadores y altamente competitivos, mejorando la experiencia del turista y contribuyendo de manera significativa al fortalecimiento del desarrollo económico y social de los distintos [20].

a. Principios

Los principios son fundamentales al momento de desarrollar una arquitectura, ya que constituyen la guía para el uso adecuado de la tecnología, la interacción entre todos los actores del sector turístico y la gestión eficiente de los recursos. De este modo, los principios del turismo inteligente sirven como base para la estructuración, planificación, análisis y evaluación de los sistemas turísticos, asegurando un desarrollo

innovador orientado a mejorar la experiencia del turista y la sostenibilidad de los destinos, a continuación, se muestra una lista de los principios del turismo inteligente:

- Uso estratégico de la tecnología
- Orientación a la experiencia del turista
- Sostenibilidad
- Gestión basada en datos
- Gobernanza y colaboración
- Accesibilidad e inclusión
- Innovación continua

Todos estos principios se basan en situar al turista como el principal beneficiario de las arquitecturas de turismo inteligente, considerándolo el centro del modelo. Gracias a la aplicación de estos principios, es posible ofrecer experiencias personalizadas mediante el análisis de datos obtenidos en tiempo real, lo que permite adaptar los servicios a las necesidades y preferencias de los visitantes. Otro de los principios fundamentales es la sostenibilidad, ya que se busca promover el uso eficiente de los recursos naturales y reducir el impacto del turismo sobre el entorno ambiental. Asimismo, la gestión eficiente de los datos en tiempo real facilita una planificación turística más precisa, mejorando la toma de decisiones, la gestión de los flujos de visitantes y garantizando la accesibilidad para todos los turistas, independientemente de sus capacidades físicas, edad o condiciones sociales [21].

Finalmente, el turismo inteligente requiere la colaboración de todos los actores involucrados, lo que fomenta la innovación continua y contribuye al desarrollo de destinos turísticos más competitivos y responsables [21].

b. Tecnologías

Para que el desarrollo del turismo inteligente se realice de manera adecuada, es necesario integrar diversas tecnologías, tanto principales como emergentes, que

permitan optimizar la gestión de los destinos turísticos. Estas tecnologías contribuyen a la recopilación, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos en tiempo real, lo que facilita una toma de decisiones más eficiente y una planificación turística más precisa, en la Tabla 1, se presenta un conjunto de las principales tecnologías que hacen posible la implementación del turismo inteligente.

Tabla 1. Tecnologías del turismo inteligente [22]

Tecnología	Descripción	Aplicación
Internet de las Cosas (IoT)	Sistemas capaces de aprender y tomar decisiones a partir de datos.	Recomendación personalizada de destinos, chatbots, predicción de demanda turística.
Big Data	Infraestructura que permite almacenar y procesar datos de forma remota.	Gestión centralizada de información, escalabilidad de plataformas turísticas.
Inteligencia Artificial (IA)	Software diseñado para dispositivos móviles.	Guías turísticas digitales, reservas, información en tiempo real y servicios personalizados.
Computación en la nube	Infraestructura que permite almacenar y procesar datos de forma remota.	Gestión centralizada de información, escalabilidad de plataformas turísticas.
Aplicaciones móviles	Software diseñado para dispositivos móviles.	Guías turísticas digitales, reservas, información en tiempo real y servicios personalizados.
Sistemas de información geográfica (SIG)	Herramientas para capturar y analizar datos espaciales.	Gestión territorial, rutas turísticas inteligentes y análisis de flujos de visitantes.
Realidad aumentada y virtual (RA/RV)	Tecnologías que combinan o simulan entornos digitales.	Experiencias inmersivas, visitas virtuales y enriquecimiento cultural.
Conectividad inalámbrica (Wi-Fi / 5G)	Tecnologías de comunicación de alta velocidad.	Acceso continuo a servicios digitales y conectividad para turistas y operadores.

c. Casos de éxito: Ciudades con turismo inteligente

A nivel mundial existen múltiples casos de ciudades inteligentes que han implementado de manera exitosa el turismo inteligente, convirtiéndose en referentes y pioneras de este modelo. Estas ciudades han logrado integrar tecnologías avanzadas en la gestión turística, lo que les ha permitido mejorar la experiencia del visitante, optimizar el uso de los recursos y fortalecer la sostenibilidad de los destinos. Gracias a estas estrategias, se han consolidado como algunos de los destinos turísticos más

visitados y competitivos a nivel internacional. En la Tabla 2, se puede visualizar los países con turismo inteligente y la afluencia de turistas que visitan.

Tabla 2. Ciudades con arquitecturas inteligentes [23], [24], [25], [26], [27]

Ciudad / País	Tipo de arquitectura inteligente	Componentes principales
Barcelona (España)	Arquitectura IoT urbana centralizada	Sensores IoT, plataforma de datos integrada, Big Data, dashboards
Valencia (España)	Arquitectura de Destino Turístico Inteligente (DTI) por capas	Sensorización IoT, conectividad, gestión de datos, capa de servicios
Seúl (Corea del Sur)	Arquitectura basada en Big Data e Inteligencia Artificial	Guías turísticas digitales, reservas, información en tiempo real y servicios personalizados.
Singapur	Arquitectura de ciudad inteligente integrada	IoT, plataformas en la nube, análisis de datos, sistemas de gestión
Ámsterdam (Países Bajos)	Arquitectura distribuida y colaborativa	Plataformas abiertas, análisis de datos, participación multisectorial
Dubái (Emiratos Árabes Unidos)	Arquitectura inteligente automatizada	Inteligencia artificial, sistemas predictivos, plataformas digitales.

Uno de los destinos turísticos que ha implementado de manera destacada el turismo inteligente es la ciudad de Barcelona, en España, considerada uno de los pioneros en este modelo. La ciudad cuenta con una arquitectura IoT urbana centralizada, conectada a una red de sensores distribuidos que envían información a plataformas de datos integradas. Esta arquitectura permite recolectar información relacionada con la afluencia turística, el consumo energético y los servicios públicos en tiempo real, lo que facilita su análisis mediante herramientas de Big Data. Posteriormente, los datos son visualizados a través de interfaces interactivas o dashboards, apoyando la toma de decisiones, la gestión eficiente de los flujos turísticos y la reducción de la congestión en zonas de alta demanda [23].

integra sensores distribuidos, plataformas digitales en la nube y aplicaciones móviles, complementadas con el uso de inteligencia artificial. Gracias a esta arquitectura, es posible ofrecer a los turistas recomendaciones personalizadas y servicios predictivos, mejorando significativamente la experiencia del visitante y optimizando la gestión de los servicios turísticos [26].

En Cancún, México, y la Riviera Maya se ha impulsado el desarrollo del turismo inteligente debido a que este destino recibe la mayor cantidad de turistas internacionales que visitan el país. Ante este alto flujo de visitantes, se han incorporado diversas tecnologías en la gestión turística con el objetivo de mantenerse a la par de otros destinos turísticos inteligentes a nivel mundial. La aplicación de estas soluciones tecnológicas permite mejorar la planificación, optimizar los servicios turísticos y ofrecer una experiencia más eficiente y personalizada a los visitantes [28].



Figura 3. Arquitectura de turismo inteligente México [28]

Finalmente, en España se desarrolló el proyecto inteligente Smart Santander, en el cual se implementó una arquitectura inteligente a escala urbana que abarca toda la ciudad e integra también aplicaciones orientadas al turismo inteligente. Este proyecto incorporó una arquitectura basada en servicios IoT, mediante la cual se realizaron pruebas a gran escala con sensores distribuidos y plataformas de gestión de datos. Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora en la gestión urbana y turística, convirtiendo a la ciudad en un destino más eficiente, innovador y atractivo para los turistas [27].

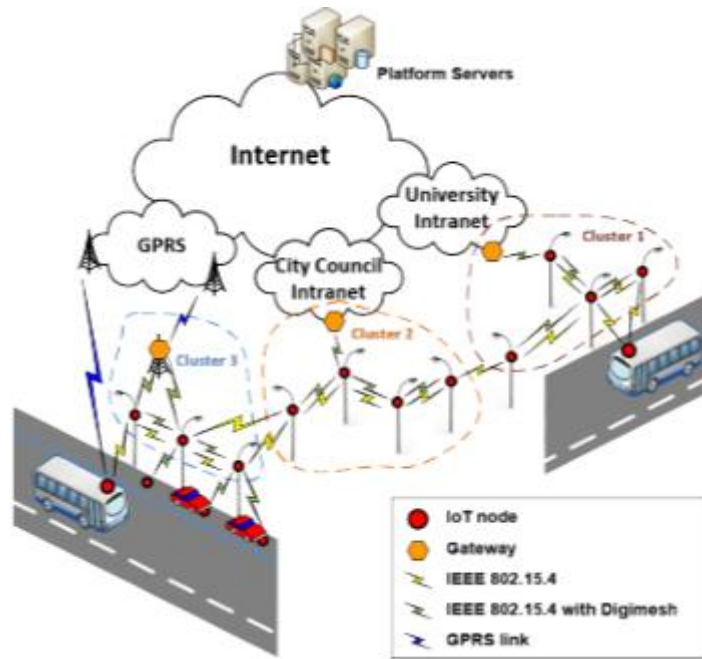


Figura 4. Arquitectura ciudad inteligente Santander, España [27]

1.3.2 Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas (IoT) es un modelo que permite la interconexión de objetos físicos de uso cotidiano mediante redes de comunicación, con el fin de recopilar, administrar y procesar datos sin la intervención humana directa. En su evolución, el IoT surge a partir del avance de las tecnologías de comunicación y sensorización, consolidándose con el desarrollo de Internet y las redes inalámbricas, hasta convertirse en una tecnología clave que posibilita la automatización y el análisis de información en tiempo real. En el año de 2019, un estudio reveló que existen 7,74 mil millones de dispositivos capaces de conectarse al internet como celulares, computadoras, TV, relojes [29]. Para 2030 esta cifra aumente a 25,44 mil millones de dispositivos.

En la última década, la necesidad de que los objetos cotidianos puedan ser controlados de manera sencilla y eficiente se ha convertido en una demanda creciente. Este requerimiento surge como respuesta al aumento del uso de tecnologías digitales en la vida diaria, lo que ha impulsado el desarrollo de sistemas capaces de automatizar procesos, optimizar recursos y facilitar la interacción entre las personas y su entorno, en la Tabla 3, se presenta la cantidad de personas en mundo que tiene acceso a internet:

Tabla 3. Usuarios conectados a internet [30]

Continente	Población total	Usuarios conectados a internet	% de usuarios que tiene acceso a internet
Asia	4 835 320 060 habitantes	2 900 000 000 usuarios	60 % del continente
África	1 549 867 579 habitantes	620 000 000 usuarios	40 % del continente
Europa	742 556 239 habitantes	800 000 000 usuarios	95 % del continente
América del Norte	617 286 638 habitantes	348 000 000 usuarios	56 % del continente
América Latina y Caribe	667 888 552 habitantes	533 000 000 usuarios	80 % del continente
Oceanía	46 609 644 habitantes	30 000 000 usuarios	64 % del continente
Total mundial	8 459 528 712 habitantes	5 450 000 000 usuarios	64 % del mundo

En el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), las inversiones y compras asociadas a esta tecnología han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. En el año 2019, el mercado IoT alcanzó aproximadamente los 120 billones, mientras que en la actualidad esta cifra se ha incrementado hasta alrededor de 344 billones, reflejando la rápida adopción de soluciones inteligentes en diversos sectores. Además, se proyecta que para el año 2030 el valor del mercado IoT ascenderá a aproximadamente 483 billones, lo que evidencia la consolidación de esta tecnología como un pilar fundamental en la transformación digital y la automatización de procesos a nivel global.

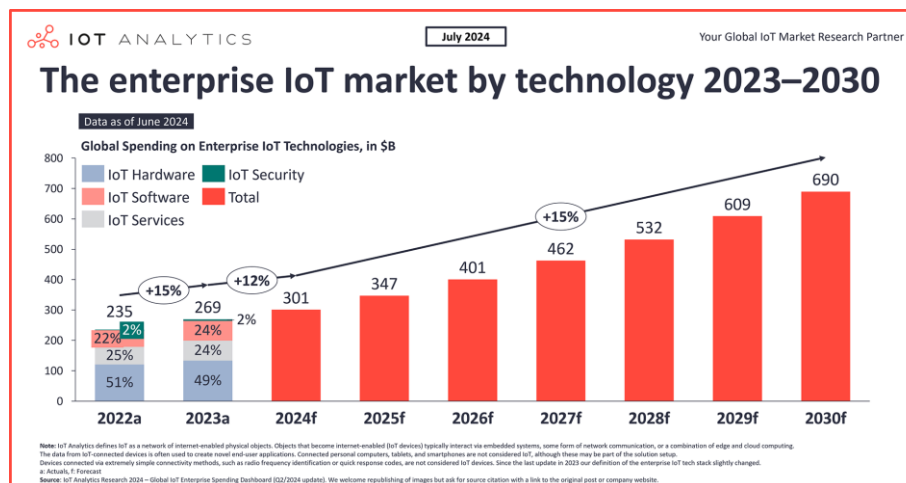


Figura 5. Línea de tiempo del Internet de las Cosas a través de los años [31]

a. Principios

Los principios del Internet de las Cosas (IoT) constituyen uno de los fundamentos esenciales para garantizar la provisión de servicios de calidad, cumpliendo con las normas y lineamientos pertinentes. Estos principios permiten que los sistemas IoT sean eficientes y confiables, asegurando la correcta interconexión de los dispositivos y la adecuada adquisición de datos en tiempo real, con una mínima intervención humana. Además, facilitan el cumplimiento de los requerimientos técnicos y operativos necesarios para el correcto funcionamiento de las arquitecturas IoT [32].

- Interconectividad
- Sensado y adquisición de datos
- Procesamiento y análisis de datos
- Procesamiento y análisis de datos
- Automatización y actuación
- Seguridad
- Seguridad y privacidad

b. Componentes de IoT

Los componentes del Internet de las Cosas (IoT) constituyen la estructura básica que permite la integración de las diversas etapas involucradas en la adquisición, comunicación, procesamiento y gestión de la información. Estos elementos trabajan de manera conjunta para garantizar el flujo eficiente de datos desde los dispositivos físicos hasta las plataformas digitales, posibilitando el funcionamiento adecuado de los sistemas IoT [32].

- ***Tecnologías de conectividad.*** Zigbee, Z-Wave, LoRaWAN, Wi-Fi, Bluetooth, NB-IoT, LTE-M.
- ***Tecnologías cableadas.*** Power over Ethernet (PoE).

- **Sensores y actuadores.** Sensores de humedad, temperatura, movimiento.
- **Actuadores.** Válvulas, relés, motores.
- **Sistemas embebidos.** Microprocesadores y microcontroladores.
- **Sistemas operativos en tiempo real.**
- **Computación en la nube.** Plataformas como Google Cloud, Azure, AWS
- **Computación de borde.** Acercan la potencia a los dispositivos IoT reduciendo la latencia.
- **Seguridad.** Cifrado, control, autenticación para proteger los datos y los dispositivos.
- **Estándares y protocolos.** Protocolos IoT como MQTT, OPC UA, CoAP.
- **Análisis de datos.** Aplicaciones como el Big Data procesa y analizan grandes cantidades de datos.
- **Interfaces de usuario.** Páginas web, aplicaciones móviles o paneles de control permite al usuario interactuar con los dispositivos IoT.

En la Figura 6, se visualiza la estructura general de los componentes del Internet de las Cosas (IoT), los cuales se distribuyen en diferentes etapas. El proceso comienza con la recolección de datos mediante dispositivos físicos, como sensores y actuadores, que capturan información del entorno, por ejemplo, temperatura, humedad, calidad del aire. Siguiendo, se encuentra la etapa de red, encargada de transmitir la información recolectada. Esta incluye los protocolos de comunicación, Internet y tecnologías como Wi-Fi, que permiten que los datos viajen desde los sensores hacia sistemas centrales o plataformas en la nube. La siguiente corresponde a la capa de procesamiento y gestión de datos, donde se integran las APIs, los servicios web y los centros de datos. En esta etapa la información es organizada, almacenada y procesada para su posterior utilización. Finalmente, se presenta la capa de aplicación, donde los datos ya procesados se muestran al usuario final, permitiéndole analizar la información y tomar decisiones en tiempo real.

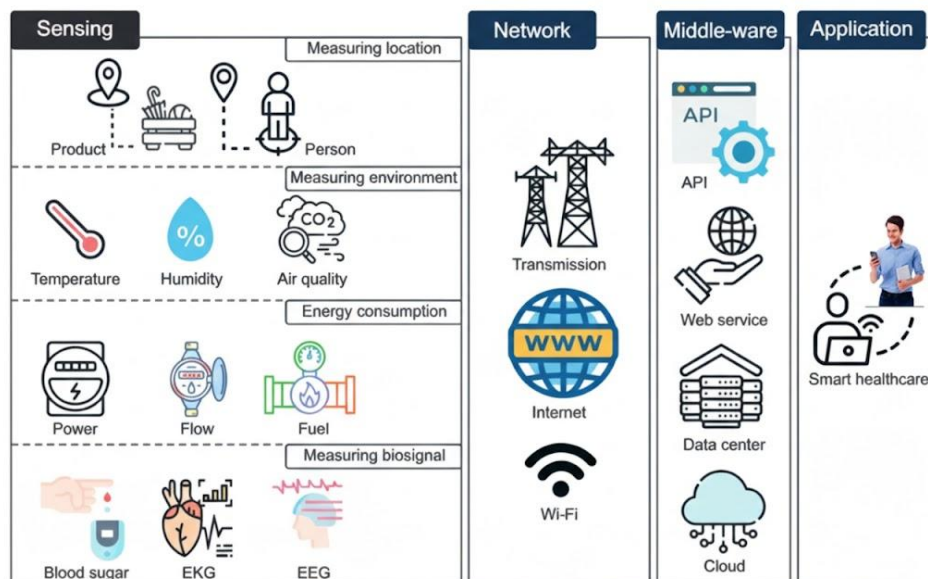


Figura 6. Componentes IoT [33]

1.3.3 Arquitecturas IoT.

Existen diferentes tipos de arquitecturas IoT para varias aplicaciones, cada una de las arquitecturas cuenta con características, ventajas y desventajas para sus diversas aplicaciones, en la Tabla 4, se puede visualizar una comparativa de las diversas arquitecturas IoT.

Tabla 4. Tipos de arquitectura IoT [34], [35], [36]

Tipo de arquitectura IoT	Capas principales	Características	Ventajas	Aplicaciones comunes
Arquitectura de 3 capas	Percepción, red, aplicación	Modelo básico de IoT	Sencilla, fácil implementación	Prototipos, sistemas pequeño
Arquitectura de 4 capas	Percepción, red, procesamiento, Aplicación	Menor latencia, mejor eficiencia en sistemas IoT distribuidos, eficiente para entornos con dispositivos de bajo consumo	Mejor control y escalabilidad, mayor eficiencia energética, menor costo de implementación	Monitoreo inteligente, monitoreo ambiental, turismo inteligente
Arquitectura de 5 capas	Percepción, transporte, Procesamiento, aplicación, negocio	Orientada a gestión y toma de decisiones	Análisis avanzado y optimización	Smart cities, salud inteligente, sistemas IoT con Big Data
Arquitectura basada en la nube	Dispositivos, red, nube, aplicación	Procesamiento centralizado	Alta escalabilidad y almacenamiento	IoT empresarial, análisis masivo

Tipo de arquitectura IoT	Capas principales	Características	Ventajas	Aplicaciones comunes
Arquitectura Edge/Fog	Dispositivos, Edge/Fog, nube , aplicación	Procesamiento cercano al dispositivo	Baja latencia, respuesta rápida	IoT en tiempo real
Arquitectura híbrida	Dispositivos, Edge – Nube, aplicación	Combina cloud y edge	Balance entre rendimiento y escalabilidad	Sistemas IoT complejos

Al integrar elementos físicos (hardware), como sensores y puertas de enlace, y complementarlos con el software, las aplicaciones y el análisis de datos, la arquitectura toma un papel fundamental, ya que permite una comunicación más fluida y eficiente, lo que contribuye a mejorar la toma de decisiones. Para el turismo inteligente la arquitectura que ofrece mejor rendimiento es la de 4 capas y 5 capas, a continuación, en la Figura 7, se visualiza la estructura de las capas.

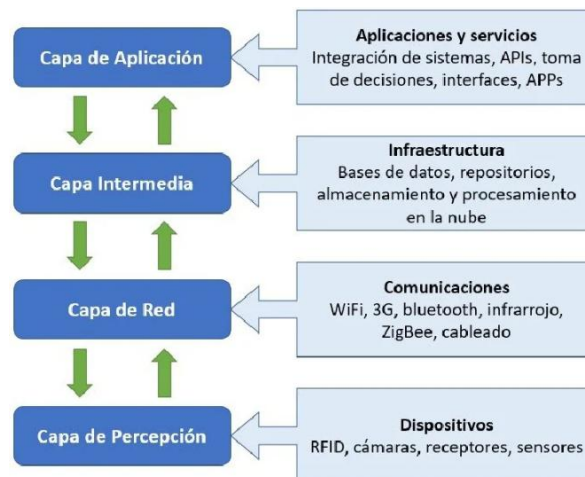


Figura 7. Arquitectura de 4 capas [37]

En la Figura 8, se representa una arquitectura IoT organizada en cinco capas, las cuales muestran todo el proceso que siguen los datos desde la capa física hasta la capa de aplicación. La primera es la capa física, conformada por sensores y dispositivos que se encargan de recoger los datos del entorno. La segunda es la capa de enlace de datos, donde se realiza la transmisión de la información mediante tecnologías de comunicación hacia un IoT Gateway. La tercera corresponde a la capa de red, que permite que los datos viajen hacia Internet a través de redes como LAN o WAN. La cuarta es la capa de transporte, encargada de garantizar una transmisión segura y confiable mediante el uso de protocolos adecuados. Finalmente, la quinta es la capa de

aplicación, que es la más cercana al usuario, donde los datos se procesan, se analizan y se almacenan en la nube, permitiendo así la toma de decisiones en tiempo real [37].

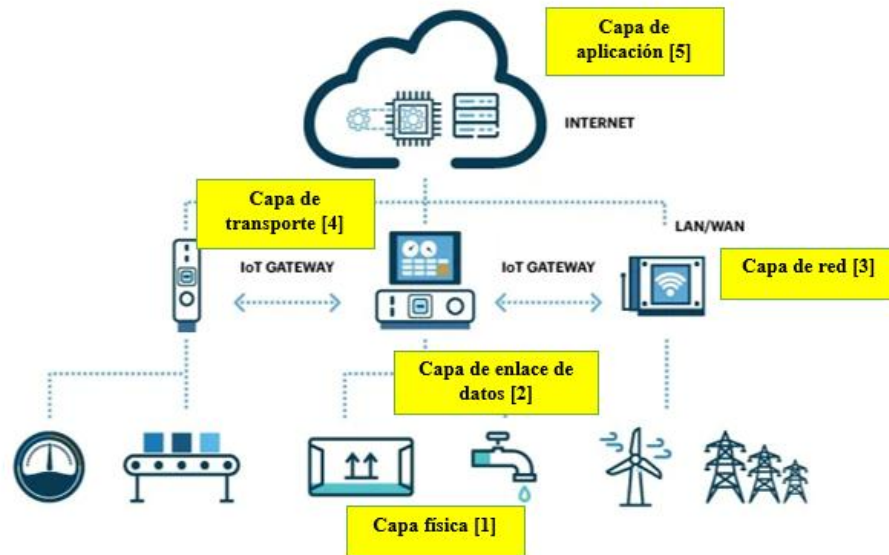


Figura 8. Arquitectura 5 capas diagrama [37]

a. Tecnologías de Comunicación para IoT

Para la comunicación IoT existen diversas tecnologías orientadas a distintos escenarios, las cuales se dividen en corto, medio y largo alcance. En el contexto del turismo inteligente se pueden utilizar las tres, dependiendo de las diferentes funciones y necesidades que presenta este tipo de turismo. En la Tabla 5, visualiza las diversas aplicaciones de estas tecnologías.

Tabla 5. Tecnologías de comunicación IoT [4], [32]

Alcance	Tecnologías	Distancia aproximada	Consumo de energía	Aplicaciones	Aplicaciones en el turismo inteligente
Corto alcance	Bluetooth, BLE, ZigBee, RFID, NFC	1-30 m	Bajo	Domótica, control de accesos	Pagos sin contacto, interacción directa con turista
Medio alcance	Wi-Fi, Z-Wave, WirelessHART	30-300 m	Medio	Redes domésticas, edificios inteligentes	Conectividad en hoteles museos, plazas
Largo alcance	LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT, LTE-M	2-15 km	Muy bajo	Ciudades inteligentes, monitoreo ambiental,	Monitoreo de aforo, sensores ambientales,

Alcance	Tecnologías	Distancia aproximada	Consumo de energía	Aplicaciones	Aplicaciones en el turismo inteligente
				agricultura inteligente	gestión de movilidad

La tecnología que mejor se adecua al proyecto de Turismo IoT en la ciudad de Baños es la de largo alcance como LoRaWAN, ya que permite la integración de sensores ambientales, el monitoreo de aforo y la gestión de la movilidad. En la Figura 9, se puede visualizar los grupos de tecnologías que existen, largo y corto alcance y tecnología celular.

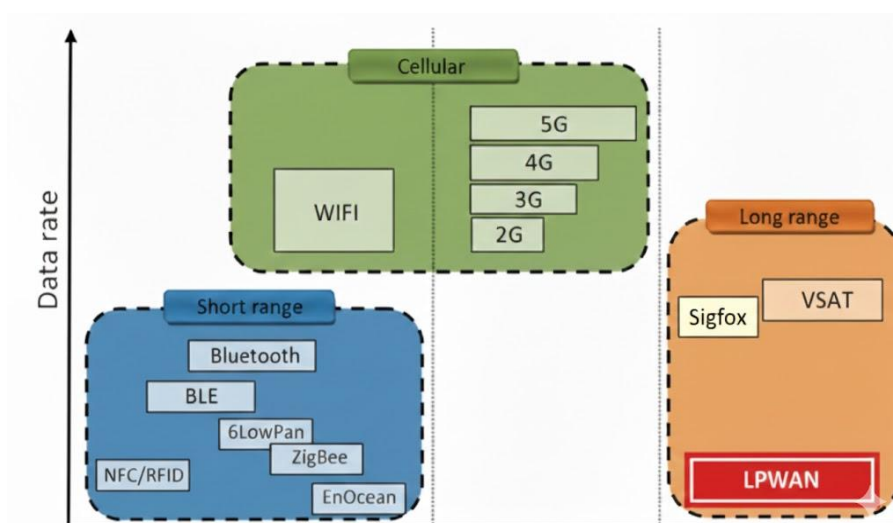


Figura 9. Posicionamiento de las tecnologías de comunicación

b. *Protocolos de Comunicación para IoT*

Las frecuencias son de suma importancia al momento de utilizar tecnologías de comunicación inalámbricas, en este caso tecnologías IoT, por lo que resulta fundamental analizar y estudiar los tipos de frecuencias en los que operan estas tecnologías. En la Tabla 6, se realiza una comparativa de las características de las bandas de frecuencia.

Tabla 6. Características de las bandas de frecuencias [38]

Banda de frecuencia	Alcance	Penetración	Velocidad dedatos	Observación
Frecuencias bajas (433 MHz- 868 MHz)	Alto	Alta	Baja	Ideales para IoT de largo alcance y bajo consumo

Banda de frecuencia	Alcance	Penetración	Velocidad de datos	Observación
Frecuencias medias (2.4 GHz- 5 GHz)	Medio- Bajo	Media- Baja	Alta	Redes locales, aplicaciones con mayor tasa de datos
Ondas milimétricas (mmWave- 5G)	Bajo	Baja	Alta	Uso limitado

Cada tecnología trabaja en su propio rango de frecuencias esto depende de varios factores y uno de ellos es el alcance, existe tecnologías de corto alcance, medio y largo, esto depende el rango de frecuencia asignado. En la Tabla 7, se puede visualizar el rango de frecuencia con que trabaja las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica.

Tabla 7. Características de los tipos de tecnologías en relación a las bandas de frecuencia

Tecnología	Banda de frecuencia	Tipo de alcance	Alcance aproximado (m)
Bluetooth- BLE	2.4 GHz	Corto alcance	10 – 30 m
ZigBee	2.4 GHz / 868–915 MHz	Corto alcance	10 – 100 m
RFID	125 kHz / 13.56 MHz / 860–960 MHz	Corto alcance	0.1 – 10 m
NFC	13.56 MHz	Corto alcance	0.1 m
Wi-Fi	2.4 GHz / 5 GHz	Medio alcance	50 -300 m
Z- Wave	868–915 MHz	Medio alcance	30 – 100 m
Wireless Hart	2.4 GHz	Medio alcance	100 – 300 m
LoRa WAN	433 / 868 / 915 MHz	Largo alcance	2000 – 15000 m
Sigfox	868 / 902 MHz	Largo alcance	3000 – 10000 m
NB-IoT	Bandas LTE (700–900 MHz)	Largo alcance	1000 – 10000 m

Para redes IoT de largo alcance se utiliza la tecnología LPWAN (redes de área amplia de baja potencia), ya que permite la transmisión de datos a bajas velocidades. Esto se traduce en un menor consumo de energía y menores costos de transmisión, por lo que resulta una tecnología ideal y económicamente viable para aplicaciones de Turismo IoT [38]. En la Tabla 8, se realiza una comparativa de los diversos protocolos, en la capa que se encuentran, las características y aplicaciones.

Tabla 8. Protocolos IoT [38]

Protocolo IoT	Capa	Características	Aplicaciones
MQTT	Aplicación	Bajo consum, ligero	Monitoreo en tiempo real, envío de datos a la nube
CoAP	Aplicación	Eficiente	Dispositivos con recursos limitados
HTTP / HTTPS	Aplicación	Mayor consumo, amplia compatibilidad	Aplicaciones, interfaces web
LoRaWAN	Red	Bja velocidad, bajo consumo	Turismo inteligente, sensores urbanos
ZigBee	Red	Bajo consumo, red mallada	Sensores locales, domótica
NB-IoT	Red	Alta cobertura, basado en LTE	Ciudades inteligentes
LTE-M	Red	Movilidad	Monitoreo y seguimiento
AMQP	Mensajería	Comunicación confiable	Sistemas empresariales
DDS	Distribución	Baja latencia	Sistemas críticos

1.3.4 IoT Aplicado al Turismo Inteligente

a. Casos de uso de IoT en turismo

En la ciudad de Zaragoza [39], en España, se han implementado sensores IoT en los paseos comerciales para la medición de la afluencia y el ruido urbano. Estos sensores se han instalado en los paseos comerciales más importantes de la ciudad, como la calle Alfonso y sus alrededores, así como en el distrito del Casco Histórico y en el distrito de Las Delicias. A partir del estudio de la medición del flujo de turistas, el gobierno local puede crear planes de contingencia orientados a proteger a los visitantes y mejorar la seguridad en las calles. Los resultados muestran que más de la mitad de las visitas se producen durante el fin de semana. El proyecto de la ciudad de Zaragoza integra diversas tecnologías, entre ellas la medición de la calidad del aire, la medición acústica, el control de aforos y la ocupación de la vía pública, teniendo como base el uso de Big Data y técnicas de inteligencia artificial.

En un estudio realizado por Cuzco y Pinos [4] en el año 2022, se implementó un sistema de parqueadero inteligente en el centro histórico de Cuenca utilizando la tecnología LoRaWAN, donde se cumplieron todos los requisitos propios de esta tecnología, evidenciando su funcionalidad y eficiencia en redes de largo alcance. Se estudiaron todos los aspectos protocolos, bandas de frecuencia, distancia de todas las comunicaciones, potencia de transmisión, el diseño y la planificación de la red, la topología y la aplicación.

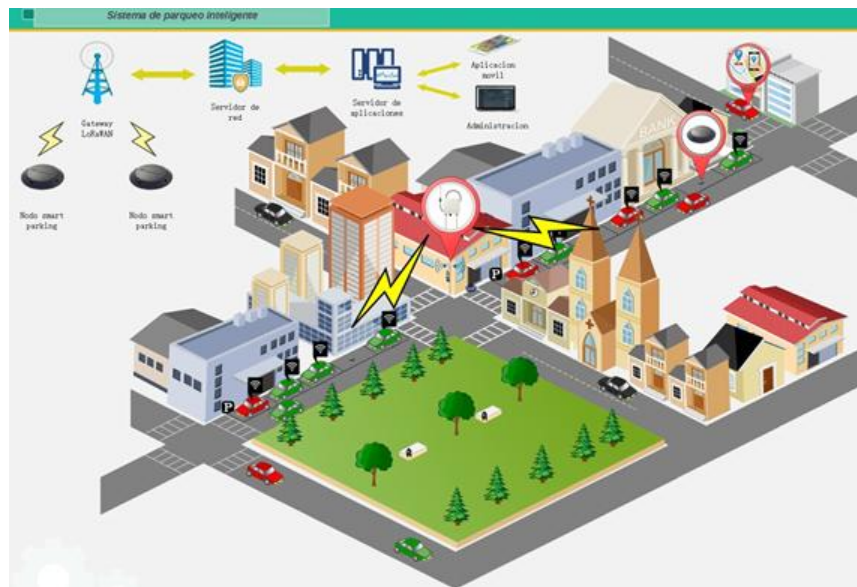


Figura 10. Arquitectura de parqueo inteligente en el centro histórico en la ciudad de Cuenca [4]

En un estudio realizado por Gómez y Castaño [40] realizaron un sistema para el monitoreo ambiental y climático de cultivos protegidos, el cual se encarga de recolectar datos de los principales parámetros relacionados con los cultivos. El propósito principal del sistema es la recolección de datos y, una vez obtenidos, su análisis, lo que permite la toma de decisiones en tiempo real. El usuario puede interactuar con la arquitectura de forma remota y recibir alertas asociadas a los distintos parámetros de los cultivos. El sistema se encuentra desarrollado bajo una arquitectura cliente-servidor, la cual está compuesta por cuatro capas.

- **Capa 1: Administración de procesos.** Esta capa es la responsable de captar los datos de los diferentes sensores, utilizando los protocolos MQTT y M2M, responsables de la conexión de los dispositivos del sistema.

- **Capa 2: Interfaz a clientes.** Es la capa encargada de recibir las peticiones del cliente a través de una aplicación móvil.
- **Capa 3: Administración y gestión.** Es la capa a cargo de la suscripción del bróker, recibe los datos leídos por los sensores, humedad del suelo, temperatura, humedad relativa, radiación UV.
- **Capa 4: Entrega de información.** Es la capa encargada de entregar la información al usuario.

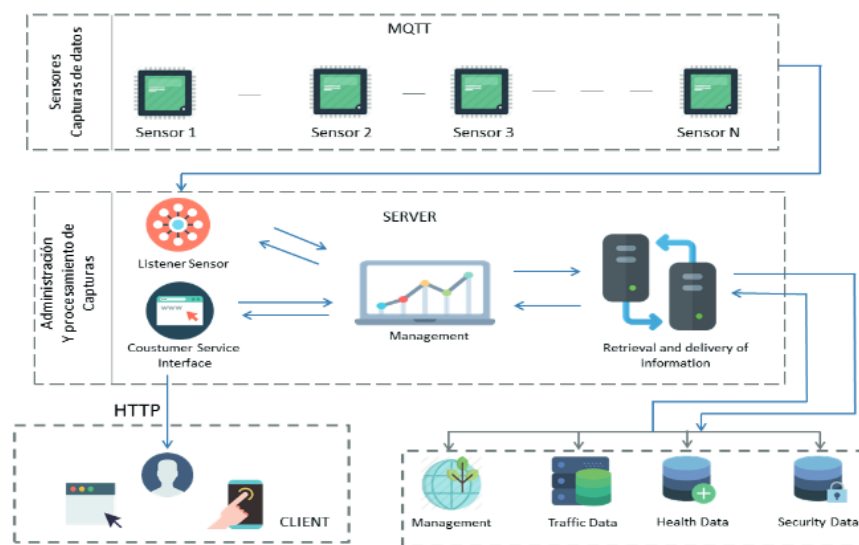


Figura 11. Arquitectura del sistema [40]

Un estudio realizado por López y Rodríguez [41] realizaron un sistema para bicicletas basado en una arquitectura de sensores inalámbricos con IoT, el sistema se trata con el hurto y la pérdida de bicicletas, controlando parámetros captados por el sensor GPS, como la latitud, velocidad, longitud, altitud, todas estas son controladas mediante un microcontrolador el cual registra en un servidor que permite ser visualizadas en una aplicación móvil.

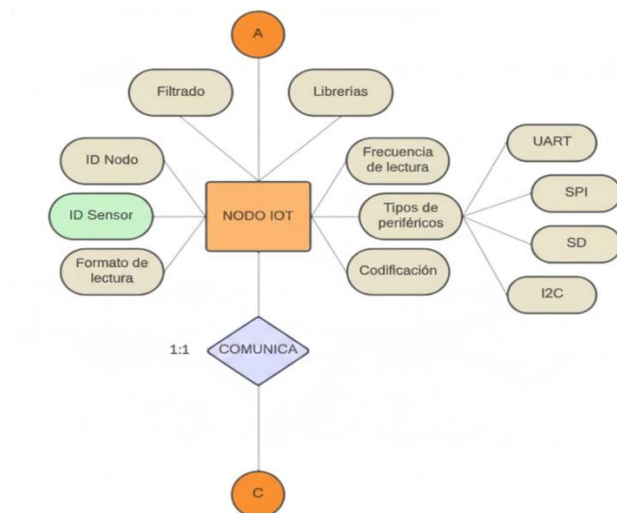


Figura 12. Arquitectura lógica del sistema [41]

b. Sensores y dispositivos IoT aplicados al turismo

Para el turismo inteligente es necesario contar con dispositivos que permitan recolectar información, los cuales corresponden a los sensores. Estos dispositivos funcionan captando los datos de las diversas variables que se desean medir [32]. En la Tabla 9, se puede visualizar los diferentes sensores que se aplican en el turismo IoT.

Tabla 9. Sensores aplicados al turismo IoT [32]

Sensor	Variable medida	Aplicación en el turismo
Sensor de afluencia	Número de personas	Control de capacidad y flujo de visitantes
Sensor de temperatura	Temperatura ambiente	Monitoreo climático en zonas turísticas
Sensor de humedad	Humedad relativa	Evaluación de confort ambiental
Sensor de calidad del aire	CO ₂ , PM2.5, PM10	Control ambiental y salud pública
Sensor acústico	Nivel de ruido	Gestión del ruido urbano
Sensor de luminosidad	Intensidad de luz	Optimización de iluminación pública
Sensor de movimiento	Presencia y desplazamiento	Seguridad y análisis de tránsito

Además de los múltiples sensores que existen, también se utiliza otro tipo de dispositivos IoT, en la Tabla 10, se puede visualizar otros tipos de dispositivos que facilitan la implementación de las arquitecturas IoT, con la integración de los sensores, protocolos y software para la aplicación se logra obtener arquitecturas para análisis de múltiples datos sin perder la conectividad y la estabilidad de la red.

Tabla 10. Dispositivos IoT utilizados en el turismo inteligente [32]

Dispositivo IoT	Función	Aplicación en el turismo
Cámaras inteligentes	Conteo y análisis visual, inteligencia artificial	Monitoreo de afluencia, seguridad
Beacons Bluetooth	Comunicación de proximidad	Información y servicios al turista
Gateways IoT	Enlace de sensores a la red	Transmisión de datos
Dispositivos LoRaWAN	Comunicación de largo alcance	Comunicación de sensores urbanos distribuidos
Módulos NB-IoT / LTE-M	Comunicación celular IoT	Monitoreo remoto

En la Figura 13, se muestra como estan distribuidos estos componentes IoT, y de como se va estructurando los nodos.

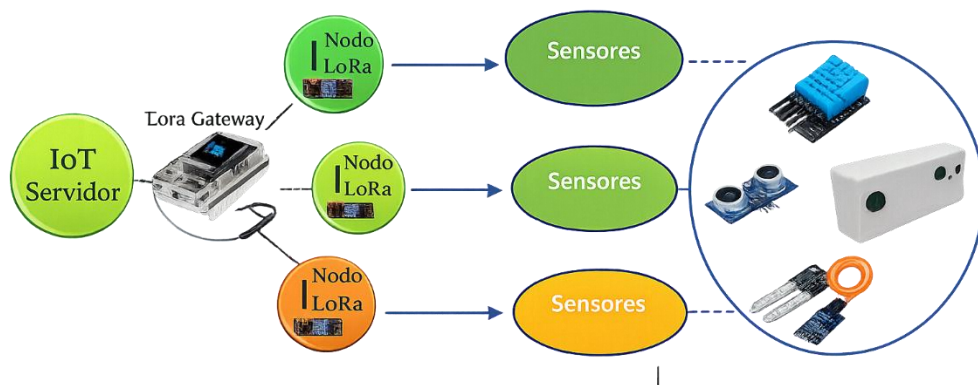


Figura 13. Dispositivos IoT [42]

c. Gateways aplicados al turismo inteligente

En el diseño de sistemas IoT utilizando tecnología LoRaWAN, la selección del Gateway cumple un papel fundamental, ya que este dispositivo cumple como

intermediario entre los nodos finales y la infraestructura de red, permitiendo la transmisión adecuada de los datos hacia el servidor. La selección adecuada del Gateway influye directamente en aspectos como cobertura, capacidad de conexión y estabilidad del proyecto. En la Tabla 11, se realiza una comparativa de los distintos Gateway que existen en el mercado.

Tabla 11.Comparativa de Gateways

Característica	Milesight UG67	RAK7249 Macro Outdoor Gateway	Dragino DLOS8 Outdoor Gateway
Tipo	Exterior	Exterior	Exterior
Frecuencia	915 MHz – 868 MHz	915 MHz – 868 MHz	915 MHz – 868 MHz
Canales LoRa	8 canales	8 canales	8 canales
Cobertura	Hasta 15 km	De 10 a 15 km	Hasta 10 km
Capacidad de dispositivos	Alta (+1000)	Alta (+1000)	Alta (+1000)
Conectividad	Ethernet, WiFi, 4G LTE	Ethernet, WiFi, 4G LTE	Ethernet, WiFi, 4G LTE
Procesador	Quad-core industrial	Quad-core	Dual-core
Grado de protección	IP67	IP67	IP65
Seguridad	VPN, Firewall, TLS	TLS	TLS

d. Plataformas IoT para gestión turística

Existe múltiples plataformas para la gestión de datos, en este caso para la gestión turística, la mayoría hace la misma función que es visualizar los datos integrados en dashboards, pero varía en sus funciones, en la Tabla 12, se realiza una comparativa de las diversas plataformas que existen.

Estas plataformas son de suma importancia ya que están son las que van a estar en contacto con el usuario, lo que va a permitir tomar las mejores decisiones y visualizar como se van comportando las variables que se están midiendo.

Tabla 12. Plataformas IoT [32], [43]

Plataforma IoT	Tipo	Funciones principales
AWS IoT Core	Comercial - Nube	Gestión de dispositivos, recolección y análisis de datos
Azure IoT Hub	Comercial - Nube	Conexión segura y administración de dispositivos
Google Cloud IoT	Comercial - Nube	Procesamiento y análisis de datos IoT
ThingSpeak	Comercial - Nube	Visualización y análisis de datos
Ubidots	Comercial - Nube	Dashboards y alertas
ThingsBoard	Código abierto	Gestión y monitoreo de dispositivos IoT
FIWARE	Código abierto	Integración de datos y servicios inteligentes
IBM Watson IoT	Comercial - Nube	Analítica avanzada e inteligencia artificial
Grafana	Comercial – Open Source – Nube (opción gratuita disponible)	Creación de dashboards interactivos, visualización de datos en tiempo real, integración con múltiples bases de datos (InfluxDB, MySQL, PostgreSQL, Firebase) generación de alertas, análisis de métricas y monitoreo de sistemas IoT.



Figura 14. Plataformas IoT

1.3.5 Simulación y Evaluación de Arquitecturas IoT

Para este proyecto resulta muy importante realizar este estudio, ya que se analizarán las distintas herramientas de simulación existentes, con el fin de tomar una decisión sobre cuál será utilizada en el proyecto de Turismo IoT de Baños de Agua Santa. Una vez estudiadas las herramientas de simulación, se pasa a otra etapa igualmente importante, que consiste en analizar las métricas de evaluación de dichas herramientas, con el objetivo de validar su funcionalidad.

a. Herramientas de simulación de redes IoT

De igual manera, se realizará una comparativa de las distintas herramientas existentes, con el fin de obtener una visión clara de cuál de ellas se adecua mejor al proyecto. En la Tabla 13, se puede visualizar dicha comparativa.

Tabla 13. Herramientas de simulación de redes IoT [44], [45], [46]

Herramienta	Tipo	Técnicas/ Protocolos	Características principales
IoTIFY	Comercial / Nube	IoT Cloud endpoints	Simula múltiples puntos finales IoT en la nube, pruebas de carga y escalabilidad
NS3	Código abierto	6LoWPAN, ZigBee, LTE, CoAP, HTTP, MQTT	Simulación en tiempo real, uso de C++ y Python, modelos de seguridad y amenazas, nodos IoT, gateway y blockchain
IoT MIMIC	Código abierto	Redes IoT heterogéneas	Gestión de gateways, sensores y dispositivos, arquitectura basada en eventos
IoTNetSim	Código abierto	IoT, Edge y Cloud	Simulación por capas (IoT, borde y nube), soporte para nodos heterogéneos y lógica de aplicación
Cooja para IoT	Código abierto	6LoWPAN, IEEE 802.15.4	Simulación WSN, ejecución en tiempo real, integración con Contiki OS, visualización de red
MATLAB / Simulink	Comercial	Redes IoT y WSN	Modelado matemático Avanzado, Validación y análisis de sistemas IoT
Cisco Packet Tracer	Educativo	IoT, redes IP	Interfaz gráfica sencilla, aprendizaje práctico
CupCarbon	Código abierto	IoT, Smart Cities	Simulación con mapas reales
OMNeT++	Código abierto	IoT, WSN, LTE, 5G	Entorno modular y gráfico
iFogSim	Código abierto	IoT y Fog Computing	Análisis de latencia y consumo
Radio Mobile	Software de simulación gratuito	Modelos de propagación RF (Longley-Rice, ITM), enlaces de radio VHF/UHF/microondas.	Simulación de cobertura de radiofrecuencia, análisis de enlaces punto a punto, cálculo de pérdidas y perfil del terreno, visualización de mapas y zonas de cobertura, planificación de redes inalámbricas.
Google Earth	Software de visualización geoespacial gratuito	Imágenes satelitales, SIG, GPS, KML/KMZ.	Visualización de mapas 3D, análisis geográfico del terreno, medición de distancias aéreas, georreferenciación de puntos.

b. Métricas de evaluación técnica y funcional

Para la evaluación de la simulación y verificar que cumpla con todos los estándares, y que esté lista para en un futuro ser aplicada en un entorno real, es necesario evaluar

todas las métricas de funcionamiento [47]. En la Tabla 14, se presenta una comparativa de las métricas de funcionamiento de los simuladores más importantes.

Tabla 14. Métricas de funcionamiento [44]

Métrica / Herramienta	CupCarbon	NS3	MIMIC IoT	IoTNetSim	OMNeT++	Cisco Packet Tracer
Escalabilidad	Alta	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Media
Latencia	Media	Muy precisa	Media	Media	Alta precisión	Media
Consumo de energía	Alto	Muy detallado	Medio	Medio	Medio	Básico
Uso de ancho de banda	Medio	Avanzado	Medio	Medio	Alto	Básico
Soporte de protocolos IoT	MQTT, HTTP	MQTT, CoAP, HTTP, 6LoWPAN, Zigbee, LTE	MQTT, CoAP	MQTT, HTTP	Alto	MQTT, HTTP, CoAP
Precisión del modelo	Media	Muy alta	Media	Alta	Alta	Media
Tiempo de simulación	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio	Bajo
Facilidad de uso	Alta	Baja	Media	Media	Media	Alta
Flexibilidad de escenarios	Muy alto	Muy alta	Alta	Alta	Alto	Media
Visualización de resultados	Media	Limitada	Gráfica	Gráfica	Alto	Gráfica
Soporte arquitecturas IoT	Alto-Nodos-Gateway	IoT-Gateway-Cloud	IoT-Edge-Cloud	IoT-Edge-Cloud	WSN - IoT	IoT-Gateway-Cloud
Enfoque principal	Simulación IoT y LoRaWAN	Redes reales	Smart City - Industria	Arquitecturas IoT	Simulación en redes y protocolos	Redes educativas IoT
Documentación y comunidad	Media	Muy amplia	Limitada	Limitada	Amplia	Muy amplia

En la Tabla 14, se puede visualizar que CupCarbon destaca sobre los demás simuladores por su soporte de protocolos y su alta precisión, siendo ideal para redes IoT y LoRaWAN complejas y escenarios de turismo inteligente, mientras que OMNeT++ y Cisco Packet Tracer son ideales para simular redes, permitiendo analizar, rendimiento, latencia, tráfico etc.

1.3.6 Consideraciones Técnicas y Desafíos del IoT en Entornos Turísticos

Para que el proyecto se encuentre completamente en regla, es necesario tomar en cuenta todas las normativas vigentes, tanto a nivel nacional en Ecuador como a nivel

internacional, con el fin de garantizar el correcto cumplimiento de los lineamientos establecidos.

a. Estándares Internacionales

El uso de los estándares internacionales de IoT es importante para garantizar la compatibilidad entre los dispositivos, arquitecturas y sistemas [48], [49]. Entre los principales estándares internacionales se encuentran:

- ***IEEE 802.15.4:*** Redes de sensores
- ***IPv6 y 6LoWPAN:*** Direccionamiento de bajo consumo
- ***MQTT, CoAP y HTTP:*** Protocolos de comunicación

La adopción de estos estándares permite que en un futuro el sistema se adapte y facilite la integración de futuras tecnologías.

b. Normativa legal Ecuador

En Ecuador, las arquitecturas IoT deben alinearse con la normativa relacionada con el uso del espectro radioeléctrico, las telecomunicaciones y la protección de datos personales. Existen entidades encargadas de regular estos aspectos, como la ARCOTEL, que controla el uso de las bandas de frecuencia, y la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, que establece cómo deben ser tratados los datos recopilados. El cumplimiento de estas normativas permite evitar sanciones o multas y garantiza una correcta gestión de la información [50], [51].

c. Seguridad y privacidad de la información

Para que el sistema sea totalmente válido, se debe tener en cuenta que uno de los principales desafíos del turismo inteligente es la seguridad y privacidad de la información, ya que en estos sistemas se maneja una gran cantidad de datos, como la movilidad de los turistas, las condiciones ambientales y la afluencia turística. Por esta razón, es necesario implementar mecanismos como cifrado de la información, control de accesos, autenticación de dispositivos y una gestión segura de los datos, con el fin

de proteger la información de las entidades encargadas de la gestión turística [52], [53].

Para lo cual se utilizará AES (Advanced Encryption Standard) el cual es un tipo de cifrado simétrico, que se utiliza ampliamente para garantizar la seguridad y confidencialidad de la información durante su transmisión y almacenamiento. Este estándar de seguridad fue desarrollado por NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) y su principal característica es que utiliza la misma clave para cifrar y descifrar datos. En aplicaciones LoRaWAN o Internet de las cosas (IoT), el mecanismo de seguridad más utilizado es AES128, lo cual permite proteger los datos que se transmiten entre nodos sensores, Gateway y servidores frente a accesos no autorizados [54]. Gracias a su eficiencia alta, elevado nivel de seguridad y bajo consumo computacional, AES se ha convertido en la técnica de cifrado más implementada en aplicaciones de comunicaciones inalámbricas, garantizando seguridad, integridad y confidencialidad de información que se intercambia en la red [55].

d. Conectividad en zonas geográficas complejas

En los destinos turísticos que presentan zonas geográficas complejas, como áreas montañosas, la transmisión de datos de los dispositivos IoT se ve dificultada. En estos escenarios es importante utilizar tecnologías de largo alcance y bajo consumo energético, ya que estas permiten la transmisión de datos a grandes distancias con un consumo reducido de energía, garantizando la cobertura necesaria para todos los nodos involucrados en el monitoreo turístico [56].

e. Retos técnicos específicos para Baños de Agua Santa

Baños de Agua Santa presenta varios retos técnicos particulares, debido a su alta afluencia turística, la variabilidad de su clima y, especialmente, su geografía montañosa. Entre los principales desafíos se encuentran el diseño de una red eficiente en las zonas turísticas, la gestión de grandes volúmenes de datos en tiempo real y la resistencia de los dispositivos ante condiciones ambientales adversas para su futura implementación. Estos retos hacen indispensable el desarrollo de una arquitectura IoT robusta y escalable, adaptada a las necesidades específicas del cantón [57].

1.3.7 Diagnóstico del entorno turístico de Baños

Para el diseño de una arquitectura es necesario analizar las condiciones actuales del cantón en términos de su geografía, zonas turísticas de mayor interés y estado tecnológico.

a. Caracterización geográfica (topografía, zonas turísticas clave)

El cantón Baños de Agua Santa ubicando en la provincia de Tungurahua, está en la zona central del Ecuador, región interandina, en la transición de la Sierra y la Amazonia lo que es fundamental para que tenga una diversa geografía y un clima húmedo-templado [58].

La topografía de Baños de Agua Santa presenta un relieve irregular y montañoso, lo que predomina formaciones volcánicas, presencia de valles y pendientes pronunciadas. La altitud aproximada es de 1800 metros sobre el nivel del mar y está rodeado por uno de los volcanes más activos del país, el volcán Tungurahua lo que influye el medio ambiente de la zona. Además, está rodeado por el río Pastaza el cual es el responsable de la formación de numerosas cascadas, paisajes y cañones, lo cual lo constituyen como un atractivo natural destacado [58]. En la Figura 15, se observa la topografía del cantón Baños de Agua Santa, en donde se puede visualizar diferentes colores que representan las diferentes altitudes del terreno, verde (zonas bajas, valles), amarillo (zona media), rojo (zonas altas, montañosa) y blanco (zonas más elevadas).

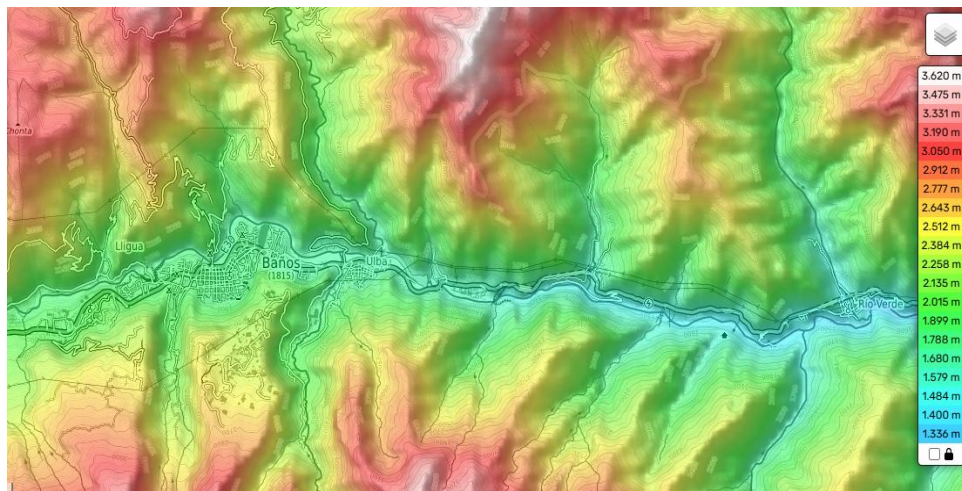


Figura 15. Topografía del cantón Baños de Agua Santa [59]

La existencia de Baños de Agua Santa y el asentamiento de su población se dio en la época precolonial o incluso mucho antes en la época preincásica, esto debido a la presencia de recursos naturales como aguas termales, concentraciones de oro y a su privilegiada ubicación geográfica entre la amazonia ecuatoriana (límites en el norte a la provincia de Napo y en el sur a la provincia de Morona Santiago) y en la serranía ecuatoriana (límites en el sur con la provincia de Chimborazo y al oeste a los cantones de Patate y Pelileo). Baños es el punto de enlace entre la Sierra y la Amazonía del Ecuador [60].

Baños de Agua Santa tiene una división política de una parroquia urbana que es su cabecera cantonal y lleva el mismo nombre (Baños de Agua Santa) y cuatro parroquias rurales: Lligua, Río Negro, Ulba, Río Verde [60].

En la Tabla 15, se realiza una comparativa de la superficie del suelo del cantón Baños de Agua Santa, urbano, rural y de los parques nacionales, el área se encuentra con la medida de hectáreas.

Tabla 15. Superficie del suelo Urbano y Rural del cantón Baños de Agua Santa [61]

Clasificación del suelo	Área (Ha)
Urbano	589.68 Has
Rural	49123.96 Has
Parques nacionales	57307.61 Has
TOTAL	107021.25 Ha

b. Zonas turísticas clave

En Baños de Agua Santa diversas zonas turísticas que son los principales atractivos del cantón, ya que combinan arquitectura, paisajes y aventura todo está gracias a su ubicación privilegiada en la Sierra y la Amazonia ecuatoriana [62], [63]. El estudio realizado por varias agencias de viaje sobre los destinos turísticos muestra un patrón repetitivo en cuanto a los lugares más visitados [62], [63]. Algunos de los destinos turísticos y más destacados de Baños de Agua Santa se encuentran en la Figura 16.



Figura 17. Lugares turísticos en el centro de la ciudad [65], [66], [67], [68]

- ***Zona montañosa - Miradores***

La zona montañosa se caracteriza por su relieve muy irregular con valles profundos, montañas y pendientes pronunciadas propias de este sector y propios de la transición entre la Sierra y la Amazonia, lo que la hace una zona clave para el turismo de Baños de Agua Santa. La vegetación de Baños de Agua Santa en la zona montañosa está lleno de bosque nublados esto debido por la alta humedad, y la adaptación a un relieve montañoso [69].

El turismo en esta zona de Baños de Agua Santa está conformado por varios miradores que ofrecen vistas panorámicas de las montañas, la ciudad, y del volcán Tungurahua [62]. Entre los destinos turísticos más visitados de esta zona se encuentran: la Casa del Árbol famosa por su columpio del fin del mundo y su vista al volcán Tungurahua, el mirador Bellavista que ofrece una vista panorámica de toda la ciudad y el mirador Runtún que ofrece vistas amplias de las montañas y los valles andinos [69]. En la Figura 18, se muestra uno de los destinos turísticos más visitados de la zona montañosa, la Casa del Árbol, donde se puede apreciar el tipo de vegetación característica de este sector.



Figura 18. Zona montañosa de Baños de Agua Santa [70]

- ***Zona de Transición Andino-Amazónica***

El lugar de transición de Baños de Agua Santa corresponde a la zona donde el relieve montañoso de la región Sierra desciende progresivamente hasta llegar a la amazonia ecuatoriana, esto genera un ambiente con alta humedad, gran riqueza hídrica y abundante vegetación [71]. Estas zonas incluyen las parroquias y sectores como Río Verde, Río Negro que son un gran aporte a la actividad turística de Baños de Agua Santa.

Uno de los principales destinos turísticos de esta zona es la ruta de las cascadas, es un recorrido turístico que constituye con múltiples caídas de agua, actividades de aventura y paisajes naturales. Dentro de esta zona se destaca la parroquia Río Verde la cual es reconocido a nivel del país por tener una de los atractivos turísticos más importantes del Ecuador, se trata del Pailón del Diablo, una imponente cascada, con un gran caudal que impresiona por su caída de agua de unos 80 metros aproximadamente y su entorno selvático [62]. Algunos de los principales destinos turísticos de esta zona son: Pailón del diablo, Manto de la Novia, Cascada Agoyán, cascada San Jorge y cascada Ulba. En la Figura 19, se visualiza el principal atractivo de la zona Río Verde.



Figura 19. Pailón del diablo [72]

c. Condiciones climáticas relevantes

Baños de Agua Santa presenta un clima templado y húmedo, en donde se caracteriza que en el día tenga temperaturas que van desde los 15°C hasta los 25°C ideales para actividades de aventura y turismo y las noches son frescas que rondan desde los 5°C hasta los 11°C. De enero a mayo son meses en donde el clima es lluvioso, en cambio de agosto a febrero son más secos [73]. En la Figura 20, se visualiza el clima en un año promedio en Baños de Agua Santa.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp. máx (°C)	22	21	21	21	21	20	20	20	21	22	23	21
Temp. mín (°C)	9	9	9	8	9	8	7	6	6	8	9	9
Precipitación	☔☔☔	☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔	☔☔	☔☔☔	☔☔	☔☔☔
Precipitación (mm)	284	188	251	238	269	270	200	151	95	232	190	208
Índice UV	8	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8

Figura 20. Clima de Baños en un año promedio [73]

De acuerdo a la Figura 20, se pudo sacar como conclusión los datos que muestran en la Tabla 16:

Tabla 16. Temperatura media anual de Baños de Agua Santa [73]

Temperatura media anual	22°C
Temperatura más alta	Mes de noviembre con 23°C
Temperatura más baja	Meses de junio, julio y agosto con 20°C
Precipitación promedio al año	2576 mm en promedio 151 mm al mes
Meses más secos	Septiembre con 95 mm, y agosto con 151 mm
Meses más lluviosos	Enero con 284 mm, junio con 270 mm y mayo con 269 mm

- ***Microclimas en el cantón Baños de Agua Santa***

Los microclimas presentes en el cantón Baños de Agua Santa se deben a las características de su territorio y a su geografía. La variación de altitud en diferentes zonas del cantón va desde aproximadamente los 1200 m s. n. m. en las partes más bajas de la ciudad, mientras que las montañas alcanzan hasta los 3000 m s. n. m. Esta diferencia de altitud provoca cambios en la presión atmosférica, la humedad y la temperatura [74].

Baños de Agua Santa es también un punto estratégico, ya que al encontrarse cerca de la Amazonía ecuatoriana recibe corrientes de aire húmedo que influyen directamente en la humedad del ambiente. A esto se suma la presencia del volcán Tungurahua, cuyo relieve montañoso modifica la circulación del viento en la zona. Además, la presencia de valles, ríos, cascadas y una gran diversidad de fauna son factores importantes que contribuyen a la formación de una amplia variedad de microclimas dentro del cantón [74]. A continuación, en la Tabla 17, se realizó una comparativa de los diferentes climas en los lugares turísticos seleccionados.

La variedad de climas se debe a la influencia de múltiples factores, entre ellos su ubicación cercana a la Amazonía ecuatoriana, el impacto del volcán Tungurahua en las corrientes de viento, la diferencia de altitud en los lugares turísticos y la presencia de múltiples cascadas y ríos. Todos estos elementos contribuyen a la formación de una diversidad de microclimas en la zona [73]. En la Figura 21, se presenta los microclimas que existen en Baños de Agua Santa.

Tabla 17. Clima y temperatura en los lugares turísticos [74], [75]

Lugar turístico	Clima predominante	Temperatura promedio	Altitud aproximada (m.s.n.m)	Características
Zona Centro de la ciudad	Templado húmedo	15 °C – 22 °C	1820	Centro de la ciudad, centro de la economía del cantón. Su clima es templado, humedad alta, lluvias ocasionales.
Zona montañosa	Templado frío de montaña	10 °C – 18 °C	2660	Zona más alta de la ciudad, fuertes vientos, neblina frecuente y fuerte radiación solar.
Zona Río Verde	Húmedo subtropical	18 °C – 24 °C	1800	Lluvias frecuentes, alta humedad, se encuentra a las puertas de la Amazonia ecuatoriana.



Figura 21. Microclimas en Baños de Agua Santa

- ***Riesgos naturales en el cantón Baños de Agua Santa***

En el cantón Baños de Agua Santa existen múltiples riesgos naturales, por lo que es importante monitorear diferentes variables ambientales para prevenir posibles afectaciones a la población y a los turistas. Por esta razón, la implementación de sensores en zonas turísticas permite recopilar información en tiempo real sobre factores como temperatura, humedad, calidad del aire, nivel de ruido y concentración de gases. En la Tabla 18, se presenta los principales riesgos naturales y la causa principal de cada uno de ellos.

Tabla 18. Riesgos naturales en Baños de Agua Santa [76], [77]

Riesgo natural	Descripción	Causa principal
Actividad volcánica	Posibles caídas de Ceniza puede afectar a la población y turistas.	Cercanía al volcán Tungurahua
Deslizamientos de tierra	Derrumbes en zonas montañosas puede afectar a zonas turísticas y carreteras.	Relieve montañoso y lluvias intensas.
Inundaciones	Aumento del nivel de agua en los ríos puede afectar en las zonas cercanas.	Crecida del río Pastaza, lluvias fuertes
Crecida de ríos y cascadas	Incremento repentino de los ríos y cascadas puede representar peligro para los turistas.	Lluvias intensas
Sismos	Movimiento sísmico puede causar daños en la infraestructura y seguridad de las personas.	Ubicación de lugar y del país en zona de actividad sísmica

Algunos de los riesgos naturales son la actividad volcánica al estar cerca del Volcán Tungurahua, deslizamientos de tierra esto al estar algunos destinos turísticos en zonas montañosas o en la carretera ya que la carretera más importante que conecta con la amazonia ecuatoriana esta entre las montañas, en las poblaciones o destino turístico que están a la orilla del río el incremento de los ríos puede ser un problema o en las cascadas como el pailón del diablo puede a ver peligro para los turistas, y los sismos al estar en zona sísmica puede a ver posibles daños en la infraestructura [77]. En la Figura 22, se presenta los posibles daños que pueden causar los riesgos naturales.



Figura 22. Posibles riesgos naturales en Baños de Agua Santa

- ***Estaciones meteorológicas en Baños de Agua Santa***

En el cantón Baños de Agua Santa existen varias estaciones meteorológicas que permiten monitorear variables climáticas como la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento. Estas estaciones forman parte de una red de monitoreo que facilita el análisis del clima y permite generar alertas tempranas ante posibles eventos naturales [78].

En la Tabla 19, se analiza y se hace una comparativa de las diferentes estaciones meteorológicas que existen en el cantón Baños de Agua Santa, en que parte de la ciudad están ubicadas, que tipo de datos y de variables meteorológicas pueden medir y la disponibilidad de los datos.

Tabla 19. Estaciones meteorológicas en Baños de Agua Santa [79]

Estación	Ubicación	Tipo	Variables que mide	Disponibilidad de los datos (link)
Parque de la Familia Baños	Cantón Baños	Meteorológica	Precipitación, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, evapotranspiración y radiación solar	https://trnn.tungurahua.gob.ec/red
Río Verde	Parroquia Río Verde (Ruta de las Cascadas)	Hidrometeorológica	Temperatura, humedad relativa, caudal del agua, nivel del río	No disponible al público. Registro hasta 2025.
INAMHI – Río Verde	Sector Río Verde	Meteorológica	Precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento	No disponible al público. Registro hasta 2025.
Hidroagoyán	Sector represa Agoyán	Hidrológica - meteorológica	Temperatura, precipitación, caudal del río, nivel del agua	No disponible al público. Registro hasta 2025.

Las estaciones totales en Baños de Agua Santa se puede visualizar en la Tabla 19, pero las más importantes son las del parque de la familia y la de Río Verde estas dos se encuentran registradas en la red hidrometeorológica de Tungurahua [79]. Sin embargo, únicamente la estación ubicada en el parque de la Familia está operativa. En la Figura 23, se presenta las estaciones meteorológicas que existen en Baños de Agua Santa.

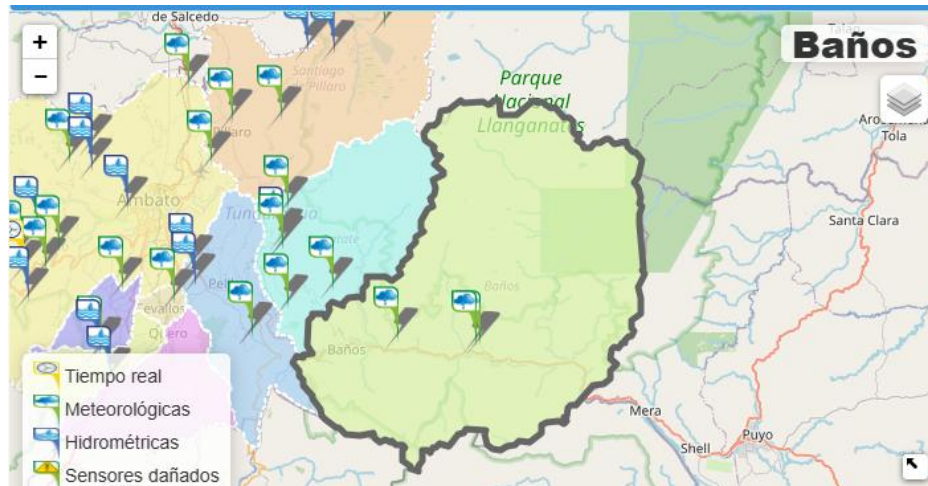


Figura 23. Estaciones meteorológicas en Baños de Agua Santa

d. Limitaciones y tecnología existente en energía e infraestructura

Como en todos los lugares del mundo existe tecnología que se puede utilizar y limitaciones de la misma, es por ello que es necesario realizar un estudio de cómo se encuentra la tecnología en el lugar, en el caso de Baños de Agua Santa, se realizó un estudio de su tecnología existente, la energía eléctrica, la red eléctrica, su infraestructura energética, el estado de las telecomunicaciones, de la conectividad, y su infraestructura vial. En la Tabla 20, se presenta una descripción de la tecnología, de la infraestructura existente y de las limitaciones que presenta dicha tecnología.

A pesar de la disposición de tecnología, existe limitaciones en el cantón Baños de Agua Santa, que permite el funcionamiento de servicios básicos y sistemas de comunicación. Sin embargo, también se presentan ciertas limitaciones relacionadas con la cobertura, la conectividad y las condiciones geográficas del territorio. Estas limitaciones pueden afectar el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, especialmente en zonas turísticas ubicadas en áreas montañosas o rurales. Por esta razón, es importante analizar tanto la tecnología existente como las restricciones presentes en la infraestructura, con el fin de proponer soluciones tecnológicas que se adapten a las condiciones del entorno [80], [81].

Tabla 20. Tecnología existente en Baños de Agua Santa [80], [81]

Área	Tecnología o infraestructura existente	Limitaciones
Energía eléctrica	Existe redes de distribución y subestaciones eléctricas operadas por la EEASA	En zonas turísticas alejadas o zonas rurales puede existir menos cobertura por condiciones geográficas o climáticas.
Redes eléctricas	Existe la instalación de redes de bajo y medio voltaje, alumbrado público y transformadores en distintos legares del cantón	En zonas turísticas alejadas existe problema en redes eléctrica
Infraestructura energética	Subestaciones como la Agoyán y la Baños permite garantizar el correcto suministro eléctrico	La ciudad depende de una infraestructura centralizada que puede verse afectada por fenómenos naturales o deslizamientos
Telecomunicaciones y conectividad	Mejoramiento del orden de las redes de telecomunicaciones, existe soterramiento para mejorar la seguridad ciudadana.	En los lugares turísticos que están en las montañas la cobertura de internet es limitada
Infraestructura vial	Mejora de las carreteras y puentes que conectan parroquias con zonas turísticas	Deslizamientos, lluvias intensas o crecida de ríos puede dejar sin conectividad algunos ligares

e. Tecnologías de comunicación en Baños de Agua Santa

- **Redes Móviles**

En Baños de Agua Santa las redes móviles están cubiertas principalmente por Movistar, Claro y CNT, en donde ofrecen tecnología 4G LTE en el centro, para así dar conectividad estable para internet y aplicaciones turísticas. En cambio, en las zonas turísticas alejadas la señal se puede volver inestable por la geografía montañosa de la ciudad lo que causa interferencia y provoca una caída de la señal [82].

Claro móvil. La operadora Claro se caracteriza por tener una de las coberturas más amplias del país, con presencia de tecnología 2G, 3G y 4G LTE, en el cantón Baños de Agua Santa en el centro la tecnología predominante es 4G LTE lo que permite el envío de datos y la comunicación de una manera eficiente, mientras que en los lugares alejados la señal puede degradarse debido a la geografía montañosa, pero su cobertura es más consistente a comparación de otras operadoras [75]. En la Figura 24, se puede observar en un mapa la cobertura de la red celular por la operadora Claro.

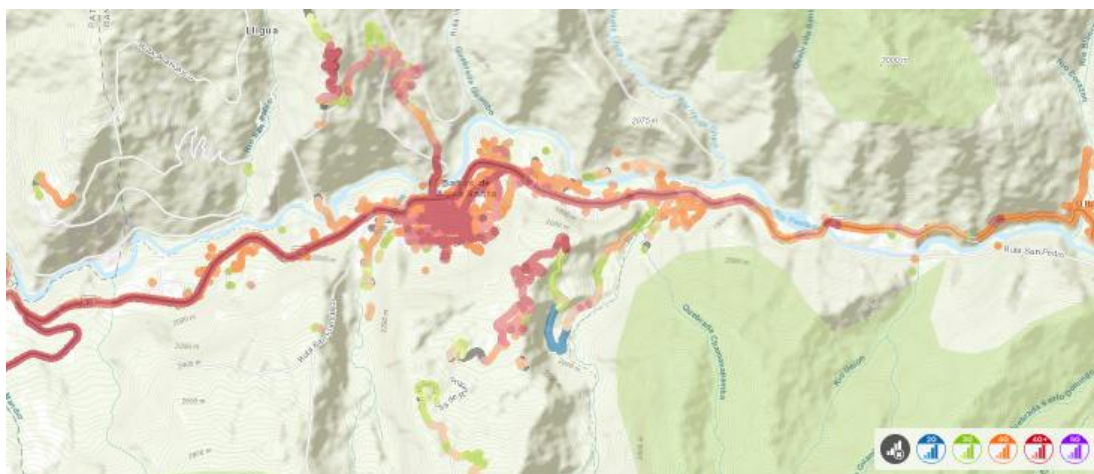


Figura 24. Cobertura de red celular de Baños de Agua Santa de la operadora Claro

Movistar móvil: La red Movistar ofrece cobertura con tecnología 2G, 3G y 4G LTE lo que permite buena conectividad en el centro de Baños de Agua Santa, mientras que la conectividad en las zonas montañosas es de menos desempeño donde la señal tiende a debilitarse por la interrupción de la señal por las condiciones geográficas. La operadora Movistar tiene cobertura en gran parte del territorio nacional [75]. En la Figura 25, se muestra un mapa de la cobertura en el cantón Baños de Agua Santa por la operadora Movistar.



Figura 25. Cobertura de red celular de Baños de Agua Santa de la operadora Movistar [83]

CNT: La red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), ofrece cobertura móvil con tecnología 2G, 3G y 4G LTE, permitiendo una conexión básica en el centro urbano mientras que en las zonas alejadas tiene una ventaja que llega a

lugares en donde las otras operadoras tienen menor presencia el rendimiento de esta red es variable porque tiene menor cantidad de antenas y debido a las condiciones geográficas lo que hace que la señal sea inestable [75]. En la Figura 26, se puede visualizar un mapa de la cobertura en el cantón Baños de Agua Santa por la operadora CNT.



Figura 26. Cobertura de red celular de Baños de Agua Santa de la operadora CNT [83]

- ***Fibra óptica***

La cobertura de fibra es óptima en toda la parte céntrica de la ciudad, en cambio en Río Verde existe disponibilidad parcial de servicios de fibra óptica, principalmente en zonas cercanas a la vía principal y de sectores poblados [84]. En la Figura 27, se puede observar un mapa de la cobertura de fibra óptica de la empresa Netlife en Baños de Agua Santa, principalmente se concentra en el centro de la ciudad y se va extendiendo por la vía principal (E30) que va hacia sectores como Río Verde y Ulba.

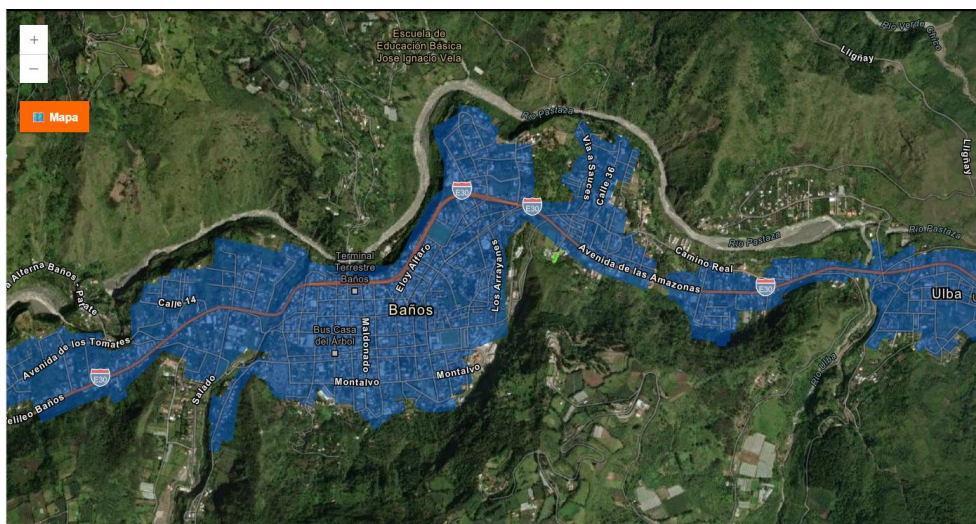


Figura 27. Cobertura de fibra de la empresa Netlife [84]

En la ciudad de Baños de agua Santa el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la información (MINTEL) implemento el modelo de territorio digital con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y de los visitantes a través del uso de la tecnología, a través de este proyecto el cantón se beneficiará con cámaras de videovigilancia y zonas wifi en parques y lugares turísticos [85].

- ***Tecnologías de comunicación IoT***

La conectividad actual de la tecnología IoT como LoRaWAN, Sigfox y NB-IoT en Ecuador está regulada por ARCOTEL, entidad encargada de encontrar el uso del espectro radioeléctrico y las telecomunicaciones en el país. Actualmente, tecnologías LPWAN como LoRaWAN y Sigfox son consideradas adecuadas para aplicaciones IoT debido a su capacidad de transmitir datos a largas distancias con bajo consumo energético [86].

Según la normativa de ARCOTEL, las tecnologías IoT como Sigfox, LoRaWAN, Zigbee e IEEE 802.15.4 pueden operar en Ecuador utilizando bandas de uso libre y bandas UDBL (Uso determinado en bandas libres) principalmente en frecuencias alrededor de 915 MHz. Estas tecnologías se utilizan para implementar redes de comunicación de largo alcance y de bajo consumo energético para aplicaciones IoT. Sin embargo, cuando estas tecnologías se utilizan para redes privadas o servicios de telecomunicaciones, se debe cumplir con regulaciones establecidas por ARCOTEL,

con el motivo de evitar interferencias en el espectro radioeléctrico [86]. En la Figura 28, se puede visualizar las tecnologías de comunicación IoT.



Figura 28. Tecnologías de comunicación IoT

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una arquitectura IoT aplicada al turismo inteligente para la ciudad de Baños de Agua Santa, Ecuador

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las arquitecturas IoT aplicables al contexto turístico y tecnológico de la zona de estudio.
- Proponer una arquitectura IoT adaptada a las necesidades del entorno turístico seleccionado.
- Evaluar la factibilidad técnica y funcional de la arquitectura propuesta mediante simulaciones en diversos casos de pruebas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el desarrollo de la arquitectura inteligente, configuración, monitoreo y análisis de nodos IoT para el turismo de la ciudad e Baños de Agua Santa, se realizó la selección de materiales tecnológicos y herramientas de simulación que garanticen una comunicación eficiente, confiabilidad y escalabilidad en entornos turísticos y geográficamente complejos. Esta selección se basó en criterios de eficiencia, compatibilidad, alcance de comunicación, compatibilidad entre plataformas y facilidad de implementación en redes IoT basadas en tecnologías LoRaWAN.

Los materiales se clasifican en dos categorías principales: Hardware, que abarca los dispositivos físicos utilizados para la, adquisición, transmisión y recepción de datos dentro de una red IoT, en la Tabla 21, se muestra los materiales utilizados para los laboratorios de implantación para validar la comunicación, y software que incluye las herramientas utilizadas para el modelado, simulación, monitoreo, visualización y análisis del sistema propuesto (Tabla 22).

Tabla 21. Hardware utilizado en el sistema IoT, para el turismo de Baños de Agua Santa

Componente	Modelo	Descripción breve
Microcontrolador	ESP32-WROOM-32 (4 unidades)	Unidad de procesamiento embebido con Wi-Fi y Bluetooth para sensores y control.
Módulo LoRa	HopeRF RFM95W (4 unidades)	Transceptor de radiofrecuencia de bajo consumo para comunicación de largo alcance.
Antena LoRa	Antena aérea 5dbi Omni SMA (5 unidades)	Mejora la cobertura y estabilidad de la señal LoRa entre nodos.
Sensor de temperatura y humedad	DHT-22 (3 unidades)	Sensor digital de precisión que mide temperatura y humedad ambiental.
Sensor de radiación UV	ML8511 (2 unidades)	Sensor analógico que mide la intensidad de radiación ultravioleta solar.
Servidor Gateway	Developer Kiit Jetson Orin Nano (1 unidad)	Minicomputadora que centraliza y reenvía los datos recibidos desde los nodos.

Tabla 22. Software utilizado para el desarrollo del sistema

Software	Plataforma / Lenguaje	Descripción
Google Earth	Plataforma geoespacial	Herramienta utilizada para visualizar mapas, obtener coordenadas y analizar ubicación de nodos y gateways IoT.
Radio Mobile	Software de simulación	Herramienta utilizada para analizar cobertura, propagación y enlaces de comunicación inalámbrica en redes LoRaWAN.
CupCarbon	Software de simulación IoT	Herramienta utilizada para simular redes IoT y comunicación LoRaWAN entre sensores, gateways y servidores.
OMNET++	Software de simulación de redes	Herramienta utilizada para modelar y simular el comportamiento y rendimiento de redes, específicamente de las cámaras.
Arduino IDE	C++ / Arduino	Entorno de desarrollo utilizado para programar los microcontroladores ESP32.
Grafana	Plataforma web / Open Source	Herramienta de visualización y monitoreo utilizada para representar en tiempo real mediante paneles interactivos, gráficas y métricas provenientes de dispositivos IoT.
Python	Python 3.x	Lenguaje utilizado para scripts de conexión, procesamiento de datos y validaciones.
InfluxDB	Base de datos / Open Source	Base de datos orientada al almacenamiento de series temporales, utilizada para gestionar y consultar los datos generados por los sensores IoT en tiempo real.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

La investigación se clasifica como aplicada, ya que integra conocimientos teóricos sobre redes de sensores, protocolos de comunicación y topologías IoT y tecnologías LoRaWAN para dar solución a una problemática concreta asociada a la gestión turística de la ciudad Baños de Agua Santa. Su finalidad es proponer una solución tecnológica viable mediante el diseño de una arquitectura de red IoT, cuyo funcionamiento, capacidad de comunicación y desempeño para la recolección y transmisión de datos serán validados mediante herramientas de simulación, sin requerir una implementación física inmediata.

Asimismo, se trata de una investigación bibliográfica y documental, debido a que se fundamenta en la recopilación, revisión y síntesis crítica de información proveniente

de artículos científicos, estándares internacionales, documentación técnica y fuentes académicas relacionadas con arquitecturas IoT, Smart Cities, redes LoRa/LoRaWAN y sistemas de monitoreo inteligente. Esta modalidad permite construir un marco teórico sólido que respalda la selección de los componentes de hardware, software y protocolos más adecuados para las condiciones geográficas y tecnológicas del cantón Baños de Agua Santa.

Adicionalmente, se incorpora un componente de investigación de campo, el cual consiste en la observación directa y el levantamiento de información física en las zonas de interés turístico. Esta fase se enfocará exclusivamente en el análisis de la topografía, la identificación de obstáculos geográficos como montañas y vegetación densa, así como la determinación de líneas de vista y condiciones de cobertura inalámbrica. La información recopilada es fundamental para establecer los requerimientos de cobertura y comunicación para configurar los escenarios de simulación con parámetros ajustados a las condiciones reales del cantón, garantizando así un diseño arquitectónico viable.

La investigación posee un enfoque tecnológico experimental a nivel de simulación, ya que se emplean herramientas especializadas como CapCarbon, OMNeT++ en modelos de análisis basados en IoT, redes y LoRaWAN para validar comportamientos de la arquitectura propuesta.

2.2.2 Población y muestra

Dado que el alcance de la investigación se limita exclusivamente al diseño lógico y validación simulada de una arquitectura IoT, y no contempla una implementación física inmediata ni pruebas con usuarios finales, no aplica la definición de una población demográfica para la evaluación del desempeño de la red. En su lugar, la unidad de análisis se centra en los puntos de interés turístico estratégicos del cantón Baños de Agua Santa que se definió en zonas (Zona Centro, Zona Montañosa y Zona Río Verde), seleccionados considerando criterio de afluencia turística, cobertura geográfica y complejidad topográfica. En consecuencia, la validación técnica se efectuará en un entorno virtual controlado, utilizando software de simulación de redes para configurar escenarios que permitan medir la funcionalidad y cobertura de la arquitectura propuesta, prescindiendo así de métodos de muestreo estadístico

convencional asociados a encuestas o pruebas de campo con hardware. Como complemento, para el proceso de validación, se realizó pruebas de laboratorio con dispositivos y componentes IoT a pequeña escala, con el propósito de verificar el funcionamiento básico de la arquitectura y la comunicación entre nodos.

2.2.3 Recolección de información

Para la recolección de información de este proyecto de investigación, se obtuvieron datos de fuentes bibliográficas especializadas en redes IoT, tecnologías LoRaWAN, sistemas de monitoreo ambiental y arquitecturas inteligentes aplicadas a destinos turísticos inteligentes. Además, se analizaron datos obtenidos mediante las simulaciones y pruebas realizadas de la arquitectura propuesta para el turismo inteligente del cantón Baños de Agua Santa, como se explica en la Tabla 23.

Tabla 23. Recolección de Información

Criterio	Descripción
¿Para qué?	Para desarrollar una arquitectura IoT aplicada al turismo inteligente, para la gestión, monitoreo y análisis de nodos IoT en Baños de Agua Santa.
¿De qué personas u objetos?	De las principales zonas turísticas y puntos estratégicos y las variables ambientales de las zonas turísticas de Baños.
¿Cómo?	Mediante el diseño, simulaciones, monitoreo y análisis de comunicación entre dispositivos IoT y plataformas de visualización.
¿Con qué?	Utilizando sensores IoT, tecnología LoRaWAN, CupCarbon, OMNET++, InfluxDB, Grafana, Radio Mobile.
¿Cuándo?	Durante el periodo enero 2026 – junio 2026
¿Dónde?	En las principales zonas turísticas de Baños de Agua Santa.

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos obtenidos durante el desarrollo de la arquitectura IoT, para el monitoreo y gestión inteligente de servicios en la ciudad de Baños de Agua Santa se realizó mediante diferentes etapas orientadas a validar el funcionamiento lógico y desempeño de la red propuesta mediante simulación. Para ello se aplicarán los siguientes pasos:

- Revisión y fundamentación teórica mediante el análisis bibliográfico relacionado con redes IoT, protocolos de comunicación LoRaWAN, arquitecturas inteligentes y modelos de comunicación aplicados a entornos turísticos y zonas de topografía montañosa.
- Definición y selección de tecnologías donde se realiza la caracterización técnica de los componentes requeridos para el diseño de la arquitectura, tales como nodos sensores, gateways LoRaWAN, seleccionando parámetros adecuados como Spreading Factor, Data Rate y cobertura de acuerdo con las condiciones geográficas de Baños de Agua Santa para su posterior modelado en el software de simulación.
- Configuración del escenario de simulación se realiza mediante el despliegue de la topología de red en el entorno virtual utilizando software de simulación, ubicando los nodos y Gateways según las zonas de estudio para analizar la conectividad, cobertura, transmisión de datos y línea de vista.
- Ejecución de pruebas de rendimiento de red, donde se simula el tráfico de datos generado por los sensores IoT para medir parámetros de desempeño de red como throughput, pérdida de paquetes, considerando distintos escenarios y configuraciones de LoRaWAN.
- Validación del flujo de datos, verificando el envío y recepción de datos desde los nodos sensores hacia la Gateway y posteriormente al servidor, comprobando la integridad de las tramas transmitidas y el correcto funcionamiento de la arquitectura propuesta.
- Evaluación de la arquitectura, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones para identificar posibles interferencias, pérdidas de conectividad o limitaciones de cobertura, permitiendo realizar ajustes en la configuración de la red y mejorar el desempeño general del sistema antes de una futura implementación. Este proceso permitirá corroborar mediante simulación la viabilidad técnica del diseño de la arquitectura.

Este proceso permitirá validar de manera simulada la factibilidad técnica de la arquitectura IoT propuesta permitiendo que el modelo cumpla con los estándares de confiabilidad y baja latencia requeridos para el monitoreo en tiempo real. De esta manera, se busca garantizar que la arquitectura diseñada pueda adaptarse adecuadamente a las condiciones geográficas y turísticas de Baños de Agua Santa.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Introducción

En la actualidad, el crecimiento de las tecnologías de la información y comunicación ha impulsado el desarrollo de las ciudades inteligentes mediante la integración de soluciones integradas el internet de las cosas. Estas tecnologías permiten la interconexión de dispositivos capaces de recopilar, transmitir y abalizar información en tiempo real, facilitando la optimización de servicios, la toma de decisiones en diferentes ámbitos, especialmente en el sector turístico. En este contexto, los destinos turísticos inteligentes buscan mejorar la experiencia a los visitantes utilizando herramientas tecnológicas que permitan una gestión eficiente de recursos, monitoreo ambiental y acceso oportuno a la información.

La ciudad de Baños de Agua Santa, es reconocida como uno de los puntos turísticos más visitados del país, en donde presenta un entorno ideal para la implementación de soluciones IoT debido a su alta afluencia de visitantes, diversidad geográfica y la necesidad de fortalecer los servicios tecnológicos orientados al turismo inteligente. Sin embargo, existen desafíos como la topografía montañosa, la distancia entre lugares turísticos lo que genera retos relacionados con la conectividad, monitoreo y la administración en tiempo real. En este contexto, las redes de comunicación de largo alcance y de bajo consumo, como LoRaWAN, representa una alternativa eficiente para entrono de geografía compleja como Baños de Agua Santa.

Frente a esta problemática, la presente investigación propone le diseño de una arquitectura IoT de 4 capas aplicada al turismo inteligente para la ciudad de Baños de Agua Santa, Ecuador, integrado tecnologías de largo alcance y de bajo consumo (LoRaWAN) y plataformas de monitoreo. La arquitectura planteada constituye una infraestructura tecnológica base para la gestión unificada de nodos IoT destinados al monitoreo ambiental, análisis de afluencia turística y administración de parqueaderos inteligentes. Su implementación facilitará la integración progresiva de dispositivos, redes de comunicación, servicios de procesamiento y plataformas de visualización,

fortaleciendo la conectividad, supervisión y gestión de información en las zonas turísticas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó herramientas de simulación, visualización y almacenamiento de datos como CupCarbon, OMNeT++, InfluxDB y Grafana, con el propósito de evaluar el rendimiento de la red, analizar métricas de comunicación y representar la información obtenida en tiempo real. De esta manera se busca demostrar la viabilidad de implementar una arquitectura que contribuya al fortalecimiento del turismo inteligente y al mejoramiento de la experiencia turística de Baños de Agua Santa, y que la solución sea escalable y eficiente.

3.2 Subsistemas IoT

Con base en las principales zonas turísticas de Baños: la zona montañosa, zona del centro de la ciudad y la zona de transición andino-amazónica Río Verde; así como en las necesidades de los visitantes y residentes del cantón, se han definido, en coordinación con la Municipalidad de Baños, tres ejes estratégicos que deben considerarse como una primera fase de intervención para el diseño de una arquitectura IoT. Estos ejes responden a la ausencia actual de una arquitectura IoT específica para el cantón que incluyen el monitoreo ambiental, el monitoreo de la afluencia turística y una propuesta de parqueadero inteligente.

a. Monitoreo Ambiental

El monitoreo de las condiciones ambientales en zonas turísticas es muy importante para la gestión de riesgos. Al brindar información exacta de las variables como la temperatura, humedad, velocidad del viento o la radiación UV se da información tanto a los administradores como a los turistas para la toma de decisiones [87]. El monitoreo de la temperatura y radiación UV, es fundamental ya que está relacionado a la salud de las personas, especialmente en el contexto de Baños de Agua Santa que los destinos turísticos son al aire libre y de aventura. Estudios demuestran que estar expuestos a la radiación ultravioleta puede causar muchos daños como quemaduras, enrojecimiento de la piel, cataratas o cáncer a la piel, mientras que conocer la temperatura permite planificar de mejor manera las actividades turísticas [88].

Las estaciones meteorológicas se van a colocar en tres lugares del cantón Baños de Agua Santa:

- La primera estación meteorológica se propone ubicar en el centro de la ciudad, debido a la presencia de múltiples puntos turísticos y a que esta zona funciona como punto de encuentro y salida hacia otros destinos turísticos más alejados.
- La segunda estación meteorológica se plantea ubicar en la zona montañosa de la ciudad, específicamente en el sector de los miradores, al tratarse de uno de los espacios de mayor afluencia turística y relevancia paisajística.
- La tercera estación meteorológica se contempla ubicar en Río Verde, debido a la concentración de atractivos turísticos naturales y actividades de aventura presentes en este sector.

Se escogió estos lugares gracias al estudio de los microclimas en la Tabla 17, clima templado húmedo de la ciudad, clima frío en la parte de los miradores, clima templado húmedo amazónico en la parte de Río Verde.

Para el monitoreo inteligente de las zonas turísticas la propuesta es adquirir estaciones meteorológicas y para ello se realizó un análisis comparativo de las múltiples que existe en el mercado con el objetivo de seleccionar la que mejor se adapte a este proyecto. En la Tabla 24, se presenta las estaciones meteorológicas más representativas, en donde se coloca el fabricante, sus características y las variables que miden, el precio aproximado, la conectividad y el uso típico. Este análisis permite escoger e identificar la que mejor se adapte y la más adecuada para recolectar los datos de las zonas turísticas de Baños de Agua Santa.

Las estaciones meteorológicas son de gran importancia en los sistemas de monitoreo ambiental, ya que permiten medir de manera simultánea múltiples variables climáticas, como temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, entre otras. Esto las hace mucho más eficientes que utilizar sensores individuales para cada variable, ya que integran todos los instrumentos en un solo sistema, facilitando la recolección, procesamiento y análisis de los datos ambientales [90].

Tabla 24. Tipos de estaciones meteorológicas[89], [90]

Estación meteorológica	Empresa	Variables que mide	Conectividad	Uso típico	Precio aproximado
Netatmo Smart Weather Station	Netatmo	Temperatura, humedad, CO ₂ , presión, ruido	Wi-Fi, app móvil	Hogar inteligente IoT	\$170 – \$200
Ambient Weather WS-2902	Ambient Weather	Temperatura, humedad, viento, lluvia, presión, UV	Wi-Fi, Weather Underground	Agricultura y monitoreo ambiental	\$200 – \$250
AcuRite Iris 5-in-1 Weather Station	AcuRite	Temperatura, humedad, velocidad del viento, lluvia, presión	Consola inalámbrica	Uso doméstico y educativo	\$120 – \$150
Davis Vantage Vue 6250 Weather Station	Davis Instruments	Temperatura, humedad, viento, lluvia, presión, índice de calor	RF inalámbrico - consola	Agricultura, monitoreo IoT, monitoreo profesional	\$400 – \$650
Davis Vantage Pro2 Weather Station	Davis Instruments	Temperatura, humedad, presión, viento, lluvia, radiación solar	RF inalámbrico-consola - internet	Investigación y monitoreo profesional	\$700 – \$1200

Según el análisis realizado, la estación meteorológica que mejor se adapta es Davis Vantage Pro2 Weather Station por sus múltiples características, mide las variables más importantes como temperatura, humedad, velocidad del viento, lluvia, presión atmosférica e índice de calor, la cual lo hace indicada para los microclimas turísticos de Baños de Agua Santa. Los datos son muy confiables al ser una estación de monitoreo profesional y de alta durabilidad, la conectividad es RF inalámbrico que permite enviar datos a una consola y a plataformas IoT o dashboard. A continuación, en la Tabla 25, se visualiza las características de la estación meteorológica.

Un aspecto para tomar en cuenta es que no todas las variables se actualizan al mismo tiempo, sino que cada sensor y cada variable trabaja a su propia frecuencia es decir cada variable tiene su propia actualización. En la Tabla 26, se pudo visualizar las diferentes frecuencias de actualización de cada variable.

Tabla 25. Características de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather Station [91]

Característica	Especificación
Modelo	Davis Vantage Vue 6250 Weather Station
Fabricante	Davis Instruments
Tipo de estación	Estación meteorológica inalámbrica
Variables medidas	Temperatura, humedad relativa, presión barométrica, velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, radiación solar y radiación UV
Rango de temperatura	-40 °C a 65°C
Precisión de temperatura	± 0.5 °C
Rango de humedad	0 % -100 %
Precisión de humedad	± 3 % (0-90 %) - 4% (90-100%)
Precisión de velocidad del viento	± 3 km/h
Precisión radiación solar	± 0.5 del valor medido
Alcance inalámbrico	Hasta 300 m en línea de vista
Fuente de energía	Panel solar con batería de respaldo

Tabla 26. Frecuencia de actualización de las variables de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather Station [91]

Variable	Frecuencia de actualización
Velocidad del viento	2.5 - 3 segundos
Dirección del viento	2.5 - 3 segundos
Precipitación	20 - 24 segundos
Temperatura exterior	10 - 12 segundos
Humedad exterior	50 - 60 segundos
Radiación solar	50 - 60 segundos
Radiación UV	50 - 60 segundos
Presión atmosférica	60 segundos

La estación meteorológica Davis Vantage Pro2 presenta una alta frecuencia de actualización de datos enviando desde el módulo ISS hacia la consola aproximadamente cada 2,5 segundos, sin embargo la tasa de actualización depende de la variable medida [91].

En la Figura 29, se puede visualizar la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather de cómo es su forma física, también se puede visualizar la consola con la que trabaja [91].



Figura 29. Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather [91]

El proceso de adquisición de datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather comienza como la información meteorológica es captada para luego transmitirla y posteriormente almacenada y visualizada su información. En este caso los datos ambientales son captados por los sensores de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather, lo cual se puede medir las variables como la humedad, temperatura, velocidad del viento, precipitación, radiación UV y presión atmosférica.

Una vez que la estación meteorológica recogió los datos se tiene que colocar el módulo MCF-LW06DAVPK que hace que la estación tenga comunicación LoRaWAN para así pueda comunicarse con la Gateway LoRaWAN para así llegar al servidor, donde se van a almacenar y procesar los datos para la toma de decisiones, y posteriormente mostrarlos mediante un dashboard IoT como grafana o thingsBoard [92]. En la Figura 30, se puede visualizar por etapas la forma de transmitir datos de la estación Davis Vantage.

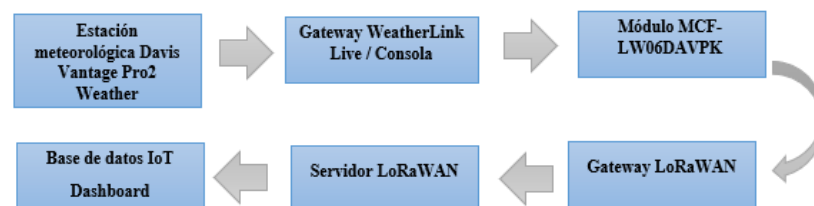


Figura 30. Proceso de la adquisición de datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather

b. Monitoreo de Afluencia Turística

El monitoreo de afluencia de personas en lugares turísticos es fundamental porque permite gestionar la seguridad de los visitantes y mejorar la experiencia. Existen varios factores que mejoran con el control de la afluencia turística, como la seguridad, ya que ayuda a evitar aglomeraciones y permite la toma de decisiones de forma rápida; la gestión turística, donde con el monitoreo y los datos se pueden organizar accesos, asignar personal, transporte y regular servicios; y la sostenibilidad, ya que el exceso de visitantes puede generar contaminación o daños al ecosistema. Todos estos factores mejoran la experiencia del turista, permitiendo una visita ordenada y segura [93].

El monitoreo se va a realizar en tres zonas de Baños de Agua Santa: el centro de la ciudad, la zona de miradores y Río Verde.

- En el centro, las cámaras se ubicarán en el parque central, ya que existe un gran flujo de turistas y será de gran ayuda para que las autoridades tomen decisiones en la gestión turística; además, se instalarán en la zona de la Cascada de la Virgen para evitar aglomeraciones de visitantes.
- En la zona de los miradores, se instalará una cámara en la entrada hacia Runtún, específicamente al inicio de la vía de acceso a los miradores. En este punto se realizará el monitoreo vehicular mediante técnicas de visión artificial, con el objetivo de estimar la afluencia de visitantes que ingresan a la zona turística.
- En la zona de Río Verde, la cámara se instalará en el lugar donde se concentra la mayor cantidad de personas, es decir, en el parque principal (parque La Laguna), con el objetivo de que las autoridades puedan planificar mejor la gestión turística.

En la Tabla 27, se realizó una comparativa de las zonas de monitoreo de los diferentes destinos turísticos y la información que se va a obtener con el monitoreo.

Tabla 27. Monitoreo de afluencia turística [94]

Lugar turístico	Zona de monitoreo	Información obtenida
Centro de la ciudad	Parque central – Iglesia Zona cascada de la virgen	Afluencia turística peatonal
Zona montañosa – Sector de los miradores	Entrada vía Run Tun	Monitoreo de afluencia de tránsito vehicular
Río Verde	Río verde – Parque de la laguna	Afluencia turística peatonal

Para el monitoreo de afluencia turística se planea monitorear con cámaras inteligentes como primera opción y como segunda opción y más económica instalar un dispositivo de borde que integra cámara de videovigilancia con detección y conteo de personas o vehículos con algoritmos de inteligencia artificial.

Cámaras inteligentes

En la Tabla 28, se presenta una comparativa de diferentes cámaras destinadas al conteo de personas y al análisis de aforo en espacios públicos. Estos dispositivos incorporan tecnologías avanzadas, como inteligencia artificial y visión por computador, que permiten la clasificación, detección y contabilización de personas en tiempo real. La comparación considera características relevantes, entre ellas la conectividad, la tecnología empleada para el conteo, la resolución, la altura de instalación y el precio aproximado [95]. Estos son modelos de las cámaras inteligentes que existen en el mercado especializadas en conteo y análisis de personas, cuya cualidad principal de todas es que integran inteligencia artificial y el análisis del video de las cámaras, análisis del flujo de los visitantes esto para la ayuda en la toma de decisiones y la gestión eficiente de los recursos y la experiencia de los usuarios [95]. Estas cámaras se caracterizan por su gran precisión en el conteo de personas en entradas, accesos controlados o puertas gracias a su tecnología 3D y algoritmos de inteligencia artificial, su precisión es aproximadamente del 99%. Genera reportes, mapas de calor y análisis de flujo de visitantes que es muy importante para el estudio de afluencia turística [95].

Tabla 28. Cámaras inteligentes [96], [97], [98], [99]

Cámara/ modelo	Resol ución	Tecnologí a de conteo	Precis ión	Altura de instalació n	Conecti vidad	Precio aproxi mado	Características principales
Hikvision DS-2CD6825G0/C-IVS	2 MP	Visión estereoscópica + Deep Learning	98 %	2.5 – 4 m	Ethernet - PoE	\$660 – \$830	Conteo bidireccional (entrada/salida), estadísticas de flujo de personas, generación de reportes, alta precisión en zonas de acceso
Dahua IPC-HDW5442H-ZE (People Counting)	4 MP	Inteligencia artificial (Deep Learning)	97 %	2.5 – 5 m	Ethernet - PoE	\$280 – \$350	Detección de densidad de personas, análisis de flujo, clasificación de objetos mediante IA, alertas de aforo
Vivotek SC9133-RTL	8 MP (dual sensor)	IA con clasificación de personas	99 %	2 – 10 m	Ethernet - PoE	\$900 – \$1200	Conteo de multitudes, detección de colas, monitoreo de zonas amplias, doble lente para mayor precisión
FootfallCam 3D Pro2	8 mp dual	Conteo 3D con visión estéreo	99.9 %	2.2 – 6 m	WiFi - Ethernet - BLE	\$700 – \$900	Conteo 3D muy preciso, análisis de tráfico de visitantes, exclusión de personal, mapas de calor y reportes en tiempo real
Dahua IPC-MFW5241T2-E3-ASE	3 *2 MP (Triple lente)	IA WizMind (detección de personas, vehículos)	85 – 90 % (Conteo en área)	4 – 8 m	Ethernet - PoE	\$ 900 - 1300	Triple visión corto, medio y largo alcance, detección hasta 100 – 140 m, análisis por zonas o flujo de personas

En la Figura 31, se muestra una de las cámaras comerciales más conocidas para detección y afluencia de personas.



Figura 31. Cámara FootfallCam 3D Pro2

Para obtener un sistema más económico que el de las cámaras comerciales que ya viene incluida inteligencia artificial, se propone utilizar dispositivos de borde que consiste en cámaras convencionales con características de infrarrojo, visión nocturna para implementarlas con los algoritmos de inteligencia artificial como son YOLO,

SSD, FASTER R- CNN. A continuación, en la Tabla 29, se realiza una comparativa de las cámaras convencionales.

Tabla 29. Cámaras de videovigilancia [100], [101], [102]

Cámara/ modelo	Imagen	Resolución	Tecnología de conteo	Tipo de conexión	Visión nocturna	Uso exterior	Protocolos	Características principales
Hikvision DS- 2CD1023G2- LIZU		2 MP (1080 p)	Visión estereoscópica + Deep Learning	PoE (Ethernet)	IR 30 m	IP67	RTSP - ONVIF	\$60 – \$70
Dahua IPC- HFW1230S1		2 MP (1080 p)	Inteligencia artificial (Deep Learning)	PoE (Ethernet)	IR 30 m	IP67	RTSP - ONVIF	\$45 – \$65
TP-Link Tapo C320WS		2k	IA con clasificación de personas	WiFi - Ethernet	Visión nocturna a color	IP66	RTSP	\$50 – \$80

De acuerdo con las características técnicas analizadas, la cámara que mejor se adecua al sistema de detección de aglomeraciones es la Hikvision DS-2CD1023G2-LIZU ya que en aplicaciones de detección de objetos mediante utilizando algoritmos de inteligencia artificial y visión artificial, se requiere una resolución de imagen adecuada para obtener una mejor precisión en la detección y conteo de personas y vehículos. En este caso, la cámara cuenta con una resolución Full HD (1920*1080), lo que permite mejorar la calidad de las imágenes captadas y reducir errores en el procesamiento realizado por modelos de detección como YOLO [103].

Además, es compatible con los protocolos de transmisión de video como RTSP y ONVIF, facilitando su integración con aplicaciones desarrolladas en Python y sistemas de visión artificial en tiempo real sin necesidad de hardware adicional. Para la instalación en los exteriores la cámara cuenta con certificación IP67, ofreciendo resistencia a polvo y agua, además ofrece visión infrarroja con alcance de hasta 30 metros para operar en condiciones de naja iluminación. También presenta un precio accesible comparado con otras soluciones de monitoreo inteligente, lo que convierte en la mejor alternativa para la implementación del sistema propuesto [103].

HIKVISION



Figura 32. Cámara Hikvision DS-2CD1023G2-IIZU

La implementación de algoritmos de inteligencia artificial en los sistemas de cámaras permite mejorar significativamente el análisis y monitoreo del aforo de personas. Algunos de estos sistemas son YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot Detector) y Faster R-CNN, todos ellos con sus respectivas características lo cual permiten detectar, identificar y contabilizar individuos [104]. A continuación, en la Tabla 30, se puede visualizar una comparativa entre los 3 modelos de inteligencia artificial más utilizados para cámaras de video.

Tabla 30. Algoritmos de inteligencia artificial [104]

Cámara/ modelo	Precisión	Velocidad	Ventajas	Desventajas
YOLO	80 - 95 %	Alta (Tiempo real)	Procesamiento rápido, ideal para video en vivo.	Menor precisión en multitudes densas
SSD	80 – 90 %	Alta	Equilibrio entre velocidad y precisión	Menor precisión
FASTER R- CNN	90 – 99%	Baja	Alta precisión, detección detallada	Lento, alto consumo computacional

Según las características de todos los algoritmos, el algoritmo de inteligencia artificial que más se adecua es YOLO ya que al realizar procesamiento en tiempo real con mucha eficiencia y precisión lo hace adecuado para la investigación. Otra característica a destacar del algoritmo YOLO es que la detección de los objetos en una sola pasada a diferencia de los demás, lo que hace preciso que detecte múltiples personas simultaneas en los diferentes entornos de los lugares turísticos [104]. En la Figura 33, se muestra como el algoritmo YOLO divide la imagen por partes para el análisis más

rápido, cada parte hace una predicción si hay un objeto, la ubicación en el cuadro que se encuentra y que tipo es, para mostrar los resultados selecciona las mejores detecciones para identificarlos en tiempo real [105].

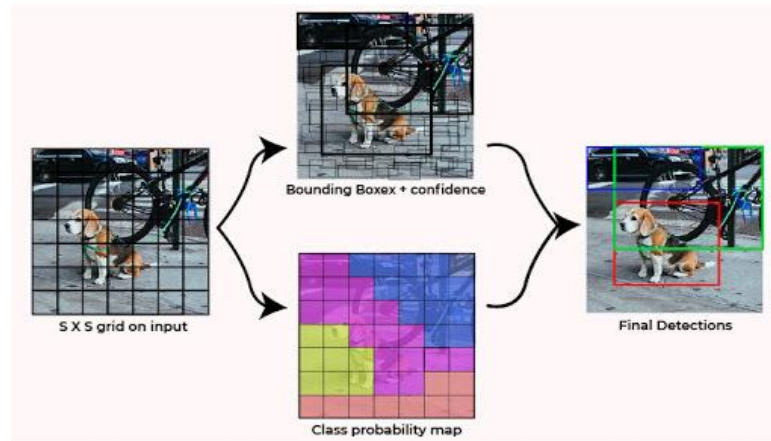


Figura 33. Algoritmo YOLO

En la Figura 34, se puede visualizar el proceso que se lleva a cabo para la adquisición de datos de las cámaras y de cómo son los pasos hasta llegar al dashboard, donde la información va a estar a disposición de los turistas.

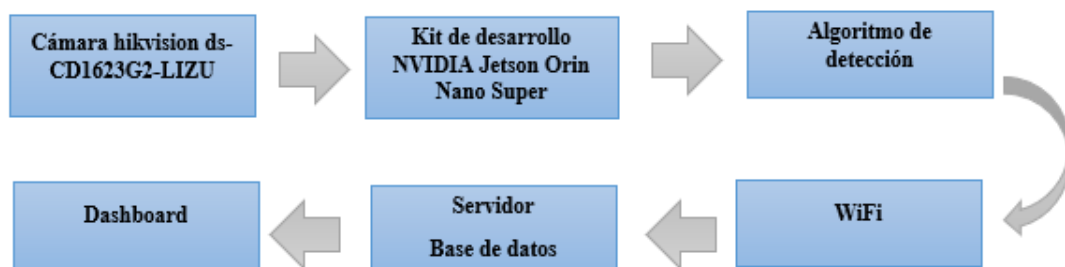


Figura 34. Proceso de adquisición de datos de cámaras

Para el procesamiento de datos que recogen las cámaras se realizó una comparativa de varios procesadores que existen en el mercado. En la Tabla 31, se puede visualizar una comparativa de las características de los procesadores que existen en el mercado.

Tabla 31. Características de los procesadores [106]

Característica	NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer kit	NVIDIA Jetson Orin Nano Developer kit	Raspberry Pi 5 8GB	Google Coral Dev Board	Intel NUC 13 Pro
Imagen					
Tipo	Edge Ai (alto rendimiento)	Edge Ai	SBC general	Edge AI (TPU) Edge AI (TPU)	Mini PC
CPU	6- core Cortex-A78AE	4- CORE Cortex- A57	4- core Cortex- A76 2.4 GHz	Cortex – A53	Intel Core i3/i5/i7
GPU/ Acelerador	Ampere 1024 CUDA + Tensor	Maxwell 128 CUDA	VideoCore VII	Edge TPU	Intel Iris Xe Intel Iris Xe
Rendimiento IA	67 TOPS	0.5 tops	No dedicado	4 TOPS	No dedicado
RAM	8 GB LPDDR5	4 GB LPDDR4	8 GB LPDDR4X	1- 4 GB	8.64 GB
Almacenamiento	microSD + NvMe	MicroSD	microSD+ PCIe	eMMC	SSD NVMe
Consumo	7 W – 25 W	5W – 10 W	3W -12 W	2W- 5 W	15W – 60W
Uso principal	IA avanzada, visión	IA básica	IoT general	IA ligera	Computación general
Precio aproximado	\$ 400 -500	\$ 100-150	\$ 120 - 200	\$ 150- 200	\$ 400 -900

c. Parqueadero Inteligente

La implementación de un sistema de parqueo inteligente en zonas turísticas es necesario ya que ayuda con el orden y la organización de los vehículos, debido al gran flujo de visitantes. Este tipo de sistema permite conocer en tiempo real qué espacios están libres para estacionar, lo que disminuye el tráfico y mejora la movilidad. Además, incrementa la seguridad al evitar estacionamientos indebidos y reduce el tiempo que los visitantes pasan buscando un lugar para estacionarse [107].

El sistema de estacionamiento inteligente se va a colocar en el centro de la ciudad, debido que es el único lugar que existe zona tarifada y zona con lugares asignados para parqueo, en el sistema se va a poder visualizar en tiempo real los espacios ocupados y

los espacios disponibles. En la Figura 35, se puede observar los lugares para parqueo de vehículos por calle que existen en el centro de la ciudad Baños de Agua Santa.

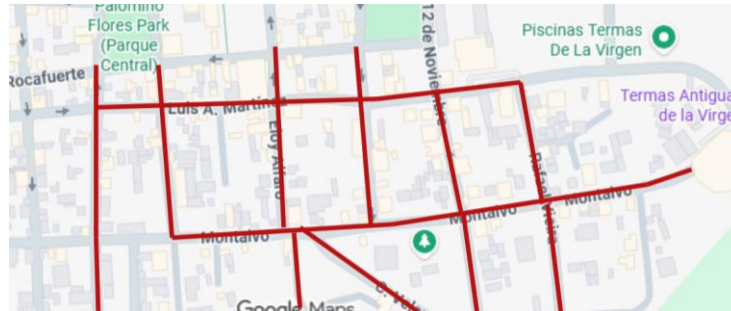


Figura 35. Lugares de parqueo en el centro de Baños de Agua Santa

Existen múltiples tecnologías y sensores para un parqueadero inteligente en la Tabla 32, se puede visualizar una comparativa de los diferentes sensores y de la diferente tecnología que utilizan, también se puede ver su precisión al momento de estar en operación.

Tabla 32. Sensores en parqueadero inteligente [108], [109], [110]

Tipo de sensor	Principio de funcionamiento	Alcance típico	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones en parqueaderos
Sensor ultrasónico	Emite ondas ultrasónicas y mide el tiempo que tarda el eco en regresar al sensor	2 cm – 4 m	Alta precisión, económico, fácil de integrar con microcontroladores	Los factores ambientales afectan la adquisición de datos	Detección de vehículos en plazas individuales
Sensor infrarrojo	Emite luz infrarroja y detecta la reflexión cuando hay un vehículo presente	5 cm – 80 cm	Bajo costo, rápida respuesta	Sensible a la luz solar y condiciones ambientales	Sistemas simples de detección de vehículos
Sensor magnético	Detecta cambios en el campo magnético causados por la masa metálica del vehículo	1 – 3 m	No afecta las condiciones ambientales	Instalación requiere colocarlo en el suelo	Estacionamientos inteligentes en exteriores
Sensor de cámara (visión artificial)	Utiliza procesamiento de imágenes para identificar vehículos y espacios libres	Hasta 20 m	Puede monitorear varios espacios al mismo tiempo	Alto costo y mayor procesamiento	Grandes parqueaderos y centros comerciales
Sensor radar	Emite ondas de radio y detecta objetos por reflexión	1 – 10 m	Funciona en cualquier clima y luz	Mayor costo que otros sensores	Estacionamientos avanzados o automatizados

Para el sistema de parqueo inteligente en el centro de la ciudad de Baños de Agua Santa los sensores magnéticos son la mejor opción, esto debido a que ofrecen mayor precisión y estabilidad en los espacios exteriores, las condiciones climáticas no son un problema lo que le hace un monitoreo confiable en la ocupación de espacios disponibles y espacios ocupados [111]. En la Tabla 33, se muestra los diferentes tipos de sensores que existen en el mercado.

Tabla 33. Tipos de sensores magnéticos [110], [112], [113], [114]

Sensor	Imagen	Precisión	Comunicación	Uso	Precio
PlacePod		Muy alta	LoRaWAN/ Sigfox	Calles, parques, instalaciones rápidas	\$ 265 - \$ 300 por sensor
KSK Magnetic Parking Sensor		Alta	LoRa	Zonas urbanas densas	\$ 150 - \$ 220
WiiUNG Magnetic Sensor		Alta	IoT (LPWAN)	Parqueaderos inteligentes	\$ 150 - \$ 250
Conure Smart Parking Sensor		Muy alta	LoRaWAN	Smart cities	\$ 250 - \$ 300

El sensor que mejor se adecua al sistema es el PlacePod, ya que está diseñado para aplicaciones de estacionamiento en vía pública y presenta una instalación rápida y sencilla. Además, utiliza tecnología de comunicación LoRaWAN, lo que permite una integración compatible y eficiente con la arquitectura del sistema IoT propuesto [110].

En la Figura 36, se puede visualizar el sensor PlacePod desarrollado por PNI Sensor Corporation que funciona para detectar la presencia de vehículos para los estacionamientos en tiempo real. El sensor se puede instalar empotrado en el suelo o montado en la superficie. Para su funcionamiento el sensor magnético detecta cambios en el campo magnético cuando el vehículo se estaciona para así comprobar si el espacio esta libre u ocupado.



Figura 36. Sensor PlacePod [115]

En la Figura 37, se muestra el proceso de envío de datos del sensor PlacePod, el primer paso el sensor detecta si el espacio esta libre u ocupado por el vehículo, para así enviar los datos a un LoRa Gateway, luego se envía los datos al servidor y finalmente visualizar en la aplicación en tiempo real.

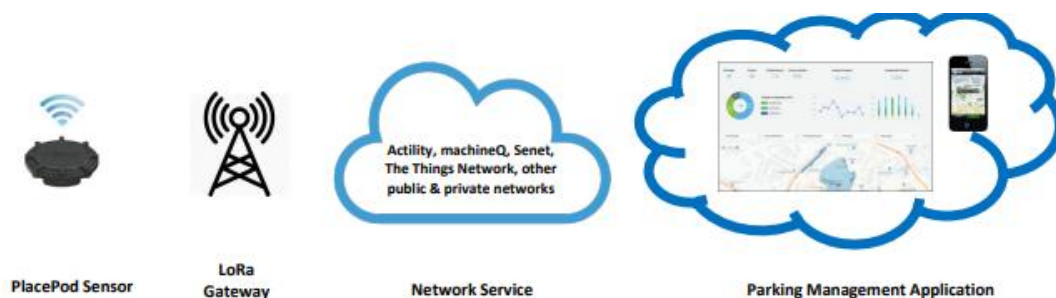


Figura 37. Proceso de comunicación del sensor PlacePod [110]

3.3 Diseño de la Arquitectura IoT

El diseño de la arquitectura IoT es un proceso primordial que cumple la función de especificar como se integran los dispositivos, las tecnologías de comunicación que se va a utilizar y las plataformas tecnológicas para que el sistema funcione de manera correcta. En la Tabla 4, se realizó una comparativa entre arquitecturas, donde se evidencio que la arquitectura de 4 capas ofrece ventajas significativas como menor latencia, simplicidad y eficiencia energética. Se seleccionó la arquitectura IoT de 4 capas debido a su mayor eficiencia en entornos turísticos donde lo importante es una transmisión de datos optima, rápida y de bajo consumo. Esta arquitectura permite la integración simplificada entre los dispositivos entre las capas de percepción,

comunicación, red y aplicación reduciendo la complejidad del sistema y facilitando el acceso a zonas con infraestructura limitada. [27], [36], [116].

En la Figura 38, se presenta el diseño de la arquitectura IoT general, en donde consta de 4 capas: capa de percepción, capa de red (comunicación), capa de procesamiento y capa de aplicación.

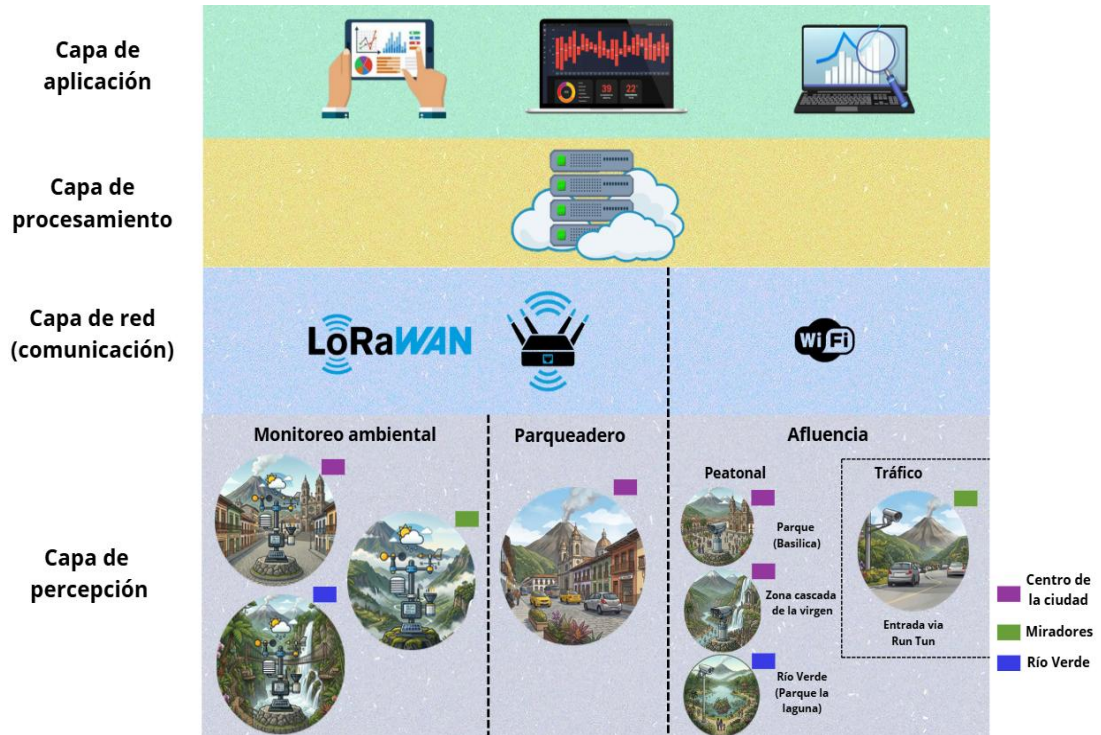


Figura 38. Diseño de la arquitectura IoT

Como se analizó en la Tabla 17, el cantón Baños de Agua Santa tiene diversos microclimas y puntos turísticos importantes se escogió tres zonas específicas claves:

- **Punto turístico 1:** Zona centro de la ciudad.
- **Punto turístico 2:** Zona montañosa.
- **Punto turístico 3:** Zona Río Verde.

Una vez definidos los puntos turísticos, el siguiente paso es delimitar las zonas que se llevan a cabo los procesos de monitoreo. En la Figura 38, se puede observar los tres subsistemas IoT integrados dentro de una misma infraestructura tecnológica los cuales se describen a continuación.

Monitoreo ambiental: El monitoreo ambiental se va a realizar en las tres zonas del cantón Baños de Agua Santa, zona centro, zona montañosa y Río Verde.

Afluencia de personas: La afluencia de visitantes se va a realizar en los puntos más concurridos de las zonas turísticas, se va a aplicar dos tipos de monitoreo: de personas y de vehículos. El monitoreo de personas se realizará en el parque central y en la zona de la Cascada de la Virgen, esto por el alto número de visitantes de estos sitios. En Río Verde, se llevará a cabo en el parque La Laguna, que es la zona de ingreso al Pailón del Diablo principal atractivo de esta parroquia. Por otro lado, en la zona montañosa, el monitoreo se realizará mediante el control del tráfico vehicular, específicamente en la entrada a la vía Runtún, con el fin de estimar la afluencia de visitantes y obtener datos para una futura gestión de tráfico vehicular eficiente.

Parqueadero: El parqueadero inteligente se va a realizar en la zona centro de la ciudad, debido a que es el único lugar con zona tarifada. La infraestructura organizada de los sitios de parqueadero en el centro de la ciudad alrededor de los atractivos turísticos más visitados de esta zona establece los antecedentes para el adecuado del diseño de un sistema de parqueadero inteligente.

3.3.1 Capa de Percepción

La capa de percepción forma parte del nivel inicial de la arquitectura, es la que se encarga de recoger la información del entorno físico mediante el uso de dispositivos y sensores inteligentes [35]. En esta etapa se realiza la adquisición de datos de los diferentes escenarios que se va a detallar a continuación:

a. Monitoreo Ambiental

Para el monitoreo ambiental se va a utilizar la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather. A fin de extraer los datos de la estación se requiere adquirir el módulo MCF-LW06DAVPK diseñado específicamente para estaciones Davis, este módulo es un Gateway IoT LoRaWAN que permite enviar datos ambientales a plataformas en la nube sin depender del software propietario. Este módulo LoRaWAN de bajo consumo y de bajo alcance facilita la transmisión de datos en tiempo real sin necesidad de los dispositivos intermediarios [117].

En la Figura 39, se puede visualizar el monitoreo ambiental en donde los dispositivos que recogen la información es la Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Weather con el Módulo MCF-LW06DAVPK, cada estación va ubicada en las tres zonas específicas que se seleccionó en la Tabla 17.

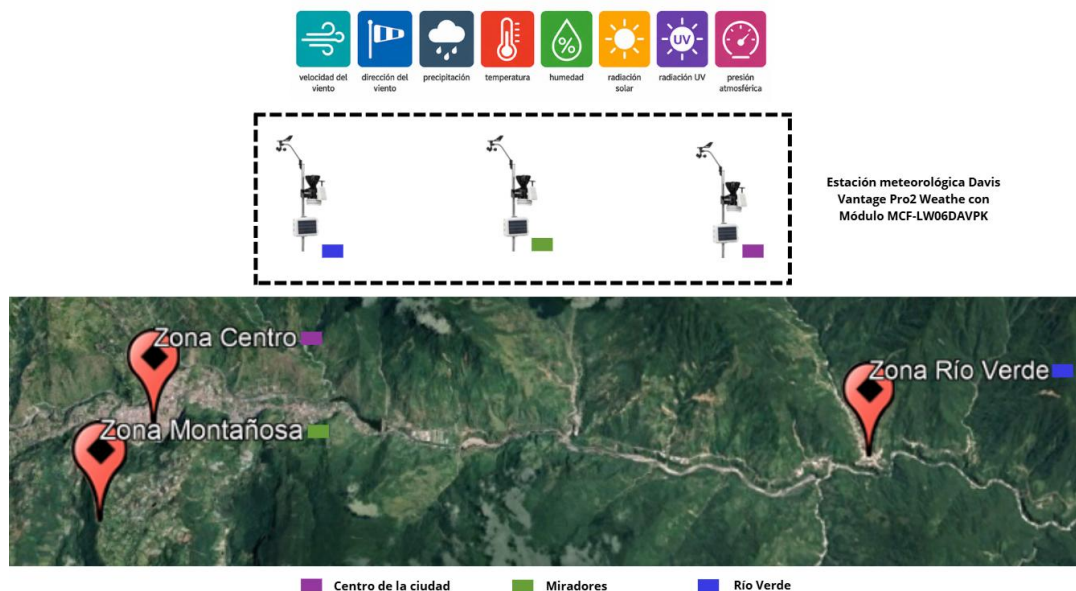


Figura 39. Percepción de datos de las estaciones meteorológicas

En la Tabla 34, se muestra los parámetros de la tecnología y dispositivos seleccionados los parámetros son tipo de sensor, especificaciones técnicas, precisión, rango de operación, consumo energético y la justificación.

Tabla 34. Parámetros del subsistema IoT monitoreo ambiental

Parámetro	Descripción
Tipo de sensor	Estación metereológica Davis Vantage Pro2 + MCF-LW05DAVPK
Especificaciones técnicas	Medición de temperatura, humedad, radiación solar, dirección y velocidad del Viento, precipitación. Comunicación mediante LoRaWAN
Precisión	95 %
Rango de operación	Temperatura: -40°C a 65°C Humedad: 0-100% Viento: 0-67 m/s
Consumo energético	Bajo (alimentación solar + batería)
Justificación	Se seleccionó esta estación meteorológica por su alta precisión, y la capacidad de medir múltiples variables ambientales y sobre todo por su compatibilidad con redes LoRaWAN mediante el módulo MCF- LW06DAVPK lo que permite la transmisión de datos en tiempo real.

Para la planificación de la instalación hay que considerar de las estaciones se realizó un estudio de las directrices para escoger su ubicación correcta, y para ello se basó en los estándares internacionales de la Organización Meteorológica Mundial (OMM/WMO), que recomienda ubicarlas en áreas abiertas y a alturas adecuadas para evitar interferencias físicas que puedan alterar o generar cambios en las mediciones [118].

Las estaciones deben ser ubicadas a 2 metros del suelo, que es la altura estándar para medir la temperatura y humedad según la OMM. La medición de la velocidad del viento se realiza a 10 metros de altura; sin embargo, en entornos urbanos se pueden emplear alturas menores, con el objetivo de ser más preciso en la representación del clima [118]. En la Tabla 35, se coloca las ubicaciones exactas de las estaciones meteorológicas.

Tabla 35. Coordenadas de la ubicación de las estaciones meteorológicas

Zona	Referencia	Coordenadas	Justificación
Centro (Urbana)	Área abierta del parque	-1.397882, -78.421192	-Medición real del clima urbano, zona despejada
Montañosa	Mirador casa del árbol	-1.417445, -78.425472	-Alta elevación, excelente cobertura
Río Verde	Parque La Laguna	-1.402199, -78.298652	-Medición de humedad, zona despejada

b. Monitoreo de Afluencia Turística

Para el monitoreo de afluencia de personas se propone emplear cámaras Hikvision DS-2CD1623G2-LIZU y el Kit de desarrollo NVIDIA Jetson Orion Nano Super para su procesamiento, complementadas con el uso del algoritmo YOLO el cual permite medir afluencia de personas en tiempo real [119].

La selección de la cámara se fundamenta en el análisis comparativo realizado en la Tabla 29, donde se evalúa diferentes alternativas considerando criterios como

resolución, tipo de conexión, protocolos y precio. En la Figura 40, se visualiza la percepción de datos de la cámara hikvision ds-CD1623G2-LIZU.

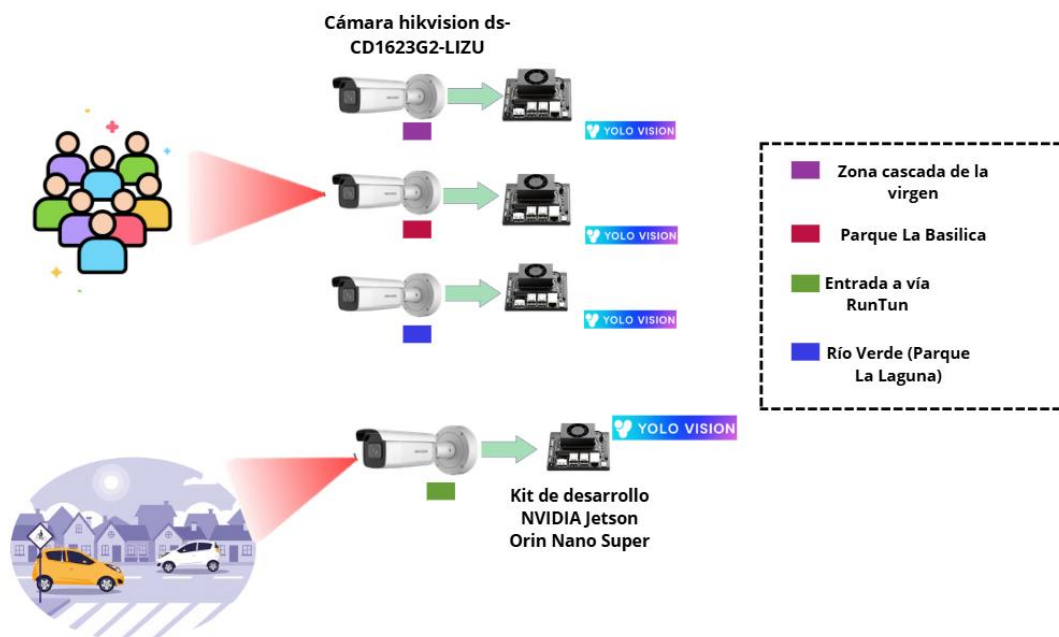


Figura 40. Percepción de datos de la cámara hikvision ds-CD1623G2-LIZU

En la Tabla 36, se detalla parámetros del escenario del monitoreo de afluencia de personas de la tecnología seleccionada y de los dispositivos seleccionados los parámetros son tipo de sensor, especificaciones técnicas, precisión, rango de operación, consumo energético y la justificación.

Tabla 36. Parámetros del subsistema control de afluencia

Parámetro	Descripción
Tipo de sensor	Cámara hikvision ds-CD1623G2-LIZU + YOLO
Especificaciones técnicas	Resolución 2MP (Full HD), vision nocturna, detección mediante inteligencia artificial YOLO.
Precisión	85 % a 95% depende de la iluminación y de la configuración del algoritmo YOLO
Rango de operación	10 a 30 metros
Consumo energético	5 W a 10W
Justificación	Se selecciono esta cámara por el precio y la capacidad de monitoreo en espacios abiertos, buena calidad de imagen y buena compatibilidad con algoritmos de visión artificial YOLO.

Para el subsistema de monitoreo de afluencia, se implementa con la NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer Kit como dispositivo de procesamiento de borde, el cual

se integra directamente a las cámaras. Este dispositivo permite ejecutar algoritmos de precisión en tiempo real para la detección y conteo de personas procesando localmente el flujo de video y enviando los datos relevantes al servidor para optimizar el uso del ancho de banda y mejorar la eficiencia del sistema [106].

En el estudio de los diferentes procesadores que existen en el mercado que se realizó en la Tabla 31, la Jetson Orin Nano Super Developer Kit es superior frente a los demás dispositivos por su alto rendimiento en inteligencia artificial de hasta 67 TOP, además es de bajo consumo energético gracias a su GPU optimizada. Gracias a estas características se permite ejecutar algoritmos de visión artificial en tiempo real sin ningún problema, reduciendo latencia.

En la Tabla 37, se visualiza características principales del NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer Kit como fabricante, tipo de dispositivo, CPU, GPU etc.

Tabla 37. Características del NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer Kit

Características	Descripción
Fabricante	NVIDIA
Tipo de dispositivo	Edge Device / Computadora con IA en el borde
CPU	6 núcleos Arm Cortex-A78AE (64- bit)
GPU	Arquitectura NVIDIA Ampere con 1024 CUDA cores + 32 Tensor Cores
Rendimiento en IA	Hasta 67 TOPS (operaciones por segundo para IA)
Memoria RAM	8 GB LPDDR5
Ancho de banda de memoria	102 GB/s
Almacenamiento	MicroSD + soporte para NVMe (alta velocidad)
Consumo de energía	7W – 25W (eficiente para sistemas embebidos)
Frecuencia del CPU	Hasta 1.7 GHz
Sistema operativo	Linux (JetPack SDK basado en Ubuntu)
Conectividad	Ethernet, WiFi (mediante módulo), Bluetooth

c. Parquero Inteligente

Para el sistema de parquero inteligente se propone utilizar el sensor LoRa PlacePod, una vez que detecta si el espacio está ocupado transmite los datos hacia un Gateway LoRaWAN mediante comunicación LoRa para su posterior procesamiento

[110]. La selección de este sensor se fundamenta el análisis comparativo realizado en la Tabla 32 y en la Tabla 33, donde se evaluaron algunas características como alcance, ventajas y desventajas, comunicación, uso y precio. En la Figura 41, se presenta la cómo van ubicados los sensores PlacePod.

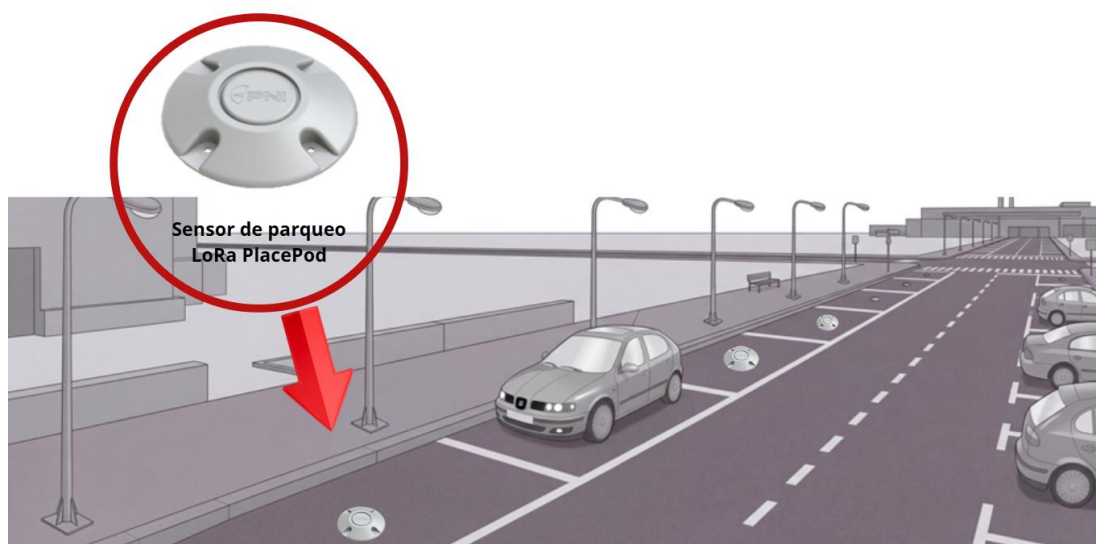


Figura 41. Percepción de datos parqueadero inteligente

En la Tabla 38, se muestra los parámetros del escenario del parqueadero inteligente de la tecnología seleccionada y de los dispositivos seleccionados. Los parámetros incluyen: tipo de sensor, precisión, rango de operación, consumo energético y la justificación.

Tabla 38. Parámetros del subsistema parqueadero inteligente

Parámetro	Descripción
Tipo de sensor	Sensor magnético (PlacePod)
Especificaciones técnicas	Tecnología geomagnética, instalación en el suelo Comunicación mediante LoRaWAN
Precisión	95 %
Rango de operación	Detección: 0- 3m Temperatura: -30°C a 70 °C
Consumo energético	Bajo, batería de 5 a 10 años
Justificación	Se selecciono por su alta precisión en exteriores, muy buena resistencia a las condiciones climáticas y su bajo mantenimiento.

En la Tabla 39, se presenta el estudio realizado sobre el número de espacios de parqueo existentes en el centro de Baños de Agua Santa. Para ello, se consideró el nombre de cada calle junto con la cantidad de plazas disponibles, determinando que el área central de la ciudad cuenta con un total de 472 espacios destinados al estacionamiento de vehículos.

Tabla 39. Calles y espacio para parqueo

Calle	Capacidad	Número estimado de espacios
Calle Ambato	Alta	80
Calle 16 de Diciembre	Alta	70
Calle Eloy Alfaro	Alta	65
Calle Thomas Halflants	Media	60
Calle Luis A, Martinez	Media	40
Calle Juan Montalvo	Media	35
Calle Velasco Ibarra	Media	30
Calle Óscar Efrén Reyes	Baja	25
Calle Rafael Vieira	Baja	25
Calle Vicente Rocafuerte	Baja	22
Calle 12 de Noviembre	Baja	20

3.3.2 Capa de Red (Comunicación)

La capa de comunicación también conocida como la capa de red, su función es transmitir los datos recolectados en la capa de percepción hacia la capa de procesamiento [36]. En esta capa se utilizan las diversas tecnologías y protocolos de comunicación. Esta capa es importante para garantizar la conectividad, integridad de los datos y la disponibilidad de los datos en tiempo real [36].

El Gateway Milesigth UG67 LoRaWAN fue seleccionado debido a que presenta características técnicas que se ajustan para el desarrollo del sistema, este dispositivo ofrece una alta capacidad de procesamiento gracias a su CPU Quad- core 1.5 GHz

permitiendo gestionar múltiples datos de manera eficiente. Además, cuenta con soporte de hasta 2000 dispositivos y 8 canales de comunicación y una sensibilidad de hasta -140 dBm lo cual mejora la comunicación a grandes distancias, y en entornos con posibles interferencias geográficas, aspecto importante para zonas montañosas como Baños de Agua Santa [120]. Otro aspecto importante es la compatibilidad con múltiples bandas de frecuencias internacionales y protocolos LoRaWAN, permitiendo mayor compatibilidad y flexibilidad con los diferentes sensores IoT, también incorpora conectividad Ethernet, WiFi y red celular, facilitando el envío de datos hacia servidores y plataformas de monitoreo. Su bajo consumo energético y capacidad de integración con plataformas IoT lo convierten en una alternativa eficiente [120].

El dispositivo cuenta con protección IP67, lo cual es apto para su funcionamiento en exteriores y condiciones ambientales adversas, siendo adecuado para aplicaciones de monitoreo ambiental y urbano.

Para la etapa de comunicación es necesario escoger de correcta manera el dispositivo Gateway que se va a utilizar, en la Tabla 40, se muestra las características como: CPU, memoria, antena, canales, frecuencias, protocolos, puerto del Gateway Milesigth UG67.

Tabla 40. Características del Gateway Milesigth UG67

CPU	Quad- core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex – A43
Memoria	RAM 512 MB DDR4 /Flash 8GB eMMC
Antena	Internas integradas y opcional 2 externas
Canales	8 con soporte de hasta 2000 dispositivos
Frecuencias	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923
Sensibilidad	-140 dBm @292 bps
Potencia de salida	27 dBm máx.
Protocolos	V1.0 y V1.0.2 Clase A / Clase B / Clase C
Puerto	1 Gigabit Ethernet RJ45 con soporte de PoE
WiFi	Antena integrada IEEE 802.11 b/g/n
Celular	1 SIM con antena integrada
GPS	Interior con <2,5 m
Protección	IP67
Consumo	Típico 3,6 W, máx. 4,8 W

En la Figura 42, se puede visualizar el Gateway Milesigth UG67.



Figura 42. Gateway Milesigth UG67

En la Figura 43, se puede visualizar las 4 capas de la arquitectura IoT y los diferentes protocolos de comunicación que se va a utilizar.

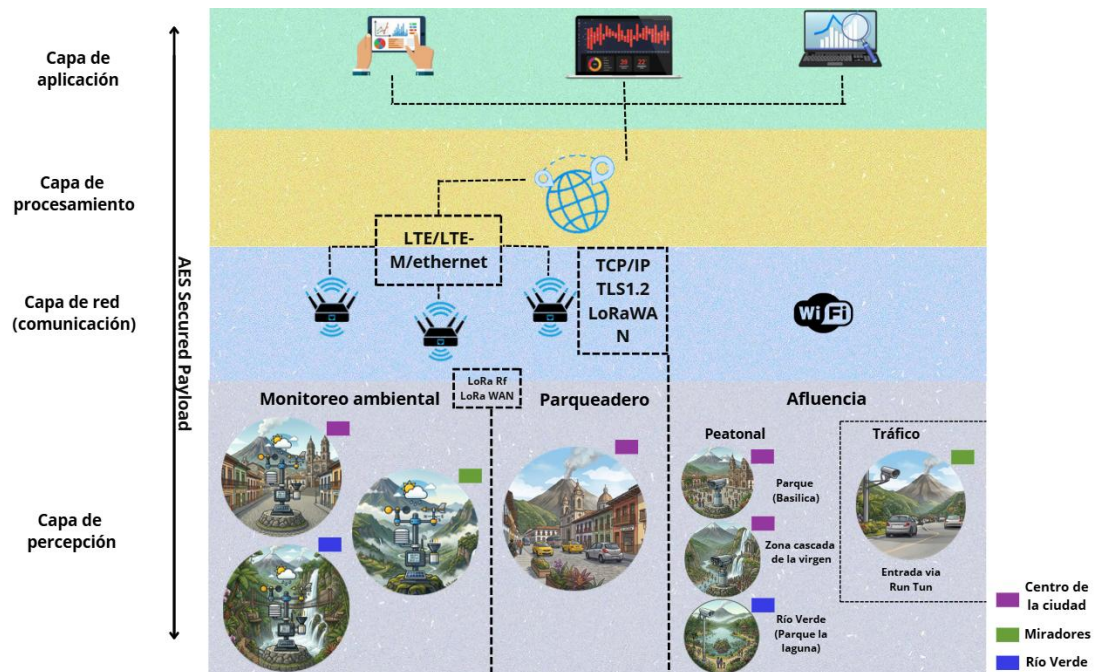


Figura 43. Arquitectura y protocolos [121]

En la etapa de red se va a utilizar el protocolo de red LoRaWAN que funciona sobre LoRa en donde gestiona la comunicación entre dispositivos IoT (lenguaje que utilizan los dispositivos para comunicarse) y permite controlar seguridad, autenticación y envío de datos [122].

a. Monitoreo Ambiental

Para el monitoreo ambiental que se llevara a cabo en las tres zonas turísticas de Baños de Agua Santa, se definió los protocolos de comunicación a emplearse, con el objetivo

de garantizar una transmisión de datos eficiente y confiable de acorde a las condiciones del entorno.

En la etapa de red se va a utilizar el protocolo de red LoRaWAN que funciona sobre LoRa en donde gestiona la comunicación entre dispositivos IoT (lenguaje que utilizan los dispositivos para comunicarse) y permite controlar seguridad, autenticación y envío de datos, mientras que para transportar los datos hacia el servidor se utiliza WiFi [122].

La Davis Vantage Pro 2 Weather junto al módulo MCF-LW06DAVPK no envían una trama única como lo haría un sensor tradicional, sino que utiliza una arquitectura por capas en donde los datos pasan por varios formatos hasta llegar a su base de datos. El proceso de la transmisión de datos empieza con la captura de datos de los sensores de la estación para así pasar a la consola Vantage Vue y luego al módulo MCF-Lw06DAVPK que lo convierte en comunicación LoRa, por último, al servidor y a la base de datos, para ello el flujo de la base de datos se compone en tres etapas, en la Tabla 41, se visualiza la transmisión de datos de las diferentes etapas:

Tabla 41. Transmisión de datos de la estación meteorológica

Etapas	Especificación
ISS (Integrated Sensor Suite)	Captura las variables con los sensores integrados de la estación meteorológica. Envía datos vía RF (915 MHz) a la consola.
Consola Vantage Vue	Recibe los datos. Los organiza en paquetes internos con protocolo Davis. Expone los datos por puerto generalmente serial/USB o datalogger.
MCF-LW06DAVPK	Se conecta a la consola. Intercepta los datos del protocolo Davis. Los convierte a un formato IoT (JSON, payload LoRa, HTTP, MQTT). Transmite hacia la red.
Variables medidas	Temperatura, humedad relativa, presión barométrica, velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, radiación solar y radiación UV

La trama de los datos depende del módulo de comunicación:

- **Trama interna Davis (antes del módulo).** La consola trabaja con los comandos tipo:

LOOP packet: Se envía cada 2,5 segundos aproximadamente. A continuación, se puede visualizar un ejemplo de la trama binaria:

LOO<DATA_BYTES><CRC>

El contenido interpretado se puede visualizar en la Tabla 42, es una trama binaria propietaria que no es legible directamente.

Tabla 42. Interpretación de los datos de la trama

Campo	Ejemplo
Temperatura	23.4 °C
Humedad	65%
Velocidad del viento	3.2 m/s
Dirección del viento	180°
Lluvia	0.0 mm
Presión	1012 hPa

- **Trama convertida por el MCF-LW06DAVPK (LoRaWAN).** El módulo empaqueta los datos en un payload binario compacto. A continuación, se puede visualizar un ejemplo:

Payload HEX: 0A 1E 41 3C 00 64 03 E8 27 10

El contenido interpretado se puede visualizar en la Tabla 43, la decodificación típica es:

Tabla 43. Decodificación de los datos

Bytes	Ejemplo
0-1 Temperatura	23.4 °C
2 Humedad	65%
3-4 Velocidad del viento	3.2 m/s
5-6 Dirección del viento	180°
7-8 Lluvia	0.0 mm

Mientras que el cifrado de datos en LoRaWAN se utiliza el protocolo AES Secured Payload, su función es cifrar los datos desde el sensor y proteger la información en todo el recorrido, el sistema cuenta con doble capa de seguridad (Security Payload) es

decir están protegidos con AES en LoRaWAN y TLS en internet [122]. Para la comunicación segura se usa el protocolo de seguridad TLS 1.2 en donde cifra la información, protege los datos contra ataques evitando que alguien intercepte los datos de los sensores [122].

En la Figura 44, se puede visualizar los protocolos de comunicación en monitoreo ambiental.

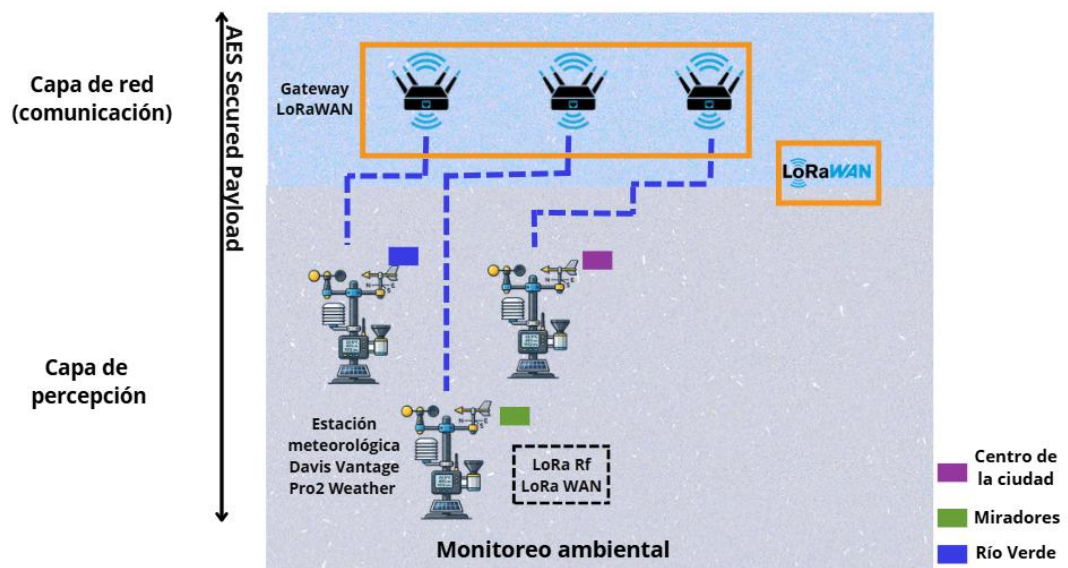


Figura 44. Protocolos de comunicación en monitoreo ambiental

A continuación, en la Tabla 44, se puede visualizar los protocolos que se va a utilizar para el monitoreo ambiental.

Tabla 44. Protocolos para el monitoreo ambiental

Parámetro	Descripción
Protocolo de comunicación	LoRaWAN
Tecnología	LoRa RF
Descripción	Las estaciones metereológicas transmiten mediante el módulo MCF-LW06DAVPK hacia el gateway LoRaWAN, lo que permit eel monitoreo del clima en tiempo real.

b. Monitoreo de afluencia Turística

Para el monitoreo de afluencia de personas y vehículos se implementará una infraestructura de comunicación en puntos estratégicos del cantón Baños de Agua

Santa. La capa de red permitirá transmitir la información recopilada por la cámaras y dispositivos IoT desde las diferentes zonas de monitoreo hacia el servidor central para su procesamiento y análisis. La infraestructura de red se implementará en el parque central, en el sector de la Cascada de la Virgen y en el parque ubicado en la entrada de los atractivos turísticos de Río Verde, en la entrada hacia Run Tun se realizará el monitoreo vehicular para estimar afluencia de visitantes en esta zona turística. Para la transmisión de datos se utilizarán tecnologías de comunicación inalámbrica y protocolos de red que permiten enviar la información de manera continua y en tiempo real hacia la plataforma de monitoreo. En la Figura 45, se puede observar los dispositivos que se van a utilizar y la comunicación.

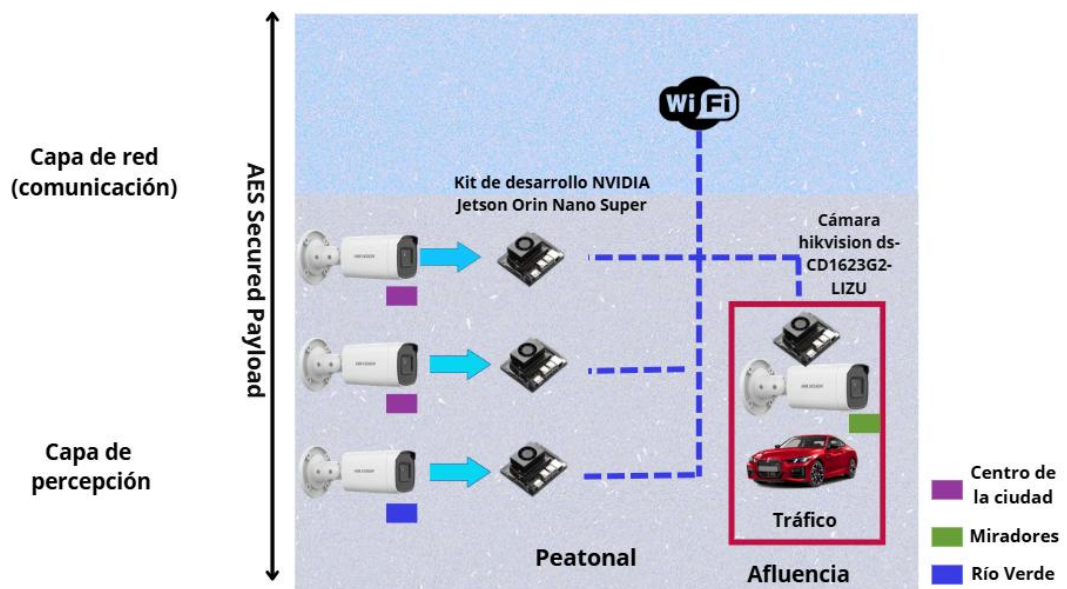


Figura 45. Esquema de monitoreo de afluencia

Trama de datos

La cámara transmite video en tiempo real mediante el protocolo RTSP. Esta trama contiene la imagen captada por la cámara y sirve de entrada para el algoritmo YOLO. En el servidor el algoritmo YOLO analiza cada cuadro de video para detectar personas o vehículos. Una vez aplicado YOLO, la información se envía al dashboard mediante una trama tipo JSON. En la Tabla 45, se puede visualizar un ejemplo de cómo es la trama de datos.

Tabla 45. Trama de datos de monitoreo de afluencia

Ejemplo	Descripción
[Video RTSP] IP cámara: 192.168.1.50 Resolución: 1920x1080 Formato: H.264/H.265 FPS: 25/30 fps Protocolo: RTSP	Esta trama contiene la imagen captada por la cámara y sirve como entrada al algoritmo YOLO.
ID cámara Fecha y hora Clase detectada Nivel de confianza Coordenadas del objeto Número total de personas Estado de aforo	En la unidad de procesamiento local (Jetson nano) el algoritmo YOLO analiza cada cuadro de video para detectar personas.
{ "id_camara": "CAM_01", "ubicacion": "Parque Central", "fecha_hora": "2026-05-08 15:30:25", "algoritmo": "YOLO", "clase_detectada": "persona", "cantidad_personas": 18, "confianza_promedio": 0.91, "estado_aforo": "medio", "resolucion": "1920x1080", "protocolo_video": "RTSP" }	Una vez aplicado YOLO, la información se envía al dashboard mediante una trama tipo JSON.

A continuación, en la Tabla 46, se puede visualizar los protocolos y tecnologías que se va a utilizar para el monitoreo de afluencia.

Tabla 46. Protocolos para el monitoreo de afluencia

Parámetro	Descripción
Protocolo de comunicación	TCP/IP
Tecnología	WIFI
Descripción	Las cámaras transmiten los datos a través de WIFI debido a las ubicaciones remotas permitiendo el control tanto de personas como vehicular.

c. Parqueadero Inteligente

Para el parqueadero inteligente se va a utilizar el sensor PlacePod, se van a colocar exclusivamente en la zona central del cantón Baños de Agua Santa, debido a que este sector cuenta con estacionamientos tarifados y espacios debidamente organizados. En la Figura 44, se presenta la tecnología a emplearse, así como la distribución de Gateway LoRaWAN. En la etapa de red se va a utilizar el protocolo de red LoRaWAN

que funciona sobre LoRa en donde gestiona la comunicación entre dispositivos IoT y permite controlar seguridad, autenticación y envío de datos, mientras que para transportar los datos hacia el servidor se utiliza WiFi [122]. A continuación, se presenta el proceso de la trama de datos del sensor PlacePod.

El proceso de la trama de datos del sensor PlacePod empieza con la toma de datos por parte del sensor para pasarlo a su payload LoRawan y que envíe al Gateway LoRaWAN y posteriormente al servidor, base de datos y aplicación [110].

El sensor envía un payload binario compacto tipo (HEX) para ahorrar energía, un ejemplo es el siguiente: 01 23 00 64 01, la interpretación de los datos se puede visualizar en la Tabla 47.

Tabla 47. Interpretación de los datos que envía el sensor PlacePod

Byte	Campo	Alcance típico
0	Device status	Estado del sensor
1	Battery level	Nivel de batería %
2	Parking status	0=libre, 1 ocupado
3-4	Campo magnético	Valor medido

Los datos decodificados de la Tabla 47, son los siguientes 01 23 01 00 7A, que se interpreta como: Estado dispositivo: OK, Batería: 35 %, Estado parqueo: OCUPADO, Campo magnético: 122.

El dato más importante para la variable clave para el estado de parqueo es: 0 Libre, 1 Ocupado. El sensor envía principalmente el cambio de estado del evento principal Libre-Ocupado, Ocupado- Libre, mientras que el estado para reportar batería lo da cada cierto tiempo [110].

En la etapa de red se emplea el protocolo LoRaWAN, el cual opera sobre LoRa y permite la comunicación entre dispositivos IoT, gestionando aspectos como autenticación, seguridad y transmisión de datos. Para el envío de la información hacia el servidor se utiliza conectividad WiFi. En las capas de red y procesamiento se utilizan tecnologías como LTE/LTE-M y Ethernet, las cuales permiten transportar los datos desde el gateway hacia internet, garantizando mayor cobertura, alta velocidad y eficiencia energética. La comunicación entre las capas de red, procesamiento y

aplicación se basa en el protocolo TCP/IP, que posibilita la transmisión de datos a través de internet mediante la segmentación en paquetes [122].

En cuanto a la seguridad, LoRaWAN emplea cifrado AES para proteger los datos desde el sensor, mientras que en la transmisión por internet se utiliza el protocolo TLS 1.2, estableciendo así una doble capa de seguridad que garantiza la confidencialidad e integridad de la información durante todo el proceso [122]. En la Figura 46, se muestra la arquitectura completa del sistema de parqueo inteligente.

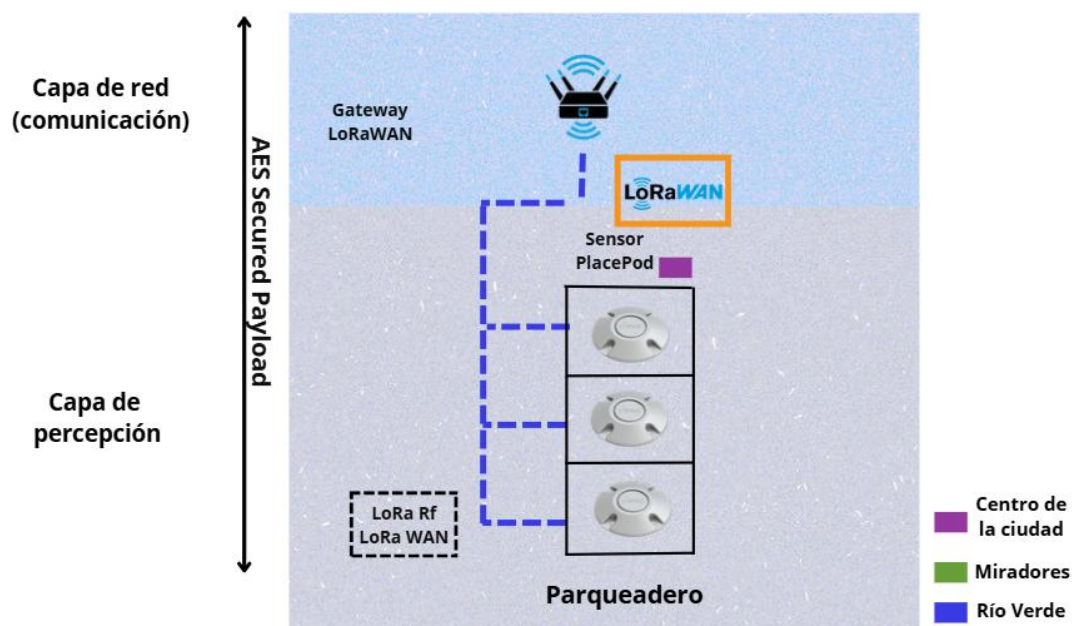


Figura 46. Protocolos de comunicación en el parqueadero inteligente

A continuación, en la Tabla 48, se puede visualizar los protocolos que se va a utilizar para el parqueadero inteligente.

Tabla 48. Protocolos para el monitoreo ambiental

Parámetro	Descripción
Protocolo de comunicación	LoRaWAN
Tecnología	LoRa RF
Descripción	Los sensores magnéticos transmiten datos de la ocupación de los espacios de estacionamientos hacia el Gateway con la comunicación de largo alcance y bajo consumo.

3.3.3 Capa de Procesamiento

La capa de procesamiento se encarga de gestionar, procesar y analizar los datos que provienen de los diferentes sensores y dispositivos del sistema IoT. En esta capa la información recolectada por los sensores de parqueo, estaciones meteorológicas y el sistema de monitoreo de afluencia es recibida, validada y transformada en datos estructurados y comprensibles [36]. En la Tabla 49, se muestra la función de la capa de procesamiento.

Tabla 49. Capa de procesamiento

Elemento	Descripción
Función	Recepción, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos que son captados por los sensores IoT
Servidor utilizado	Servidor en la nube para la gestión y procesamiento de datos, MQTT y plataforma grafana
Herramientas	Node- Red, bróker MQTT, APIs.
Base de datos	Influx (Para datos en tiempo real)
Procesamiento de datos	Limpieza, validación, almacenamiento, análisis de datos, generación de métricas Análisis de datos y ejecución de algoritmos YOLO
Tipo de datos	Datos de parqueaderos, variables climáticas y afluencia de personas, datos estructurados.
Salida	Información procesada y lista para la visualización en dashboards, alertas y toma de decisiones.

a. Monitoreo Ambiental

Una vez que la información es recogida por las estaciones meteorológicas, los datos son procesados y empaquetados para su transmisión hacia el Gateway LoRaWAN. En este proceso las variables meteorológicas son organizadas y empaquetadas en formato JSON, y posteriormente el Gateway recibe la información y la reenvía al servidor, para su almacenamiento, procesamiento y visualización en tiempo real. A continuación, se muestra un ejemplo de la trama en formato JSON:

Trama en formato JSON (WiFi/ HTTP/ MQTT). Finalmente, los datos son convertidos en JSON, como se puede visualizar en el ejemplo de la Tabla 50, este es el formato ideal para base de datos, o aplicaciones inteligentes como grafana.

Tabla 50. Datos convertidos en JSON

Datos	Ejemplo
Datos JSON	<pre>{ "device_id": "davis_vue_01", "timestamp": "2026-04- 15T10:30:00Z", "temperature": 23.4, "humidity": 65, "pressure": 1012, "wind_speed": 3.2, "wind_direction": 180, "rain": 0.0 }</pre>

En la capa de red y la capa de procesamiento se utiliza LTE/ LTE-M /Ethernet, cuya función es mejor cobertura, bajo consumo y alta velocidad se usa en el transporte de datos del Gateway hacia el internet [122]. Entre la etapa de red, procesamiento y aplicación se va a utilizar el protocolo TCP/IP, protocolo de base de internet cuya función es permitir enviar datos a través de redes de internet dividiendo la información en paquetes [122].

La integración de una base de datos es importante para el correcto almacenamiento de las variables meteorológicas que está formada de una tabla principal de registro de las variables y una secundaria de las estaciones. Esta estructura permite almacenar datos de las variables meteorológicas en tiempo real e históricos, facilitando su análisis y visualización en el sistema de monitoreo. En la Tabla 51, se puede visualizar la estructura de los datos.

Tabla 51. Estructura de los datos

Campo	Tipo de dato	Descripción
Id	INT (PK)	Identificador único
fecha_hora	DATETIME.	Fecha y hora de registro
estación_id	INT (FK)	ID de la estación
temperatura	FLOAT	°C
humedad	FLOAT	%
velocidad_viento	FLOAT	M/S o km/h
direccion_viento	VARCHAR(10)	N,S,E,O
precipitacion	FLOAT	MM
radiacion_solar	FLOAT	W/M ²

De igual manera para la estructura de los datos de las estaciones, en la Tabla 52, se puede visualizar los datos para el almacenamiento de las variables de las estaciones.

Tabla 52. Estructura de los datos de las estaciones meteorológicas

Campo	Tipo de dato	Descripción
Id	INT (PK)	ID estación
nombre	VARCHAR	Nombre
ubicación	VARCHAR	Lugar
latitud	FLOAT	Coordenada
longitud	FLOAT	Coordenada
Tipo	VARCHAR	Urbana/ Montaña / Rural

En la Figura 47, se muestra la capa de procesamiento del monitoreo ambiental, que se basa en tres estaciones meteorológicas ubicadas en zonas estratégicas del cantón Baños de Agua Santa. En donde el proceso inicia con la recolección de datos, para ser transmitidos hacia el servidor, en donde realiza la validación, limpieza y procesamiento, permitiendo obtener indicadores estadísticos. Una vez validado la información, es almacenada en base de datos en tiempo real, para posteriormente la visualización en dashboard.



Figura 47. Capa de procesamiento monitoreo ambiental

b. Monitoreo de afluencia Turística

Para el monitoreo de afluencia, en la Tabla 53, se diseñó una base de datos en donde permite almacenar el número de personas y vehículos en diversos puntos estratégicos, tanto en tiempo real como forma histórica. Se utilizaron distintos tipos de datos para el análisis eficiente de la información.

Tabla 53. Estructura de los datos del monitoreo de afluencia

Campo	Tipo de dato	Descripción
id	INT (PK)	Identificador del registro único
fecha_hora	DATETIME	Momento de registro
personas	INT	Número de personas
vehiculos	INT	Número de vehículos
estado_camara	VARCHAR	Activa/ Inactiva
url_stream	VARCHAR	Dirección del video

En la Figura 48, se presenta la capa de procesamiento del sistema de afluencia de personas, el proceso inicia con la captura de imágenes mediante la Cámara hikvision ds-CD1623G2-LIZU, cuyos datos son enviados a la Jetson Nano en donde se ejecuta el algoritmo de visión artificial YOLO para detección, conteo, y afluencia de personas y vehículos. Posteriormente la información es transmitida al servidor para su validación, limpieza y procesamiento de los datos, y por ultimo los datos son almacenados en base de datos InfluxDB y mostrarlos en un dashboard en tiempo real.

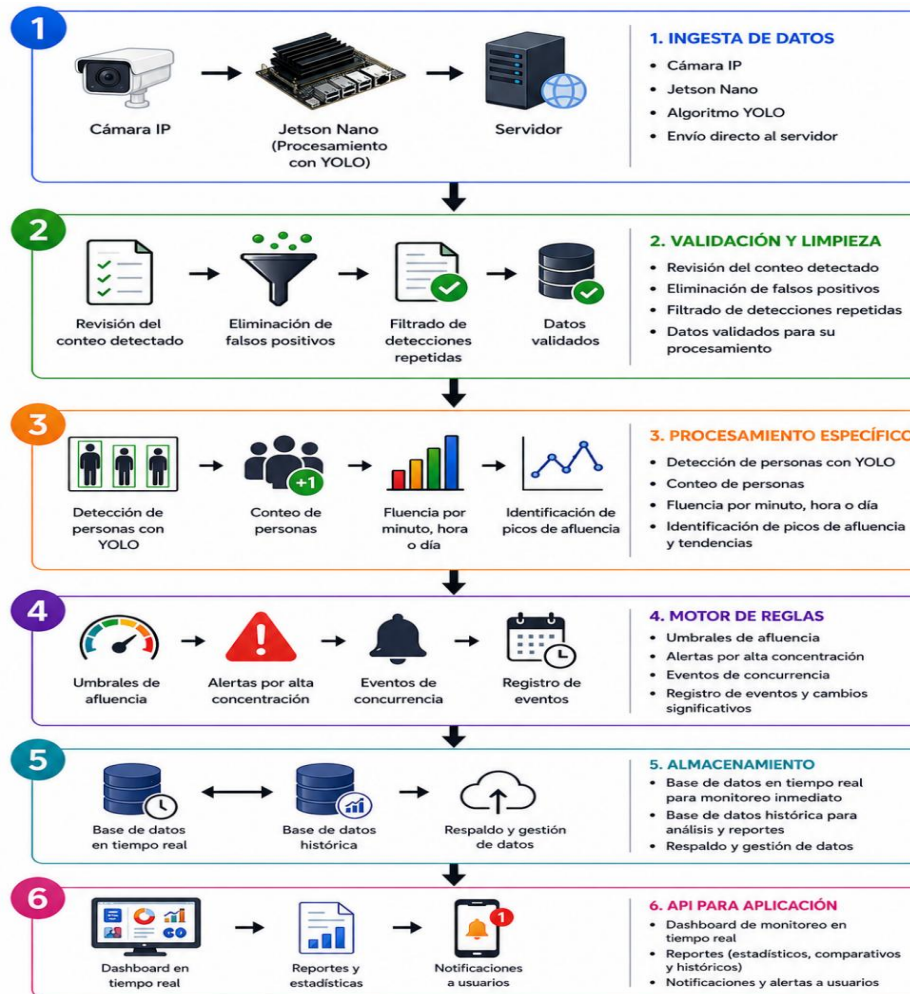


Figura 48. Capa de procesamiento monitoreo de afluencia de personas

c. Parqueadero Inteligente

A continuación, en la Tabla 54, se puede visualizar un ejemplo, para que los datos lleguen correctamente al servidor.

Tabla 54. Datos adquiridos, que llegan al servidor

Tipo	Ejemplo
JavaScript	<pre>function decodeUplink(input) { var bytes = input.bytes; return { data: { battery: bytes[1], parking_status: bytes[2] === 1 ? "occupied" : "free", magnetic_field: (bytes[3] << 8) bytes[4] } }; }</pre>

Una vez que los datos llegan al servidor la información se distribuye en una base de datos, en la Tabla 55, se diseñó una base de datos en donde se permite almacenar el estado de ocupación de cada puesto de estacionamiento, además se emplearon datos tipo entero para los identificadores de los puestos, cadenas de texto para el nombre de las calles y estados, dato tipo fecha-hora para el registro temporal de los eventos que facilitará el monitoreo en tiempo real y el análisis histórico de la ocupación.

Tabla 55. Estructura de los datos del parqueadero inteligente

Campo	Tipo de dato	Descripción
id	INT (PK)	Identificador del registro único
calle	VARCHAR	Nombre de la calle
puesto_num	INT	Número del puesto
estado	VARCHAR	Libre u ocupado
fecha_hora	DATETIME	Momento de registro
Total_puestos	INT	Capacidad

El procesamiento de los datos del sistema de parqueadero inteligente se realizará en varias etapas. En la Figura 49, se visualiza que inicialmente los datos son recibidos desde los sensores de parqueo mediante los protocolos de comunicación que se implementó en la arquitectura IoT. Posteriormente se ejecutará una fase de limpieza, filtrado y validación de datos, donde se verificará que los registros contengan información válida. Además, se eliminarán los datos y registros duplicados, inconsistentes o incompletos que puedan generarse en la comunicación o fallos temporales.

Una vez que los datos son validados, comienza el proceso para determinar el estado de ocupación de cada puesto de estacionamiento, para verificar los espacios disponibles e indicadores en tiempo real. Para finalizar la información será procesada y almacenada en la base de datos en tiempo real para el monitoreo instantáneo.

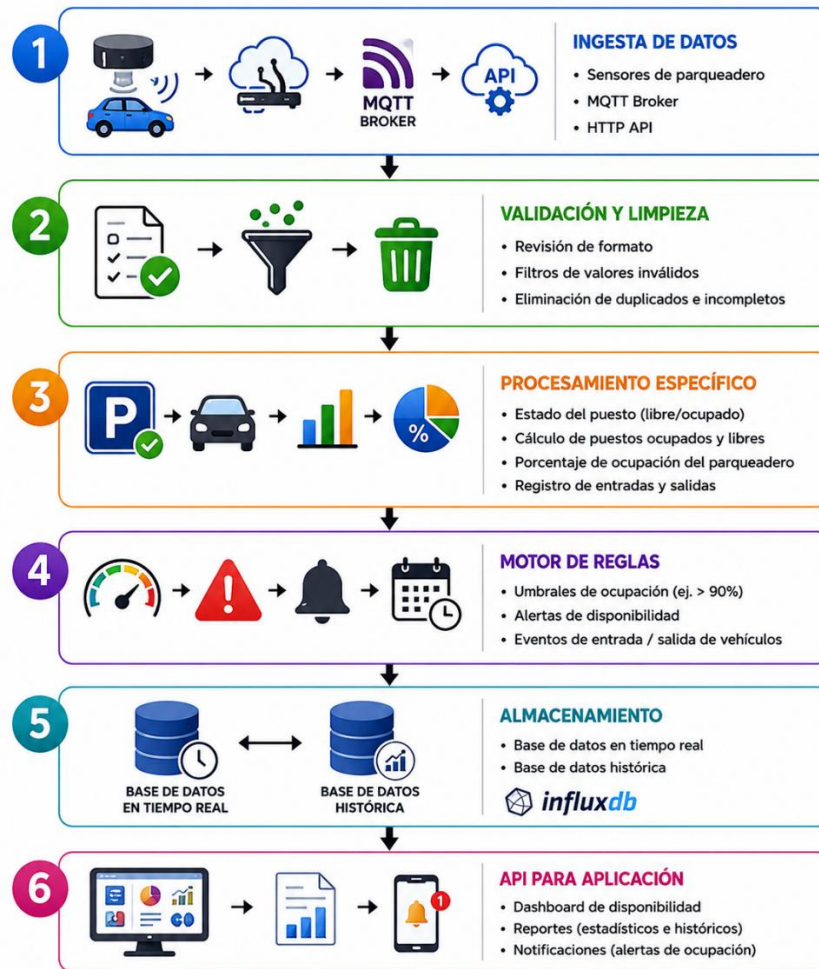


Figura 49. Diagrama de flujo del procesamiento de datos

3.3.4 Capa de Aplicación

La capa de aplicación es la encargada de presentar la información procesada capa por capa y brindarle al usuario interfaces visuales y facilitando la toma de decisiones. En este sistema se podrá visualizar dashboard mediante grafana, en donde se muestran los datos como la ocupación de parqueaderos, condiciones climáticas y afluencia de personas [36].

Los turistas tendrán información básica como la disponibilidad de parqueaderos, condiciones climáticas y nivel de afluencia de personas, con el fin de mejorar su experiencia durante la visita. Mientras que los administradores tendrán acceso a información mucho más detallada como datos históricos, generación de reportes y

monitoreo en tiempo real. En la Tabla 56, se puede visualizar las tecnologías que se vaultilizar en esta arquitectura.

Tabla 56. Capa de aplicación

Elemento	Descripción
Función	Visualización de datos y mejora la toma de decisiones
Plataforma	Grafana
Tipo de interfaz	Dashboard web
Usuarios	Turistas y administradores
Funciones de turistas	Consulta de parqueaderos disponibles, clima y nivel de afluencia
Funciones para administradores	Monitoreo en tiempo real, análisis de datos históricos y generación de reportes
Tipo de datos mostrados	Gráficos, indicadores, alertas y estadísticas
Beneficio	Mejora la experiencia del usuario y mejora la gestión turística

a. Monitoreo Ambiental

El monitoreo ambiental se basa en la recolección, análisis y registro de variables climáticas y ambientales para evaluar las condiciones y su evolución en el tiempo. Para Baños de Agua Santa, este monitoreo es fundamental por su ubicación geográfica, la actividad turística y su cercanía a zonas montañosas y humedad.

Para la visualización de las variables, se debe considerar el diseño de un dashboard que permite monitorear en tiempo real parámetros como la temperatura ambiental, la humedad relativa, la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar. En la Figura 50, se presenta un boceto del dashboard, en el cual se pueden observar todas las variables integradas de manera clara y organizada, además contiene un registro histórico de las variables.



Figura 50. Boceto de dashboard con condiciones climáticas

b. Monitoreo de Afluencia Turística

Para el monitoreo de afluencia, en la Figura 51, se diseñó un boceto en donde se presenta información en tiempo real y los datos históricos sobre afluencia de personas y vehículos en puntos estratégicos en la ciudad de Baños de Agua Santa, con videovigilancia y sistema de alertas, para mejorar la toma de decisiones en la seguridad, gestión de movilidad y planificación turística.



Figura 51. Boceto de dashboard de monitoreo de afluencia de personas

c. *Parqueadero Inteligente*

Para el sistema de parqueadero inteligente, en la Figura 52, se diseñó un boceto de la interfaz, en el cual se visualiza el estado de los espacios de estacionamiento, mostrando su disponibilidad u ocupación. Además, se presenta el porcentaje de ocupación por cada calle, permitiendo un control más claro y organizado del uso del parqueo.



Figura 52. Boceto de dashboard del parqueo inteligente

3.3.5 Propuesta de Arquitectura IoT

La Figura 53, presenta la arquitectura IoT propuesta para el turismo inteligente en la ciudad de Baños de Agua Santa. La arquitectura se divide en cuatro capas principales: percepción, red, procesamiento y aplicación, lo que permite organizar de manera eficiente la adquisición, transmisión, procesamiento y visualización de la información. En la capa de percepción se integran diferentes dispositivos IoT, como estaciones meteorológicas, sensores de parqueo y cámaras de monitoreo, encargados de recopilar datos en tiempo real. Luego la información es transmitida por tecnología LoRaWAN hacia gateways de comunicación, los cuales envían datos al servidor utilizando protocolos TCP/IP y conexiones WiFi. La capa de aplicación los datos son procesados y visualizados mediante interfaces de monitoreo y análisis, permitiendo supervisar variables ambientales, afluencia de personas y disponibilidad de parqueaderos. Además, la arquitectura cuenta con mecanismos de seguridad mediante cifrado Secure

Payload y TLS 1.2, para garantizar la protección de la información transmitida en toda la red.

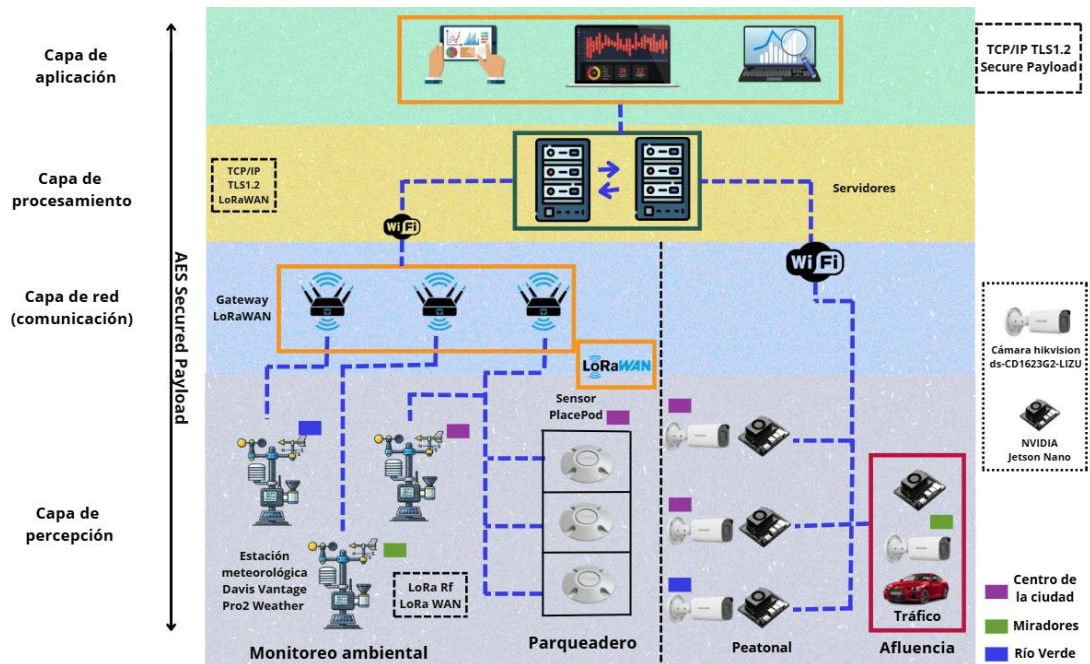


Figura 53. Arquitectura del sistema de monitoreo inteligente

a. Monitoreo Ambiental

La Figura 54, presenta la arquitectura propuesta para el sistema de monitoreo ambiental basado en tecnología LoRaWAN, implementado para la recopilación y transmisión de datos meteorológicos en diferentes zonas de Baños de Agua Santa. El sistema está conformado por estaciones meteorológicas Davis Vantage Pro2 Weather Station ubicadas estratégicamente en zonas como el centro de la ciudad, zona montañosa y zona Río Verde, las cuales recopilan variables ambientales en tiempo real. La información es enviada mediante comunicación LoRaWAN hacia un Gateway LoRaWAN y posteriormente transmitida hacia el servidor mediante conexión WiFi, permitiendo la visualización de monitoreo de datos.

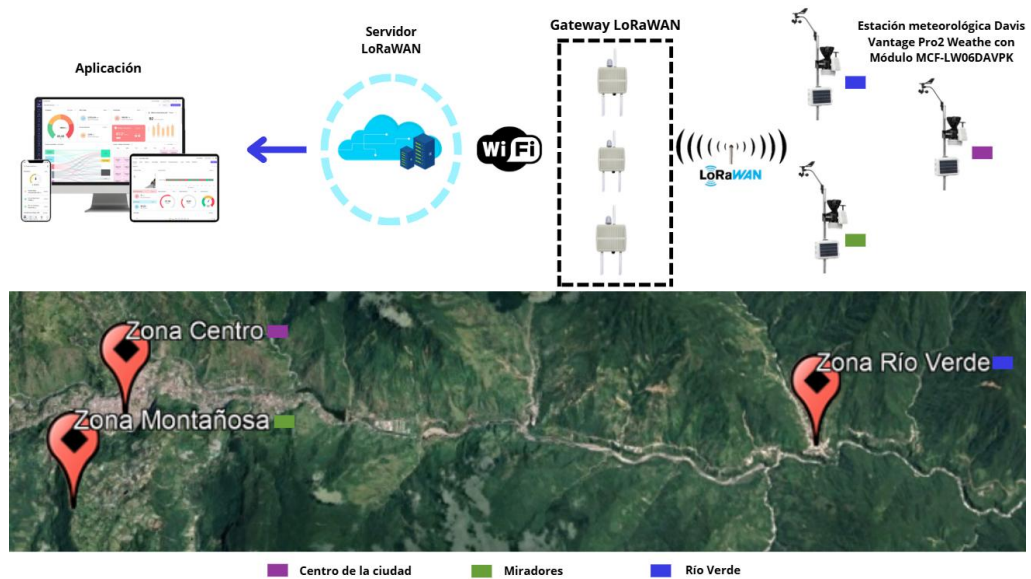


Figura 54. Esquema Subsistema IoT monitoreo ambiental

b. Monitoreo de afluencia Turística

La Figura 55, presenta la arquitectura propuesta para el sistema de monitoreo de afluencia de personas y tráfico vehicular. El sistema utiliza cámaras Hikvision DS-CD1623G2-LIZU instaladas en diferentes zonas estratégicas de Baños de Agua Santa, las cuales capturan imágenes y video en tiempo real para el análisis de movilidad peatonal y vehicular. El procesamiento de los datos se realiza mediante el kit de desarrollo NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer Kit utilizando el modelo de visión artificial YOLO, permitiendo detectar afluencia de personas. Luego, la información es enviada mediante conexión WiFi hacia el servidor y visualizada en dashboard para el monitoreo y análisis en tiempo real.

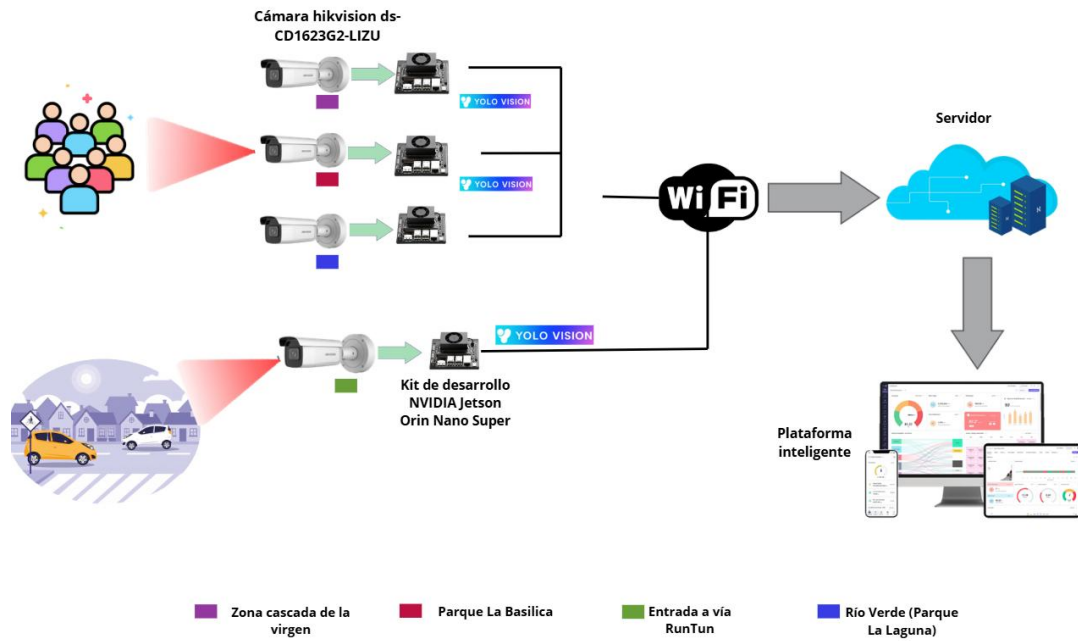


Figura 55. Esquema subsistema control de afluencia

c. *Parqueadero Inteligente*

La Figura 56, presenta la arquitectura propuesta para el sistema de parqueadero inteligente basado en tecnología LoRaWAN, diseñado para monitorear en tiempo real la disponibilidad de los espacios de parqueo. El sistema utiliza sensores LoRa PlacePod instalados en cada lugar de parqueo, los cuales detectan la presencia o ausencia de vehículos y transmiten la información mediante comunicación LoRa hacia una Gateway LoRaWAN. Luego los datos son enviados al servidor y procesados, permitiendo visualizar el estado de ocupación de los parqueaderos en tiempo real. Esta arquitectura permite optimizar la gestión del estacionamiento, reducir tiempos de búsqueda y mejorar la movilidad urbana en Baños de Agua Santa.

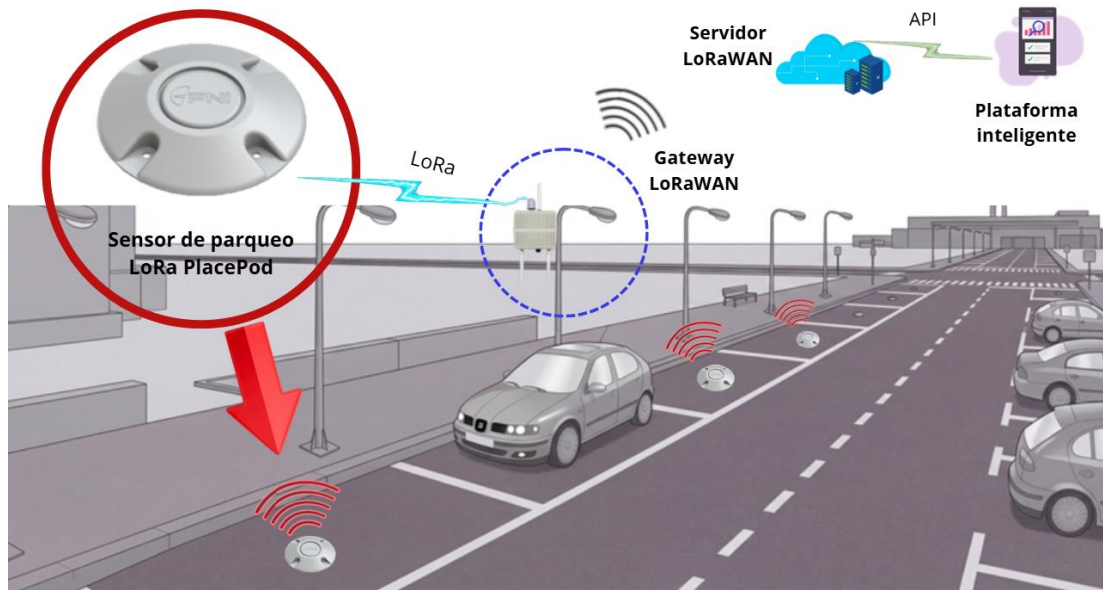


Figura 56. Esquema subsistema parqueadero inteligente

3.4 Modelado y Simulación

3.4.1 Radio Enlace

a. Comunicación inalámbrica entre Nodos y Gateway

Para la conexión por radio se diseña utilizando herramientas de simulación como el software Google Earth para determinar con mayor precisión las coordenadas geográficas de los distintos nodos del sistema. Una vez ya obtenidas la información de las ubicaciones se utiliza el software Radio Mobile, lo que es fundamental para determinar la viabilidad de la conexión inalámbrica. Con este software se garantizará que haya una línea de vista optima y clara entre dispositivos para así reducir las pérdidas por transmisión y recepción de datos para así garantizar una conexión eficaz y fiable.

Para el diseño de la red inalámbrica es necesario el cálculo de los siguientes parámetros que se muestran en la Tabla 57.

Tabla 57. Fórmulas de conexión inalámbrica

Parámetros	Formula
Frecuencia:	$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2}$
Zona de Fresnel:	$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2}$
Perdidas del espacio libre:	$F_{SL}(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 32.4$
Margen de desvanecimiento:	$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$
Potencia de recepción disponible:	$P_{Rx} = P_{Tx} - AL_{Tx} + G_{Tx} - F_{SL} + G_{Rx} - AL_{Rx}$
Margen de umbral:	$MU = P_{Rx} - S_r$

- **Conexión Zona centro**

En la Tabla 58, se detallan las coordenadas de los dispositivos de la zona centro de la estación meteorológica y de la Gateway, además de colocar una imagen satelital de los sitios anteriormente designados.

Tabla 58. Coordenadas de la zona centro

Zona Centro Urbana	Coordenadas		Imágenes Google Earth
Estación meteorológica Parque central	Latitud	-1.397882	
	Longitud	-78.42119	
Gateway Municipio	Latitud	-1.398051	
	Longitud	-78.42280	

En la Figura 57, se muestra una imagen satelital donde se puede observar la ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway en el centro de la ciudad. Esta representación ayuda a ver con una vista panorámica en donde están ubicados los dispositivos dentro del sistema, lo cual es importante para analizar y planificar el enlace de comunicación.

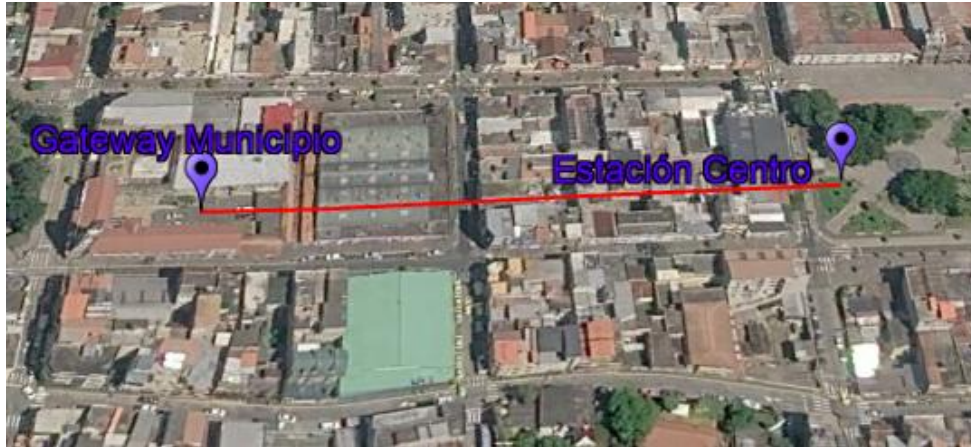


Figura 57. Ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway

En la Figura 58, se puede visualizar el perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y el Gateway de la zona centro. La información que proporciono el software Google Earth indica que la estación meteorológica que está ubicada en el parque central se encuentra a una altura de 1803 metros sobre el nivel del mar, mientras que la Gateway que se encuentra en el municipio se encuentra a una altura de 1806 metros sobre el nivel del mar, tienen una distancia de separación de 181 metros. Esta información es primordial para evaluar la viabilidad del enlace, considerando factores muy importantes como la línea de vista y posibles obstrucciones geográficas.

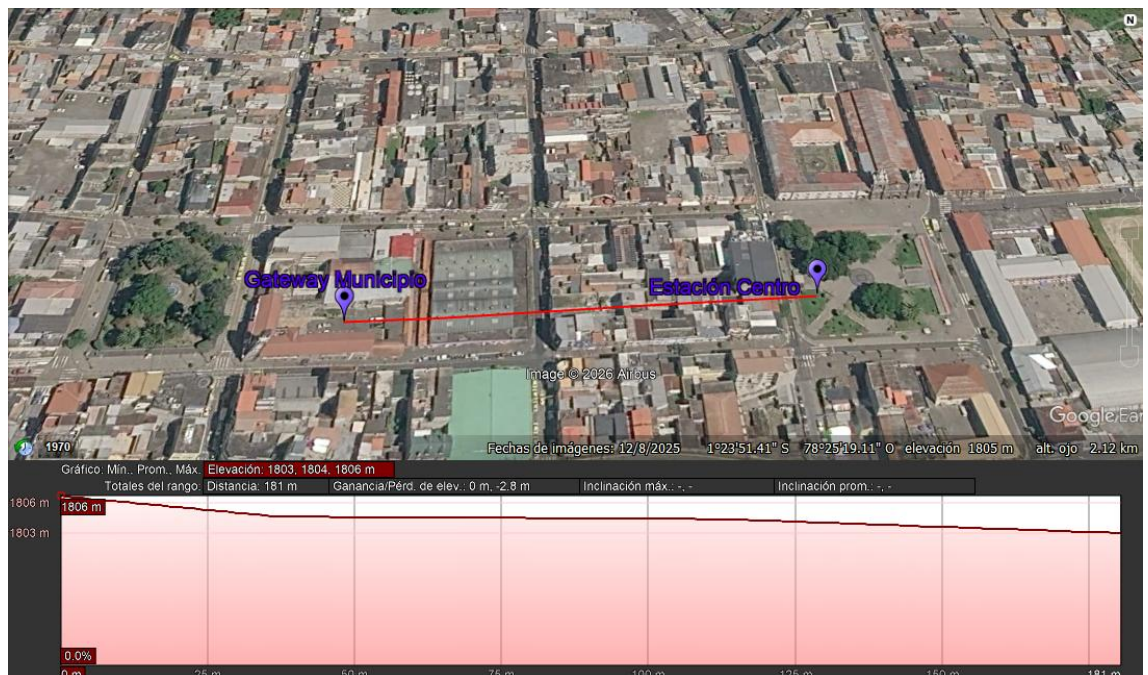


Figura 58. Perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y la Gateway de la zona centro

A continuación, se va a realizar los cálculos de las diferentes variables para verificar el correcto funcionamiento del radioenlace.

- **Frecuencia**

$$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2}$$

Donde:

f_{min} = frecuencia mínima (MHz)

f_{max} = frecuencia máxima (MHz)

$$f = \frac{902 \text{ MHz} + 928 \text{ MHz}}{2}$$

$$f = 915 \text{ MHz}$$

- **Zona de Fresnel**

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

Donde:

D = distancia (km)

f = frecuencia (GHz)

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{0,181 \text{ km}}{4(0,915 \text{ GHz})}}$$

$$r = 3,851 \text{ m}$$

$$r_1 = 0,6 * r$$

$$r_1 = 0,6 * 3,851 \text{ m}$$

$$r_1 = 2.31 \text{ m}$$

- **Pérdidas del espacio libre**

$$F_{SL}(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 32.4$$

Donde:

$d = \text{distancia (km)}$

$f = \text{frecuencia (MHz)}$

$$F_{SL}(dB) = 20 \log(0,181 \text{ km}) + 20 \log(915 \text{ MHz}) + 32.4$$

$$F_{SL}(dB) = 76,78 \text{ dB}$$

- **Margen de desvanecimiento**

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

d : distancia (km)

f : frecuencia (GHz)

R : confiabilidad del sistema la cual normalmente es del 99,9 %, por tanto, el valor es 0,9999

a : factor de rugosidad de la trayectoria en este caso vale 1.

b : factor para convertir la probabilidad de los meses en probabilidad, en este caso es 0,25

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 30 \log(0,181 \text{ km}) + 10 \log(6 * 1 * 0,25 * 0,915 \text{ GHz}) - 10 \log(1 - 0,9999) - 70$$

$$FM = -50,894 \text{ dB}$$

- **Potencia de recepción disponible**

$$P_{Rx} = P_{Tx} - AL_{Tx} + G_{Tx} - F_{SL} + G_{Rx} - AL_{Rx}$$

Donde:

P_{Tx} : potencia de la antena transmisora

AL_{Tx} : perdidas por cables y conectores en el transmisor

G_{Tx} : ganancia en el transmisor

F_{SL} : perdidas del espacio libre

G_{Rx} : ganancia en el receptor

AL_{Rx} : perdidas por cables y conectores en el receptor

$$P_{Rx} = 17 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - 76,78 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -50,78 \text{ dB}$$

- **Margen de Umbral**

$$MU = P_{Rx} - S_r$$

Donde:

S_r : sensibilidad del receptor

$$MU = -50,78 \text{ dB} - (-132 \text{ dB})$$

$$MU = 81,22 \text{ dB}$$

El rango de umbral debe ser igual o mayor que el rango de desvanecimiento para que la señal del transmisor llegue con precisión al receptor.

$$MU \geq FM$$

El resultado cumple que:

$$81,22 \text{ dB} \geq -50,894 \text{ dB}$$

Como resultado, se cumple el rango de umbral necesario para que la transmisión de la señal se realizara eficientemente.

- **Conexión Zona Montañosa**

En la Tabla 59, se detallan las coordenadas de los dispositivos que se encuentran en la zona montañosa de la ciudad, la estación meteorológica y de la Gateway, además de colocar una imagen satelital de los sitios anteriormente designados.

Tabla 59. Coordenadas de los dispositivos que se encuentran en la zona montañosa de la ciudad

Zona montañosa	Coordenadas		Imágenes Google Earth
Estación meteorológica Casa del árbol	Latitud	-1.417445	
	Longitud	-78.42547	
Gateway Villa Alegria	Latitud	-1.407472	
	Longitud	-78.41446	

En la Figura 59, se muestra una imagen satelital donde se puede observar la ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway en la parte montañosa de la ciudad. Esta representación ayuda a ver con una vista panorámica en donde están ubicados los

dispositivos dentro del sistema, lo cual es importante para analizar y planificar el enlace de comunicación.

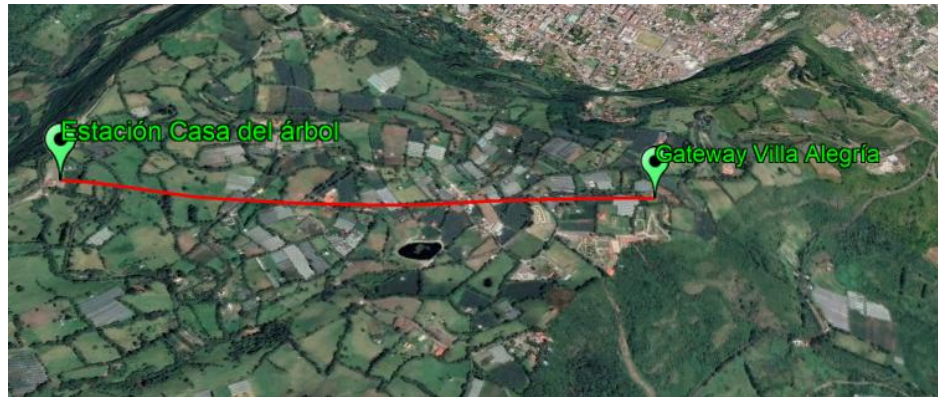


Figura 59. Ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway en la parte montañosa

En la Figura 60, se puede visualizar el perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y el Gateway de la zona montañosa. La información que proporciono el software Google Earth indica que la estación meteorológica que está ubicada en la casa del árbol que se encuentra a una altura de 2581 metros sobre el nivel del mar, mientras que la Gateway que se encuentra en Villa alegría se encuentra a una altura de 2284 metros sobre el nivel del mar, tienen una distancia de separación de 1,68 km. Esta información es primordial para evaluar la viabilidad del enlace, considerando factores muy importantes como la línea de vista y posibles obstrucciones geográficas.

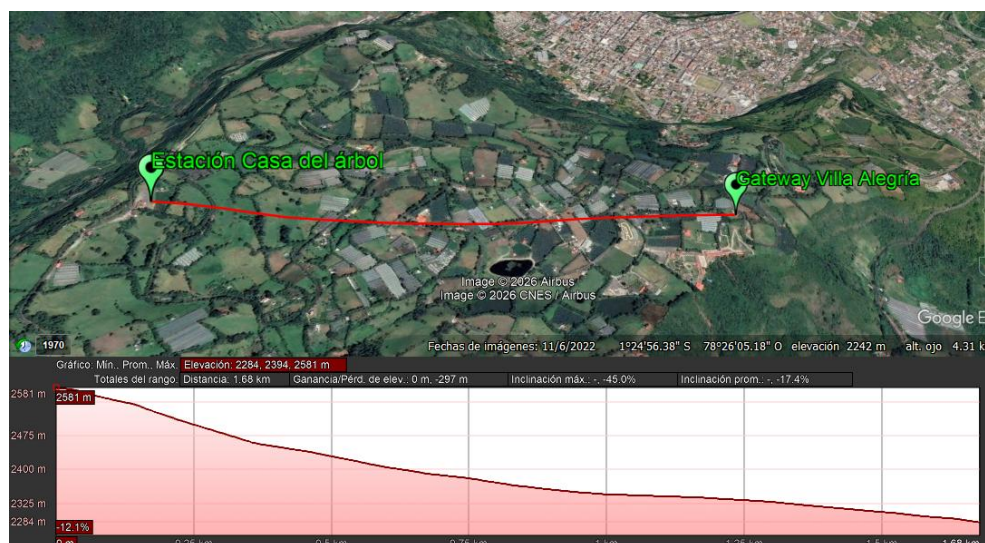


Figura 60. Perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y la Gateway de la zona montañosa

A continuación, se va a realizar los cálculos de las diferentes variables para verificar el correcto funcionamiento del radioenlace.

- **Frecuencia**

$$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2}$$

Donde:

f_{min} = frecuencia mínima (MHz)

f_{max} = frecuencia máxima (MHz)

$$f = \frac{902 \text{ MHz} + 928 \text{ MHz}}{2}$$

$$f = 915 \text{ MHz}$$

- **Zona de Fresnel**

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

Donde:

D = distancia (km)

f = frecuencia (GHz)

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{1,68 \text{ km}}{4(0,915 \text{ GHz})}}$$

$$r = 11.73 \text{ m}$$

$$r_1 = 0,6 * r$$

$$r_1 = 0,6 * 11,73 \text{ m}$$

$$r_1 = 7,038 \text{ m}$$

- **Pérdidas del espacio libre**

$$F_{SL}(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 32.4$$

Donde:

$d = \text{distancia (km)}$

$f = \text{frecuencia (MHz)}$

$$F_{SL}(dB) = 20 \log(1,68 \text{ km}) + 20 \log(915 \text{ MHz}) + 32,4$$

$$F_{SL}(dB) = 97,934 \text{ dB}$$

- **Margen de desvanecimiento**

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

d : distancia (km)

f : frecuencia (GHz)

R : confiabilidad del sistema la cual normalmente es del 99,9 %, por tanto, el valor es 0,9999

a : factor de rugosidad de la trayectoria en este caso vale 1.

b : factor para convertir la probabilidad de los meses en probabilidad, en este caso es 0,25

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 30 \log(1,68 \text{ km}) + 10 \log(6 * 1 * 0,25 * 0,915 \text{ GHz}) - 10 \log(1 - 0,9999) - 70$$

$$FM = -21,86 \text{ dB}$$

- **Potencia de recepción disponible**

$$P_{Rx} = P_{Tx} - AL_{Tx} + G_{Tx} - F_{SL} + G_{Rx} - AL_{Rx}$$

Donde:

P_{Tx} : potencia de la antena transmisora

AL_{Tx} : pérdidas por cables y conectores en el transmisor

G_{Tx} : ganancia en el transmisor

F_{SL} : pérdidas del espacio libre

G_{Rx} : ganancia en el receptor

AL_{Rx} : pérdidas por cables y conectores en el receptor

$$P_{Rx} = 17 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - 97,934 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -71,93 \text{ dB}$$

- **Margen de Umbral**

$$MU = P_{Rx} - S_r$$

Donde:

S_r : sensibilidad del receptor

$$MU = -71,93 \text{ dB} - (-132 \text{ dB})$$

$$MU = 60.07 \text{ dB}$$

El rango de umbral debe ser igual o mayor que el rango de desvanecimiento para que la señal del transmisor llegue con precisión al receptor.

$$MU \geq FM$$

El resultado cumple que:

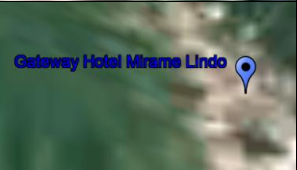
$$60.07 \text{ dB} \geq -21,86 \text{ dB}$$

Como resultado, se cumple el rango de umbral necesario para que la transmisión de la señal se realizara eficientemente.

- **Conexión Zona Río Verde**

En la Tabla 60, se detallan las coordenadas de los dispositivos que se encuentran en la zona de Río Verde del cantón, la estación meteorológica y de la Gateway, además se colocó una imagen satelital de los sitios anteriormente designados.

Tabla 60. Coordenadas de los dispositivos que se encuentran en la zona de Río Verde del cantón

Zona Río Verde	Coordendas		Imágenes Google Earth
Estación metereológica Parque la Laguna	Latitud	-1.402199	
	Longitud	-78.29865	
Gateway Hotel Mirame Lindo	Latitud	-1.400116	
	Longitud	-78.30015	

En la Figura 61, se muestra una imagen satelital donde se puede observar la ubicación de la estación meteorológica y el Gateway en la zona de Río Verde del cantón Baños. Esta representación ayuda a ver con una vista panorámica en donde están ubicados los dispositivos dentro del sistema, lo cual es importante para analizar y planificar el enlace de comunicación.



Figura 61. Ubicación de la estación meteorológica y de la Gateway en la zona de Río Verde

En la Figura 62, se puede visualizar el perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y el Gateway de la zona de Río Verde. La información que proporciono el software Google Earth indica que la estación meteorológica que está ubicada en el parque La Laguna que se encuentra a una altura de 1501 metros sobre el nivel del mar, mientras que la Gateway que se encuentra en el hotel Mirame Lindo se encuentra a una altura de 1507 metros sobre el nivel del mar, tienen una distancia de separación de 294 m. Esta información es primordial para evaluar la viabilidad del enlace, considerando factores muy importantes como la línea de vista y posibles obstrucciones geográficas. Para esta zona de Río Verde la vista satelital de Google Earth no se encuentra disponible.



Figura 62. Perfil de elevación correspondiente a la estación meteorológica y la Gateway de la zona de Río Verde

A continuación, se va a realizar los cálculos de las diferentes variables para verificar el correcto funcionamiento del radioenlace.

- **Frecuencia**

$$f = \frac{f_{min} + f_{max}}{2}$$

Donde:

f_{min} = frecuencia mínima (MHz)

f_{max} = frecuencia máxima (MHz)

$$f = \frac{902 \text{ MHz} + 928 \text{ MHz}}{2}$$

$$f = 915 \text{ MHz}$$

- **Zona de Fresnel**

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

Donde:

D = distancia (km)

$f = \text{frecuencia (GHz)}$

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{0,294 \text{ km}}{4(0,915 \text{ GHz})}}$$

$$r = 4,908 \text{ m}$$

$$r_1 = 0,6 * r$$

$$r_1 = 0,6 * 4,908 \text{ m}$$

$$r_1 = 2,9448 \text{ m}$$

- **Pérdidas del espacio libre**

$$F_{SL}(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 32.4$$

Donde:

$d = \text{distancia (km)}$

$f = \text{frecuencia (MHz)}$

$$F_{SL}(dB) = 20 \log(0,294 \text{ km}) + 20 \log(915 \text{ MHz}) + 32.4$$

$$F_{SL}(dB) = 80,99 \text{ dB}$$

- **Margen de desvanecimiento**

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

d : distancia (km)

f : frecuencia (GHz)

R : confiabilidad del sistema la cual normalmente es del 99,9 %, por tanto, el valor es 0,9999

a : factor de rugosidad de la trayectoria en este caso vale 1.

b : factor para convertir la probabilidad de los meses en probabilidad, en este caso es 0,25

$$FM = 30 \log(d) + 10 \log(6 * a * b * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$FM = 30 \log(0,294 \text{ km}) + 10 \log(6 * 1 * 0,25 * 0,915 \text{ GHz}) - 10 \log(1 - 0,9999) - 70$$

$$FM = -44,574 \text{ dB}$$

- **Potencia de recepción disponible**

$$P_{Rx} = P_{Tx} - AL_{Tx} + G_{Tx} - F_{SL} + G_{Rx} - AL_{Rx}$$

Donde:

P_{Tx} : potencia de la antena transmisora

AL_{Tx} : pérdidas por cables y conectores en el transmisor

G_{Tx} : ganancia en el transmisor

F_{SL} : pérdidas del espacio libre

G_{Rx} : ganancia en el receptor

AL_{Rx} : pérdidas por cables y conectores en el receptor

$$P_{Rx} = 17 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - 80,99 \text{ dB} + 5 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB}$$

$$P_{Rx} = -54,99 \text{ dB}$$

- **Margen de Umbral**

$$MU = P_{Rx} - S_r$$

Donde:

S_r : sensibilidad del receptor

$$MU = -54,99 \text{ dB} - (-132 \text{ dB})$$

$$MU = 77.01 \text{ dB}$$

El rango de umbral debe ser igual o mayor que el rango de desvanecimiento para que la señal del transmisor llegue con precisión al receptor.

$$MU \geq FM$$

El resultado cumple que:

$$77.01 \text{ dB} \geq -44,574 \text{ dB}$$

Como resultado, se cumple el rango de umbral necesario para que la transmisión de la señal se realizara eficientemente.

b. Simulación de los enlaces en el software Radio Mobile

Una vez realizado los cálculos matemáticos, es necesario utilizar software para verificar si la conexión de los distintos nodos funcione correctamente. En esta etapa

de simulación se validará la conexión entre los puntos de conexión y la exactitud de los cálculos que se realizó. La simulación se realiza en radio mobile en donde se introducen las coordenadas de cada zona, también las especificaciones de los módulos LoRa que sirven como antena.

- ***Zona Centro***

Para la correcta configuración de los módulos LoRa se utiliza el rango de frecuencias del ICM, Ecuador, el que se encuentra en la región el cual permite utilizar las frecuencias que van desde 902 MHz a 928 MHz para uso industrial [86]. Para este estudio se utilizó la frecuencia intermedia que es 915 MHz.

En la Figura 63, se visualiza un enlace de radiofrecuencia que conecta un nodo de sensores con una estación Gateway LoRa. La estación meteorológica, representada en color celeste, se encuentra ubicada en el parque central de Baños de Agua Santa, mientras que la gateway, representada en color morado, está localizada en el municipio de la ciudad. Este tipo de enlace es característico de la tecnología LoRaWAN, la cual es ampliamente utilizada para comunicaciones de bajo consumo energético y largo alcance, especialmente en entornos montañosos. La presencia de distintos colores en el mapa generado en Radio Mobile representa las variaciones de altitud del terreno, lo cual indica posibles obstrucciones geográficas que podrían afectar la línea de vista entre los dispositivos.

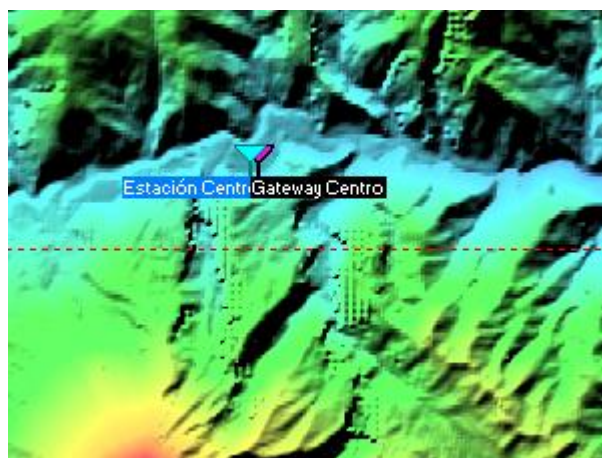


Figura 63. Radioenlace centro de Baños de Agua Santa

Configuración de los nodos

Se ingresan los datos al software para la configuración de cada radio enlace, para ello en la Tabla 61, se detallan los parámetros y su valor:

Tabla 61. Valores de cada radioenlace

Parámetros	Valores
Perdidas de la línea	0.5 dB
Ganancia de la antena	5 dB
Frecuencia máxima	928 dB
Frecuencia mínima	902 MHz
Potencia del transmisor	17 dBm
Umbral del receptor	-132 dBm
Altura de la antena	Emisor 3m; Receptor 10 m
Tipo de antena	Omnidireccional

Se ingresaron los valores en los parámetros en la ventana propiedades de redes. Es necesario agregar en la lista los diferentes puntos como se muestra en la Figura 64 y en la Figura 65, para tener en claro que nodo se va a colocar.

Figura 64. Parámetros del radioenlace Estación Centro

Propiedades de las redes

Lista de todas las redes

- Estación centro
- Gateway Centro
- Red 3
- Red 4
- Red 5
- Red 6
- Red 7
- Red 8
- Red 9
- Red 10
- Red 11
- Red 12
- Red 13
- Red 14
- Red 15
- Red 16
- Red 17
- Red 18
- Red 19
- Red 20
- Red 21
- Red 22
- Red 23
- Red 24
- Red 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros Sistemas Estilo

Nombre de la red: Estación centro

Frecuencia mínima (MHz): 902

Frecuencia máxima (MHz): 928

Polarización: ☒ Vertical ☐ Horizontal

Modo estadístico: ☒ Intento ☐ Accidental ☐ Móvil ☐ Difusión

% de tiempo: 50

% de ubicaciones: 50

% de situaciones: 70

Refractividad de la superficie (Unidades-N): 301

Conductividad del suelo (S/m): 0.005

Permitividad relativa al suelo: 15

Clima: ☐ Ecuatorial ☐ Continental sub-tropical ☐ Marítimo sub-tropical ☐ Desierto ☒ Continental templado ☐ Marítimo templado sobre la tierra ☐ Marítimo templado sobre el mar

Figura 65. Parámetros del radioenlace Gateway Centro

Como se puede visualizar en la Figura 66 y en la Figura 67 se configura los parámetros técnicos del sistema transmisor-receptor, para la estación y el Gateway del centro de Baños.

Propiedades de las redes

Lista de todos los sistemas

- Estación Centro
- Gateway Centro
- Sistema 3
- Sistema 4
- Sistema 5
- Sistema 6
- Sistema 7
- Sistema 8
- Sistema 9
- Sistema 10
- Sistema 11
- Sistema 12
- Sistema 13
- Sistema 14
- Sistema 15
- Sistema 16
- Sistema 17
- Sistema 18
- Sistema 19
- Sistema 20
- Sistema 21
- Sistema 22
- Sistema 23
- Sistema 24
- Sistema 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Selecccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema: Estación Centro

Potencia del Transmisor (Watt): 0.05 (dBm): 17

Umbral del receptor (μV): 0.0562 (dBm): -132

Pérdida de la línea (dB): 0.5 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena: omni.ant Ver

Ganancia de antena (dBi): 2 (dBd): -0.15

Altura de antena (m): 3 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m): 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Figura 66. Parámetros de los sistemas Estación Centro

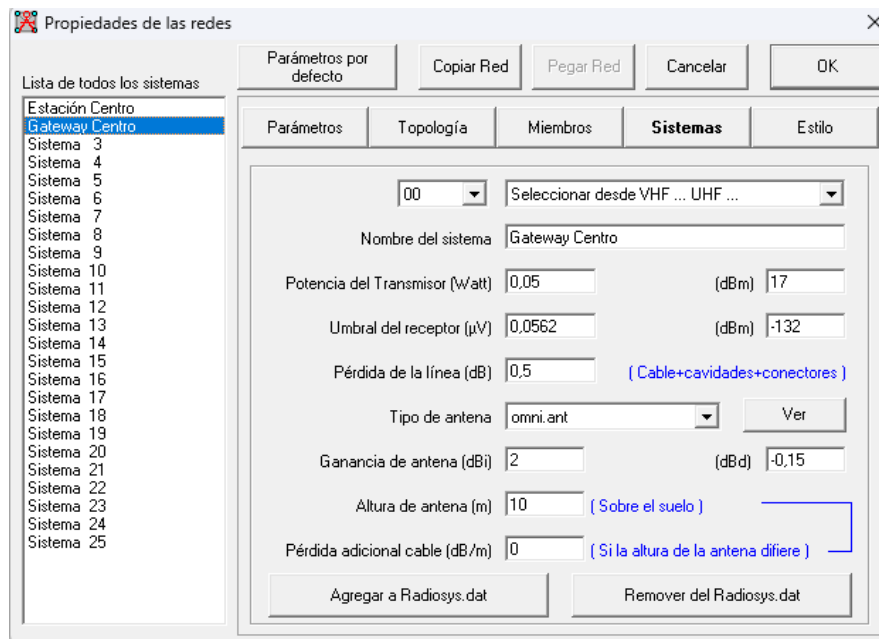


Figura 67. Parámetros de los sistemas Gateway Centro

En la Figura 68, se puede visualizar la estación y el Gateway del centro de la ciudad. El enlace presenta una distancia de 0,19 km con una buena elevación con un ángulo de 3,167° lo que asegura línea de vista directa sin obstrucciones.

El sistema opera en el rango de frecuencias de 902-928 MHz, lo que es adecuado para LoRa. La pérdida por trayectoria es de 84,2 dB mientras que la potencia radiada equivalente (PIRE) es de 0,07 W. El campo eléctrico recibido es de 2,93 dBµV/m, con un nivel de recepción de 64,2 dBm, que está por encima del umbral de sensibilidad del receptor que es de -132 dBm, generando una señal- ruido relativo de 67,8 dB, esto indica que es un enlace muy confiable.

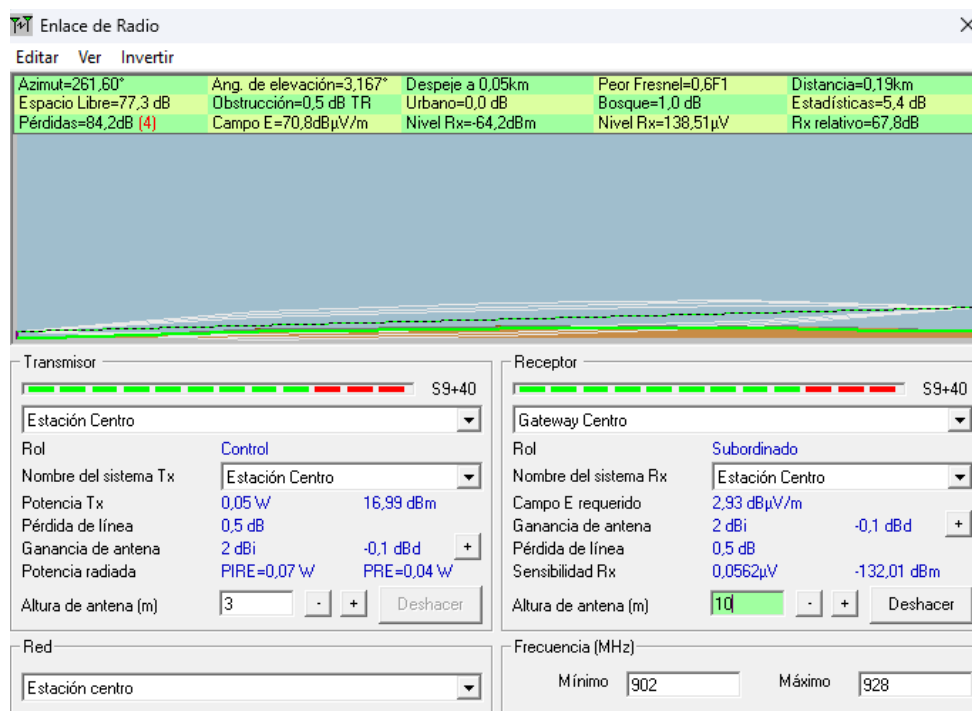


Figura 68. Resultados del radioenlace

- **Zona Montañosa**

En la Figura 69, se visualiza un enlace de radiofrecuencia que conecta un nodo de sensores con una estación Gateway LoRa. La estación meteorológica, representada en color celeste, se encuentra ubicada en la zona montañosa específicamente en la casa del árbol de Baños de Agua Santa, mientras que la gateway, representada en color morado, está localizada en el Villa Alegría. Este tipo de enlace es característico de la tecnología LoRaWAN, la cual es ampliamente utilizada para comunicaciones de bajo consumo energético y largo alcance, especialmente en entornos montañosos. La presencia de distintos colores en el mapa generado en Radio Mobile representa las variaciones de altitud del terreno, lo cual indica posibles obstrucciones geográficas que podrían afectar la línea de vista entre los dispositivos.



Figura 69. Enlace de radiofrecuencia zona montañosa

Configuración de los nodos

Se ingresan los datos al software para la configuración de cada radio enlace, para ello en la Tabla 62, se detallan los parámetros y su valor:

Tabla 62. Datos del radioenlace

Parámetros	Valores
Perdidas de la línea	0.5 dB
Ganancia de la antena	5 dB
Frecuencia máxima	928 dB
Frecuencia mínima	902 MHz
Potencia del transmisor	17 dBm
Umbral del receptor	-132 dBm
Altura de la antena	Emisor 7m; Receptor 10 m
Tipo de antena	Omnidireccional

Se ingresaron los valores en los parámetros en la ventana Propiedades de redes. Es necesario agregar en la lista los diferentes puntos como se muestra en la Figura 70 y en la Figura 71, para tener en claro que nodo se va a colocar.

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' dialog box with the 'Estación Montaña' network selected in the list on the left. The 'Parámetros' tab is active, displaying the following settings:

- Nombre de la red:** Estación Montaña
- Frecuencia mínima (MHz):** 902
- Frecuencia máxima (MHz):** 928
- Polarización:** ☒ Vertical, ☐ Horizontal
- Modo estadístico:**
 - ☒ Intento: % de tiempo 50
 - ☐ Accidental: % de ubicaciones 50
 - ☐ Móvil: % de situaciones 70
 - ☐ Difusión
- Refractividad de la superficie (Unidades-N):** 301
- Conductividad del suelo (S/m):** 0,005
- Permitividad relativa al suelo:** 15
- Clima:**
 - ☐ Ecuatorial
 - ☐ Continental sub-tropical
 - ☐ Marítimo sub-tropical
 - ☐ Desierto
 - ☒ Continental templado
 - ☐ Marítimo templado sobre la tierra
 - ☐ Marítimo templado sobre el mar

Figura 70. Parámetros de la Estación de zona montañosa

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' dialog box with the 'Gateway Montaña' network selected in the list on the left. The 'Parámetros' tab is active, displaying the following settings:

- Nombre de la red:** Gateway Montaña
- Frecuencia mínima (MHz):** 902
- Frecuencia máxima (MHz):** 928
- Polarización:** ☒ Vertical, ☐ Horizontal
- Modo estadístico:**
 - ☒ Intento: % de tiempo 50
 - ☐ Accidental: % de ubicaciones 50
 - ☐ Móvil: % de situaciones 70
 - ☐ Difusión
- Refractividad de la superficie (Unidades-N):** 301
- Conductividad del suelo (S/m):** 0,005
- Permitividad relativa al suelo:** 15
- Clima:**
 - ☐ Ecuatorial
 - ☐ Continental sub-tropical
 - ☐ Marítimo sub-tropical
 - ☐ Desierto
 - ☒ Continental templado
 - ☐ Marítimo templado sobre la tierra
 - ☐ Marítimo templado sobre el mar

Figura 71. Parámetros de la Gateway de zona montañosa

Como se puede visualizar en la Figura 72 y en la Figura 73 se configura los parámetros técnicos del sistema transmisor-receptor, para la estación y el Gateway de la zona montañosa de Baños.

Propiedades de las redes

Lista de todos los sistemas

- Estación Centro
- Gateway Centro
- Estación Montaña**
- Gateway Montaña
- Sistema 5
- Sistema 6
- Sistema 7
- Sistema 8
- Sistema 9
- Sistema 10
- Sistema 11
- Sistema 12
- Sistema 13
- Sistema 14
- Sistema 15
- Sistema 16
- Sistema 17
- Sistema 18
- Sistema 19
- Sistema 20
- Sistema 21
- Sistema 22
- Sistema 23
- Sistema 24
- Sistema 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Seleccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema Estación Montaña

Potencia del Transmisor (Watt) 0,05 (dBm) 17

Umbral del receptor (µV) 0,0562 (dBm) -132

Pérdida de la línea (dB) 0,5 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena omni.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 2 (dBd) -0,15

Altura de antena (m) 7 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Figura 72. Parámetros del sistema de la Estación de zona montañosa

Propiedades de las redes

Lista de todos los sistemas

- Estación Centro
- Gateway Centro
- Estación Montaña
- Gateway Montaña**
- Sistema 5
- Sistema 6
- Sistema 7
- Sistema 8
- Sistema 9
- Sistema 10
- Sistema 11
- Sistema 12
- Sistema 13
- Sistema 14
- Sistema 15
- Sistema 16
- Sistema 17
- Sistema 18
- Sistema 19
- Sistema 20
- Sistema 21
- Sistema 22
- Sistema 23
- Sistema 24
- Sistema 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Seleccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema Gateway Montaña

Potencia del Transmisor (Watt) 0,05 (dBm) 17

Umbral del receptor (µV) 0,0562 (dBm) -132

Pérdida de la línea (dB) 0,5 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena omni.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 2 (dBd) -0,15

Altura de antena (m) 10 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Figura 73. Parámetros del sistema de la Gateway de zona montañosa

En la Figura 74, se puede visualizar la estación y el Gateway del centro de la ciudad. El enlace presenta una distancia de 1,65 km con una buena elevación con un ángulo de -10° , lo que asegura línea de vista directa sin obstrucciones.

El sistema opera en el rango de frecuencias de 902-928 MHz, lo que es adecuado para LoRa. La pérdida por trayectoria es de 103,7 dB mientras que la potencia radiada equivalente (PIRE) es de 0,07 W. El campo eléctrico recibido es de 2,93 dBμV/m, con un nivel de recepción de -83,7 dBm, que está por encima del umbral de sensibilidad del receptor que es de -132 dBm, generando una señal- ruido relativo de 48,3 dB, esto indica que es un enlace muy confiable.

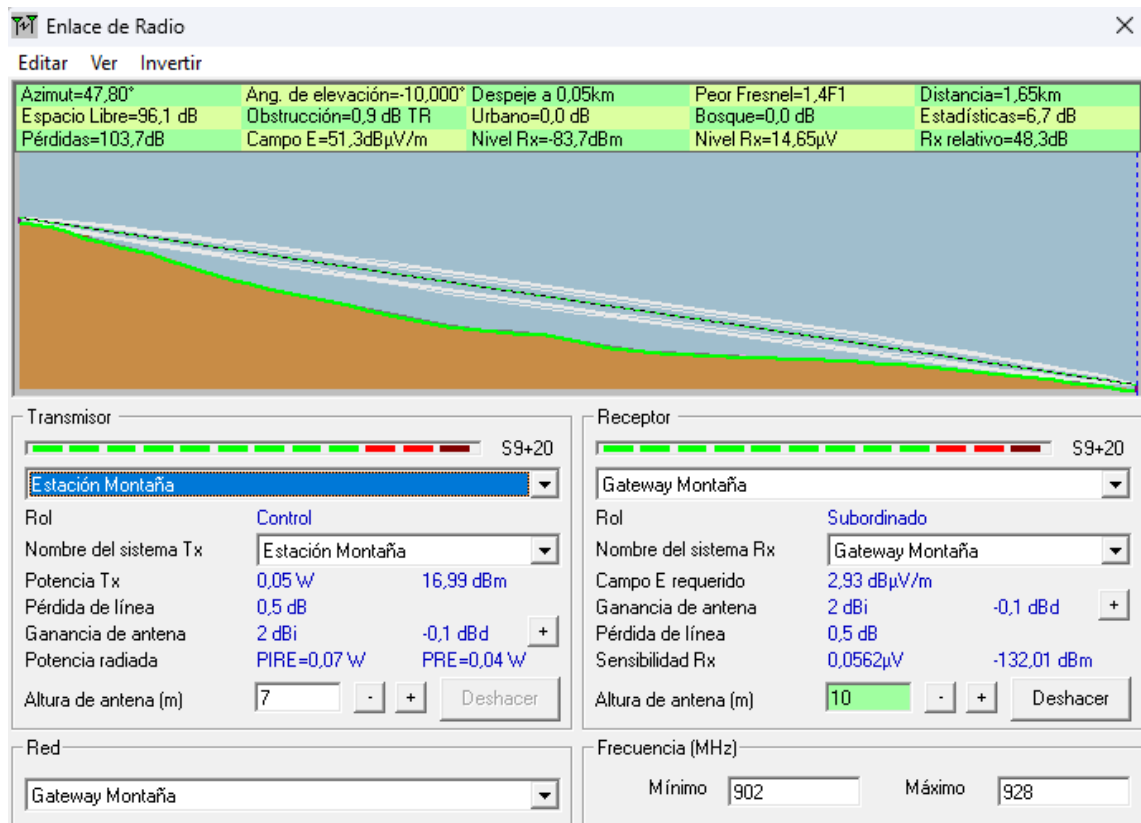


Figura 74. Resultados del radioenlace zona montañosa

- **Zona Río Verde**

En la Figura 75, se visualiza un enlace de radiofrecuencia que conecta un nodo de sensores con una estación Gateway LoRa. La estación meteorológica, representada en color celeste, se encuentra ubicada en la zona Río Verde específicamente el parque La Laguna, mientras que la gateway, representada en color morado, está localizada en el hotel Mirame Lindo. Este tipo de enlace es característico de la tecnología LoRaWAN, la cual es ampliamente utilizada para comunicaciones de bajo consumo energético y largo alcance, especialmente en entornos montañosos. La presencia de distintos colores en el mapa generado en Radio Mobile representa las variaciones de altitud del

terreno, lo cual indica posibles obstrucciones geográficas que podrían afectar la línea de vista entre los dispositivos.



Figura 75. Enlace de radiofrecuencia zona Río Verde

Configuración de los nodos

Se ingresan los datos al software para la configuración de cada radio enlace, para ello en la Tabla 63, se detallan los parámetros y su valor:

Tabla 63. Datos de la configuración del radioenlace

Parámetros	Valores
Perdidas de la línea	0.5 dB
Ganancia de la antena	5 dB
Frecuencia máxima	928 dB
Frecuencia mínima	902 MHz
Potencia del transmisor	17 dBm
Umbral del receptor	-132 dBm
Altura de la antena	Emisor 7m; Receptor 10 m
Tipo de antena	Omnidireccional

Se ingresaron los valores en los parámetros en la ventana Propiedades de redes. Es necesario agregar en la lista los diferentes puntos como se muestra en la Figura 76 y en la Figura 77, para tener en claro que nodo se va a colocar.

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' dialog box with the 'Estación Río Verde' network selected in the list on the left. The 'Parámetros' tab is active, displaying the following settings:

- Nombre de la red:** Estación Río Verde
- Frecuencia mínima (MHz):** 902
- Frecuencia máxima (MHz):** 928
- Polarización:** Vertical (selected), Horizontal
- Modo estadístico:**
 - Intento (selected): % de tiempo 50
 - Accidental: % de ubicaciones 50
 - Móvil: % de situaciones 70
 - Difusión
- Refractividad de la superficie (Unidades-N):** 301
- Conductividad del suelo (S/m):** 0.005
- Permitividad relativa al suelo:** 15
- Clima:**
 - Ecuatorial
 - Continental sub-tropical
 - Marítimo sub-tropical
 - Desierto
 - Continental templado (selected)
 - Marítimo templado sobre la tierra
 - Marítimo templado sobre el mar

Figura 76. Valores de los parámetros de la Estación zona Río Verde

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' dialog box with the 'Gateway Río Verde' network selected in the list on the left. The 'Parámetros' tab is active, displaying the following settings:

- Nombre de la red:** Gateway Río Verde
- Frecuencia mínima (MHz):** 902
- Frecuencia máxima (MHz):** 928
- Polarización:** Vertical (selected), Horizontal
- Modo estadístico:**
 - Intento (selected): % de tiempo 50
 - Accidental: % de ubicaciones 50
 - Móvil: % de situaciones 70
 - Difusión
- Refractividad de la superficie (Unidades-N):** 301
- Conductividad del suelo (S/m):** 0.005
- Permitividad relativa al suelo:** 15
- Clima:**
 - Ecuatorial
 - Continental sub-tropical
 - Marítimo sub-tropical
 - Desierto
 - Continental templado (selected)
 - Marítimo templado sobre la tierra
 - Marítimo templado sobre el mar

Figura 77. Valores de los parámetros de la Gateway zona Río Verde

Como se puede visualizar en la Figura 78 y en la Figura 79 se configura los parámetros técnicos del sistema transmisor-receptor, para la estación y el Gateway de la Río Verde de Baños de Agua Santa.

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' window with the 'Sistemas' tab selected. The 'Lista de todos los sistemas' on the left includes 'Estación Río Verde', which is highlighted. The main panel displays the following parameters for 'Estación Río Verde':

Parámetro	Valor	Unidad	Comentarios
Nombre del sistema	Estación Río Verde		
Potencia del Transmisor (Watt)	0.05	(dBm) 17	
Umbral del receptor (µV)	0.0562	(dBm) -132	
Pérdida de la línea (dB)	0.5		(Cable+cavidades+conectores)
Tipo de antena	omni.ant		Ver
Ganancia de antena (dBi)	2	(dBd) -0.15	
Altura de antena (m)	7		(Sobre el suelo)
Pérdida adicional cable (dB/m)	0		(Si la altura de la antena difiere)

Buttons at the bottom: 'Agregar a Radiosys.dat' and 'Remover del Radiosys.dat'.

Figura 78. Valores de los parámetros del sistema la Estación zona Río Verde

The screenshot shows the 'Propiedades de las redes' window with the 'Sistemas' tab selected. The 'Lista de todos los sistemas' on the left includes 'Gateway Río Verde', which is highlighted. The main panel displays the following parameters for 'Gateway Río Verde':

Parámetro	Valor	Unidad	Comentarios
Nombre del sistema	Gateway Río Verde		
Potencia del Transmisor (Watt)	0.05	(dBm) 17	
Umbral del receptor (µV)	0.0562	(dBm) -132	
Pérdida de la línea (dB)	0.5		(Cable+cavidades+conectores)
Tipo de antena	omni.ant		Ver
Ganancia de antena (dBi)	2	(dBd) -0.15	
Altura de antena (m)	10		(Sobre el suelo)
Pérdida adicional cable (dB/m)	0		(Si la altura de la antena difiere)

Buttons at the bottom: 'Agregar a Radiosys.dat' and 'Remover del Radiosys.dat'.

Figura 79. Valores de los parámetros del sistema la Gateway zona Río Verde

En la Figura 80, se puede visualizar la estación y el Gateway del centro de la ciudad. El enlace presenta una distancia de 0,29 km con una buena elevación con un ángulo de 1,809°, lo que asegura línea de vista directa sin obstrucciones.

El sistema opera en el rango de frecuencias de 902-928 MHz, lo que es adecuado para LoRa. La pérdida por trayectoria es de 87,8 dB mientras que la potencia radiada

equivalente (PIRE) es de 0,07 W. El campo eléctrico recibido es de 2,93 dB μ V/m, con un nivel de recepción de -67,8 dBm, que está por encima del umbral de sensibilidad del receptor que es de -132 dBm, generando una señal- ruido relativo de 64,2 dB, esto indica que es un enlace muy confiable.

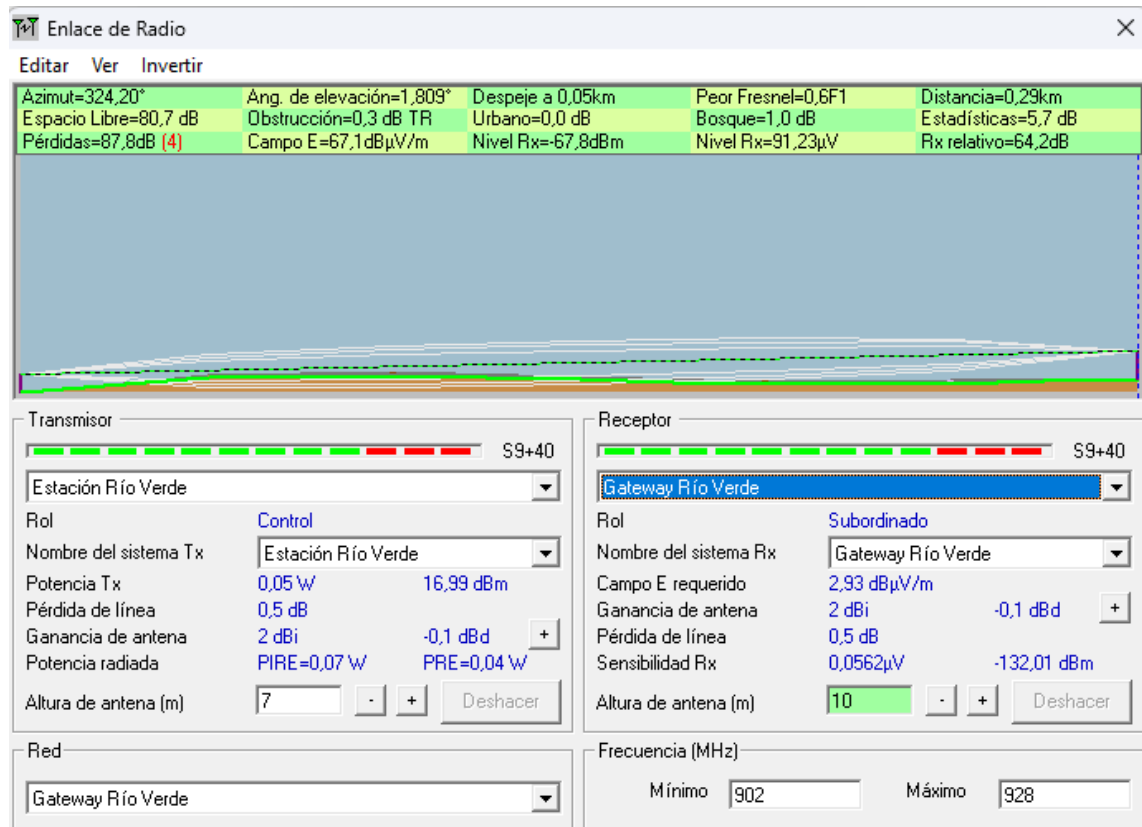


Figura 80. Resultados del radioenlace zona Río Verde

3.4.2 Simulación y validación de redes

Para las simulaciones de la comunicación con LoRaWAN de las estaciones meteorológicas y el parqueadero inteligente se utilizó el software CupCarbon, que permite modelar y simular redes de sensores inalámbricos, arquitecturas e infraestructuras IoT en entornos reales mediante mapas geográficos. CupCarbon ayuda en la representación del comportamiento de los nodos sensores y del Gateway, la comunicación entre dispositivos y la transmisión de datos de la red. En la Tabla 64, se puede visualizar los comandos que se utiliza en CupCarbon, para envío y recepción de datos [123].

Tabla 64. Comandos básicos de CupCarbon

Envío de datos (Transmitter)		Recepción de datos (Receiver)	
Comando	Función	Comando	Función
delay 1000	Espera 1 segundo antes de iniciar	loop	Ejecuta el programa continuamente
loop	Repite continuamente las instrucciones	wait	El nodo queda esperando la llegada del mensaje
send (trama) 2	Envía la trama hacia la Gateway	read v	Cuando llega el mensaje lo lee y lo guarda en la variable v
delay 5000	Espera 5 segundos antes de volver a transmitir	mark v	Muestra el contenido de la variable v. Sive para visualizar el dato que recibió el nodo.

Para la correcta simulación de envío y recepción de datos en la red es necesario especificar en el software de simulación la longitud de las tramas de datos de los nodos sensores. A continuación, se detalla el número de bytes que generan los nodos de las estaciones meteorológicas y los nodos del parqueadero:

- Número de Bytes de los nodos de las estaciones meteorológicas:** La trama que envía la estación meteorológica es: 2512801805006101220259999 (25 Bytes) dentro de la trama incluye las variables meteorológicas, tiempo y batería. Una vez que la trama llega al Gateway se va a visualizar de la siguiente manera:
TEM=25;VEL=12;HUM=80;DIR=180;RAD=500;UV=6;PRE=1012;TIM=2025;CHK=9999.
- Número de Bytes de los nodos del parqueadero:** Los nodos sensores del sistema de parqueadero inteligente tienen el siguiente tamaño de trama: 01285702025 (11 Bytes) dentro de la trama incluye identificador del nodo, nivel de batería, intensidad de señal recibida (RSSI), estado de ocupación del parqueadero y un espacio para colocar fecha y hora. Una vez que la trama llega al Gateway se va a visualizar de la siguiente manera: ID=01;BAT=28;RSSI=-57;EST=OCUPADO;AÑO=2025. A continuación, se realizan los cálculos correspondientes para verificar la concordancia entre los cálculos teóricos y los obtenidos en la simulación.

Total, de Bytes y paquetes enviados

Número de sensores: 15 de parqueo y 1 estación meteorológica.

Número de Bytes: 11 se sensores de parqueo y 25 de estación meteorológica

Tiempo: 1800 segundos

Tiempo de transmisión: Cada 5 segundos

$$\text{Paquetes enviados} = \frac{1800}{5} = 360 \text{ paquetes}$$

$$\text{Parqueo} = 15 * 11 = 165 \text{ Bytes}$$

$$\text{Estación} = 1 * 25 = 25 \text{ Bytes}$$

$$\text{Total} = 165 + 25 = 190 \text{ Bytes cada envío}$$

$$\text{Total} = 190 * 360 = 68400 \text{ Bytes}$$

a. Escenario 1: Spreading Factor

El siguiente escenario de prueba se realiza para analizar el comportamiento de la red y conectividad al cambiar el Spreading Factor. Este factor un parámetro de la tecnología LoRa que determina la forma que los datos son transmitidos por la señal inalámbrica, su función principal es controlar la relación alcance de comunicación y velocidad de transmisión. El tiempo de simulación es de una hora, tiempo adecuado para tener resultados más precisos. Para realizar el análisis del Spreading Factor (SF), relación de la velocidad de transmisión de los datos y el alcance de la comunicación, se tomó en cuenta las tasas de transmisión aproximadas de LoRaWAN mientras que los radios fueron definidos para fines de la simulación, para ver exactamente el comportamiento de las diferentes configuraciones del Spreading Factor. A continuación, en la Tabla 65, se visualiza las configuraciones de los diferentes Spreading Factor.

Tabla 65. Resultados de las simulaciones

Spreading Factor	DR (bps) 125 kHz/ Simulación	Radio de simulación
SF7	5468 bps / 100000 bps	500 m
SF8	3125 bps / 50000 bps	1000 m
SF9	1758 bps / 10000 bps	2000 m
SF10	977 bps / 5000 bps	3000 m
SF11	537 bps / 1000 bps	4000 m
SF12	293 500 bps	5000 m

- ***Zona Centro – Monitoreo Ambiental***

A continuación, se visualiza en las Figuras 81, 82, 83, 84, 85 y 86 los Spreading Factor, de las simulaciones realizadas en la Zona Centro.

Spreading Factor 7



Figura 81. Spreading Factor 7

Spreading Factor 8



Figura 82. Spreading Factor 8

Spreading Factor 9



Figura 83. Spreading Factor 9

Spreading Factor 10



Figura 84. Spreading Factor 10

Spreading Factor 11



Figura 85. Spreading Factor 11

Spreading Factor 12



Figura 86. Spreading Factor 12

En la Tabla 66, se puede visualizar los resultados de las diferentes simulaciones permitiendo evidenciar la influencia del Spreading Factor sobre el comportamiento y rendimiento de la red LoRa. Se observó que valores bajos de SF, como SF7, proporciona una mayor velocidad de transmisión y menor tiempo en el aire, siendo adecuado para entornos urbanos de corta distancia donde existen buena cobertura de nodos y Gateway. En la zona centro de Baños de Agua Santa, SF7 logró una comunicación completamente estable y sin pérdidas de paquetes priorizando la velocidad de los datos. Mientras que con SF9, SF10, SF11 y SF12, se alcanza tasas de

recepción cercanas al 100%, pero se reduce la velocidad de transmisión y aumenta el tiempo en el aire de los paquetes, provocando una menor eficiencia temporal de la red.

Tabla 66. Resultados de las simulaciones

Spreading Factor	Mensajes enviados/ Bytes enviados	Mensajes recibidos/ Bytes recibidos	Mensajes perdidos	Cobertura	Velocidad de transmisión	Interpretación
SF7	720 / 18000	720 / 18000	0	Baja	Muy alta	Comunicación estable en distancias cortas y entorno urbano
SF8	720 / 18000	720 / 18000	0	Media	Alta	Comunicación eficiente y sin pérdidas
SF9	720 / 18000	720 / 18000	0	Media-alta	Media	Buen equilibrio entre velocidad y cobertura
SF10	720 / 18000	720 / 18000	0	Alta	Media- Baja	Mayor cobertura y comunicación estable
SF11	720 / 18000	720 / 18000	0	Muy alta	Baja	Comunicación muy robusta y estable
SF12	720 / 18000	719 / 17975	0	Máxima	Muy baja	Máxima cobertura con mayor tiempo en el aire

- ***Zona Montañosa – Monitoreo Ambiental***

A continuación, se visualiza en las Figuras 87, 88, 89, 90, 91 y 92 las simulaciones realizadas en la Zona Montañosa con los diferentes Spreading Factor.

Spreading Factor 7

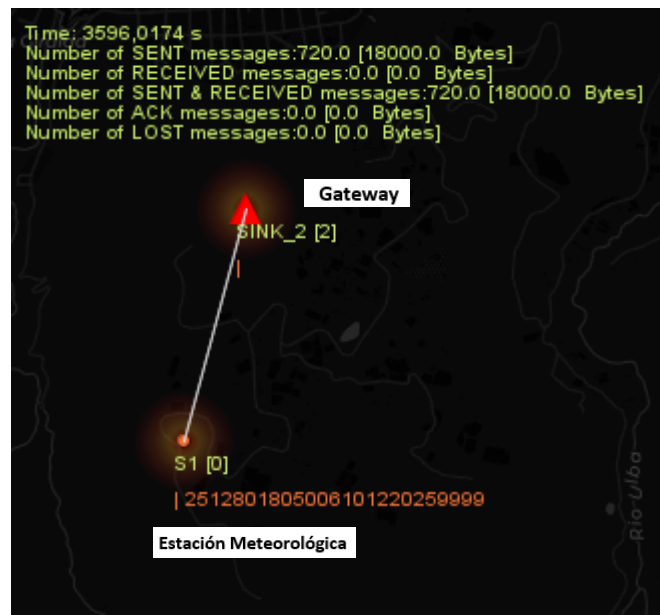


Figura 87. Spreading Factor 7

Spreading Factor 8



Figura 88. Spreading Factor 8

Spreading Factor 9



Figura 89. Spreading Factor 9

Spreading Factor 10



Figura 90. Spreading Factor 10

Spreading Factor 11

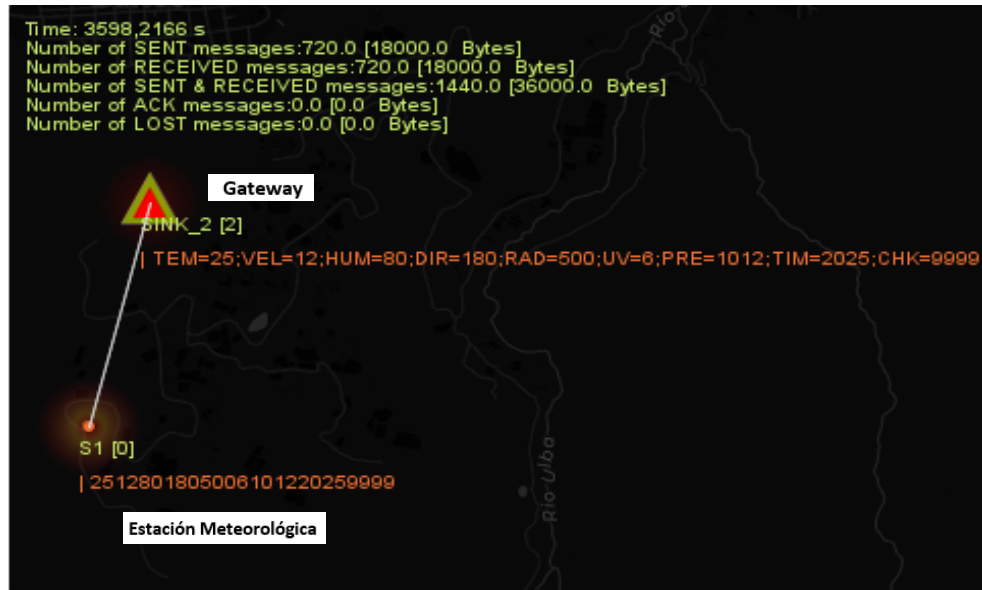


Figura 91. Spreading Factor 11

Spreading Factor 12



Figura 92. Spreading Factor 12

En la Tabla 67, se puede visualizar que al configurar el enlace con SF7, la red presentó ausencia total de paquetes recibidos debido al menor alcance de este Spreading Factor. Aunque se generaron 720 mensajes durante la simulación, ninguno fue recibido por la

gateway, lo que evidencia que SF7 no es adecuado para enlaces de mayor distancia o condiciones geográficas complejas. En comparación, SF12 ofrece mayor cobertura y mejor estabilidad, aunque con menor velocidad de transmisión. Para esta zona se seleccionó un Spreading Factor 10 debido a la distancia, y la priorización de la cobertura y estabilidad. Esta configuración permite mantener enlaces confiables en zonas montañosas de Baños de Agua Santa, garantizando una recepción estable de los datos sin incrementar excesivamente el tiempo en aire de los paquetes. Asimismo, se utilizó un Data Rate de 5000 bps para mejorar la robustez de la comunicación frente a posibles interferencias del entorno geográfico.

Tabla 67. Resultado de las simulaciones

Spreading Factor	Mensajes enviados / Bytes enviados	Mensajes recibidos / Bytes recibidos	Mensajes perdidos	Cobertura	Velocidad de transmisión	Interpretación
SF7	720 / 18000	0	720	Baja	Muy alta	No existió comunicación debido al bajo alcance
SF8	720 / 18000	720 / 18000	0	Media	Alta	Comunicación estable sin pérdidas
SF9	720 / 18000	720 / 18000	0	Media-alta	Media	Buen equilibrio entre velocidad y cobertura
SF10	720 / 18000	720 / 18000	0	Alta	Media- Baja	Mayor cobertura y comunicación estable
SF11	720 / 18000	720 / 18000	0	Muy alta	Baja	Comunicación muy robusta y estable
SF12	720 / 18000	719 / 17975	0	Máxima	Muy baja	Máxima cobertura con mayor tiempo en el aire

- ***Zona Río Verde – Monitoreo Ambiental***

A continuación, en las Figuras 93, 94, 95, 96, 97 y 98 se presentan las simulaciones realizadas en la zona de Río Verde para los diferentes valores de Spreading Factor (SF), para analizar su influencia en el alcance de la comunicación de la red LoRaWAN.

Spreading Factor 7



Figura 93. Spreading Factor 7

Spreading Factor 8



Figura 94. Spreading Factor 8

Spreading Factor 9

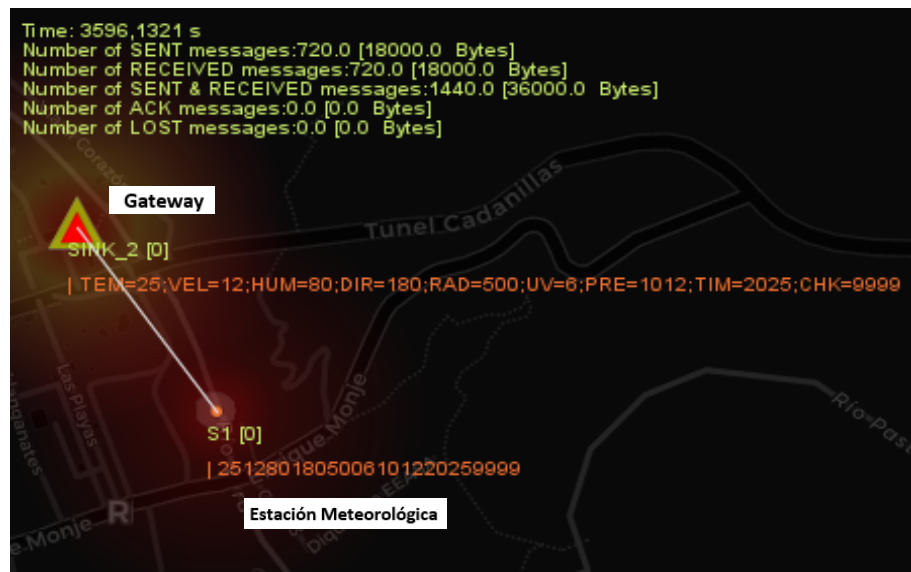


Figura 95. Spreading Factor 9

Spreading Factor 10

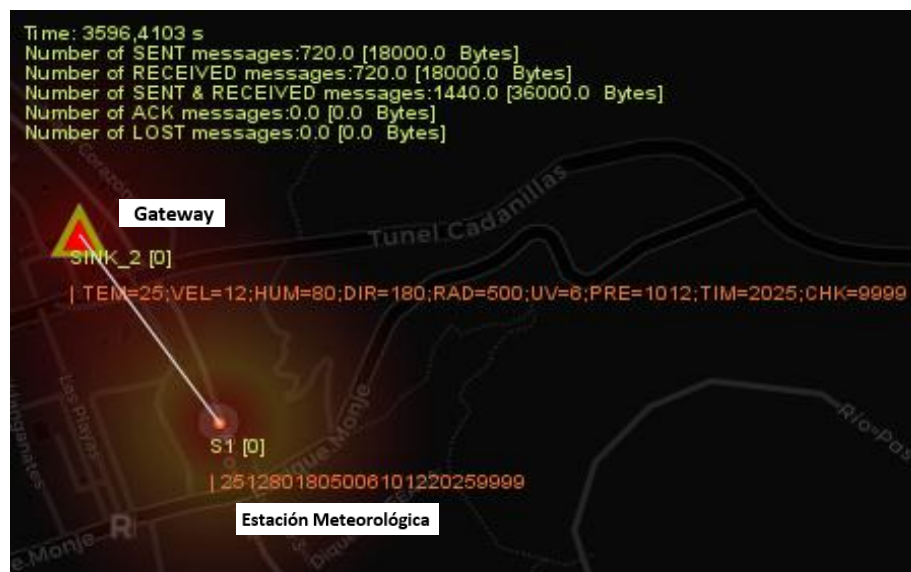


Figura 96. Spreading Factor 10

Spreading Factor 11

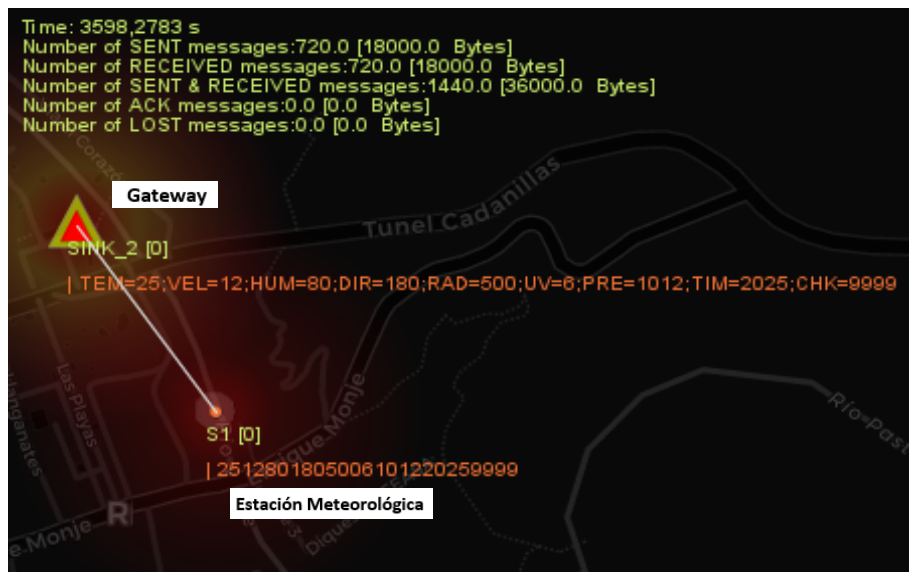


Figura 97. Spreading Factor 11

Spreading Factor 12



Figura 98. Spreading Factor 12

En la Tabla 68, se puede observar los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas en la zona de Río Verde se evidencia que los valores de Spreading Factor lograron mantener una comunicación estable entre la estación y la Gateway. Se observó que con valores bajos como SF7 y SF8, proporciona una mayor velocidad,

pero corto alcance, valores altos como SF11 y SF12 incrementa la cobertura, mejorando la sensibilidad de recepción.

Para la zona de Río Verde se seleccionó SF9 debido a la presencia de vegetación, lo cual puede generar atenuación e interferencia en la señal LoRa. SF9 ofrece mejorar la sensibilidad de recepción sin reducir excesivamente la velocidad de transmisión, logrando equilibrio entre cobertura y velocidad.

Tabla 68. Resultados de las simulaciones

Spreading Factor	Mensajes enviados / Bytes enviados	Mensajes recibidos / Bytes recibidos	Mensajes perdidos	Cobertura	Velocidad de transmisión	Interpretación
SF7	720 / 18000	720 / 18000	0	Baja	Muy alta	Comunicación estable rápida, adecuada para distancias cortas y medias
SF8	720 / 18000	720 / 18000	0	Media	Alta	Comunicación eficiente
SF9	720 / 18000	720 / 18000	0	Media- alta	Media	Buen equilibrio entre velocidad y cobertura
SF10	720 / 18000	720 / 18000	0	Alta	Media- Baja	Mayor cobertura de la señal
SF11	720 / 18000	720 / 18000	0	Muy alta	Baja	Comunicación muy robusta y estable
SF12	720 / 18000	719 / 17975	0	Máxima	Muy baja	Máxima cobertura con mayor tiempo en el aire

En la Tabla 69, se puede visualizar las configuraciones que se seleccionó de Spreading Factor, data rate, energía de transmisión y energía de recepción. Los parámetros E_Tx y E_Rx representan el consumo energético del nodo durante los procesos de transmisión y recepción de datos, respectivamente. Estos valores permiten simular el comportamiento energético de dispositivos IoT basados en LoRa dentro de CupCarbon.

Tabla 69. Spreading Factor seleccionado

Zona	Spreading Factor seleccionado	Data Rate	Parámetros de E_Tx y E_Rx	Justificación	Evaluación
Zona Centro	SF7	100000 bps	Transmite: 5.92E-5 J Recibe: 2.86E-5 J	Se seleccionó SF7 debido a que la distancia entre la estación y la Gateway es corta y existe buena cobertura urbana. Esta configuración permite alta velocidad en la transmisión de datos, menos tiempo en el aire y baja latencia.	Distancia corta, buena velocidad y baja latencia
Zona montañosa	SF10	5000 bps	Transmite: 5.92E-5 J Recibe: 2.86E-5 J	Se seleccionó SF10 debido a las condiciones geográficas complejas y posibles obstáculos naturales presente en la zona montañosa. Este valor incrementa la cobertura y robustez de la señal LoRa, garantizando una comunicación más estable y confiable a grandes distancias.	Se prioriza cobertura y estabilidad sobre velocidad
Zona Río Verde	SF9	10000 bps	Transmite: 5.92E-5 J Recibe: 2.86E-5 J	Se seleccionó SF9 debido a la presencia de vegetación y mayor distancia respecto a la zona urbana. Esta configuración proporciona buen equilibrio entre cobertura, estabilidad y velocidad de transmisión.	Equilibrio entre vegetación, cobertura y velocidad

En la Figura 99, se puede visualizar la ubicación de las tres estaciones meteorológicas y los tres Gateway, ubicados en las tres zonas y los tres microclimas diferentes.

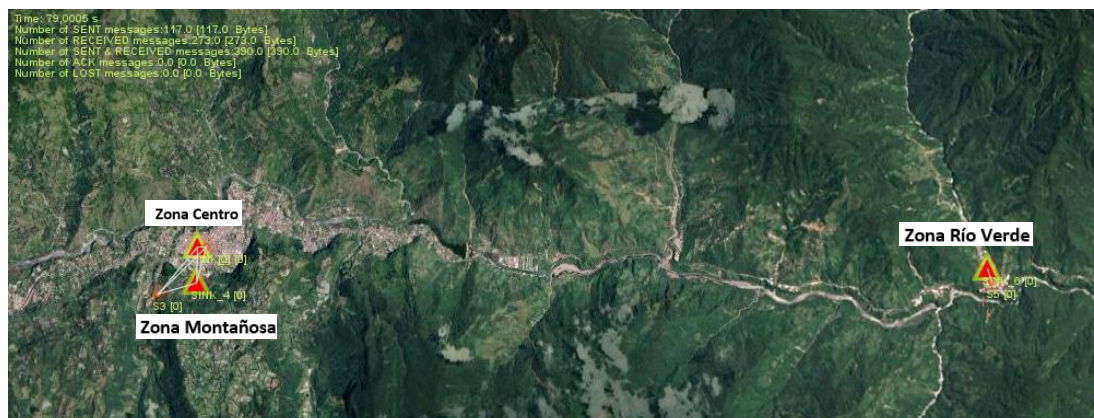


Figura 99. Simulación en las tres zonas estudiadas, zona centro, zona montañosa y zona Río Verde

Gateway Zona Centro

- *Parqueadero inteligente*

A continuación, se visualiza en las Figuras 100, 101, 102, 103, 104 y 105 se presenta las simulaciones realizadas para el sistema de parqueadero inteligente bajo diferentes configuraciones del Spreading Factor (SF). En esta simulación también se incorporó la estación meteorológica conectada a la Gateway ubicada en la zona centro, con el objetivo de evaluar el comportamiento conjunto de los dispositivos dentro de la red LoRaWAN.

Los datos que envían los sensores de parqueo van directamente al Gateway de la zona centro, de igual manera los datos que envían la estación meteorológica van al Gateway de la zona centro. Las líneas de conexión que se observan entre los sensores, la estación meteorológica y el Gateway representan el alcance y la comunicación inalámbrica establecida dentro de la red LoRaWAN simulada. Aunque los sensores de parqueo y la estación meteorológica transmiten sus datos directamente hacia el Gateway ubicado en la zona centro, el software de simulación muestra visualmente las posibles rutas y enlaces de comunicación entre todos los nodos que se encuentran dentro del rango de cobertura inalámbrica. Esto ocurre debido a que la tecnología LoRaWAN trabaja mediante comunicación por radiofrecuencia, donde todos los dispositivos que se encuentran dentro del área de cobertura pueden detectar señales de otros nodos cercanos. Por esta razón, en la simulación aparecen múltiples líneas de interconexión

entre sensores, aun cuando la transmisión principal de datos se realiza únicamente hacia el Gateway central.

Para separar la transmisión de datos y evitar interferencias entre la información meteorológica y los datos del sistema de parqueadero inteligente, se planteó el uso de dos canales de comunicación independientes, uno destinado al monitoreo ambiental y otro para la gestión de zonas de parqueo. Sin embargo, durante el proceso de simulación se utilizó un único canal de comunicación debido a limitaciones y restricciones propias del software empleado para la simulación de la red IoT.

Spreading Factor 7

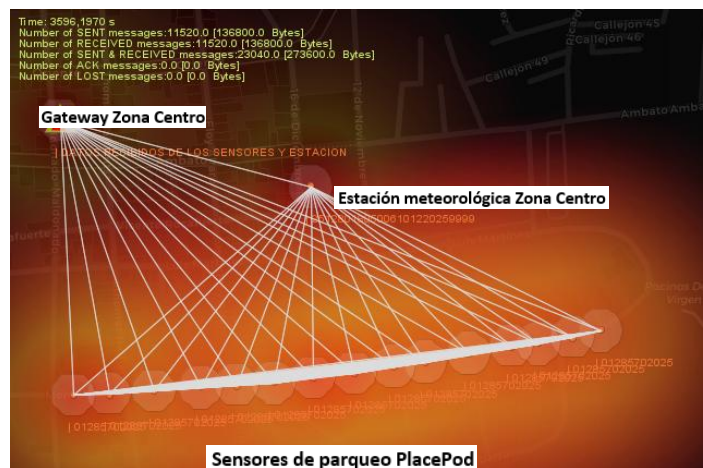


Figura 100. Spreading Factor 7

Spreading Factor 8



Figura 101. Spreading Factor 8

Spreading Factor 9

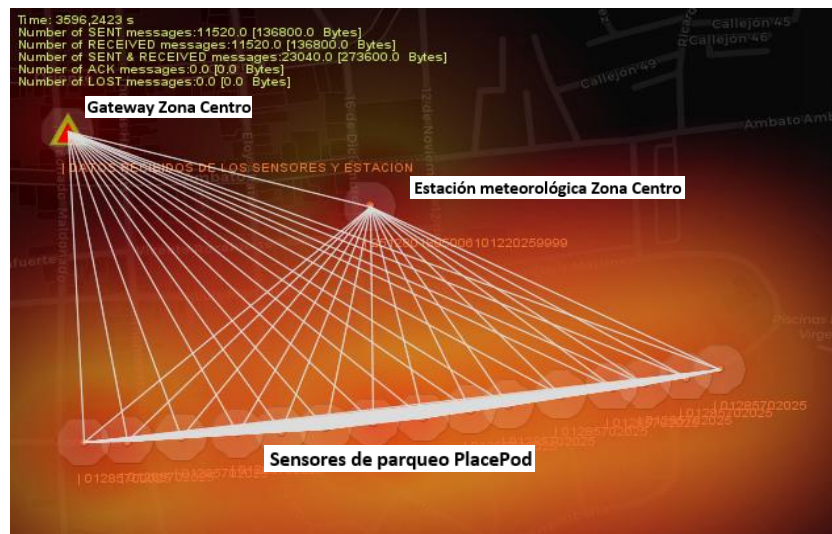


Figura 102. Spreading Factor 9

Spreading Factor 10

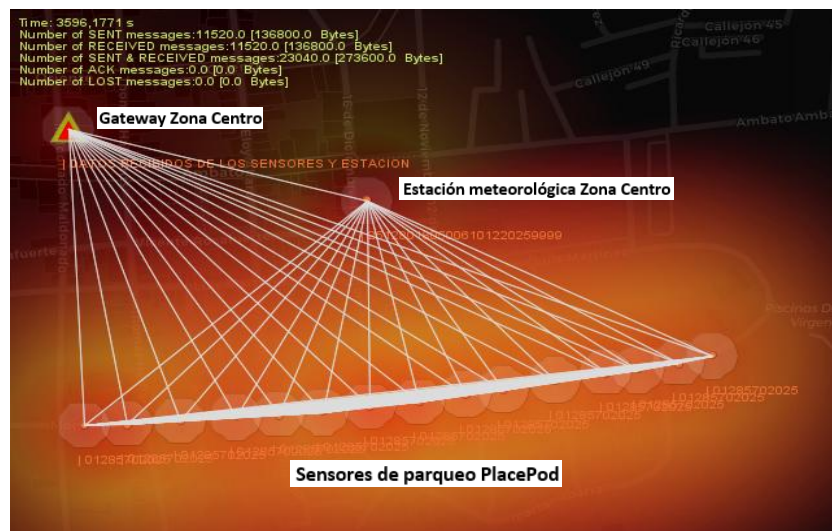


Figura 103. Spreading Factor 10

Spreading Factor 11

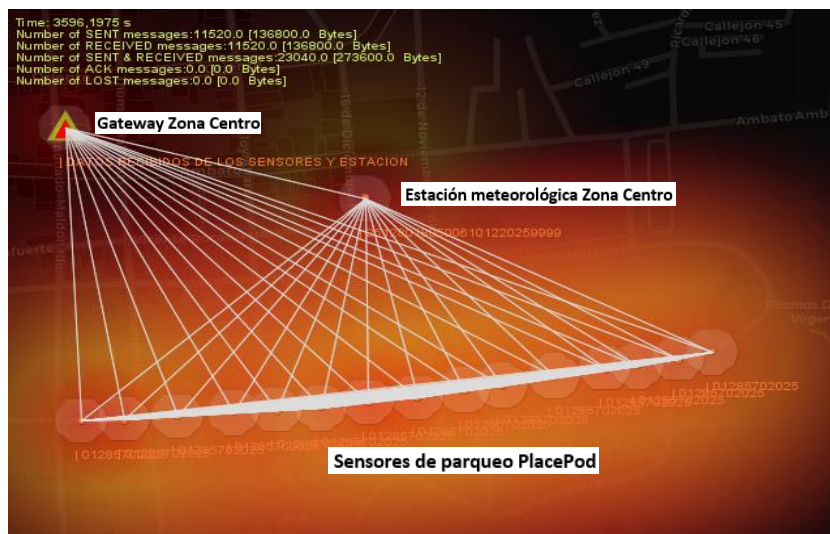


Figura 104. Spreading Factor 11

Spreading Factor 12

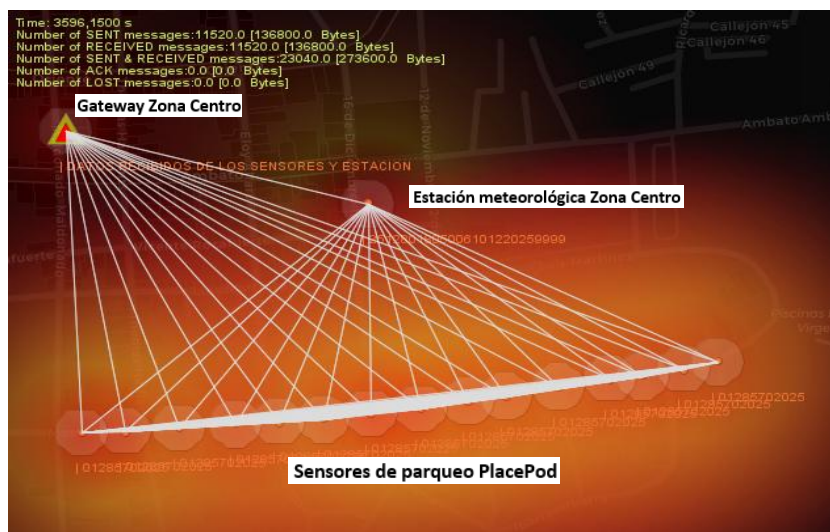


Figura 105. Spreading Factor 12

En la Tabla 70, se puede observar los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas del parqueadero inteligente y una estación meteorológica conectados al Gateway de la zona centro, en donde se evidencio que todos los valores de Spreading Factor evaluados mantuvieron una comunicación estable y eficiente, alcanzando tasa de recepción al 100% y sin pérdidas de paquetes. Con valores bajos como SF7 y SF8 proporciona mayor velocidad de transmisión, mientras que con valores altos como SF11 y SF12, se prioriza cobertura. Para esta zona de sensores de parqueo y la estación

meteorológica se seleccionó el Spreading Factor 7, ya que están en un entorno urbano en donde las distancias son cortas y se prioriza la velocidad de transmisión de datos, lo cual permite tener una comunicación estable sin necesidad de tener valores altos.

Tabla 70. Resultados de las simulaciones

Spreading Factor	Mensajes enviados / Bytes enviados	Mensajes recibidos / Bytes recibidos	Mensajes perdidos	Cobertura	Velocidad de transmisión	Interpretación
SF7	11520 / 136800	11520 / 136800	0	Baja	Muy alta	Comunicación estable rápida, adecuada para distancias cortas y medias
SF8	11520 / 136800	11520 / 136800	0	Media	Alta	Comunicación eficiente
SF9	11520 / 136800	11520 / 136800	0	Media- alta	Media	Buen equilibrio entre velocidad y cobertura
SF10	11520 / 136800	11520 / 136800	0	Alta	Media- Baja	Mayor cobertura de la señal
SF11	11520 / 136800	11520 / 136800	0	Muy alta	Baja	Comunicación muy robusta y estable
SF12	11520 / 136800	11520 / 136800	0	Máxima	Muy baja	Máxima cobertura con mayor tiempo en el aire

b. Escenario 1: Throughput y Pérdidas de paquetes

En la simulación se configuró las estaciones meteorológicas y los Gateway con los datos resultantes del software de simulación de enlaces inalámbricos Radio Mobile y con los Spreading Factor ya seleccionados. Además, CupCarbon permite visualizar la cobertura de comunicación, mediante un mapa de calor generado, mostrando el comportamiento de la transmisión de datos entre los dispositivos IoT y el Gateway. De esta forma es posible analizar y visualizar el alcance de comunicación, la conectividad y el flujo de datos dentro de la arquitectura propuesta.

En la Figura 106, se puede visualizar los parámetros generales de la estación meteorológica en el software CupCarbon. En las configuraciones se definieron

coordenadas geográficas reales del nodo, altura de instalación, el radio de cobertura del sensor y parámetros energéticos del dispositivo.

Script file	esta_centro.csc	▶
GPS file		▶
Natural Evt file		▶
Id	1	▶
Longitude	-78.42116854232788	▶
Latitude	-1.397887362821286	▶
Elevation	3.0	▶
Radius	5.0	▶
Sensor Radius	20.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 106. Parámetros generales

En la Figura 107, se puede visualizar la configuración de los parámetros de LoRaWAN utilizados en la estación meteorológica dentro del software CupCarbon. En esta configuración se definieron parámetros como el identificador de red, potencia de transmisión, radio de cobertura, tasa de trasmisión de datos, consumo energético y spreading factor. Estos parámetros son ajustados de acuerdo con el análisis del enlace de Radio Mobile, permitiendo simular la comunicación inalámbrica entre la estación meteorológica y la Gateway mediante tecnología LoRaWAN. La configuración del Data Rate se colocó 100000 bps, esto debido que hay menor distancia y mejor cobertura.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	2	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	5000.0	▶
E_Tx	5.92E-5	▶
E_Rx	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	100000	▶
Spreading Factor	7	▶
Code Rate	0	▶
Consumption Model		
Tx	Classical (Tx)	▶
Rx	Classical (Rx)	▶

Figura 107. Parámetros de LoRaWAN

En la Figura 108, se puede visualizar los parámetros generales de la Gateway que está ubicada en el centro de Baños.

Script file	gateway_cent...	▶
GPS file		▶
Natural Evt. file		▶
Id	20	▶
Longitude	-78.42189073562622	▶
Latitude	-1.397866193173023	▶
Elevation	7	▶
Radius	100	▶
Sensor Radius	20.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 108. Parámetros generales de la Gateway

En la Figura 109, se puede visualizar los parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway del centro de la ciudad dentro del software CupCarbon.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	1	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	1000.0	▶
E_Tx	5.92E-5	▶
E_Rx	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	100000	▶
Spreading Factor	7	▶
Code Rate	0	▶

Figura 109. Parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway

En la Figura 110, se puede visualizar el enlace de la zona centro, en donde el punto rojo es la estación meteorológica y el triángulo es el Gateway, además estos 15 sensores de parqueo en la parte inferior.

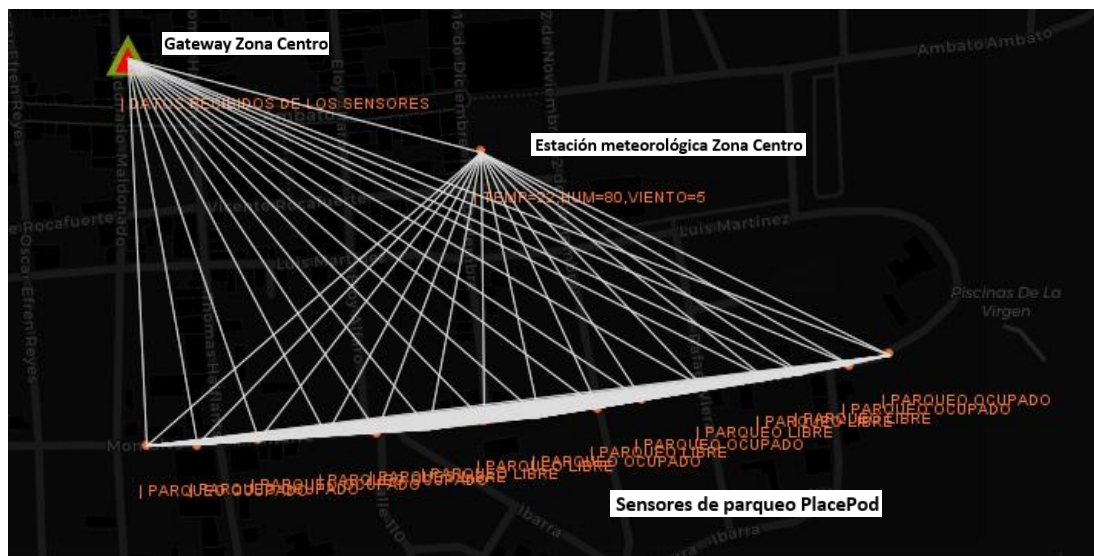


Figura 110. Estación y Gateway en Baños de Agua Santa

Los resultados obtenidos por la simulación se pueden visualizar en la Tabla 71, y en la Figura 111, en donde se muestra un comportamiento estable de la comunicación LoRaWAN entre la estación meteorológica, el Gateway y los sensores de parqueo de la Zona Centro. La simulación se realizará en un tiempo de 30 minutos (1800 segundos). Durante el tiempo de simulación se recibieron correctamente 5760 mensajes sin presentar pérdidas de paquetes, lo que indica una conexión adecuada entre dispositivos.

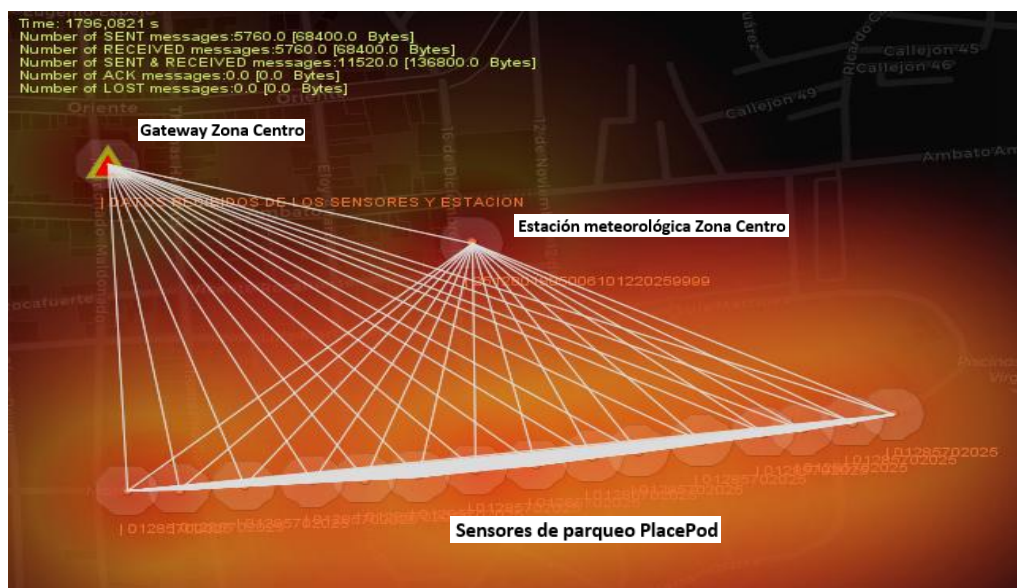


Figura 111. Comportamientos de la red

A continuación, en la Tabla 71, se puede observar los resultados de la simulación en donde en la red se registraron 0 perdidas de paquetes lo que indica evidenciando una comunicación adecuada, y concuerda con los resultados calculados.

Tabla 71. Resultado de la simulación, comportamiento de la red

Parámetros	Valor	Interpretación
Tiempo de simulación	1800 s	Tiempo en el que se ejecutó la red y se evaluó su comportamiento
Mensajes enviados (SENT)	5760 (68400 Bytes)	Cantidad de datos generados por los sensores de parqueo
Mensajes recibidos (RECEIVED)	5760 (68400 Bytes)	Número total de recepciones en la red
Total, de enviados + recibidos	11520 (136800 Bytes)	Tráfico total generado de la red
Mensajes perdidos (LOST)	0 bytes	No se registraron pérdidas
Tamaño promedio por mensaje	Sensores de parqueo 11 bytes Trama enviada: 01285702025 Estación meteorológica 25 bytes Trama enviada: 2512801805006101220259999	Mensajes pequeños característicos de aplicaciones IoT
Estado general de la red	Funcional y confiable	La red transmite correctamente sin pérdidas de información

A continuación, se calcula el Throughput, que es una métrica utilizada para evaluar el rendimiento de una red de comunicación, ya que permite determinar la cantidad de datos transmitidos correctamente durante un intervalo de tiempo. Esta métrica es importante en redes IoT y LoRaWAN por que ayuda a analizar la eficiencia de transmisión.

Throughput (bps)

Datos enviados= 68400 bytes

Tiempo = 1800 s

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Datos transmitidos}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Throughput} = \frac{68400}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 38 \text{ bytes/s}$$

Throughput (bits)

$$\text{Throughput} = 38 * 8$$

$$\text{Throughput} = 304 \text{ bps}$$

En la Tabla 72, se visualiza los valores característicos del Throughput en redes LoRaWAN, esta información permite evaluar la cantidad de datos transmitidos exitosamente en una red en intervalo determinado de tiempo. Valores bajos es muy común en aplicaciones LoRaWAN debido a que esta tecnología está diseñada para transmitir pequeñas cantidades de información con bajo consumo energético [124].

Tabla 72. Valores de Throughput en redes LoRaWAN [124].

Throughput	Interpretación	Descripción
0 – 10 Bytes	Muy bajo	Red transmite una cantidad mínima de información. Sensores reportan eventos esporádicos. Cantidad limitada de sensores.
0 – 50 Bytes	Bajo (normal en LoRaWAN)	Rango típico en aplicaciones LoRaWAN. Es adecuado para sistemas IoT.
50 – 200 Bytes	Medio	Rec presenta una mayor cantidad de transmisión, permitiendo soportar un mayor número de dispositivos.
200 – 100 Bytes	Alto para IoT	Es apropiado para una red con numerosos sensores, tiene una elevada capacidad de transporte de datos.
> 1000 Bytes	Muy alto, poco común el LoRaWAN	Representa un tráfico elevado que normalmente no se observa en LoRaWAN

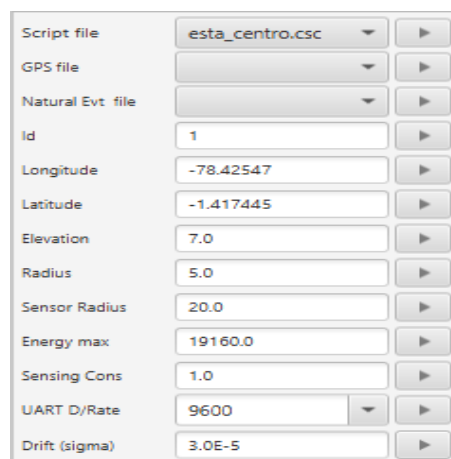
El throughput obtenido fue de 38 Bytes/s, valor que se encuentra dentro del rango bajo, considerado normal para redes LoRaWAN. Este resultado es adecuado para el sistema

de parqueadero inteligente propuesto, ya que los sensores transmiten únicamente información relacionada con el estado de ocupación de los espacios de estacionamiento.

- ***Zona Montañosa***

En la simulación se configuró las estaciones meteorológicas y los Gateway con los datos resultantes del software de simulación de enlaces inalámbricos Radio Mobile y el Spreading Factor ya seleccionado anteriormente. Además, CupCarbon permite visualizar la cobertura de comunicación, mediante un mapa de calor generado, mostrando el comportamiento de la transmisión de datos entre los dispositivos IoT y el Gateway. De esta forma es posible analizar y visualizar el alcance de comunicación, la conectividad y el flujo de datos dentro de la arquitectura propuesta.

En la Figura 112, se puede visualizar los parámetros generales de la estación meteorológica en el software CupCarbon. En las configuraciones se definieron coordenadas geográficas reales del nodo, altura de instalación, el radio de cobertura del sensor y parámetros energéticos del dispositivo.



Script file	esta_centro.csc	▶
GPS file		▶
Natural Evt file		▶
Id	1	▶
Longitude	-78.42547	▶
Latitude	-1.417445	▶
Elevation	7.0	▶
Radius	5.0	▶
Sensor Radius	20.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 112. Parámetros generales

En la Figura 113, se puede visualizar la configuración de los parámetros de LoRaWAN utilizados en la estación meteorológica dentro del software CupCarbon. En esta configuración se definieron parámetros como el identificador de red, potencia de transmisión, radio de cobertura, tasa de transmisión de datos, consumo energético y spreading factor. Estos parámetros son ajustados de acuerdo con el análisis del enlace

de Radio Mobile y Spreading Factor ya estudiado, permitiendo simular la comunicación inalámbrica entre la estación meteorológica y la Gateway mediante tecnología LoRaWAN. La configuración del Data Rate se colocó 5000 bps, esto debido que el enlace tiene más distancia necesita más alcance y estabilidad.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	0	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	3000.0	▶
E_Tx	5.92E-5	▶
E_Rx	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	5000	▶
Spreading Factor	10	▶
Code Rate	0	▶

Figura 113. Parámetros de LoRaWAN

En la Figura 114, se puede visualizar los parámetros generales de la Gateway que está ubicada en la zona montañosa de Baños específicamente en Villa Alegria.

Script file	gatemonta....	▶
GPS file		▶
Natural Evt file		▶
Id	2	▶
Longitude	-78.4228	▶
Latitude	-1.407472	▶
Elevation	10.0	▶
Radius	5.0	▶
Sensor Radius	5.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 114. Parámetros generales de la Gateway zona montañosa

En la Figura 115, se puede visualizar los parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway dentro del software CupCarbon.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	0	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	3000.0	▶
E_Tx	5.92E-5	▶
E_Rx	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	5000	▶
Spreading Factor	10	▶
Code Rate	0	▶

Figura 115. Parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway zona montañosa

En la Figura 116, se muestra el enlace de la zona montañosa y el mapa de calor, en donde el punto rojo es la estación meteorológica y el triángulo es el Gateway.



Figura 116. Estación y Gateway en Baños de Agua Santa

Los resultados obtenidos por la simulación se pueden visualizar en la Figura 117 y en la Tabla 73, en donde se muestra un comportamiento estable de la comunicación LoRaWAN entre la estación meteorológica y el Gateway de la Zona Centro. Durante el tiempo de simulación de 30 minutos se recibieron correctamente 360 mensajes sin presentar perdidas de paquetes, lo que indica una conexión adecuada entre dispositivos. También se puede evidenciar el bajo volumen de datos transmitidos y bajo consumo de ancho de banda lo que es característico de redes LoRaWAN utilizadas en aplicaciones IoT.



Figura 117. Comportamiento de la red

A continuación, en la Tabla 73, se puede observar los resultados de la simulación en donde en la red se registraron 0 pérdidas de paquetes lo que indica evidenciando una comunicación adecuada, y concuerda con los resultados calculados.

Tabla 73. Resultados obtenidos por la simulación

Parámetros	Valor	Interpretación
Tiempo de simulación	1800 s	La simulación tuvo una duración aproximada de 1800 segundos
Mensajes enviados (SENT)	360 mensajes (9000 Bytes)	La estación transmitió correctamente 360 mensajes con 25 bytes cada uno durante la simulación. Volumen de datos transmitidos es bajo.
Mensajes recibidos (RECEIVED)	360 mensajes (9000 Bytes)	Gateway recibió todos los mensajes enviados por la estación.
Total, de enviados + recibidos	720 mensajes (18000 Bytes)	Tráfico total generado de la red
Mensajes perdidos (LOST)	0 bytes	No se registraron pérdidas de paquetes.
Tamaño promedio por mensaje	25 bytes	Mensajes pequeños característicos de aplicaciones IoT
Estado general de la red	Estable y eficiente	La red transmite correctamente sin pérdidas de información

A continuación, se calcula el Throughput, que es una métrica utilizada para evaluar el rendimiento de una red de comunicación, ya que permite determinar la cantidad de datos transmitidos correctamente durante un intervalo de tiempo. Esta métrica es importante en redes IoT y LoRaWAN por que ayuda a analizar la eficiencia de transmisión.

Throughput (bps)

Datos enviados= 9000 bytes

Tiempo = 1800 s

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Datos transmitidos}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Throughput} = \frac{9000}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 5 \text{ bytes/s}$$

Throughput (bits)

$$\text{Throughput} = 5 * 8$$

$$\text{Throughput} = 40 \text{ bps}$$

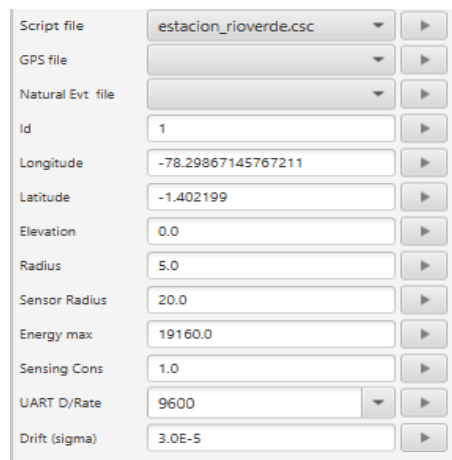
El Throughput obtenido durante la simulación fue aproximadamente de 5 bytes, valor característico de una estación meteorológica basada en tecnología LoRaWAN. Aunque la tasa de transmisión es reducida, resulta suficiente debido a que los sensores envían cantidades pequeñas de información relacionadas con variables ambientales.

- ***Zona Río Verde***

En la simulación se configuro las estaciones meteorológicas y los Gateway de la zona de Río Verde con los datos resultantes del software de simulación de enlaces inalámbricos Radio Mobile. Además, CupCarbon permite visualizar la cobertura de comunicación, mediante un mapa de calor generado, mostrando el comportamiento de la transmisión de datos entre los dispositivos IoT y el Gateway. De esta forma es

posible analizar y visualizar el alcance de comunicación, la conectividad y el flujo de datos dentro de la arquitectura propuesta.

En la Figura 118, se puede visualizar los parámetros generales de la estación meteorológica de Río Verde en el software CupCarbon. En las configuraciones se definieron coordenadas geográficas reales del nodo, altura de instalación, el radio de cobertura del sensor y parámetros energéticos del dispositivo. Esta estación está ubicada en Parque la Laguna, a pocos metros del ingreso al Pailón del diablo.



Script file	estacion_rioverde.csc	▶
GPS file		▶
Natural Evt. file		▶
Id	1	▶
Longitude	-78.29867145767211	▶
Latitude	-1.402199	▶
Elevation	0.0	▶
Radius	5.0	▶
Sensor Radius	20.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 118. Parámetros generales

En la Figura 119, se puede visualizar la configuración de los parámetros de LoRaWAN utilizados en la estación meteorológica dentro del software CupCarbon. En esta configuración se definieron parámetros como el identificador de red, potencia de transmisión, radio de cobertura, tasa de transmisión de datos, consumo energético y spreading factor. Estos parámetros son ajustados de acuerdo con el análisis del enlace de Radio Mobile y el Spreading Factor ya estudiado, permitiendo simular la comunicación inalámbrica entre la estación meteorológica y la Gateway mediante tecnología LoRaWAN. La configuración del Data Rate se colocó 1760 bps, esto debido que es un punto intermedio entre velocidad y alcance, ya que Río Verde tiene condiciones intermedias entre centro urbano y zona amazónica.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	0	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	2000.0	▶
E_Tx	5.92E-5	▶
E_Rx	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	10000	▶
Spreading Factor	9	▶
Code Rate	0	▶

Figura 119. Parámetros de LoRaWAN

En la Figura 120, se puede visualizar los parámetros generales de la Gateway que está ubicada en la zona Río Verde de Baños específicamente en el hotel Mirame Lindo.

Script file	gateway_rioverde.csc	▶
GPS file		▶
Natural Evt. file		▶
Id	2	▶
Longitude	-78.30015	▶
Latitude	-1.400116	▶
Elevation	0.0	▶
Radius	5.0	▶
Sensor Radius	5.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 120. Parámetros generales de la Gateway de Río Verde

En la Figura 121, se puede visualizar los parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway dentro del software CupCarbon.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	0	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	2000.0	▶
E _{Tx}	5.92E-5	▶
E _{Rx}	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	10000	▶
Spreading Factor	9	▶
Code Rate	0	▶

Figura 121. parámetros de LoRaWAN utilizados en el Gateway de Río Verde

En la Figura 122, se puede visualizar el enlace de la Río Verde y el mapa de calor, en donde el punto rojo es la estación meteorológica y el triángulo es el Gateway.



Figura 122. Estación y Gateway en Río Verde Baños de Agua Santa

Los resultados obtenidos por la simulación se pueden visualizar en la Figura 123 y en la Tabla 74, en donde se muestra un comportamiento estable de la comunicación LoRaWAN entre la estación meteorológica y el Gateway de la Zona Río Verde. La simulación se realizó en un tiempo de 30 minutos. Durante el tiempo de simulación se recibieron correctamente 63 mensajes sin presentar pérdidas de paquetes, lo que indica una conexión adecuada entre dispositivos. También se puede evidenciar el bajo volumen de datos transmitidos y bajo consumo de ancho de banda lo que es característico de redes LoRaWAN utilizadas en aplicaciones IoT.

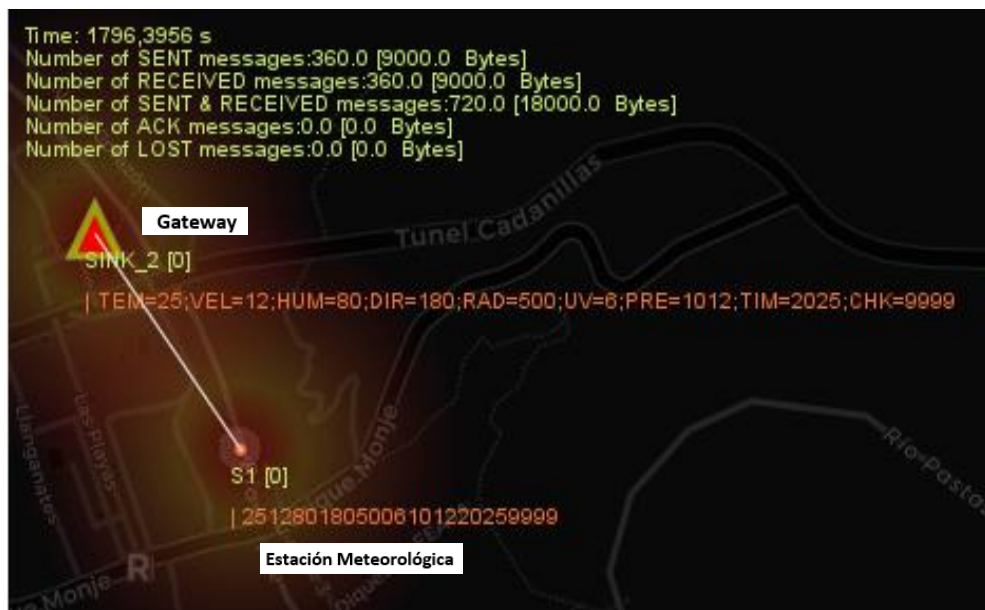


Figura 123. Comportamiento de la red

A continuación, en la Tabla 74, se puede observar los resultados de la simulación en donde en la red se registraron 0 perdidas de paquetes lo que indica evidenciando una comunicación adecuada, y concuerda con los resultados calculados.

Tabla 74. Comportamientos de la red

Parámetros	Valor	Interpretación
Tiempo de simulación	1800 s	La simulación tuvo una duración aproximada de 1800 segundos
Mensajes enviados (SENT)	360 mensajes (9000 Bytes)	La estación transmitió correctamente 360 mensajes durante la simulación. Volumen de datos transmitidos es bajo.
Mensajes recibidos (RECEIVED)	360 mensajes (9000 Bytes)	Gateway recibió todos los mensajes enviados por la estación.
Total, de enviados + recibidos	720 mensajes (18000 Bytes)	Tráfico total generado de la red
Mensajes perdidos (LOST)	25 bytes	No se registraron pérdidas de paquetes.
Tamaño promedio por mensaje	1 bytes	Mensajes pequeños característicos de aplicaciones IoT
Estado general de la red	Estable y eficiente	La red transmite correctamente sin pérdidas de información

A continuación, se va a calcular el Throughput, que es una métrica utilizada para evaluar el rendimiento de una red de comunicación, ya que permite determinar la cantidad de datos transmitidos correctamente durante un intervalo de tiempo. Esta métrica es importante en redes IoT y LoRaWAN por que ayuda a analizar la eficiencia de transmisión.

Throughput (bps)

Datos enviados= 9000 bytes

Tiempo = 1800 s

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Datos transmitidos}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Throughput} = \frac{9000}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 5 \text{ bytes/s}$$

Throughput (bits)

$$\text{Throughput} = 5 * 8$$

$$\text{Throughput} = 40 \text{ bps}$$

El Throughput obtenido durante la simulación fue aproximadamente de 5 bytes, valor característico de una estación meteorológica basada en tecnología LoRaWAN. Aunque la tasa de transmisión es reducida, resulta suficiente debido a que los sensores envían cantidades pequeñas de información relacionadas con variables ambientales.

- ***Parqueadero inteligente***

La presente simulación ha sido desarrollada en el entorno CupCarbon con el objetivo de modelar el comportamiento de la red IoT basada en tecnología LoRa de un Parqueadero inteligente en el centro de la ciudad de Baños de Agua Santa. La simulación permite representar el funcionamiento de la comunicación entre los sensores de estacionamiento y el Gateway. El sistema está orientado a la detección y monitoreo del estado de ocupación de los espacios de estacionamiento mediante

sensores LoRa instalados en distintos puntos de la vía pública. La simulación permite analizar parámetros de comunicación como cobertura, transmisión de datos, comportamiento de la red, tráfico generado y conectividad entre dispositivos. De esta manera se puede evaluar el comportamiento de red LoRaWAN en espacios urbanos.

Con el fin de facilitar la visualización de las conexiones y del comportamiento de la red LoRaWAN, inicialmente se realizó una simulación con 15 sensores de parqueo, para observar de mejor manera y más clara la comunicación entre los nodos y el Gateway. Posteriormente, se realizó una segunda simulación con los 472 sensores de parqueo distribuidos en las calles que existen lugares de parqueo del cantón Baños de Agua Santa, con el propósito de evaluar condiciones cercanas del escenario real.

En la Figura 124, se puede visualizar los sensores que están colocados en los estacionamientos de la calle Montalvo. Cada sensor simula el estado del parqueadero y la transmisión de datos. Cada sensor simula el estado del parqueadero, identificando si el espacio está libre u ocupado, además se puede visualizar la estación meteorológica de la zona centro.



Figura 124. Ubicación de los sensores LoRa

En la Figura 125, se puede visualizar la colocación del Gateway LoRa que está ubicado en el municipio del cantón Baños, igual a la estación meteorológica ubicada en el parque central del cantón Baños de Agua Santa.



Figura 125. Gateway del centro de Baños para sensores de parqueo

En la Figura 126, se puede visualizar la configuración general de los sensores PlacePod en el software CupCarbon, en donde se puede colocar la ubicación de cada sensor, la elevación y el radio.

Script file	sensor1.csc	
GPS file		
Natural Evt file		
Id	1	
Longitude	-78.4183394908905	
Latitude	-1.3992927032789093	
Elevation	0.0	
Radius	0.0	
Sensor Radius	20.0	
Energy max	19160.0	
Sensing Cons	1.0	
UART D/Rate	9600	
Drift (sigma)	3.0E-5	

Figura 126. Configuración general de los sensores PlacePod

En la Figura 127, se muestra visualizar la configuración de LoRaWAN de los sensores PlacePod, en donde se puede colocar todos los parámetros de la tecnología LoRa.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	1	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	0.01	▶
E _{Tx}	5.92E-5	▶
E _{Rx}	2.86E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	100000	▶
Spreading Factor	7	▶
Code Rate	0	▶
Consumption Model		
Tx	Classical (Tx)	▶
Rx	Classical (Rx)	▶

Figura 127. Configuración de LoRaWAN de los sensores PlacePod.

La configuración general del Gateway, su ubicación y a la altura que está ubicado se muestra en la Figura 128.

Script file	gateway.csc	▶
GPS file		▶
Natural Evt. file		▶
Id	20	▶
Longitude	-78.42365831136703	▶
Latitude	-1.397217291673024	▶
Elevation	10.0	▶
Radius	5000.0	▶
Sensor Radius	20.0	▶
Energy max	19160.0	▶
Sensing Cons	1.0	▶
UART D/Rate	9600	▶
Drift (sigma)	3.0E-5	▶

Figura 128. Configuración general del Gateway del parqueadero inteligente

En la Figura 129, se puede visualizar la configura LoRaWAN del Gateway que se encuentra ubicado en el centro de la ciudad, en donde se configura potencia, Date Rate, para que la comunicación sea adecuada.

Network Id (NID)	13108	▶
MY	0	▶
CH	0	▶
PL	100.0	▶
Radius	5000.0	▶
E_Tx	1.0E-4	▶
E_Rx	5.0E-5	▶
Sleeping Energy	1.0E-7	▶
Listening Energy	1.0E-6	▶
Data Rate	100000	▶
Spreading Factor	7	▶
Code Rate	0	▶
Consumption Model		
Tx	Classical (Tx)	▶
Rx	Classical (Rx)	▶

Figura 129. Configuración LoRaWAN de la Gateway del parqueadero inteligente

En la Figura 130, se muestra una simulación en pequeña escala, en donde se utilizó 15 sensores de parqueo LoRa, esto para visualizar de mejor manera el sistema, sensores, estación meteorológica y Gateway.

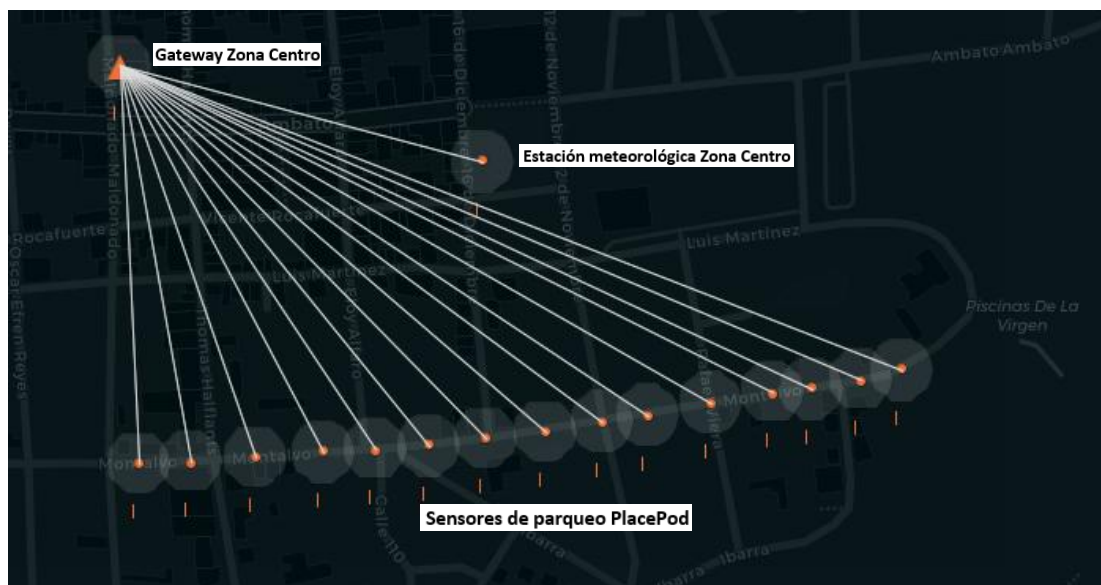


Figura 130. Sensores de parqueo y Gateway

Una vez colocados los sensores de estacionamiento PlacePod y la estación Gateway se realiza la simulación. En la Figura 131, se puede visualizar los mapas de calor de los sensores y de la Gateway, además como se transmiten los datos.

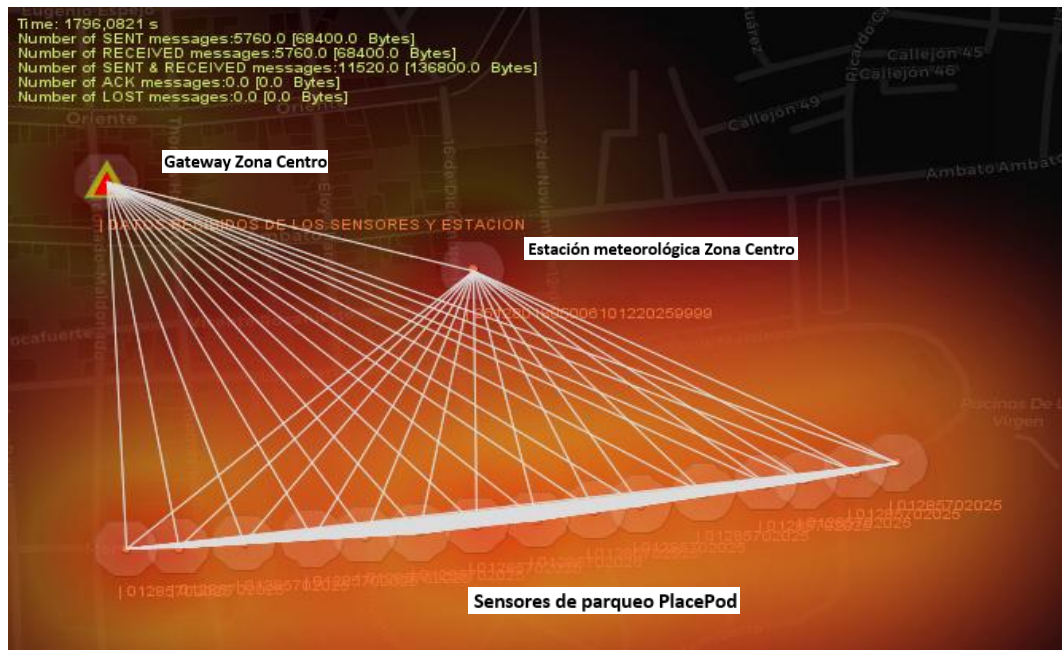


Figura 131. Simulación completa y mapas de calor

En la Figura 132, se puede visualizar de mejor perspectiva la conexión de los sensores y de la Gateway LoRa.

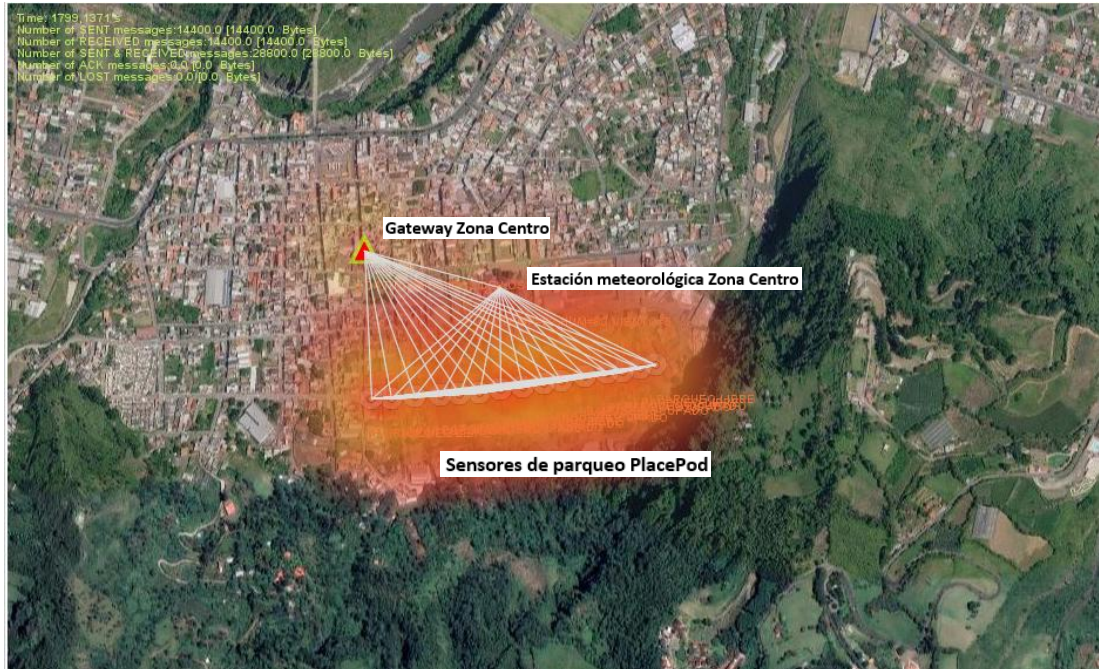


Figura 132. Simulación completa y mapas de calor

A continuación, en la Tabla 75, se puede observar los resultados de la simulación en donde la red presenta un alto número de mensajes recibidos esto debido a que existen 15 sensores que están enviando datos al Gateway, a pesar de ello no se evidencian

perdidas de información lo que demuestra una adecuada cobertura y confiabilidad en la comunicación del sistema de parqueo inteligente en el centro de la ciudad de Baños. Se registraron 0 perdidas de paquetes lo que indica evidenciando una comunicación adecuada.

Tabla 75. Resultados de la simulación

Parámetros	Valor	Interpretación
Tiempo de simulación	1800 s	Tiempo en el que se ejecutó la red y se evaluó su comportamiento
Mensajes enviados (SENT)	5760 (68400 Bytes)	Cantidad de datos generados por los sensores de parqueo
Mensajes recibidos (RECEIVED)	5760 (68400 Bytes)	Número total de recepciones en la red
Total, de enviados + recibidos	11520 (136800 Bytes)	Tráfico total generado de la red
Mensajes perdidos (LOST)	0 bytes	No se registraron pérdidas
Tamaño promedio por mensaje	Sensores de parqueo 11 bytes Trama enviada: 01285702025 Estación meteorológica 25 bytes Trama enviada: 2512801805006101220259999	Mensajes pequeños característicos de aplicaciones IoT
Estado general de la red	Funcional y confiable	La red transmite correctamente sin pérdidas de información

A continuación, en la Figura 133, se muestra la simulación completa del parqueadero inteligente con los 472 sensores de parqueo basados en tecnología LoRa, la estación meteorológica y la Gateway encargada de la recolección y transmisión de información.



Figura 133. Sistema completo del parqueadero inteligente

En la Figura 134, se visualiza como están distribuidos los sensores de parqueo con tecnología LoRA en el cantón Baños de Agua Santa.



Figura 134. Sistema completo del parqueadero inteligente

En la Figura 135, se puede visualizar la simulación, y los resultados obtenidos durante su ejecución, permitiendo analizar el comportamiento de la red LoRaWAN y el intercambio de la información entre los sensores y la Gateway.



Figura 135. Simulación del sistema completo del parqueadero inteligente

A continuación, en la Tabla 76, se puede observar los resultados de la simulación en donde la red presenta un alto número de mensajes recibidos esto debido a los 472 sensores que están enviando datos al Gateway. A continuación, se realizan los cálculos correspondientes para verificar la concordancia entre los cálculos teóricos y los obtenidos en la simulación.

Total, de Bytes y paquetes enviados

Número de sensores: 472 de parqueo y 1 estación meteorológica.

Número de Bytes: 11 de sensores de parqueo y 25 estación meteorológica

Tiempo: 1800 segundos

Tiempo de transmisión: Cada 5 segundos

$$\text{Paquetes enviados} = \frac{1800}{5} = 360 \text{ paquetes}$$

$$\text{Parqueo} = 472 * 11 = 5192 \text{ Bytes}$$

$$\text{Estación} = 1 * 25 = 25 \text{ Bytes}$$

$$\text{Total} = 5192 + 25 = 5217 \text{ Bytes cada envío}$$

$$\text{Total} = 5217 * 360 = 1878120 \text{ Bytes}$$

Tabla 76. Resultados de la simulación

Parámetros	Valor	Interpretación
Tiempo de simulación	1800 s	Tiempo en el que se ejecutó la red y se evaluó su comportamiento
Mensajes enviados (SENT)	360 (1878120 Bytes)	Cantidad de datos generados por los sensores de parqueo
Mensajes recibidos (RECEIVED)	358 (1878117 Bytes)	Número total de recepciones en la red
Total, de enviados + recibidos	720 (3756237Bytes)	Tráfico total generado de la red
Mensajes perdidos (LOST)	0 bytes	No se registraron pérdidas
Tamaño promedio por mensaje	Sensores de parqueo 11 bytes Trama enviada: 01285702025 Estación meteorológica 25 bytes Trama enviada: 2512801805006101220259999	Mensajes pequeños característicos de aplicaciones IoT
Estado general de la red	Funcional y confiable	La red transmite correctamente sin pérdidas de información

Se realizó el análisis técnico de la red de 15 sensores y 472 sensores, obteniendo como resultado una comunicación estable y eficiente entre los sensores de parqueo y la Gateway. La red presentó una tasa de pérdida nula, lo que evidencia un adecuado desempeño para aplicaciones IoT de monitoreo.

15 SENSORES

Throughput (bps)

Datos enviados= 68400 bytes

Tiempo = 1800 s

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Datos transmitidos}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Throughput} = \frac{68400}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 38 \text{ bytes/s}$$

Throughput (bytes)

$$\text{Throughput} = 38 * 8$$

$$\text{Throughput} = 304 \text{ bps}$$

472 SENSORES

Datos enviados= 1878120 bytes

Tiempo = 1800 s

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Datos transmitidos}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Throughput} = \frac{1878120}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 1043 \text{ bytes/s}$$

Throughput (bytes)

$$\text{Throughput} = 1043 * 8$$

$$\text{Throughput} = 8344 \text{ bps}$$

El throughput obtenido para el sistema completo del sistema de parqueo inteligente fue de 1043 Bytes/s, valor considerado alto para una red IoT basada en LoRaWAN. Este resultado es por la cantidad de dispositivos presentes en la simulación,

conformada por 472 sensores de parqueo y una estación meteorológica, los cuales generan un mayor rango de tráfico en la red. A pesar de ello, el sistema mantiene una transmisión adecuada de la información, evidenciando que la arquitectura propuesta puede soportar múltiples nodos transmitiendo datos hacia la Gateway.

c. Escenario 3: Monitoreo de Afluencia

- *Envío de datos*

Para la simulación del monitoreo de afluencia se utilizó el software OMNeT++, que es un software sofisticado en redes, es ampliamente utilizado para analizar el comportamiento de sistemas de comunicación y redes. Este software permite modelar dispositivos, intercambio de paquetes y enlaces de comunicación entre diferentes nodos y dispositivos. En la Figura 136, se puede visualizar las 4 cámaras que está representada en forma de icono de computadora y la forma en que va los datos al servidor. El análisis de la simulación evidencia un correcto funcionamiento de la red de comunicación, donde los paquetes que son los datos generados por el monitoreo de afluencia mas no del video en tiempo real son enviados de correcta manera hacia el servidor.

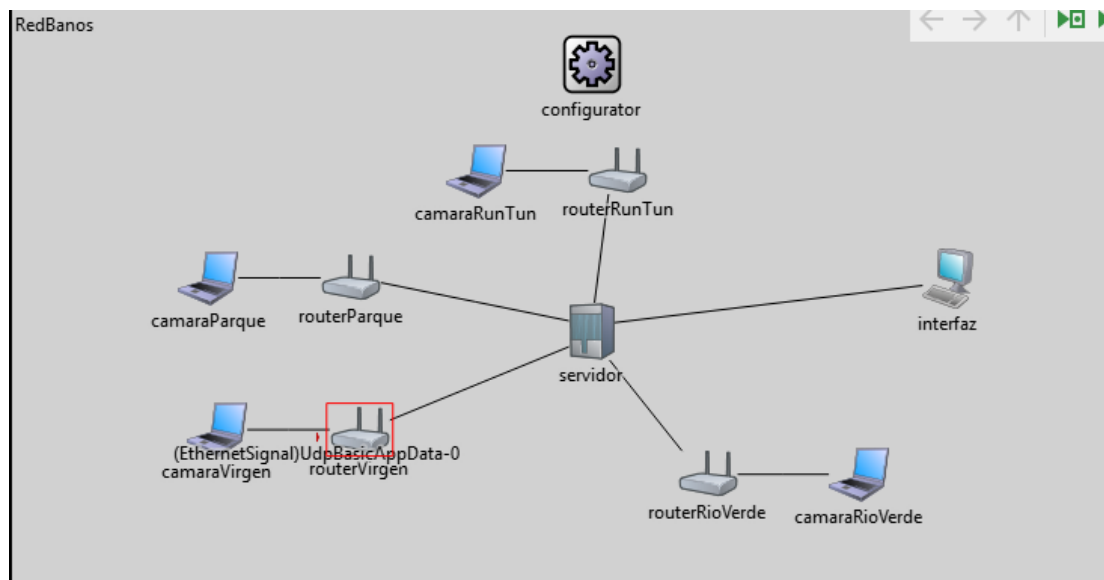


Figura 136. Simulación afluencia de personas

Parámetros del sistema

En la Tabla 77, se puede visualizar la configuración que se utilizó en el software OMNeT++ fue definida de acuerdo al funcionamiento del sistema de monitoreo de afluencia, que consiste en la cámara hikvision ds-CD1623G2-LIZU y la unidad de procesamiento Jetson Nano con IA. El tamaño de paquete 30 Bytes representa la información procesada que genera las cámaras al momento del análisis, como detección de personas, afluencia de personas, mas no la transmisión de video en tiempo real. La frecuencia de 0.5 segundos se estableció para simular una actualización constante de información hacia el servidor, permitiendo un monitoreo casi en tiempo real de la afluencia de personas en las zonas turísticas. El ancho de banda de 100 Mbps fue considerado debido a que la cámara Hikvision DS-2CD1623G2-LIZU incorpora una interfaz Ethernet 10/100 Mbps, proporcionando una capacidad adecuada para la transmisión e intercambio de datos dentro de la red local utilizada en la arquitectura IoT.

La distancia utilizada en la simulación es de 10 m, representa la conexión local entre cada cámara y su dispositivo de procesamiento Jetson Nano instalado en el mismo punto de monitoreo, y finalmente la Jetson Nano envía datos hacia el servidor mediante conexión a internet.

Tabla 77. Parámetros del sistema

Parámetros	Valor
Cámaras	4
Jetson Nano	4
Tamaño de datos	30 bytes por cámara
Frecuencia de datos	0.5 s
Distancia	10 m
Dispositivos	4 cámaras + 4 Jetson Nano + 1 servidor + 1 PC

Frecuencia de envío

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{0.5}$$

$$f = 2 \text{ mensajes/s}$$

La Jason transmite dos mensajes por segundo con la información del conteo de personas.

Paquetes enviados por Jason Nano

$$P_{Jetson} = f * t$$

$$P_{Jetson} = 2 * 1800$$

$$P_{Jetson} = 3600 \text{ paquetes}$$

La cantidad total de mensajes enviados por una Jetson durante toda la simulación. Cada Jetson transmite 3600 paquetes durante los 1800 segundos de simulación.

Paquetes enviados totales

$$P_{Total} = P_{Jetson} * N$$

$$P_{Total} = 3600 * 4$$

$$P_{Total} = 14400 \text{ paquetes}$$

Número total de mensajes generados por las 4 Jetson Nano.

Datos transmitidos

$$D = P_{total} * S$$

$$D = 14400 * 30$$

$$D = 432000 \text{ bytes}$$

Cantidad de información total enviada al servidor.

Throughput

$$Throughput = \frac{D}{t}$$

$$Throughput = \frac{432000}{1800}$$

$$Throughput = 240 \text{ Bytes/seg}$$

$$Throughput = 1920 \text{ bps}$$

La red transporta aproximadamente 240 bytes de información por segundo hacia el servidor.

Throughput por Jetson por cada cámara

$$Throughput_{\text{Jetson}} = \frac{P_{\text{Jetson}} * S}{t}$$

$$Throughput_{\text{Jetson}} = \frac{3600 * 30}{1800}$$

$$Throughput_{\text{Jetson}} = 60 \text{ bytes/s}$$

Perdidas de paquetes

$$Perdida = \frac{P_e - P_r}{P_e} * 100$$

$$Perdida = \frac{14400 - 14400}{14400} * 100$$

$$Perdida = 0 \%$$

Latencia

$$Latencia = T_p + T_t + T_s$$

$$Latencia = 50 + 20 + 10$$

$$Latencia = 80 \text{ ms}$$

Hay que tener en cuenta el WiFi, Internet y el tiempo que tarda en todos los procesos.

Ancho de banda Jetson / nube

$$BW = Throughput * Margen$$

$$BW = 1.92 * 1.3$$

$$BW = 2.5 \text{ kbps}$$

La comunicación Jetson y el servidor requiere poco ancho de banda.

Resultados

En la Tabla 78, los resultados muestran el tráfico generado por el envío de datos hacia la nube es bajo, ya que únicamente se transmite información relacionada con el conteo de personas.

Tabla 78. Resultados obtenidos

Métrica	Resultado	Aplicación
Frecuencia de envío	2 mensajes/s	Jetson Nano transmite dos mensajes por segundo con la información procesada.
Paquetes enviados por Jetson Nano	3600 paquetes	Cantidad total de mensajes enviados por una Jetson Nano durante los 1800 segundos de simulación.
Paquetes enviados totales	14400	Número total de mensajes generados por las 4 Jetson Nano
Datos transmitidos	432000 bytes	Cantidad total de información enviada desde las Jetson Nano hacia el servidor.
Throughput total	240 bytes (1.92 kbps)	Cantidad de información que se transmite por segundo hacia el servidor.
Throughput por Jetson	60 bytes (0.48kbps)	Tráfico generado individualmente por cada Jetson Nano.
Pérdida de paquetes	0 %	Perdida de paquetes
Latencia promedio	80 ms	Tiempo aproximado que tarda la información del conteo de personas en llegar y registrarse en el servidor.
Ancho de banda Jetson / Nube	2.5 kbps	Capacidad mínima requerida para la transmisión de datos procesados hacia el servidor

- **Envío de video en tiempo real**

Para representar un envío de video en tiempo real, se toma en cuenta algunos parámetros que representan este escenario, a continuación, en la Tabla 79, se puede visualizar los parámetros.

Tabla 79. Parámetros para envío de video en tiempo real

Parámetro	Configuración	Descripción
Cámaras IP	-	Se utilizaron 4 cámaras IP para simular videovigilancia inteligente.
Envío continuo de paquetes	-	Las cámaras transmiten datos continuamente durante toda la simulación.
Tráfico UDP	-	Se empleó protocolo UDP para representar transmisión de video en tiempo real.
Tamaño de paquetes	16667 Bytes	Cada paquete representa fragmentos de información multimedia.
Intervalo de envío	0,03 s	Los paquetes se transmiten aproximadamente cada 30 ms.
FPS aproximado	30 fps	Equivale a una transmisión cercana a 30 cuadros por segundo.
Throughput	Mbps	El tráfico generado corresponde a transmisión multimedia de alta velocidad.

En la Figura 137, se puede visualizar del envío de datos en tiempo real.

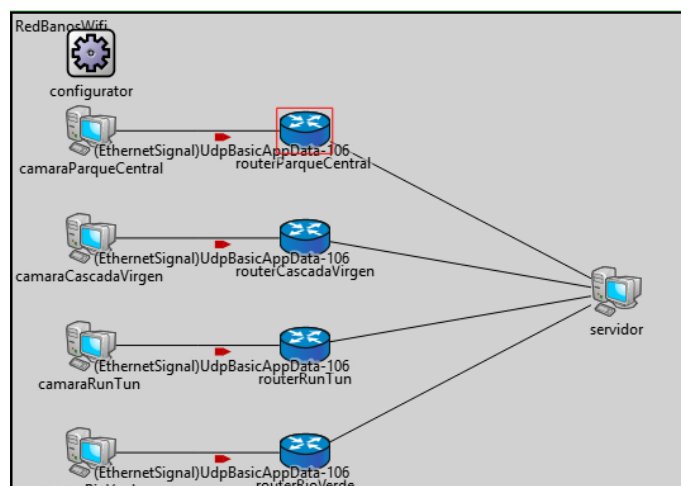


Figura 137. Envío de datos en tiempo real

La simulación ejecutada en OMNeT++ finalizó correctamente después de 60 segundos de operación, evidenciando el funcionamiento estable del sistema de videovigilancia inteligente. Durante la simulación, el servidor recibió un total de 7868 paquetes UDP generados por las cámaras IP distribuidas en diferentes zonas de la ciudad. Los resultados demuestran un flujo continuo de tráfico multimedia en tiempo real y una comunicación eficiente entre las cámaras, routers y servidor central, validando el comportamiento del sistema de transmisión de video propuesto. A continuación, se realiza los cálculos para ver el estado de la transmisión.

Frecuencia de envío

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{0.0333}$$

$$f = 330 \text{ fps}$$

La cámara trasmite 30 imágenes por segundo.

Paquetes enviados por cámara

$$P_{Jetson} = f * t$$

$$P_{Jetson} = 30 * 1800$$

$$P_{Jetson} = 54000$$

Corresponde al número total de imágenes transmitidas.

Frames enviados totales

$$Frame_{total} = 54000 * 4$$

$$Frame_{total} = 216000$$

Datos trasmitidos

$$D = Frame_{total} * S$$

$$D = 216000 * 16667$$

$$D = 3600072000 \text{ bytes}$$

$$D = 3.60 \text{ GB}$$

Representa el total de información generado y transmitido por las cámaras durante el tiempo de simulación.

Throughput

$$\text{Throughput} = \frac{D}{t}$$

$$\text{Throughput} = \frac{3600072000}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 2000040 \text{ Bytes/seg}$$

$$\text{Throughput} = 16000320 \text{ bps}$$

$$\text{Throughput} = 16 \text{ Mbps}$$

Cantidad promedio de información de video transmitida por segundo.

Throughput por cámara

$$\text{Throughput}_{\text{camara}} = \frac{54000 * 16667}{1800}$$

$$\text{Throughput}_{\text{camara}} = 500010 \text{ bytes/s}$$

$$40000 * 8 = 4 \text{ Mbps}$$

Tráfico generado individualmente por cada cámara.

Perdidas de paquetes

$$\text{Perdida} = \frac{P_e - P_r}{P_e} * 100$$

$$\text{Perdida} = \frac{216000 - 216000}{216000} * 100$$

$$Perdida = 0 \%$$

Latencia

$$Latencia = T_p + T_t + T_s$$

$$Latencia = 33 + 20 + 10$$

$$Latencia = 63 \text{ ms}$$

Hay que tener en cuenta el WiFi, Internet y el tiempo que tarda en todos los procesos.

Ancho de banda Cámara

Aplicando margen de seguridad 30%.

$$BW = Bitrate_{total} * 1.3$$

$$BW = 16 * 1.3$$

$$BW = 20.8 \text{ Mbps}$$

Resultados

En la Tabla 80, se presenta los resultados del sistema de monitoreo de afluencia de personas, en este caso envió de video, considerando parámetros de rendimiento de la red como throughput, latencia, pérdida de paquetes y ancho de banda requerido, con el objetivo de evaluar el sistema.

Tabla 80. Resultados obtenidos

Métrica	Resultado	Aplicación
Frecuencia de envío	30 fps	Jetson Nano transmite dos mensajes por segundo con la información procesada.
Paquetes enviados por Jetson Nano	54000 frames	Cantidad total de mensajes enviados
Paquetes enviados totales	216000 frames	Número total de mensajes generados
Datos transmitidos	3600072000 bytes (3.60 GB)	Cantidad total de información enviada

Métrica	Resultado	Aplicación
Throughput total	2000040 Bytes/s (16 Mbps)	Cantidad de información que se transmite por segundo hacia el servidor.
Throughput por cámara	500010 Bytes/s (4 Mbps)	Tráfico generado individualmente por cada Jetson Nano.
Pérdida de paquetes	0 %	Perdida de paquetes
Latencia promedio	63 ms	Tiempo aproximado que tarda la transmisión de video
Ancho de banda Jetson / Nube	20.8 Mbps	Capacidad requerida para transmisión de video

En la Figura 138, se puede visualizar el diagrama de conexiones de las cámaras IP en este caso para acceder al video en tiempo real en las diferentes zonas de estudio. Cada cámara se conecta mediante cable Ethernet a un switch PoE, el cual proporciona alimentación eléctrica y transmisión de datos simultáneamente. Los switches permiten transportar el video captado por las cámaras hacia la infraestructura de red. Esta configuración permite una transmisión estable y eficiente de video.

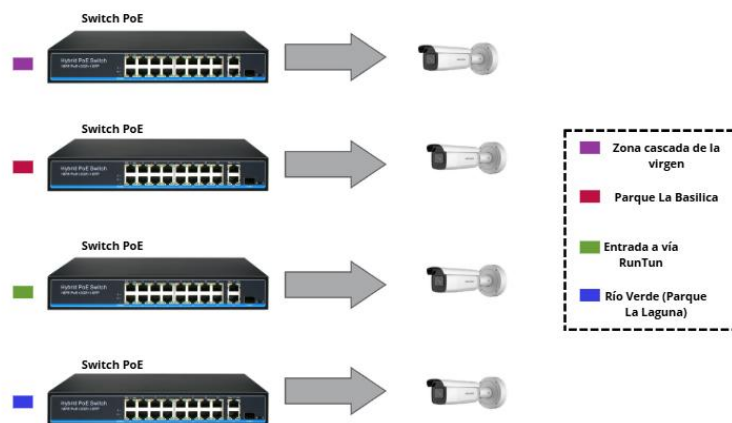


Figura 138. Diagrama de conexión de cámaras IP

d. Diseño de red WiFi

• Red Gateway Centro- Servidor

La transmisión de información hacia el servidor por WiFi requiere un ancho de banda bajo, de aproximadamente 10.85 kbps integrado el margen de seguridad. Esto se debe

a que la Gateway no transmite video, solo transmite datos numéricos que son recolectados por los sensores de parqueo y la estación meteorológica. Por lo que una conexión convencional puede soportar sin problemas el tráfico de datos. A continuación, se realiza los cálculos:

Datos del sistema

Sensores de parqueo: 472; tamaño de paquete= 11 bytes; total= 5192 bytes

Estación meteorológica: 1; tamaño de paquete= 25 bytes; total= 25 bytes

Tiempo: 5 segundos

Total, por envío a la Gateway

$$D = (472 * 11) + 25$$

$$D = 5192 + 25$$

$$D = 5217 \text{ Bytes}$$

Frecuencia de envío

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{5}$$

$$f = 0.2 \text{ mensajes/segundos}$$

La Gateway transmite información al servidor cada 5 segundos.

Paquetes enviados totales

$$P = f * t$$

$$P = 0.2 * 1800$$

$$P = 360 \text{ paquetes}$$

Número total de transmisiones realizadas por la Gateway.

Datos transmitidos

$$D_{total} = P * D$$

$$D_{total} = 360 * 5217$$

$$D_{total} = 1878120 \text{ bytes}$$

$$D_{total} = 1.88 \text{ MB}$$

Cantidad total de información enviada desde la Gateway hacia el servidor.

Throughput

$$\text{Throughput} = \frac{D_{total}}{t}$$

$$\text{Throughput}_{\text{camara}} = \frac{1878120}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 1043.4 \text{ bytes/s}$$

$$40000 * 8 = 8347.2 \text{ bps} = 8.35 \text{ kbps}$$

Cantidad promedio de información transmitida por segundo desde la Gateway hacia el servidor.

Perdidas de paquetes

$$\text{Perdida} = \frac{P_e - P_r}{P_e} * 100$$

$$\text{Perdida} = \frac{360 - 360}{360} * 100$$

$$\text{Perdida} = 0 \%$$

Latencia

$$\text{Latencia} = T_p + T_t + T_s$$

$$\text{Latencia} = 5 + 10 + 15$$

$$Latencia = 30 \text{ ms}$$

Hay que tener en cuenta el WiFi, Internet y el tiempo que tarda en todos los procesos.

Ancho de banda requerido

$$BW = Throughput * 1.3$$

$$BW = 8.35 * 1.3$$

$$BW = 10.85 \text{ kbps}$$

Capacidad mínima recomendada para garantizar una transmisión estable entre la Gateway y el servidor.

En la Tabla 81, se muestra la información generada por los 472 sensores de parqueo y la estación meteorológica produce un tráfico relativamente bajo en el enlace WiFi entre la Gateway y el servidor. Durante los 1800 segundos de simulación, se transmitieron aproximadamente 1.88 MB de información, alcanzando un throughput de 8.35 kbps.

Tabla 81. Resultados obtenidos

Métrica	Resultado	Aplicación
Frecuencia de envío	0.2 mensajes/s	La Gateway transmite la información cada 5 segundos
Paquetes enviados	360 paquetes	Cantidad total de mensajes enviados
Datos transmitidos	1878120 bytes (1.88 MB)	Cantidad total de información enviada
Throughput	1043.4 bytes (8.35 kbps)	Cantidad de información que se transmite por segundo hacia el servidor.
Pérdida de paquetes	0 %	Perdida de paquetes
Latencia promedio	30 ms	Tiempo de retardo de transmisión y procesamiento
Ancho de banda	10.85 Mbps	Capacidad mínima recomendada del enlace entre la Gateway y el servidor.

- **Red Gateway Montaña- Servidor**

Estación meteorológica: 1; tamaño de paquete= 25 bytes; total= 25 bytes

Tiempo: 5 segundos

Total, por envío a la Gateway

$$D = 1 * 25$$

$$D = 25 \text{ Bytes}$$

Frecuencia de envío

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{5}$$

$$f = 0.2 \text{ mensajes/segundos}$$

La Gateway transmite información al servidor cada 5 segundos.

Paquetes enviados totales

$$P = f * t$$

$$P = 0.2 * 1800$$

$$P = 360 \text{ paquetes}$$

Número total de transmisiones realizadas por la Gateway.

Datos trasmitidos

$$D_{total} = P * D$$

$$D_{total} = 360 * 25$$

$$D_{total} = 900 \text{ bytes}$$

$$D_{total} = 9 \text{ kB}$$

Cantidad total de información enviada desde la Gateway hacia el servidor.

Throughput

$$\text{Throughput} = \frac{D_{total}}{t}$$

$$\text{Throughput}_{camara} = \frac{9000}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 5 \text{ bytes/s}$$

$$40000 * 8 = 40 \text{ bps}$$

Cantidad promedio de información transmitida por segundo desde la Gateway hacia el servidor.

Perdidas de paquetes

$$\text{Perdida} = \frac{P_e - P_r}{P_e} * 100$$

$$\text{Perdida} = \frac{360 - 360}{360} * 100$$

$$\text{Perdida} = 0 \%$$

Latencia

$$\text{Latencia} = T_p + T_t + T_s$$

$$\text{Latencia} = 5 + 10 + 15$$

$$\text{Latencia} = 30 \text{ ms}$$

Hay que tener en cuenta el WiFi, Internet y el tiempo que tarda en todos los procesos.

Ancho de banda requerido

$$BW = \text{Throughput} * 1.3$$

$$BW = 40 * 1.3$$

$$BW = 0.052 \text{ kbps}$$

Capacidad mínima recomendada para garantizar una transmisión estable entre la Gateway y el servidor.

En la Tabla 82, se muestra la información generada por la estación metereologica que produce un trafica muy bajo en el enlace entre la Gateway y el servidor. Durante los 1800 segundos de simulación, se transmitieron únicamente 9 KB de información, alcanzando un throughput de 40 bps y requiriendo un ancho de banda aproximado de 0.052 kbps, lo que demuestra que este tipo de aplicaciones IoT demanda recursos mínimos de comunicación.

Tabla 82. Resultados obtenidos

Métrica	Resultado	Aplicación
Frecuencia de envío	0.2 mensajes/s	La Gateway transmite la información cada 5 segundos
Paquetes enviados	360 paquetes	Cantidad total de mensajes enviados
Datos transmitidos	9000 bytes (9 kB)	Cantidad total de información enviada
Throughput	5 bytes (40 kbps)	Cantidad de información que se transmite por segundo hacia el servidor.
Pérdida de paquetes	0 %	Perdida de paquetes
Latencia promedio	30 ms	Tiempo de retardo de transmisión y procesamiento
Ancho de banda	0.052 kbps	Capacidad mínima recomendada del enlace entre la Gateway y el servidor.

- **Red Gateway Rio Verde - Servidor**

Estación meteorológica: 1; tamaño de paquete= 25 bytes; total= 25 bytes

Tiempo: 5 segundos

Total, por envío a la Gateway

$$D = 1 * 25$$

$$D = 25 \text{ Bytes}$$

Frecuencia de envío

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{5}$$

$$f = 0.2 \text{ mensajes/segundos}$$

La Gateway transmite información al servidor cada 5 segundos.

Paquetes enviados totales

$$P = f * t$$

$$P = 0.2 * 1800$$

$$P = 360 \text{ paquetes}$$

Número total de transmisiones realizadas por la Gateway.

Datos trasmitidos

$$D_{total} = P * D$$

$$D_{total} = 360 * 25$$

$$D_{total} = 900 \text{ bytes}$$

$$D_{total} = 9 \text{ kB}$$

Cantidad total de información enviada desde la Gateway hacia el servidor.

Throughput

$$\text{Throughput} = \frac{D_{total}}{t}$$

$$\text{Throughput}_{\text{camara}} = \frac{9000}{1800}$$

$$\text{Throughput} = 5 \text{ bytes/s}$$

$$40000 * 8 = 40 \text{ bps}$$

Cantidad promedio de información transmitida por segundo desde la Gateway hacia el servidor.

Perdidas de paquetes

$$\text{Perdida} = \frac{P_e - P_r}{P_e} * 100$$

$$\text{Perdida} = \frac{360 - 360}{360} * 100$$

$$\text{Perdida} = 0 \%$$

Latencia

$$\text{Latencia} = T_p + T_t + T_s$$

$$\text{Latencia} = 5 + 10 + 15$$

$$\text{Latencia} = 30 \text{ ms}$$

Hay que tener en cuenta el WiFi, Internet y el tiempo que tarda en todos los procesos.

Ancho de banda requerido

$$BW = \text{Throughput} * 1.3$$

$$BW = 40 * 1.3$$

$$BW = 0.052 \text{ kbps}$$

Capacidad mínima recomendada para garantizar una transmisión estable entre la Gateway y el servidor.

En la Tabla 83, se muestra la información generada por la estación metereologica que produce un trafica muy bajo en el enlace entre la Gateway y el servidor. Durante los 1800 segundos de simulación, se transmitieron únicamente 9 KB de información, alcanzando un throughput de 40 bps y requiriendo un ancho de banda aproximado de 0.052 kbps, lo que demuestra que este tipo de aplicaciones IoT demanda recursos mínimos de comunicación.

Tabla 83. Resultados obtenidos

Métrica	Resultado	Aplicación
Frecuencia de envío	0.2 mensajes/s	La Gateway trasmite la información cada 5 segundos
Paquetes enviados	360 paquetes	Cantidad total de mensajes enviados
Datos transmitidos	9000 bytes (9 kB)	Cantidad total de información enviada
Throughput	5 bytes (40 kbps)	Cantidad de información que se transmite por segundo hacia el servidor.
Pérdida de paquetes	0 %	Perdida de paquetes
Latencia promedio	30 ms	Tiempo de retardo de transmisión y procesamiento
Ancho de banda	0.052 kbps	Capacidad mínima recomendada del enlace entre la Gateway y el servidor.

e. Capacidad del servidor

En la Tabla 84, se visualiza el resumen total de tráfico hacia el servidor, se incluye datos provenientes del sistema de monitoreo ambiental, sistema de parqueadero inteligente y sistema de afluencia de personas.

Tabla 84. Resumen total del tráfico

Monitoreo	Dispositivos	Tamaño	Intervalo	Throughput
Ambiental	2 estaciones	25 Bytes	5 s	10 Bytes / s
Parqueo	472 sensores	11 Bytes	5 s	1038.4 Bytes / s
Estación centro (Ambiental)	1 estación	25 Bytes	5 s	5 Bytes / s
Afluencia	4 Jetson Nano	30 Bytes	5 s	240 Bytes / s
Afluencia video	4 cámaras	16667 Bytes	30 fps	2000040 Bytes / s
Total				2001333.4 Bytes / s

Throughput Total

Para el cálculo del Throughput total únicamente se considera el tráfico correspondiente a la adquisición y transmisión de datos de monitoreo generados por los diferentes sistemas. No se incluye el tráfico de la transmisión de video en tiempo real, ya que el procesamiento se realiza localmente en los dispositivos de borde, evitando un incremento innecesario del tráfico de red y reduciendo la carga sobre el servidor.

$$\text{Throughput}_{total} = 10 + 1038.4 + 5 + 240$$

$$\text{Throughput}_{total} = 1293.4 \text{ Bytes/s}$$

$$1293.4 * 8 = 10347.2 \text{ bps}$$

$$10347.2 \text{ bps} = 10.35 \text{ kbps}$$

Ancho de banda requerido

$$BW = \text{Throughput} * 1.3$$

$$BW = 10.35 * 1.3$$

$$BW = 13.45 \text{ kbps}$$

En la Tabla 85, se puede visualizar las solicitudes por segundo que realiza cada sistema.

Tabla 85. Solicitudes por segundo del sistema

Monitoreo	Solicitudes
Ambiental	0.4 req/ s
Parqueo	0.2 req/ s
Estación centro (Ambiental)	0.2 req/ s
Afluencia conteo	8 req/ s
Afluencia video	120 req/ s
Total	128.8 req/ s

A continuación, se presentan los cálculos del número de solicitudes realizadas por día y por mes, así como del volumen total de datos transmitidos al servidor, con el fin de determinar la demanda de tráfico generada por los sistemas IoT implementados.

Solicitudes por día

$$\text{Solicitudes/día} = 8.8 * 86400$$

760320 solicitudes por día

Solicitudes por mes

$$\text{Solicitudes/día} = 760320 * 30$$

22809600 solicitudes por mes

Datos transmitidos por día

$$\text{Datos/día} = 1293.4 * 86400$$

111749760 bytes por día

111749760 bytes = 111.75 MB/día

Datos transmitidos por mes

$$\text{Datos/mes} = 111.75 * 30$$

3352.5 MB por mes

3.35 GB por mes

La capacidad del servidor fue seleccionada considerando las solicitudes generadas por los sistemas de monitoreo ambiental, parqueadero inteligente y afluencia de personas. Para ello, se tomó en cuenta únicamente el tráfico correspondiente a los datos procesados y transmitidos hacia el servidor, excluyendo el flujo de video en tiempo real debido a que este es procesado localmente en los dispositivos de borde y posibles inconvenientes si se incluyen con los datos de monitoreo. Como resultado, el tráfico total generado por los sistemas IoT alcanza aproximadamente 1293.4 Bytes/s, equivalente a 10.35 kbps. Al aplicar un margen de seguridad del 30 %, se obtiene un

ancho de banda requerido de 13.45 kbps. Además, el servidor debe ser capaz de procesar aproximadamente 8.8 solicitudes por segundo, lo que representa 760320 solicitudes diarias y 22809600 solicitudes mensuales. En términos de almacenamiento y transferencia de datos, el sistema genera alrededor de 111.75 MB diarios y 3.35 GB mensuales. Considerando estos requerimientos y con el objetivo de garantizar la escalabilidad, disponibilidad y crecimiento futuro de la arquitectura IoT propuesta, se seleccionó un servidor en la nube con recursos superiores a los mínimos calculados, asegurando un funcionamiento estable y eficiente para el almacenamiento, procesamiento y visualización de la información generada por los diferentes sistemas de monitoreo. En la Tabla 86, se presentan el nombre y las principales características técnicas del servidor seleccionado para el almacenamiento, procesamiento y gestión de la información generada por los sistemas IoT implementados.

Tabla 86. Servidor seleccionado [125]

Característica	Valor
Proveedor	DigitalOcean
Plan	General Purpose Droplet
vCPU	4 vCPU
RAM	8 GB
Almacenamiento	100 GB SSD NVMe
Transferencia incluida	7 TB/mes
Sistema operativo	Ubuntu Server 24.04 LTS
Base de datos	InfluxDB + PostgreSQL
Plataforma de visualización	Grafana
Precio aproximado	84 USD/mes

f. Configuraciones de Grafana

Grafana será utilizada como plataforma de monitoreo y visualización para presentar la información recogida por los dispositivos de la arquitectura IoT. La plataforma permitirá el acceso a diferentes tipos de usuarios, con diferentes roles, garantizando seguridad y disponibilidad de información. En la Tabla 87, se muestra los tipos de usuarios y con los permisos que se autoriza.

Tabla 87. Permisos a usuarios

Tipo de usuario	Información disponible
Administrador	Acceso completo a dashboard, configuraciones del sistema, usuarios y base de datos.
Operador municipal	Visualización de métricas ambientales, afluencia de personas y ocupación de parqueaderos.
Turista	Consulta de información pública como la disponibilidad de parqueaderos, condiciones climáticas y nivel de afluencia de personas.

En la Tabla 88, se estima la capacidad de acceso simultaneo de usuarios en tres escenarios, demanda baja, demanda media y demanda baja.

Tabla 88. Capacidad de usuarios

Escenario	Usuarios concurrentes
Demanda baja (días normales)	50 usuarios
Demanda media (fines de semana)	200 usuarios
Demanda alta (feriados y eventos turísticos)	500 usuarios

La infraestructura propuesta con 4 vCPU y 8 GB de memoria RAM permite soportar los niveles de acceso concurrentes sin afectar el rendimiento de la plataforma.

Costos de Grafana

Para la arquitectura propuesta se recomienda usar Grafana Cloud Pro, el cual permite, acceso remoto seguro mediante HTTPS, autenticación de usuarios, ofrece alta disponibilidad, control de acceso basado en roles. A continuación, en la Tabla 89, se muestra los costos de los planes de Grafana.

Tabla 89. Costos de Grafana

Plan	Costo
Grafana Open Source	Gratuito
Grafana Cloud Pro	19 USD / mes
Grafana Enterprise	Licenciamiento empresarial personalizado 2083 USD / mes

g. Consideraciones para la seguridad de datos

Con el objetivo de garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información transmitida por los sistemas de monitoreo ambiental, parqueadero inteligente y afluencia de personas, se plantean implementar mecanismos de seguridad tanto en los dispositivos IoT como en la comunicación con el servidor en la nube.

- **AES Secure Payload**

Para proteger la información transmitida por los dispositivos IoT, se emplea el algoritmo de cifrado AES (Advanced Encryption Standard) con una longitud de clave de 128 bits. Este mecanismo permite cifrar la carga útil (payload) antes de ser transmitida, evitando que terceros puedan interpretar los datos en caso de interceptar la comunicación [55].

En el sistema de monitoreo ambiental y parqueadero inteligente, los datos generados por los sensores son cifrados mediante AES antes de ser enviados a través de la red LoRaWAN hacia la gateway. Posteriormente, los datos permanecen protegidos hasta llegar al servidor, donde son descifrados para su almacenamiento y procesamiento [54].

- **Seguridad de la comunicación**

Uso de HTTPS y TLS

La comunicación entre la gateway, las Jetson Nano y el servidor en la nube se realiza mediante el protocolo HTTPS, el cual utiliza TLS (Transport Layer Security) para cifrar la información durante su transmisión. Esto evita ataques de interceptación (Man-in-the-Middle) y garantiza que los datos lleguen íntegros al servidor [126].

Autenticación de dispositivos

Cada dispositivo que forma parte de la arquitectura posee un identificador único que permite verificar su identidad antes de establecer comunicación con el servidor. De

esta manera, únicamente dispositivos autorizados pueden enviar información al sistema.

Tokens y certificados

Para reforzar la autenticación, el servidor utiliza tokens de acceso o certificados digitales que permiten validar la procedencia de las solicitudes recibidas. Esto reduce el riesgo de que dispositivos no autorizados intenten inyectar información falsa en la plataforma.

Cifrado en tránsito

Toda la información transmitida desde las gateways y dispositivos de borde hacia el servidor se encuentra cifrada mediante TLS, garantizando la protección de los datos durante su recorrido por Internet.

Control de acceso al servidor

El acceso al servidor se restringe mediante mecanismos de autenticación basados en usuarios y roles. De esta forma, únicamente el personal autorizado puede acceder a la configuración, administración y visualización de los datos almacenados.

Validación de datos

Antes de ser almacenados en la base de datos, los datos recibidos son sometidos a procesos de validación para verificar su formato, rango de valores y consistencia. Este procedimiento permite detectar información errónea, datos corruptos o intentos de manipulación de la información.

3.4.3 Prototipo de prueba

El prototipo implementado en este proyecto tiene un carácter demostrativo y funcional, orientado a validar la operación general de la arquitectura IoT propuesta para turismo inteligente. Su finalidad no es reproducir completamente las condiciones reales de despliegue en la ciudad de Baños de Agua Santa, sino comprobar, en un entorno controlado, que los tres subsistemas definidos pueden integrarse correctamente dentro de una arquitectura común.

La arquitectura propuesta contempla tres subsistemas principales: monitoreo ambiental, monitoreo de afluencia turística y parqueadero inteligente. Para la demostración inicial, se utilizaron dispositivos de bajo costo y una maqueta física que permiten simular el comportamiento de los elementos reales que formarían parte de una futura implementación.

En el caso del subsistema de monitoreo ambiental, el proyecto propone el uso de una estación meteorológica para una implementación real. Sin embargo, para efectos de validación inicial, se emplearon sensores ambientales de bajo costo, capaces de registrar variables representativas como temperatura, humedad y otras variables meteorológicas. Estos sensores permiten demostrar el proceso de adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de datos ambientales dentro de la arquitectura IoT.

Para el subsistema de parqueadero inteligente, se desarrolló una maqueta con sensores ultrasónicos (HC-SR04), mediante la cual se simula la detección de espacios disponibles y ocupados. Esta implementación permite validar la lógica de funcionamiento del subsistema, el envío del estado de los espacios de parqueo hacia el servidor y su visualización en la interfaz gráfica.

En el subsistema de monitoreo de afluencia turística, se utilizó una Jetson Nano, encargada de realizar el procesamiento local de imágenes para determinar el número de personas presentes en una zona determinada. Este componente permite demostrar el uso de procesamiento en el borde, reduciendo la necesidad de transmitir video completo hacia el servidor y enviando únicamente el dato procesado correspondiente a la cantidad de personas detectadas.

El desarrollo del prototipo responde a la necesidad de comprobar la factibilidad funcional de la arquitectura propuesta antes de una implementación a escala real. Debido a que el despliegue completo de una solución IoT en una ciudad turística requiere infraestructura, permisos, equipos industriales, conectividad permanente y pruebas prolongadas en campo, se optó por una validación inicial mediante un prototipo controlado.

a. Capa de percepción

- *Monitoreo Ambiental*

Para el monitoreo ambiental se cuenta con un Gateway como nodo principal, este nodo se le va a configurar como maestro, y se cuenta con tres estaciones meteorológicas que representa las tres zonas de estudio, Zona Centro, Zona Montañosa y Zona Río Verde, para ello se configuro los diferentes nodos. En la Figura 139, se puede visualizar la estructura de las estaciones y Gateway. Cada estación meteorológica fue implementada mediante un microcontrolador ESP32, un módulo de comunicación LoRa RFM95W y un sensor DHT22 para la adquisición de variables ambientales. Por su parte, el Gateway está integrada por un microcontrolador ESP32 y un módulo LoRa RFM95W, permitiendo la recepción y gestión de los datos transmitidos por las estaciones.

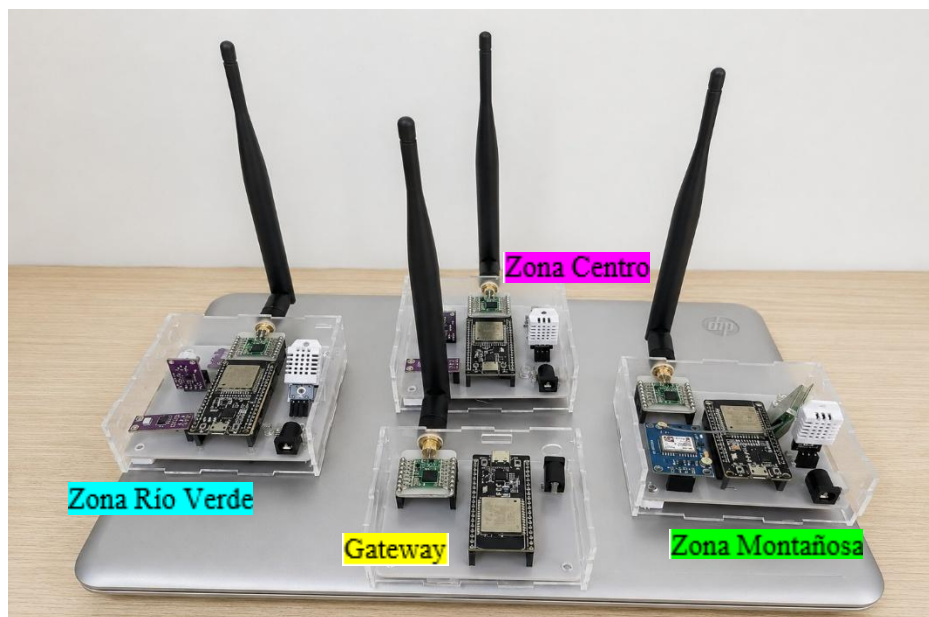


Figura 139. Nodos y Gateway

La configuración de las estaciones meteorológicas se realiza de forma de esclavos, es decir el mismo código se ejecuta en las tres estaciones, permitiendo que transmitan datos al Gateway. Para diferenciar cada dispositivo, se modifica el parámetro SLAVE_ID, asignando un identificador único a cada ESP32 esclavo. Además, el código incorpora la dirección MAC del nodo maestro, permitiendo establecer la comunicación directa entre los esclavos y el Gateway. Esta configuración facilita la

recolección distribuida de datos ambientales y su posterior envío hacia el servidor para almacenamiento y visualización.

La programación de las estaciones meteorológicas se realiza bajo una arquitectura de nodos esclavos, donde cada ESP32 se encarga de recopilar información ambiental y transmitirla de forma inalámbrica hacia el Gateway, en la Figura 140, se puede observar el diagrama de flujo del código de las estaciones meteorológicas.

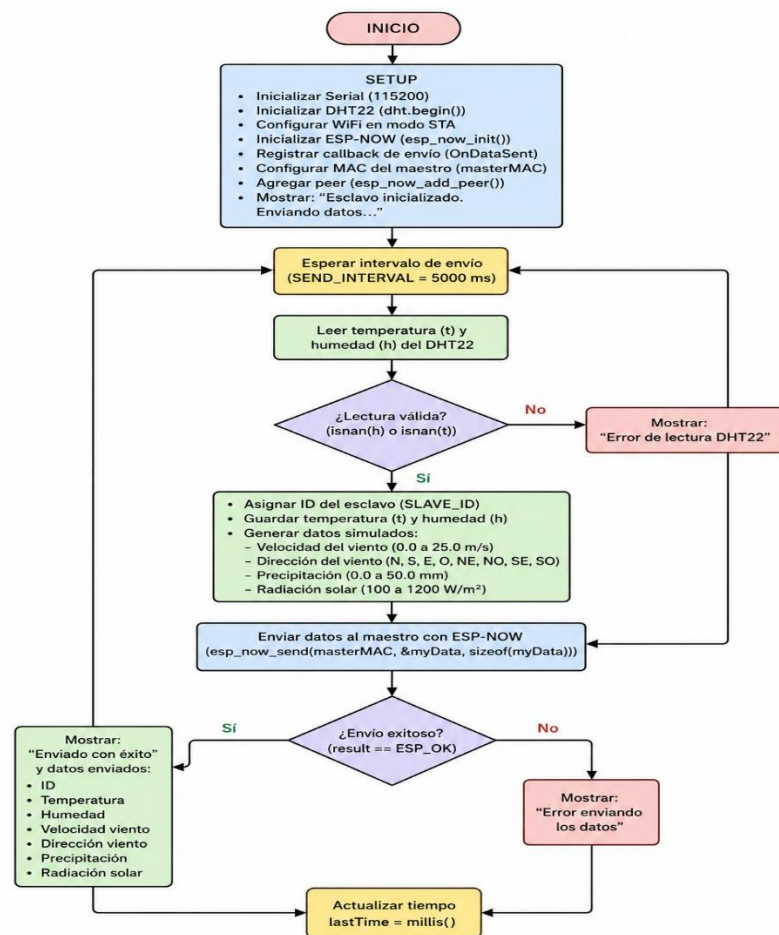


Figura 140. Diagrama de flujo, del código de las estaciones meteorológicas

• *Monitoreo de Afluencia Turística*

Para el monitoreo de afluencia turística se utilizó un video previamente grabado en la ciudad de Baños de Agua Santa, mediante el cual se realizó el análisis de afluencia y conteo de personas haciendo referencia la Hikvision DS-2CD1623G2-LIZU, así como la identificación de las zonas con mayor circulación de turistas. De igual manera, se efectuó el monitoreo vehicular, permitiendo analizar la cantidad de vehículos presentes

y el nivel de afluencia en determinadas áreas de estudio. En la Figura 141, se puede visualizar un modelo del esquema de la adquisición de datos de la cámara.

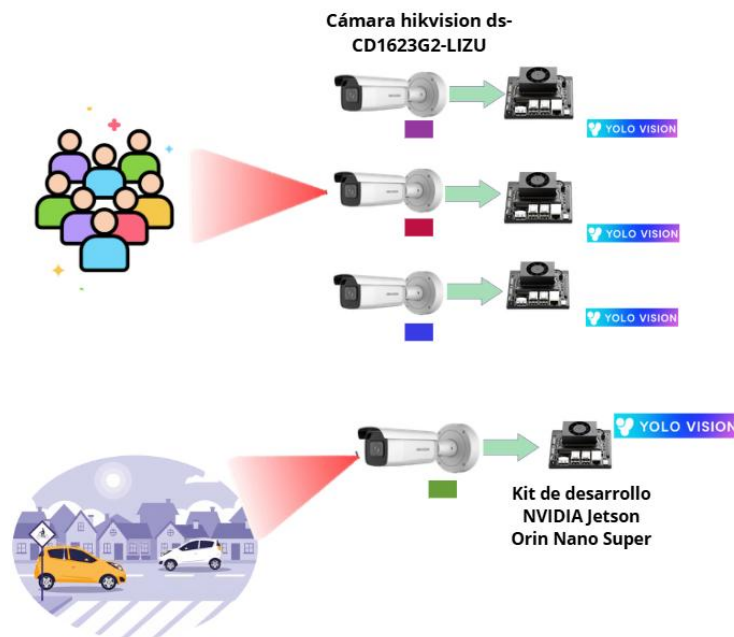


Figura 141. Adquisición de datos de la cámara

- ***Parqueadero Inteligente***

El prototipo de prueba del parqueadero inteligente permitirá validar el funcionamiento del sistema propuesto mediante escenarios controlados orientados al monitoreo y gestión de espacios de estacionamiento en tiempo real. En la Figura 142, se puede visualizar el sistema del parqueadero inteligente, en donde haciendo referencia a los sensores LoRa PlacePod, se integra los sensores ultrasónicos HC-SR04. La cantidad de sensores es 10, y están distribuidos en los espacios de parqueo de la maqueta de demostración.

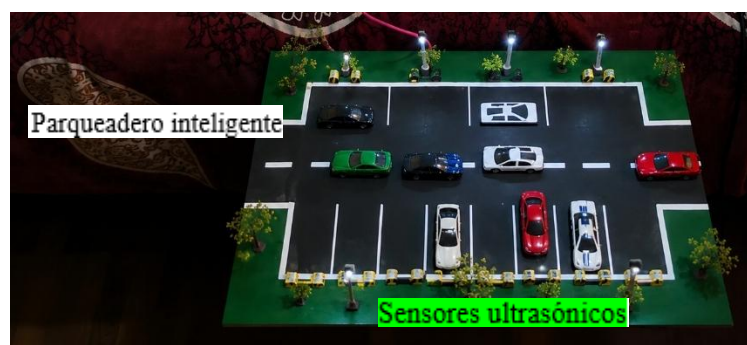


Figura 142. Parqueadero inteligente

En la Figura 143, se puede observar el diagrama de flujo del código utilizado para la recolección y transmisión de información proveniente de los sensores ultrasónicos empleados en el sistema de parqueadero inteligente.

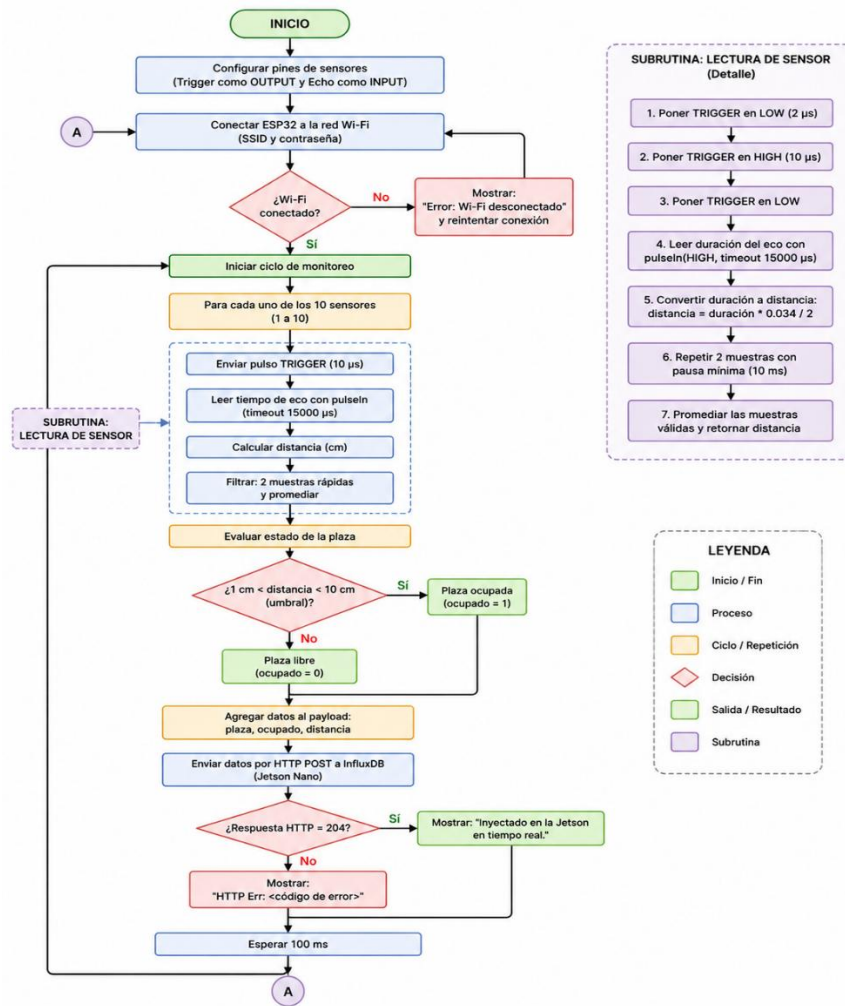


Figura 143. Diagrama de flujo del código de parqueo inteligente

b. Capa de Red (Comunicación)

• Monitoreo Ambiental

Gateway Central (Maestro)

En la Figura 144, se puede visualizar al nodo que va a cumplir la función de Gateway principal. En donde se puede visualizar un prototipo de comunicación IoT basado en

tecnología LoRaWAN. El Gateway está conformado por un microcontrolador ESP32 y un módulo LoRa RFM95W con una antena externa de largo alcance, permitiendo la recepción y gestión de los datos transmitidos por las estaciones.



Figura 144. Gateway de la arquitectura

En donde su configuración y programación fueron desarrolladas en el entorno de Arduino IDE, permitiendo establecer la comunicación entre el microcontrolador ESP32 y el módulo LoRa para la transmisión y recepción de datos en tiempo real. En la Figura 145, se muestra el diagrama de flujo del código implementado se presenta a continuación, mostrando la secuencia lógica de inicialización, procesamiento y envío de datos del sistema.

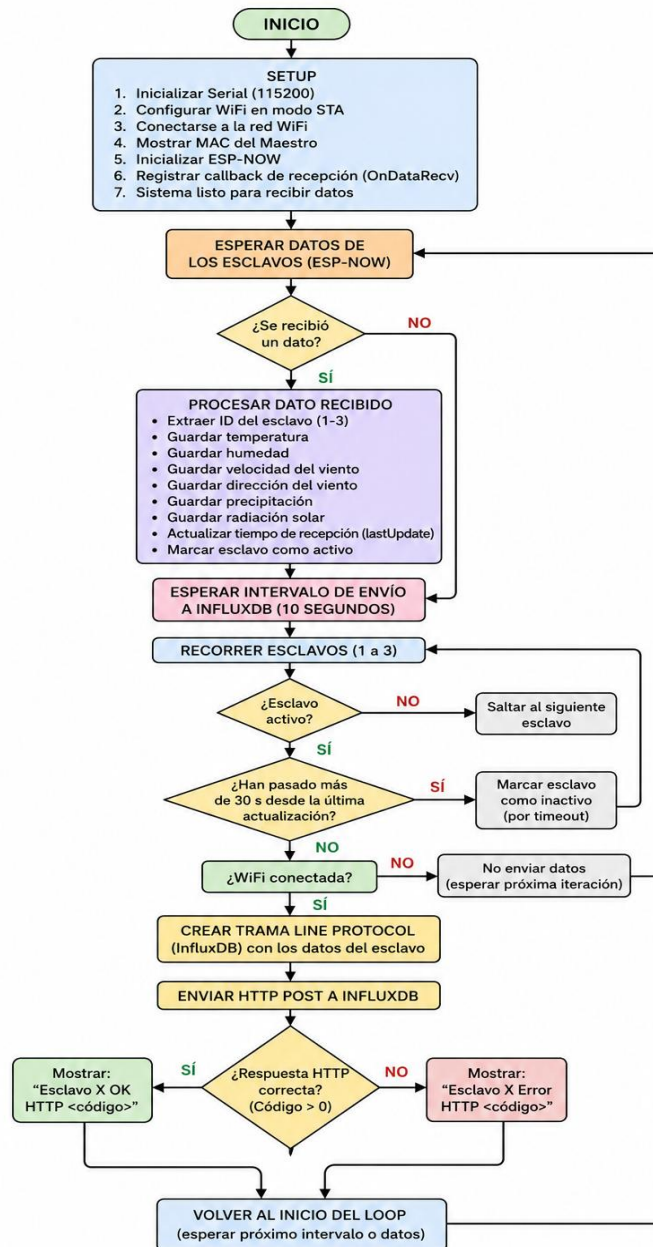


Figura 145. Diagrama de flujo, del código del Gateway

• *Monitoreo de Afluencia Turística*

La capa de red del sistema de monitoreo de afluencia de personas está conformada por la infraestructura de comunicación basada en WiFi e Internet, encargada de transportar la información procesada por la Jetson Orin Nano hacia el servidor en la nube mediante protocolos TCP/IP y servicios seguros de comunicación. Esta capa garantiza la conectividad entre los dispositivos de borde y la plataforma de almacenamiento,

permitiendo la transmisión de datos en tiempo real para su posterior visualización y análisis.

- ***Parqueadero Inteligente***

En la Figura 146, se puede visualizar el proceso de transmisión de datos desde los sensores de parqueo hacia la Gateway, la cual se encarga de recibir, concentrar y gestionar la información generada por los dispositivos desplegados en el sistema de parqueadero inteligente. La gateway se conecta a la red Wi-Fi para enviar los datos de los sensores ultrasónicos al servidor, donde la información es almacenada y procesada en la base de datos InfluxDB.

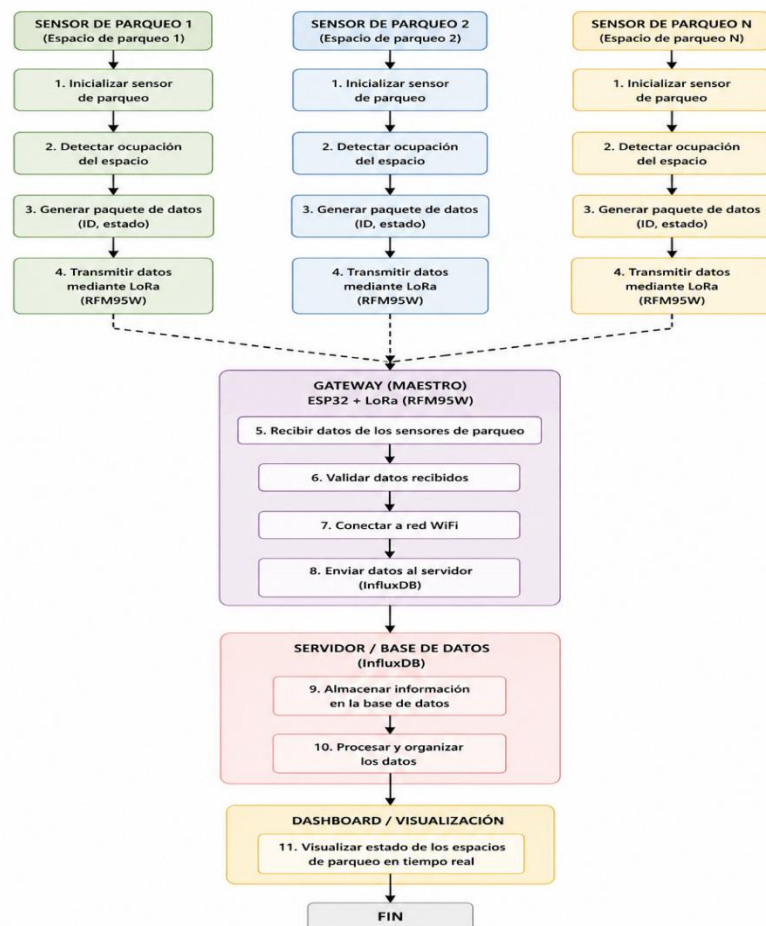


Figura 146. Envío de datos de los sensores de parqueo hacia la Gateway

c. Capa de Procesamiento

- *Monitoreo Ambiental*

En la Figura 147, se puede observar el servidor NVIDIA Jetson Nano utilizados dentro de la arquitectura propuesta. La estación meteorológica se encarga de recopilar variables ambientales mediante sensores conectados al ESP32, mientras que la Jetson Nano realiza el procesamiento y gestión de la información recibida para su monitoreo, análisis y visualización dentro del sistema IoT.



Figura 147. NVIDIA Jetson Nano

Una vez que los datos son recopilados por las estaciones meteorológicas, estos son transmitidos de forma inalámbrica hacia el Gateway, el cual se encarga de recibir y reenviar la información al servidor para su procesamiento y almacenamiento en la base de datos InfluxDB, como se puede observar en la Figura 148. En este sistema se creó una tabla, en donde se van guardando del nodo esclavo Zona Centro.

Filter tables...	_start	_stop	_time	_value	_field
_field=humedad_measurement=dht22 esclavo=1	2026-06-02 11:10:36 GMT...	2026-06-02 11:11:36 GMT-5	2026-06-02 11:10:40 GM...	58,30	humedad
_field=precipitacion_measurement=dht22 esclavo=1	2026-06-02 11:10:36 GMT...	2026-06-02 11:11:36 GMT-5	2026-06-02 11:10:50 GM...	58,20	humedad
_field=radiacion_solar_measurement=dht22 esclavo=1	2026-06-02 11:10:36 GMT...	2026-06-02 11:11:36 GMT-5	2026-06-02 11:10:59 GM...	58,10	humedad
_field=temperatura_measurement=dht22 esclavo=1	2026-06-02 11:10:36 GMT...	2026-06-02 11:11:36 GMT-5	2026-06-02 11:11:10 GMT-5	58,20	humedad
_field=velocidad_viento_measurement=dht22 esclavo=1	2026-06-02 11:10:36 GMT...	2026-06-02 11:11:36 GMT-5	2026-06-02 11:11:20 GMT-5	58,10	humedad
	2026-06-02 11:10:36 GMT...	2026-06-02 11:11:36 GMT-5	2026-06-02 11:11:29 GMT-5	58,20	humedad

Query 1 (0.41s)	+	View Raw Data	○	Past
-----------------	---	---------------	---	------

FROM	Filter	Filter	Filter	
Search buckets	_measurement	esclavo	_field	
Search _measurement tag va	Search esclavo tag values	Search _field tag values		
parqueadero	dht22	1	humedad	No tag keys found in the current time range
sensores		2	precipitacion	
_monitoring		3	radiacion_solar	
_tasks			temperatura	
+ Create Bucket			velocidad_viento	

Figura 148. Base datos InfluxDB Zona Centro

En la Figura 149, se puede visualizar el Nodo esclavo de la Zona Río Verde, y los datos que se van recopilando en InfluxDB meteorológicos recopilados y almacenados en la base de datos InfluxDB.

Filter tables...	_start	_stop	_time	_value	_field
_field=humedad_measurement=dht22 esclavo=2	2026-06-02 11:17:37 GMT...	2026-06-02 11:22:37 GM...	2026-06-02 11:17:50 GMT...	19,10	temperatura
_field=precipitacion_measurement=dht22 esclavo=2	2026-06-02 11:17:37 GMT...	2026-06-02 11:22:37 GM...	2026-06-02 11:18:00 GM...	19,10	temperatura
_field=radiacion_solar_measurement=dht22 esclavo=2	2026-06-02 11:17:37 GMT...	2026-06-02 11:22:37 GM...	2026-06-02 11:18:20 GM...	19,10	temperatura
_field=temperatura_measurement=dht22 esclavo=2	2026-06-02 11:17:37 GMT...	2026-06-02 11:22:37 GM...	2026-06-02 11:18:40 GMT...	19,10	temperatura
_field=velocidad_viento_measurement=dht22 esclavo=2	2026-06-02 11:17:37 GMT...	2026-06-02 11:22:37 GM...	2026-06-02 11:19:50 GMT-5	19,10	temperatura
	2026-06-02 11:17:37 GMT...	2026-06-02 11:22:37 GM...			

Query 1 (0.13s)	+	View Raw Data	○
-----------------	---	---------------	---

FROM	Filter	Filter	Filter	
Search buckets	_measurement	esclavo	_field	
Search _measurement tag va	Search esclavo tag values	Search _field tag values		
parqueadero	dht22	1	humedad	No tag keys found in the current time range
sensores		2	precipitacion	
_monitoring		3	radiacion_solar	
_tasks			temperatura	
+ Create Bucket			velocidad_viento	

Figura 149. Base de datos meteorológica Zona Centro

En la Figura 150, se puede visualizar el nodo esclavo ubicado en la Zona Río Verde, junto con los datos meteorológicos recolectados y registrados en la base de datos InfluxDB.

Q Filter tables...	_start	_stop	_time	_value	_field
_field=humedad _measurement=dht22 esclavo=3	2026-06-02 11:18:36 GMT...	2026-06-02 11:23:36 GM...	2026-06-02 11:19:10 GMT-5	3,70	velocidad_vie
_field=precipitacion _measurement=dht22 esclavo=3	2026-06-02 11:18:36 GMT...	2026-06-02 11:23:36 GM...	2026-06-02 11:19:30 GMT...	8,30	velocidad_vie
_field=radiacion_solar _measurement=dht22 esclavo=3	2026-06-02 11:18:36 GMT...	2026-06-02 11:23:36 GM...	2026-06-02 11:19:50 GM...	15,90	velocidad_vie
_field=temperatura _measurement=dht22 esclavo=3	2026-06-02 11:18:36 GMT...	2026-06-02 11:23:36 GM...	2026-06-02 11:20:00 GM...	13,30	velocidad_vie
_field=velocidad_viento _measurement=dht22 esclavo=3	2026-06-02 11:18:36 GMT...	2026-06-02 11:23:36 GM...	2026-06-02 11:20:20 GM...	3,90	velocidad_vie
	2026-06-02 11:18:36 GMT...	2026-06-02 11:23:36 GM...	2026-06-02 11:20:30 GM...	3,90	velocidad_vie

Query 1 (0.18s) +	View Raw Data
FROM	Filter
Search buckets	_measurement 1
parqueadero	Search _measurement tag va
sensores	Search esclavo tag values
_monitoring	Search _field tag values
_tasks	
+ Create Bucket	

Figura 150. Base de datos meteorológica Zona Montañosa

- **Monitoreo de Afluencia Turística**

En la Figura 151, se puede visualizar el sistema de monitoreo de afluencia de personas, el cual utiliza un video previamente grabado en la ciudad de Baños de Agua Santa y procesado mediante el servidor NVIDIA Jetson Nano. Asimismo, se incorpora el modelo de inteligencia artificial YOLO para realizar el análisis en tiempo real del número actual de personas, identificación de zonas con mayor afluencia y conteo total de personas dentro del área monitoreada.



Figura 151. Sistema de afluencia de personas

En la Figura 152, se puede visualizar el diagrama de flujo del código desarrollado en Python, utilizado para la detección y análisis de afluencia de personas mediante

técnicas de visión artificial e inteligencia artificial (YOLO), permitiendo identificar y contabilizar las personas presentes dentro del área monitoreada.

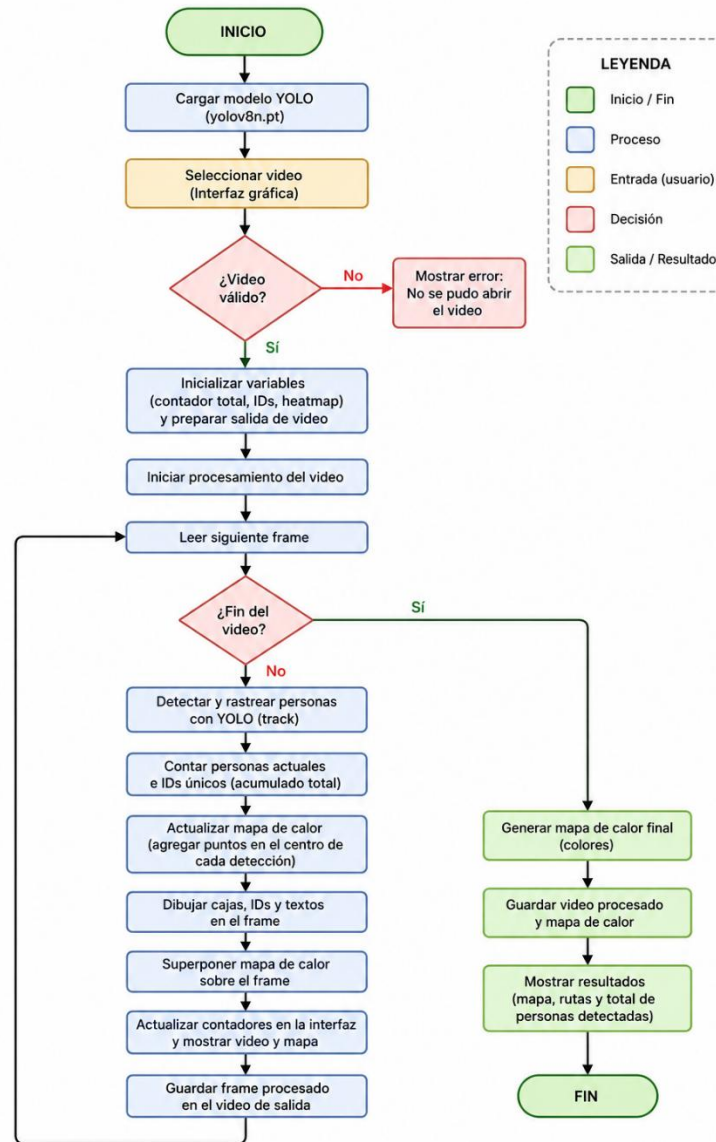


Figura 152. Diagrama de flujo del código de detección de personas

• *Parqueadero Inteligente*

Una vez que los datos son recopilados por los sensores de parqueo, estos son transmitidos de forma inalámbrica hacia el Gateway de la zona Centro, el cual se encarga de recibir y reenviar la información al servidor para su procesamiento y

almacenamiento en la base de datos InfluxDB, como se puede observar en la Figura 153.

The screenshot shows the InfluxDB Data Explorer interface. At the top, there's a 'Simple Table' view and a 'CUSTOMIZE' button. Below this, a table displays data with columns: table, _measurement, _field, _value, _time, and place. The table contains four rows of data for 'disponibilidad' and 'distancia' fields. Below the table, there's a 'Query 1 (0.22s)' section with filters for _measurement, _field, and place. The _measurement filter is set to 'disponibilidad', _field to 'distancia', and place to '1'. The results section shows a list of values for 'distancia' ranging from 1 to 9. The right sidebar contains options for 'WINDOW PERIOD' (set to 'auto (0s)') and 'AGGREGATE FUNCTION' (set to 'mean').

table	_measurement	_field	_value	_time	place
0	disponibilidad	distancia	5	2026-05-23T18:57:18.000Z	1
0	disponibilidad	distancia	5	2026-05-23T18:57:20.000Z	1
0	disponibilidad	distancia	5	2026-05-23T18:57:20.000Z	1
0	disponibilidad	distancia	5	2026-05-23T18:57:49.000Z	1

Figura 153. Base datos InfluxDB

d. Capa de Aplicación

• Monitoreo Ambiental

Una vez que los datos son almacenados en la base de datos InfluxDB, posteriormente son visualizados mediante dashboards en la capa de aplicación, permitiendo el monitoreo y análisis de la información en tiempo real a través de Grafana de las tres zonas estudiadas. En la Figura 154, se muestra la interfaz de Grafana mostrando los datos recogidos por las estaciones meteorológicas.



Figura 154. Dashboard en Grafana de estaciones meteorológicas

- ***Monitoreo de Afluencia Turística***

Afluencia de personas

En la Figura 155, se puede visualizar el sistema de monitoreo de afluencia de personas, el cual utiliza un video previamente grabado en la ciudad de Baños de Agua Santa y procesado mediante el servidor NVIDIA Jetson Nano. Asimismo, se incorpora el modelo de inteligencia artificial YOLO para realizar el análisis en tiempo real del número actual de personas, identificación de zonas con mayor afluencia y conteo total de personas dentro del área monitoreada.



Figura 155. Sistema de afluencia de personas

Afluencia de personas, con vehículos

En la Figura 156, se puede visualizar el sistema de monitoreo de afluencia de vehículos, el cual utiliza un video previamente grabado en la ciudad de Baños de Agua Santa y procesado mediante el servidor NVIDIA Jetson Nano. Asimismo, se incorpora el modelo de inteligencia artificial YOLO para realizar el análisis en tiempo real del número actual de vehículos, identificación de zonas con mayor afluencia y conteo total de vehículos dentro del área monitoreada.



Figura 156. Sistema de afluencia de personas con vehículos

- ***Parqueadero Inteligente***

Una vez que los datos son almacenados en la base de datos InfluxDB, posteriormente son visualizados mediante dashboards en la capa de aplicación, permitiendo el monitoreo y análisis de la información en tiempo real a través de Grafana de las 10 zonas de parqueo. En la Figura 157, se muestra la interfaz de Grafana mostrando los datos recogidos por los sensores ultrasónicos, simulando a los sensores de parqueo LoRa.

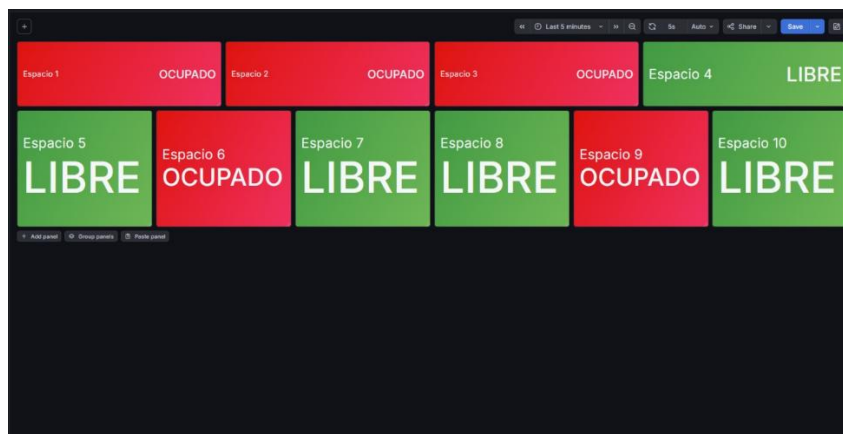


Figura 157. Dashboard en Grafana de parqueadero inteligente

e. Arquitectura completa

En la Figura 158, se puede visualizar la arquitectura completa del sistema IoT aplicado al turismo inteligente para el cantón Baños de Agua Santa. En esta arquitectura se integran las tres estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas de estudio: Zona Centro, Zona Montañosa y Zona Río Verde, encargadas de recopilar información ambiental y transmitirla de forma inalámbrica hacia el Gateway principal. Asimismo, se incorpora el sistema de monitoreo de afluencia de personas y el sistema de parqueadero inteligente, cuyos sensores y dispositivos envían información en tiempo real hacia la misma Gateway central.

Posteriormente, todos los datos recopilados son enviados al servidor NVIDIA Jetson Nano, encargado del procesamiento, análisis y gestión de la información. Además, la información procesada es almacenada en la base de datos InfluxDB para su posterior visualización en dashboards desarrollados en Grafana, permitiendo a los usuarios y visitantes acceder a información turística y ambiental en tiempo real.



Figura 158. Arquitectura implementada

3.5 Presupuesto

“ARQUITECTURA IOT APLICADA AL TURISMO INTELIGENTE PARA LA CIUDAD DE BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR” el presupuesto del proyecto fue estimado considerando los dispositivos electrónicos seleccionados, el diseño y desarrollo del sistema. De igual manera, se considera el tiempo requerido para la implementación de la propuesta tomando referencia la remuneración de un Ingeniero en Telecomunicaciones establecida por el Ministerio del Trabajo del Ecuador. Para ello se consideró 5 días laborales en cada semana, 21 días laborales en el mes; se aplicará la siguiente ecuación para obtener el salario.

$$Salario_d = \frac{Salario_m}{Dias_{lab}} \quad (11)$$

$$Salario_d = \frac{860}{21} [dolares]$$

$$Salario_d = 40,95 [dolares]$$

A continuación, se calcula el salario por hora considerando una jornada laboral de 8 horas diarias:

$$Salario_{xHora} = \frac{Salario_{xdía}}{Horas_{laborales}} \quad (12)$$

$$Salario_{xHora} = \frac{40.95 \text{ dólares}}{8 \text{ horas}}$$

$$Salario_{xHora} = \$5.11$$

El costo total para el diseño del proyecto se determinó considerando tres horas diarias durante veinte días por tres meses con un total de 180 horas trabajadas. Durante este tiempo se realizaron actividades relacionadas con la investigación, diseño, desarrollo, programación y optimización de la propuesta.

$$Presupuesto_{diseño} = Horas_{trabajo} * Salario_{xhora} \quad (13)$$

$$Presupuesto_{diseño} = 180 * 5.11$$

$$Presupuesto_{diseño} = 919.8$$

En la Tabla 90, se detalla el presupuesto total del proyecto de investigación con todos los elementos electrónicos escogidos para el proyecto.

Tabla 90. Presupuesto total del proyecto

Ítem	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Davis Vantage Pro2 Weather Station	3	\$1100	\$3300
2	Módulo MCF-LW06DAVPK	3	\$300	\$900
3	Sensores de parqueo PlacePod	472	\$ 275	129800
3	Hikvision DS-2CD1023G2-LIZU	4	\$55	\$220
4	NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer kit	4	\$300	\$1200
5	Gateway Milesigth UG67 LoRaWAN	3	\$1000	\$3000
	Servidor en la nube	1	\$ 84	\$84
	Grafana	1	\$ 19	19
Subtotal				\$138523
IVA 15%				\$20778
Presupuesto diseño				\$918.8
Total				\$160220.5

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El análisis de las arquitecturas IoT aplicables al contexto turístico permitió identificar que las tecnologías basadas en comunicaciones LoRaWAN representan una solución eficiente para entornos con alta afluencia turística y una geografía compleja debido a su capacidad de comunicación de largo alcance y bajo consumo energético. Considerando que actualmente Baños de Agua Santa no dispone de una infraestructura IoT integral para gestión turística, se seleccionó una arquitectura de cuatro capas (percepción, red, procesamiento y aplicación) para ofrecer una arquitectura escalable y que se adapte a los requerimientos de un destino inteligente. Además, se seleccionó una arquitectura híbrida ya que se integra varios sistemas de monitoreo y tecnologías inalámbricas
- La arquitectura IoT propuesta se adaptó a las necesidades del entorno turístico integrando tres subsistemas principales: monitoreo ambiental, monitoreo de afluencia turística y parqueadero inteligente. La arquitectura fue diseñada considerando las zonas de estudio seleccionadas (Zona Centro, Zona Montañosa y Zona Río Verde), en donde los datos viajan a través de las 4 capas hasta llegar a la capa de aplicación en donde los beneficiados son los turistas y residentes de la ciudad. Además, los datos recopilados pueden ser utilizados por entidades encargadas en la gestión turística y mejorar la planificación de recursos análisis de datos y proyecciones futuras relacionadas con el comportamiento del turismo del cantón.
- La evaluación de la factibilidad técnica y funcional mediante simulaciones y casos de prueba permitió validar el desempeño de la arquitectura propuesta, evidenciando estabilidad en la comunicación, adecuada cobertura y capacidad de integración entre dispositivos IoT, gateways y plataformas de monitoreo. La evaluación de la factibilidad técnica y funcional de la arquitectura propuesta se realizó mediante simulaciones utilizando los softwares (CupCarbon,

OMNeT++ y Radio Mobile) para analizar conectividad, cobertura y rendimiento de comunicaciones. El subsistema de estaciones meteorológicas tiene una adecuada cobertura, estabilidad y transmisión de datos entre los nodos y Gateway. El subsistema de afluencia de personas se validó el procesamiento del algoritmo de IA Yolo. Por su parte el subsistema de parqueadero inteligente se comprobó la capacidad de la arquitectura de gestionar los espacios de parqueo que están libres u ocupados.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios futuros orientados a la incorporación de una quinta capa de negocio dentro de una arquitectura IoT. Esta capa permitirá integrar herramientas de análisis avanzado, inteligencia de negocios, toma de decisiones. Además, contribuiría a mejorar la escalabilidad de la arquitectura propuesta y fortalecer la planificación del turismo del cantón Balos de Agua Santa.
- Se recomienda realizar futuras implementaciones de la arquitectura IoT en entornos reales de Baños de Agua Santa con un mayor número de nodos y dispositivos, con el fin de evaluar el comportamiento de la red en escenarios de alta demanda turística y ampliar la cobertura del sistema. En vista a la alta afluencia turística y los limitados espacios de parqueadero en la ciudad se recomienda escalar la propuesta de parqueadero inteligente a mayor número de calles del centro de la ciudad e incorporar el sistema de pagos por appmóviles usando tarjeta de crédito, permitiendo a los usuarios realizar pagos electrónicos a través de tarjetas de crédito u otros medios digitales, mejorando la experiencia del usuario y optimizando la gestión del estacionamiento.
- Se recomienda integrar nuevas tecnologías y sensores especializados que permitan complementar el monitoreo turístico y ambiental, incorporando variables como calidad del aire, ruido, flujo vehicular y condiciones climáticas para mejorar la gestión inteligente de la ciudad. La información generada podría utilizarse para apoyar la toma de decisiones y la gestión inteligente de la ciudad. Además, se recomienda implementar sistemas de análisis de video

basados en IA, para detectar automáticamente accidentes de tránsito o actividades potencialmente delictivas, generando alertas en tiempo real que contribuyan a mejorar la seguridad de la ciudad.

- Se sugiere continuar desarrollando investigaciones relacionadas con seguridad, escalabilidad y optimización energética en redes IoT y LoRaWAN, con el propósito de fortalecer la confiabilidad del sistema y garantizar un funcionamiento eficiente en aplicaciones de ciudades y destinos turísticos inteligentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Disfruta aventura, descanso y entretenimiento en Baños de Agua Santa – Ministerio de Turismo». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.turismo.gob.ec/disfruta-aventura-descanso-y-entretenimiento-en-banos-de-agua-santa/>
- [2] G. Mobile, «IoT en turismo: aplicaciones, beneficios y casos de éxito». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://guinea.pe/blog/como-provechar-internet-de-las-cosas-turismo/>
- [3] L. E. S. Torres, «Innovación Tecnológica en Destinos Turísticos Inteligentes: El Impacto de la IA y el IoT en la Experiencia del Visitante», *Cienc. Lat. Rev. Científica Multidiscip.*, vol. 8, n.º 5, pp. 9748-9757, nov. 2024, doi: 10.37811/cl_rcm.v8i5.14353.
- [4] D. H. Cuzco Torres y S. J. Pinos Carangui, «Diseño de un sistema de parqueo inteligente para el centro histórico de la ciudad de Cuenca, aplicando una red LPWAN», bachelorThesis, 2022. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22405>
- [5] «“Casa llena” en el cantón Baños de Agua Santa por el feriado del 10 de Agosto», Primicias. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/sociedad/banos-turismo-feriado-agosto-tungurahua-76193/>
- [6] M. K. N. K. Chong, F. H. S. Gonzabay, L. F. D. L. A. Domínguez, y G. M. C. Pionce, «El impacto de la tecnología en el turismo: Un estudio bibliométrico de tendencias digitales», *Cienc. Educ.*, vol. 6, n.º 3, pp. 220-228, mar. 2025, doi: 10.5281/zenodo.15057104.
- [7] B. Tekinerdogan, Ö. Köksal, y T. Çelik, «System Architecture Design of IoT-Based Smart Cities», *Appl. Sci.*, vol. 13, n.º 7, mar. 2023, doi: 10.3390/app13074173.
- [8] J. Pereira, T. Batista, E. Cavalcante, A. Souza, F. Lopes, y N. Cacho, «A platform for integrating heterogeneous data and developing smart city applications»,

Future Gener. Comput. Syst., vol. 128, pp. 552-566, mar. 2022, doi: 10.1016/j.future.2021.10.030.

[9] M. G. Ortiz Sosa, «Desarrollo de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnología LoRa para el monitoreo de un sistema», bachelorThesis, 2020. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18469>

[10] C. Pereto Soler, «Diseño de un sistema de monitorización y control de datos del entorno a través de nodos LoRa accesibles desde una app del teléfono móvil», ene. 2024, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/201804>

[11] B. Mazón Olivo, «Una arquitectura para la recopilación, integración y análisis de información en el contexto de la internet de las cosas:: Caso estudio: aplicaciones en el sector agrícola», <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, Universidade da Coruña, 2023. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=320696>

[12] R. A. Arias Rivera, «Diseño de una arquitectura de red IoT para la Universidad de los Andes», dic. 2022, doi: 10.57784/1992/64340.

[13] A. Santana Pérez, «Desarrollo de aplicación de Internet de las cosas usando protocolos LoRa y LoRaWAN», 2023, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/33632>

[14] A. D. Caisa Sánchez, «Prototipo IOT de telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología LORA.», mar. 2022, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35023>

[15] J. J. Tigrero Muñoz, «Sistema de gestión para el monitoreo de posicionamiento y temperatura corporal de ganado bovino utilizando comunicación LoRa.», ago. 2025, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/14148>

- [16] E. A. Cárdenas Lancheros y O. J. Castro Castro, «Aplicación mediante la cual se realice el control y gestión de un sistema de iluminación led basado en la tecnología inalámbrica LoRa», abr. 2019, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/14807>
- [17] E. A. Quiroga Montoya, S. F. Jaramillo Colorado, W. Y. Campo Muñoz, y G. E. Chanchí Golondrino, «Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT», *RISTI Rev. Ibérica Sist. E Tecnol. Informação*, n.º 24, pp. 39-56, 2017, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6673698>
- [18] A.-L. Herrera-Prado, M. Velarde-Valdez, y E. Olmos-Martínez, «Participación de las TIC en los modelos de Destinos Turísticos Inteligentes», *Investig. Tur.*, n.º 27, pp. 1-28, ene. 2024, doi: 10.14198/INTURI.20111.
- [19] «Smart Tourism Destinations: Integrating IoT for Enhanced Visitor Management | International Conference On Digital Advanced Tourism Management And Technology». Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://ictmt.stiepari.org/index.php/journal/article/view/181?utm_source=chatgpt.com
- [20] A. T. Rosário y J. C. Dias, «Exploring the Landscape of Smart Tourism: A Systematic Bibliometric Review of the Literature of the Internet of Things», *Adm. Sci.*, vol. 14, n.º 2, ene. 2024, doi: 10.3390/admsci14020022.
- [21] T. Borges-Tiago, J. Veríssimo, y F. Tiago, «Smart tourism: a scientometric review (2008-2020)», *Eur. J. Tour. Res.*, vol. 30, pp. 3006-3006, 2022, doi: 10.54055/ejtr.v30i.2593.
- [22] C. F. Si-Tou, «Intelligent technologies and applications in Smart Tourism—A systematic review», *Smart Tour.*, vol. 5, n.º 1, p. 2643, jun. 2024, doi: 10.54517/st.v5i1.2643.
- [23] «Mobile World Capital Barcelona incorpora soluciones de IoT y Big Data a la gestión turística - Mobile World Capital». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea].

Disponible en: <https://mobileworldcapital.com/nota-de-prensa/mobile-world-capital-barcelona-incorpora-soluciones-de-iot-y-big-data-a-la-gestion-turistica/>

[24] «Las 4 etapas de la arquitectura IoT». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://es.digi.com/blog/post/the-4-stages-of-iot-architecture>

[25] «Plataforma VLCi | Smart City València - Smart City - València», Smart City. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.valencia.es/web/smartcity/val/projectes/plataforma-fiware-vlci>

[26] aloeveraguatemala, «Ciudades Inteligentes en Corea del Sur», camkor. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.camcor.com.gt/post/ciudades-inteligentes-en-corea-del-sur>

[27] L. Sanchez *et al.*, «SmartSantander: IoT Experimentation over a Smart City Testbed», *Comput. Netw.*, vol. 61, pp. 217-238, mar. 2014, doi: 10.1016/j.bjp.2013.12.020.

[28] «SmartDestination», Smart City Chile. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.smartcitychile.cl/smartdestination-1/>

[29] R. Ghosh, S. P. R. Komma, y Y. Simmhan, «Adaptive Energy-aware Scheduling of Dynamic Event Analytics across Edge and Cloud Resources», en *2018 18th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGRID)*, may 2018, pp. 72-82. doi: 10.1109/CCGRID.2018.00022.

[30] «Number of internet users worldwide by subregion 2024», Statista. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/249562/number-of-worldwide-internet-users-by-region/>

[31] «IoT market size reached \$269 billion in 2023, with growth deceleration in 2024». Accedido: 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://iot-analytics.com/iot-market-size/>

[32] «IoT 101: Key Characteristics, Applications, and Logical Design Principles», Studocu. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en:

<https://www.studocu.com/in/document/rajiv-gandhi-proudyogiki-vishwavidyalaya/introduction-to-iot/introduction-to-iot/95926293>

[33] «Figure 1. Using Internet of Things (IoT) in medical institutions. This...», ResearchGate. Accedido: 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Using-Internet-of-Things-IoT-in-medical-institutions-This-picture-has-been-designed_fig1_365215999

[34] C. T. Chuquimarca y S. S. Maita, «Análisis comparativo entre arquitecturas de sistemas IoT», *Rev. Investig. En Tecnol. Inf.*, vol. 10, n.º 21, pp. 55-70, 2022, Accedido: 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://riti.es/htmlview/10-21/06/>

[35] «Las 4 etapas de la arquitectura IoT». Accedido: 9 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://es.digi.com/blog/post/the-4-stages-of-iot-architecture>

[36] «4 Layers of IoT Architecture Explained». Accedido: 9 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.zipitwireless.com/blog/4-layers-of-iot-architecture-explained>

[37] K. P. Alvarado, «Arquitecturas de red», Monografias.com. Accedido: 23 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/docs114/arquitecturas-red/arquitecturas-red>

[38] «IoT (Internet de las cosas): Selección del protocolo inalámbrico IoT y características de la banda de frecuencia.» Accedido: 30 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.data-alliance.net/es/iot-internet-de-las-cosas-bandas-de-frecuencia>

[39] «Digitalización de paseos comerciales con medición de afluencia y ruido en la ciudad de Zaragoza», Libelium. Accedido: 30 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.libelium.com/es/libeliumworld/casos-exito/digitalizacion-de-paseos-comerciales-con-medicion-de-afluencia-y-ruido-en-zaragoza/>

- [40] J. E. Gómez, S. Castaño, T. Mercado, A. Fernandez, y J. Garcia, «Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos», *Ing. E Innov.*, vol. 5, n.º 1, 2017, doi: 10.21897/23460466.1101.
- [41] A. R. López Cárdenas y C. D. Rodríguez Rodríguez, «Sistema de seguridad activo para bicicletas basado en una red de sensores inalámbrica que incorpora IoT», oct. 2024, Accedido: 31 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/41363>
- [42] C. Pérez-Trujillo, L. Galicia-Santos, R. Leon-Paredes, J. Cárdenas-Valdez, y A. Tellez, «Cobertura de la claridad de Fresnel en LoRa IoT», *Pädi Bol. Científico Cienc. Básicas E Ing. ICBI*, vol. 10, pp. 134-138, nov. 2022, doi: 10.29057/icbi.v10iEspecial6.9211.
- [43] admin-factoria, «Qué es Grafana y cómo se usa en la monitorización», Ausum Cloud: Servicios y Soluciones Cloud. Accedido: 21 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://ausum.cloud/que-es-grafana-y-como-se-usa-en-la-monitorizacion/>
- [44] «Top 5 List of IoT network simulator | Simulation Parameters for IoT network», Network Simulation Tools. Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://networksimulationtools.com/iot-network-simulator/>
- [45] «Introducción – Google Earth», Google Earth. Accedido: 21 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- [46] «Información de Radio Mobile Online». Accedido: 21 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.ve2dbe.com/rmonlineinfospa.html>
- [47] E. J. Guananga Narváez y W. R. Vivas Díaz, «Comparación de protocolos de comunicación para internet de las cosas (IoT)», bachelorThesis, 2022. Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23315>

- [48] I. Petrescu, E. Niculae, V. Vulturescu, A. Dimitrescu, y L. M. Ungureanu, «Transport and Application Layer Protocols for IoT: Comprehensive Review», *Technologies*, vol. 13, n.º 12, dic. 2025, doi: 10.3390/technologies13120583.
- [49] «Los 8 protocolos y estándares de IoT más populares que debes conocer | Soluciones SaM». Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://sam-solutions.com/blog/internet-of-things-iot-protocols-and-connectivity-options-an-overview/>
- [50] «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios». Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.ec/arcotel?page=1&utm_source=chatgpt.com
- [51] «ley-organica-de-telecomunicaciones – Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones». Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/ley-organica-de-telecomunicaciones/>
- [52] C. Li y B. Palanisamy, «Privacy in Internet of Things: from Principles to Technologies», *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, n.º 1, pp. 488-505, feb. 2019, doi: 10.1109/IIOT.2018.2864168.
- [53] S. K. Sahu y K. Mazumdar, «Exploring security threats and solutions Techniques for Internet of Things (IoT): from vulnerabilities to vigilance», *Front. Artif. Intell.*, vol. 7, may 2024, doi: 10.3389/frai.2024.1397480.
- [54] «Cifrado AES: Cómo funciona, beneficios y casos de uso», Splashtop Inc. Accedido: 1 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.splashtop.com/es/blog/aes-encryption>
- [55] National Institute of Standards and Technology (US), «Advanced Encryption Standard (AES)», National Institute of Standards and Technology (U.S.), Washington, D.C., NIST FIPS 197-upd1, may 2023. doi: 10.6028/NIST.FIPS.197-upd1.
- [56] «A LoRaWAN Architecture for Communications in Areas without Coverage: Design and Pilot Trials». Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: http://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7ByRooB9/?utm_source=chatgpt.com

[57] «Baños | Normas Go». Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://normas-go.com/banos/>

[58] «Baños, un carismático y tranquilo lugar al pie de un volcán – Ministerio de Turismo». Accedido: 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.turismo.gob.ec/banos-un-carismatico-y-tranquilo-lugar-al-pie-de-un-volcan/>

[59] «Mapa topográfico Baños, altitud, relieve», Mapas topográficos. Accedido: 26 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://es-ec.topographic-map.com/map-48f6gp/Ba%C3%B1os/>

[60] «Parroquias de Baños de Agua Santa», Tungurahua Turismo. Accedido: 31 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tungurahuatourismo.com/es-ec/tungurahua/banos-de-agua-santa/rutas-paseos/parroquias-banos-agua-santa-ac26d2cb1>

[61] D. C. Baños, «ORDENANZA QUE APRUEBA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL, PDOT 2019 - 2023, Y EL PLAN DE USO Y GESTIÓN DEL SUELO, PUGS 2019 - 2031 ANEXO 1 Y 2».

[62] «TOP 30 cosas qué hacer en Baños (actividades y lugares)». Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://quitotourbus.com/que-hacer-en-banos-actividades-lugares>

[63] «Lugares turísticos de Baños de Agua Santa», Tungurahua Turismo. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tungurahuatourismo.com/es-ec/tungurahua/banos-de-agua-santa/rutas-paseos/lugares-turisticos-banos-agua-santa-a7f1bg3eo>

[64] «Mapa turístico de Baños de Agua Santa», Tungurahua Turismo. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tungurahuatourismo.com/es-ec/tungurahua/banos-de-agua-santa/mapas/mapa-turistico-banos-agua-santa-aw6pvyhl3>

- [65] E. Telégrafo, «Baños de agua Santa, uno de los sectores más aventureros de la Sierra ecuatoriana», El Telégrafo. Accedido: 12 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/nacionales/44/banos-agua-santa-sectores-aventureros-sierra-ecuatoriana>
- [66] «Basílica de Baños». Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tungurahuatismo.com/es-ec/tungurahua/banos-de-agua-santa/iglesias-templos/basilica-banos-af8015cb9>
- [67] «Baños de Agua Santa se llenó de turistas en este carnaval | Ecuador | Noticias | El Universo». Accedido: 12 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/02/08/nota/5394421/banos-agua-santa-se-lleno-turistas-este-carnaval/>
- [68] S. S. Resort, «¿Qué tan lejos están las aguas termales desde Samari Spa Resort?», Samari Spa Resort. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://samarispa.com/2021/06/30/aguas-termales-en-banos-de-agua-santa/>
- [69] «Montañas y cerros en Baños de Agua Santa», Tungurahua Turismo. Accedido: 31 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tungurahuatismo.com/es-ec/tungurahua/banos-de-agua-santa/montanas-cerros/todas-publicaciones-ea633b2cc>
- [70] «LA CASA DEL ARBOL (Baños) - Qué SABER antes de ir (2026)», Tripadvisor. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.tripadvisor.es/Attraction_Review-g312857-d8016370-Reviews-La_Casa_del_Arbol-Banos_Tungurahua_Province.html
- [71] «Ruta de las Cascadas», Tungurahua Turismo. Accedido: 31 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tungurahuatismo.com/es-ec/tungurahua/banos-de-agua-santa/cascadas/ruta-cascadas-axz5h4q8g>
- [72] «CASCADA EL PAILÓN (Baños) - Qué SABER antes de ir (2026)», Tripadvisor. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.tripadvisor.es/Attraction_Review-g312857-d314428-Reviews-Cascada_El_Pailon-Banos_Tungurahua_Province.html

- [73] «Clima de Baños: tiempo en Baños y temperatura por mes». Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-tungurahua/banos-12719/>
- [74] S. S. Resort, «Como es el clima en Baños de Agua Santa en todos los meses del año», Samari Spa Resort. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://samarispa.com/2021/07/29/el-clima-de-banos-de-agua-santa/>
- [75] D. Balladares Villalba, «Proyecto hidroeléctrico TOPO: un análisis del conflicto a través de la gobernanza interactiva.», sep. 2016, Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10469/9271>
- [76] «TUNGURAHUA - Instituto Geofísico - EPN». Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/tungurahua>
- [77] «Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos – Institución del Estado ecuatoriano encargada de liderar el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos para garantizar la protección de personas y colectividades frente a los efectos negativos de emergencias y desastres de origen natural o antrópicos.» Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>
- [78] «Parque de la Familia Baños promedios | Red Hidrometeorologica de Tungurahua». Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://rrnn.tungurahua.gob.ec/red/estaciones/estacion/530b84ed74daaf23bce53ce9>
- [79] «| Red Hidrometeorologica de Tungurahua». Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://rrnn.tungurahua.gob.ec/red?utm_source=chatgpt.com
- [80] E. Carrillo, «MEJORAMIENTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO COMUNIDAD SANTA ROSA SECTOR EL COPETE DEL CANTÓN BAÑOS», EEASA. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.eeasa.com.ec/mejoramiento-de-redes-de-distribucion-y-alumbrado-publico-comunidad-santa-rosa-sector-el-copete/>

- [81] E. Telégrafo, «Avanzan obras para fortalecer la conectividad en Tungurahua», El Telégrafo. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/locales/189/obras-conectividad-tungurahua?utm_source=chatgpt.com
- [82] «Mapa de cobertura Servicio Móvil Avanzado (SMA) – Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones». Accedido: 12 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.arctel.gob.ec/mapa-de-cobertura-servicio-movil-avanzado-sma/>
- [83] «Explore la cobertura de Internet móvil con nPerf Maps», nPerf.com. Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: [//cdn.nperf.com/es/map/EC/3660346.Banos/5802.CNT-Mobile/signal](https://cdn.nperf.com/es/map/EC/3660346.Banos/5802.CNT-Mobile/signal)
- [84] «Consulta tu Cobertura - Netlife | Netlife». Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://netlife.ec/atencion-al-cliente/cobertura/>
- [85] «Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información – Ecuador». Accedido: 7 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/>
- [86] «plan_nacional_frecuencias_2012.pdf». Accedido: 21 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.arctel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- [87] D. G. Acosta y L. L. V. Choi, «Smart City, el puntapié para el desarrollo inteligente del turismo en un destino urbano».
- [88] C. Placencia Sánchez, «Estudio exploratorio para determinar el índice UV utilizando medidas espectrales de la luz del día», bachelorThesis, Quito: USFQ, 2016, 2016. Accedido: 6 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5705>
- [89] S. Burt, Ed., «Choosing a weather station», en *The Weather Observer's Handbook*, 2.^a ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2024, pp. 34-57. doi: 10.1017/9781009260534.003.

- [90] J. Bruns, J. Riesterer, B. Wang, T. Riedel, y M. Beigl, «Automated Quality Assessment of (Citizen) Weather Stations», 1 de mayo de 2018, *arXiv*: arXiv:1802.06018. doi: 10.48550/arXiv.1802.06018.
- [91] «Vantage Vue Weather Station with WeatherLink Console - SKU 6242, 6242M», Davis Instruments. Accedido: 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.davisinstruments.com/products/vantage-vue-weather-station-with-weatherlink-console>
- [92] «WeatherLink Live - SKU 6100», Davis Instruments. Accedido: 16 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.davisinstruments.com/products/weatherlink-live>
- [93] M. J. Viñals, P. R. O. Carpio, P. Teruel, y J. M. Gandía-Romero, «Real-Time Monitoring of Visitor Carrying Capacity in Crowded Historic Streets Through Digital Technologies», *Urban Sci.*, vol. 8, n.º 4, oct. 2024, doi: 10.3390/urbansci8040190.
- [94] «Guía de Baños», Sitio Oficial de la Cámara de Turismo de Baños - Ecuador. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.banostravel.com/banos>
- [95] «People Counting Sistema | People Counter», FootfallCam. Accedido: 6 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.footfallcam.com/es/>
- [96] «VIVOTEK SC9133-RTL - Camara IP con analítico de conteo de pe». Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://tvc.mx/products/44198/vivotek-sc9133-rtl-camara-ip-con-analitico-de-conteo-de-pe>
- [97] «DS-2CD6825G0/C-IVS», Hikvision. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.hikvision.com/es-la/products/IP-Products/Network-Cameras/Special-Series/ds-2cd6825g0-c-ivs/>
- [98] «AXIS M3085-V Dome Camera | Axis Communications». Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.axis.com/products/axis-m3085-v>

- [99] «AI People Counter HX-CCD21 | Accurately Measures Pedestrian Traffic, Can Identify Age and Gender», Foorir. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.foorir.com/ai-people-counter-hx-ccd21/>
- [100] «DS-2CD1023G2-LIU(F)», Hikvision. Accedido: 8 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.hikvision.com/en/products/IP-Products/Network-Cameras/value-series/ds-2cd1023g2-liu-f/>
- [101] «IPC-HFW1230S - Dahua Latin America», Dahua Technology. Accedido: 14 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.dahuasecurity.com/la/products/All-Products/Discontinued-Products/Network-Cameras/IPC-HFW1230S>
- [102] «Cámara Tapo C320WS Wi-Fi Vigilancia Exterior Color». Accedido: 14 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.tp-link.com/ec/home-networking/cloud-camera/tapo-c320ws/>
- [103] «DS-2CD1023G0E-I», Hikvision. Accedido: 19 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.hikvision.com/es-la/products/IP-Products/Network-Cameras/value-series/ds-2cd1023g0e-i/>
- [104] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, y A. Farhadi, «You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection», arXiv.org. Accedido: 17 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1506.02640v5>
- [105] «Calibration in touch-screen systems», 2007.
- [106] «reComputer J3011 - Edge AI Computer with NVIDIA® Jetson™ Orin™ Nano 8GB (Support Super Mode) ». Accedido: 14 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.seeedstudio.com/reComputer-J3011-p-5590.html>
- [107] J. J. León Vallejo, «Diseño e Implementación de un Sistema de Parqueo Inteligente mediante LoRa e IoT», bachelorThesis, 2023. Accedido: 6 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/37602>
- [108] C. E. Santamaría Chamorro, «Diseño e implementación de un prototipo de sistema para parqueo utilizando una red de sensores inalámbricos», bachelorThesis,

Quito, 2016., 2016. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16507>

[109] C. A. Valdivieso León y W. S. Yaguana Tapia, «Estudio para el monitoreo de espacios de estacionamiento disponibles para vehículos usando una red de sensores para la ciudad de Loja», bachelorThesis, 2014. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/9966>

[110] D. S. Sinaluisa Buñay, «Plataforma de estacionamiento inteligente con sistema de información en tiempo real usando aplicación móvil para Shopping Center de Quevedo.», Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería en Teleinformática., 2016. Accedido: 8 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20571>

[111] «Módulo sensor JSN-SR04T ultrasónico», Electronica JNC. Accedido: 17 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicajnc.com/web/producto/modulo-sensor-jsn-sr04t-ultrasonico/>

[112] «Sensor magnets for your application | BOMATEC». Accedido: 7 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.bomatec.com/en/products/magnets/sensormagnets?mtm_campaign=23152726289&mtm_kwd=magnetic%20sensors&mtm_source=google_ads&mtm_medium=cpc&mtm_content=779925489011&gad_source=1&gad_campaignid=23152726289&gbraid=0AAAAAD-qW8GP6yqqkRqxcnsXQ5B5edia&gclid=CjwKCAjw1tLOBhAMEiwAiPkRHkdKy7tmTakLEOm0Pa0Liu1i0eA6uYXf21Mu4XvZivV3pKFITLXwMhoCzTIQAvD_BwE

[113] «Smart Parking Sensor for Real-Time Monitoring», Conure. Accedido: 7 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.conurets.com/smart-parking-sensor/>

[114] «Greenevo » Parking space management system based on sensors with radar confirmation and data transmission using LoRa technology». Accedido: 7 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://greenevo.gov.pl/en/technologies/parking->

space-management-system-based-on-sensors-with-radar-confirmation-and-data-transmission-using-lora-technology/

[115] «PlacePod Smart Parking Sensor | Sigfox Partner Network | The IoT solution book». Accedido: 7 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://partners.sigfox.com/products/placepod-smart-parking-sensor>

[116] C. T. Chuquimarca y S. S. Maita, «Análisis comparativo entre arquitecturas de sistemas IoT», *Rev. Investig. En Tecnol. Inf.*, vol. 10, n.º 21, pp. 55-70, 2022.

[117] «manual_mcf-lw06davk_davpk [e n g i n k o . s u p p o r t . c e n t e r]». Accedido: 9 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.enginko.com/support/doku.php?id=manual_mcf-lw06davk_davpk

[118] «Organización Meteorológica Mundial». Accedido: 13 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/organisations/world-meteorological-organization>

[119] «DS-2CD1623G2-LIZ(S)U», Hikvision. Accedido: 9 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://www.hikvision.com/es-la/products/IP-Products/Network-Cameras/value-series/ds-2cd1623g2-liz-s-u/>

[120] M. N. T. Co.,Ltd.,www.milesight.com, «UG67 Outdoor LoRaWAN® Gateway | IP67, 8-Channel, Supports 2000+ Nodes», Milesight. Accedido: 1 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.milesight.com/iot/product/lorawan-gateway/ug67>

[121] «LoRaWAN Gateway 101: LoRaWAN IoT Architecture, LoRaWAN network, and more», RAKwireless News Hub. Accedido: 7 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://news.rakwireless.com/what-is-a-lorawan-gateway/>

[122] «LoRaWAN Gateway 101: LoRaWAN IoT Architecture, LoRaWAN network, and more», RAKwireless News Hub. Accedido: 9 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://news.rakwireless.com/what-is-a-lorawan-gateway/>

[123] «CupCarbon Klines - Agentic AI and Digital Twin IoT». Accedido: 25 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://cupcarbon.com/?utm_source=chatgpt.com

[124] «Spreading Factors», The Things Network. Accedido: 1 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/spreading-factors/>

[125] «AI-Native Cloud | DigitalOcean». Accedido: 1 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.digitalocean.com>

[126] «¿Qué son SSL, TLS y HTTPS? | DigiCert». Accedido: 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.digicert.com/es/what-is-ssl-tls-and-https>

ANEXOS

Anexo A. Código de estaciones y Gateway

En la Figura A1 se muestra el código para la configuración de la Gateway, en este caso como maestro.

```
maestro.ino
1  #include <esp_now.h>
2  #include <WiFi.h>
3  #include <HTTPClient.h>
4
5  // =====
6  // CONFIGURACIÓN DE RED E INFLUXDB
7  // =====
8  const char* WIFI_SSID      = "Paul";
9  const char* WIFI_PASSWORD = "12345678";
10 const char* INFLUX_MEASUREMENT = "dht22";
11
12 const char* INFLUX_URL =
13 "http://192.168.0.116:8086/api/v2/write?org=e2234a96a2436faf&bucket=sensores&precision=s";
14
15 const char* INFLUX_TOKEN =
16 "LAAX50MXtwrE224kT1uB1eera1QmCx6ZXtdeDg7vtkgjWSmz-hI1V1Fw_71VA1H7wg1VXiRNZQb42VaYqpeng==";
17
18 #define INFLUX_SEND_INTERVAL 10000
19 #define SLAVE_TIMEOUT        30000
20
21 // =====
22 // ESTRUCTURA DE DATOS RECIBIDOS
23 // =====
24 typedef struct struct_message {
25     int id;
26     float temperatura;
27     float humedad;
28     float velocidad_viento;
29     float precipitacion;
30     float radiacion_solar;
31 } struct_message;
32
33 struct_message incomingData;
34
35 // =====
36 // ESTRUCTURA PARA GUARDAR DATOS DE ESCLAVOS
37 // =====
```

```

38 struct SlaveData {
39     float temperatura;
40     float humedad;
41     float velocidad_viento;
42     float precipitacion;
43     float radiacion_solar;
44     unsigned long lastUpdate;
45     bool active;
46 };
47
48 SlaveData slaves[4];
49 unsigned long lastInfluxTime = 0;
50
51 // =====
52 // CALLBACK DE RECEPCIÓN ESP-NOW
53 // =====
54 void OnDataRecv(const esp_now_recv_info_t *esp_now_info,
55                const uint8_t *incomingDataPtr,
56                int len) {
57
58     memcpy(&incomingData, incomingDataPtr, sizeof(incomingData));
59
60     int id = incomingData.id;
61
62     if (id >= 1 && id <= 3) {
63
64         slaves[id].temperatura = incomingData.temperatura;
65         slaves[id].humedad = incomingData.humedad;
66         slaves[id].velocidad_viento = incomingData.velocidad_viento;
67         slaves[id].precipitacion = incomingData.precipitacion;
68         slaves[id].radiacion_solar = incomingData.radiacion_solar;
69         slaves[id].lastUpdate = millis();
70         slaves[id].active = true;

```

```

72     Serial.println(" ");
73     Serial.printf(" DATO RECIBIDO DE ESCLAVO %d\n", id);
74     Serial.println(" ");
75     Serial.printf(" Temperatura      : %.2f °C\n", incomingData.temperatura);
76     Serial.printf(" Humedad          : %.2f %%\n", incomingData.humedad);
77     Serial.printf(" Vel. Viento      : %.2f m/s\n", incomingData.velocidad_viento);
78     Serial.printf(" Precipitación    : %.2f mm\n", incomingData.precipitacion);
79     Serial.printf(" Radiación Solar  : %.2f W/m2\n", incomingData.radiacion_solar);
80     Serial.println(" ");
81 }
82 }
83
84 void setup() {
85     Serial.begin(115200);
86
87     WiFi.mode(WIFI_STA);
88     WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
89
90     Serial.println("=====");
91     Serial.println(" ESP32 MAESTRO - ESP-NOW + InfluxDB");
92     Serial.println("=====");
93     Serial.println(" * COPIA ESTA MAC EN LOS ESCLAVOS *");
94     Serial.print(" MAC del Maestro: ");
95     Serial.println(WiFi.macAddress());
96     Serial.println("-----");
97
98     Serial.print("[WiFi] Conectando a ");
99     Serial.print(WIFI_SSID);
100
101     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
102         delay(500);
103         Serial.print(".");
104     }
105
106     Serial.println("\n[WiFi] Conectado");
107     Serial.print("[WiFi] IP: ");
108     Serial.println(WiFi.localIP());
109
110     if (esp_now_init() != ESP_OK) {
111         Serial.println("[ESP-NOW] Error inicializando");
112         return;

```

```

113     }
114
115     Serial.println("[ESP-NOW] Inicializado");
116
117     esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
118
119     Serial.println("[Sistema] Listo para recibir datos de los esclavos");
120 }
121
122 void loop() {
123     unsigned long currentMillis = millis();
124
125     if (currentMillis - lastInfluxTime >= INFLUX_SEND_INTERVAL) {
126         lastInfluxTime = currentMillis;
127
128         Serial.println("\n[InfluxDB] Enviando datos a InfluxDB");
129
130         int enviados = 0;
131
132         for (int i = 1; i <= 3; i++) {
133
134             if (slaves[i].active) {
135
136                 if (currentMillis - slaves[i].lastUpdate > SLAVE_TIMEOUT) {
137                     slaves[i].active = false;
138                     Serial.printf("[InfluxDB] Esclavo %d inactivo por timeout\n", i);
139                     continue;
140                 }
141
142                 if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
143
144                     HTTPClient http;
145                     http.begin(INFLUX_URL);
146
147                     if (strlen(INFLUX_TOKEN) > 0) {
148                         String authHeader = "Token ";
149                         authHeader += INFLUX_TOKEN;
150                         http.addHeader("Authorization", authHeader);
151                     }

```

```

151     }
152
153     http.addHeader("Content-Type", "text/plain");
154
155     char influxData[300];
156
157     sprintf(influxData,
158             "%s,esclavo=%d temperatura=%.2f,humedad=%.2f,velocidad_viento=%.2f,precipitacion=%.2f,radiacion_solar=%.2f",
159             INFLUX_MEASUREMENT,
160             i,
161             slaves[i].temperatura,
162             slaves[i].humedad,
163             slaves[i].velocidad_viento,
164             slaves[i].precipitacion,
165             slaves[i].radiacion_solar);
166
167     Serial.printf("[InfluxDB] Enviando: %s\n", influxData);
168
169     int httpResponseCode = http.POST(influxData);
170
171     if (httpResponseCode > 0) {
172         Serial.printf("[InfluxDB] Esclavo %d OK HTTP %d\n", i, httpResponseCode);
173         enviados++;
174     } else {
175         Serial.printf("[InfluxDB] Esclavo %d Error HTTP %d\n", i, httpResponseCode);
176     }
177
178     http.end();
179
180 } else {
181     Serial.println("[WiFi] Error de conexión");
182 }
183 }
184 }
185
186 Serial.printf("[InfluxDB] Resumen: %d enviados\n", enviados);
187 }
188 }

```

Figura A1. Scrip para configuración de Gateway

En la Figura A2 se muestra el código para la configuración de las estaciones meteorológicas, en este caso como esclavos.

Estaciones.ino

```
1  #include <esp_now.h>
2  #include <WiFi.h>
3  #include <DHT.h>
4
5  // ID del esclavo: cambiar a 1, 2 o 3 según la estación
6  #define SLAVE_ID 3
7
8  // MAC del maestro
9  uint8_t masterMAC[] = {0x08, 0xB6, 0x1F, 0xB9, 0x42, 0x0C}; // CAMBIAR 0x08, 0xB6, 0x1F, 0xB9, 0x42, 0x0C
10
11 #define DHT_PIN 4
12 #define DHT_TYPE DHT22
13
14 #define SEND_INTERVAL 5000
15
16 DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
17
18 // Estructura de datos que se enviará al Gateway
19 typedef struct struct_message {
20     int id;
21     float temperatura;
22     float humedad;
23     float velocidad_viento;
24     float precipitacion;
25     float radiacion_solar;
26 } struct_message;
27
28 struct_message myData;
29 esp_now_peer_info_t peerInfo;
30 unsigned long lastTime = 0;
31
32 void OnDataSent(const esp_now_send_info_t *info, esp_now_send_status_t status) {
33     Serial.print("\r\nEstado del último envío:\t");
34     Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Éxito" : "Fallo");
35 }
```

```

36
37 void generarDatosSimulados() {
38     // Velocidad del viento: 0.0 a 25.0 m/s
39     myData.velocidad_viento = random(0, 250) / 10.0;
40
41     // Precipitación: 0.0 a 50.0 mm
42     myData.precipitacion = random(0, 500) / 10.0;
43
44     // Radiación solar: 100 a 1200 W/m2
45     myData.radiacion_solar = random(100, 1200);
46 }
47
48 void setup() {
49     Serial.begin(115200);
50     dht.begin();
51
52     randomSeed(analogRead(0));
53
54     WiFi.mode(WIFI_STA);
55
56     if (esp_now_init() != ESP_OK) {
57         Serial.println("Error inicializando ESP-NOW");
58         return;
59     }
60
61     esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
62
63     memcpy(peerInfo.peer_addr, masterMAC, 6);
64     peerInfo.channel = 0;
65     peerInfo.encrypt = false;
66
67     if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
68         Serial.println("Error al añadir al maestro");
69         return;
70     }
71
72     Serial.println("Esclavo inicializado. Enviando datos...");
73 }
74

```



```

75 void loop() {
76   if ((millis() - lastTime) > SEND_INTERVAL) {
77
78     float h = dht.readHumidity();
79     float t = dht.readTemperature();
80
81     if (isnan(h) || isnan(t)) {
82       Serial.println("Error de lectura DHT22");
83       return;
84     }
85
86     myData.id = SLAVE_ID;
87     myData.temperatura = t;
88     myData.humedad = h;
89
90     generarDatosSimulados();
91
92     esp_err_t result = esp_now_send(masterMAC, (uint8_t *) &myData, sizeof(myData));
93
94     if (result == ESP_OK) {
95       Serial.println("Enviado con éxito");
96
97       Serial.println("Datos enviados:");
98       Serial.print("ID: "); Serial.println(myData.id);
99       Serial.print("Temperatura: "); Serial.println(myData.temperatura);
100      Serial.print("Humedad: "); Serial.println(myData.humedad);
101      Serial.print("Velocidad viento: "); Serial.println(myData.velocidad_viento);
102      Serial.print("Precipitacion: "); Serial.println(myData.precipitacion);
103      Serial.print("Radiacion solar: "); Serial.println(myData.radiacion_solar);
104    }
105    else {
106      Serial.println("Error enviando los datos");
107    }
108
109    lastTime = millis();
110  }
111 }

```

Figura A2. Scrip para configuración de estaciones meteorológicas

Anexo B. Código de parqueadero inteligente

En la Figura B1 se muestra el código para la configuración de los sensores ultrasónicos, que actúan como los sensores PlacePod LoRa.

```

1  #include <esp_now.h>
2  #include <WiFi.h>
3  #include <HTTPClient.h>
4
5  // Configuración de tu Red Wi-Fi
6  const char* ssid = "RedPaul";
7  const char* password = "Delunoaloch";
8
9  // Configuración InfluxDB basada en tu IP y Org ID
10 const char* serverUrl = "http://192.168.0.116:8086/api/v2/write?org=e2234a96a2436faf&bucket=parqueadero&precision=s";
11 const char* token = "vspSb8bK5UP3_SRF6y_6eDE4K_yDz-9tjff-ov9_bgh1yQUHAaFF_aDkcHBsaeFMXLEIYXfXH-2vGrQo06d1cKg==";
12
13 struct SensorPin {
14   int trigger;
15   int echo;
16 };
17
18 const SensorPin sensores[10] = {
19   {23, 32}, // ÁREA 01
20   {22, 33}, // ÁREA 02
21   {21, 26}, // ÁREA 03
22   {19, 27}, // ÁREA 04
23   {18, 14}, // ÁREA 05
24   {17, 16}, // ÁREA 06
25   {5, 4}, // ÁREA 07
26   {13, 15}, // ÁREA 08
27   {25, 35}, // ÁREA 09
28   {0, 2} // ÁREA 10
29 };

```

```

31  const int DISTANCIA_UMBRAL = 10;
32
33  void setup() {
34      Serial.begin(115200);
35      delay(200);
36
37      for (int i = 0; i < 10; i++) {
38          pinMode(sensores[i].trigger, OUTPUT);
39          pinMode(sensores[i].echo, INPUT_PULLDOWN);
40          digitalWrite(sensores[i].trigger, LOW);
41      }
42
43      WiFi.begin(ssid, password);
44      Serial.print("Conectando a Wi-Fi");
45      while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
46          delay(200); // Conexión inicial más agresiva
47          Serial.print(".");
48      }
49      Serial.println("\nWi-Fi Conectado!");
50  }
51
52  // Filtro optimizado a 2 muestras rápidas para ahorrar tiempo crítico
53  int obtenerDistanciaFiltrada(int id) {
54      long sumaDistancias = 0;
55      int lecturasValidas = 0;
56
57      for (int m = 0; m < 2; m++) {
58          digitalWrite(sensores[id].trigger, LOW);
59          delayMicroseconds(2);
60          digitalWrite(sensores[id].trigger, HIGH);
61          delayMicroseconds(10);
62          digitalWrite(sensores[id].trigger, LOW);
63
64          // Timeout ajustado a 15000 (aprox 2.5 metros max) para que pulseIn corte rápido si no hay eco
65          long duration = pulseIn(sensores[id].echo, HIGH, 15000);
66          int distMuestra = duration * 0.034 / 2;
67
68          if (distMuestra > 0) {
69              sumaDistancias += distMuestra;
70              lecturasValidas++;
71          }
72          if (m < 1) delay(10); // Pausa mínima entre ráfagas del mismo sensor
73      }
74      if (lecturasValidas == 0) return 0;
75      return (sumaDistancias / lecturasValidas);
76  }
77
78  void loop() {
79      if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
80          HTTPClient http;
81          http.begin(serverUrl);
82
83          http.addHeader("Authorization", String("Token ") + token);
84          http.addHeader("Content-Type", "text/plain; charset=utf-8");

```

```

86 String payload = "";
87 payload.reserve(600); // Reservamos memoria para acelerar la concatenación de strings
88
89 Serial.println("\n--- ESCaneo ULTRA RÁPIDO ---");
90
91 for (int i = 0; i < 10; i++) {
92     int distancia = obtenerDistanciaFiltrada(i);
93     int estadoBinario = (distancia > 1 && distancia < DISTANCIA_UMBRAL) ? 1 : 0;
94
95     payload += "disponibilidad,plaza=" + String(i + 1) + " ocupado=" + String(estadoBinario) + ",distancia=" + String(distancia) + "\n";
96
97     Serial.print("A"); Serial.print(i + 1); Serial.print(":"); Serial.print(distancia); Serial.print("cm ");
98
99     delay(15); // Disipación sónica mínima suficiente para triggers independientes
100 }
101 Serial.println();
102
103 // Enviamos el POST inmediatamente al terminar el barrido
104 int httpResponseCode = http.POST(payload);
105
106 if (httpResponseCode == 204) {
107     Serial.println(">> Inyectado en la Jetson en tiempo real.");
108 } else {
109     Serial.print("HTTP Err: "); Serial.println(httpResponseCode);
110 }
111
112 http.end();
113 } else {
114     Serial.println("Error: Wi-Fi desconectado.");
115 }
116
117 // Agregamos una pausa insignificante de 100ms para no saturar el buffer de la pila TCP de la ESP32
118 delay(100);
119 }

```

Figura B1. Scrip para configuración de sensores de parqueo

Anexo C. Scrip para monitoreo de afluencia

En la Figura C1, se muestra el código para la configuración de YOLO, que detecte solo personas, esto se realizó en Python.

```

1  from ultralytics import YOLO
2  import cv2
3  import numpy as np
4  import tkinter as tk
5  from tkinter import filedialog, messagebox
6  from PIL import Image, ImageTk
7  import os
8
9  modelo = YOLO("yolov8n.pt")
10
11  video_path = ""
12  cap = None
13  heatmap = None
14  salida = None
15  procesando = False
16
17  total_acumulado = 0
18  ids_contados = set()
19
20  carpeta_salida = r"C:\Users\User\Documents\TESIS\YOLO\Mapa"
21  os.makedirs(carpeta_salida, exist_ok=True)
22
23  ruta_video_salida = os.path.join(carpeta_salida, "resultado_afluencia.mp4")
24  ruta_mapa_salida = os.path.join(carpeta_salida, "mapa_calor_afluencia.jpg")
25
26
27  def seleccionar_video():
28      global video_path
29
30      video_path = filedialog.askopenfilename(
31          title="Seleccionar video",
32          filetypes=[("Videos", "*.mp4 *.avi *.mov *.mkv")]
33      )
34
35      if video_path:
36          lbl_video.config(text=f"Video seleccionado: {video_path}")
37
38
39  def iniciar_procesamiento():
40      global cap, heatmap, salida, procesando, total_acumulado, ids_contados
41
42      if not video_path:
43          messagebox.showerror("Error", "Primero selecciona un video.")
44          return
45
46      cap = cv2.VideoCapture(video_path)
47
48      if not cap.isOpened():
49          messagebox.showerror("Error", "No se pudo abrir el video.")
50          return
51
52      ret, frame = cap.read()
53
54      if not ret:
55          messagebox.showerror("Error", "No se pudo leer el video.")
56          return
57
58      alto, ancho, _ = frame.shape
59      heatmap = np.zeros((alto, ancho), dtype=np.float32)

```

```

61     total_acumulado = 0
62     ids_contados = set()
63
64     fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*"mp4v")
65     salida = cv2.VideoWriter(ruta_video_salida, fourcc, 20, (ancho, alto))
66
67     cap.set(cv2.CAP_PROP_POS_FRAMES, 0)
68
69     procesando = True
70     lbl_estado.config(text="Procesando video...")
71     procesar_frame()
72
73
74 def procesar_frame():
75     global cap, heatmap, salida, procesando, total_acumulado, ids_contados
76
77     if not procesando:
78         return
79
80     ret, frame = cap.read()
81
82     if not ret:
83         finalizar_procesamiento()
84         return
85         (variable) modelo: YOLO
86     resultados = modelo.track(
87         frame,
88         conf=0.4,

```

```

88         conf=0.4,
89         classes=[0],
90         persist=True,
91         tracker="bytetrack.yaml"
92     )
93
94     personas_actuales = 0
95
96     for resultado in resultados:
97         cajas = resultado.bboxes
98         personas_actuales = len(cajas)
99
100         if cajas.id is not None:
101             ids = cajas.id.cpu().numpy().astype(int)
102
103             for i, caja in enumerate(cajas):
104                 id_persona = ids[i]
105
106                 if id_persona not in ids_contados:
107                     ids_contados.add(id_persona)
108                     total_acumulado += 1
109                     (variable) caja: Any
110
111                 x1, y1, x2, y2 = map(int, caja.xyxy[0])
112
113                 cx = int((x1 + x2) / 2)
114                 cy = int((y1 + y2) / 2)
115
116                 cv2.circle(heatmap, (cx, cy), 40, 1, -1)

```

```

117         cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 0), 2)
118
119         cv2.putText(
120             frame,
121             f"Persona ID {id_persona}",
122             (x1, y1 - 10),
123             cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
124             0.6,
125             (0, 255, 0),
126             2
127         )
128
129     heatmap_color = generar_mapa_calor()
130
131     frame_final = cv2.addWeighted(frame, 0.75, heatmap_color, 0.25, 0)
132
133     cv2.putText(
134         frame_final,
135         f"Personas actuales: {personas_actuales}",
136         (30, 50),
137         cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
138         1,
139         (0, 0, 255),
140         3
141     )
142
143     cv2.putText(
144         frame_final,
145         f"Total personas: {total_acumulado}",

```

```

153     salida.write(frame_final)
154
155     lbl_conteo_actual.config(text=f"Personas actuales: {personas_actuales}")
156     lbl_total.config(text=f"Total de personas detectadas: {total_acumulado}")
157
158     mostrar_imagen(frame_final, lbl_video_frame, 600, 330)
159     mostrar_imagen(heatmap_color, lbl_mapa, 600, 330)
160
161     ventana.after(10, procesar_frame)
162
163
164     def generar_mapa_calor():
165         heatmap_norm = cv2.normalize(heatmap, None, 0, 255, cv2.NORM_MINMAX)
166         heatmap_color = cv2.applyColorMap(
167             heatmap_norm.astype(np.uint8),
168             cv2.COLORMAP_JET
169         )
170         return heatmap_color
171
172
173     def mostrar_imagen(frame, label, ancho, alto):
174         frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
175         img = Image.fromarray(frame_rgb)
176         img = img.resize((ancho, alto))
177         imgtk = ImageTk.PhotoImage(image=img)
178
179         label.imgtk = imgtk
180         label.config(image=imgtk)

```

```

183 def finalizar_procesamiento():
184     global cap, salida, procesando
185
186     procesando = False
187
188     if cap:
189         cap.release()
190
191     if salida:
192         salida.release()
193
194     heatmap_color = generar_mapa_calor()
195
196     cv2.imwrite(ruta_mapa_salida, heatmap_color)
197
198     mostrar_imagen(heatmap_color, lbl_mapa, 600, 330)
199
200     lbl_estado.config(text="Proceso terminado")
201     lbl_rutas.config(
202         text=f"Video guardado en:\n{ruta_video_salida}\n\nMapa guardado en:\n{ruta_mapa_salida}"
203     )
204
205     messagebox.showinfo(
206         "Finalizado",
207         f"Proceso terminado.\n\nTotal de personas detectadas: {total_acumulado}"
208     )
209

```

```

211 def detener():
212     if procesando:
213         finalizar_procesamiento()
214
215
216 ventana = tk.Tk()
217 ventana.title("Conteo de Personas y Mapa de Calor con YOLO")
218 ventana.geometry("1250x850")
219
220 titulo = tk.Label(
221     ventana,
222     text="Sistema de Conteo de Personas y Zonas de Mayor Afluencia",
223     font=("Arial", 18, "bold")
224 )
225 titulo.pack(pady=10)
226
227 btn_video = tk.Button(
228     ventana,
229     text="Seleccionar video",
230     font=("Arial", 12),
231     command=seleccionar_video
232 )
233 btn_video.pack(pady=5)
234
235 lbl_video = tk.Label(
236     ventana,
237     text="No se ha seleccionado video",
238     font=("Arial", 10)

```

```

239 )
240 lbl_video.pack(pady=5)
241
242 btn_iniciar = tk.Button(
243     ventana,
244     text="Iniciar análisis",
245     font=("Arial", 12),
246     bg="green",
247     fg="white",
248     command=iniciar_procesamiento
249 )
250 btn_iniciar.pack(pady=5)
251
252 btn_detener = tk.Button(
253     ventana,
254     text="Detener",
255     font=("Arial", 12),
256     bg="red",
257     fg="white",
258     command=detener
259 )
260 btn_detener.pack(pady=5)
261
262 lbl_conteo_actual = tk.Label(
263     ventana,
264     text="Personas actuales: 0",
265     font=("Arial", 15, "bold"),
266     fg="blue"
267 )
268 lbl_conteo_actual.pack(pady=5)

```

Figura C1. Scrip para configuración de YOLO

En la Figura C2, se muestra el código para la configuración de YOLO, que detecte solo vehículos, esto se realizó en Python.


```

1  from ultralytics import YOLO
2  import cv2
3  import numpy as np
4  import tkinter as tk
5  from tkinter import filedialog, messagebox
6  from PIL import Image, ImageTk
7  import os
8
9  modelo = YOLO("yolov8n.pt")
10
11  video_path = ""
12  cap = None
13  heatmap = None
14  salida = None
15  procesando = False
16
17  total_acumulado = 0
18  ids_contados = set()
19
20  carpeta_salida = r"C:\Users\User\Documents\TESIS\YOLO\Mapa"
21  os.makedirs(carpeta_salida, exist_ok=True)
22
23  ruta_video_salida = os.path.join(carpeta_salida, "resultado_afluencia_vehiculos.mp4")
24  ruta_mapa_salida = os.path.join(carpeta_salida, "mapa_calor_vehiculos.jpg")
25
26
27  def seleccionar_video():
28      global video_path
29
30      video_path = filedialog.askopenfilename(
31          title="Seleccionar video",
32          filetypes=[("Videos", "*.mp4 *.avi *.mov *.mkv")]

```

```

35      if video_path:
36          lbl_video.config(text=f"Video seleccionado: {video_path}")
37
38
39  def iniciar_procesamiento():
40      global cap, heatmap, salida, procesando, total_acumulado, ids_contados
41
42      if not video_path:
43          messagebox.showerror("Error", "Primero selecciona un video.")
44          return
45
46      cap = cv2.VideoCapture(video_path)
47
48      if not cap.isOpened():
49          messagebox.showerror("Error", "No se pudo abrir el video.")
50          return
51
52      ret, frame = cap.read()
53
54      if not ret:
55          messagebox.showerror("Error", "No se pudo leer el video.")
56          return
57
58      alto, ancho, _ = frame.shape
59      heatmap = np.zeros((alto, ancho), dtype=np.float32)
60
61      total_acumulado = 0
62      ids_contados = set()

```

```

64     fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*"mp4v")
65     salida = cv2.VideoWriter(ruta_video_salida, fourcc, 20, (ancho, alto))
66
67     cap.set(cv2.CAP_PROP_POS_FRAMES, 0)
68
69     procesando = True
70     lbl_estado.config(text="Procesando video...")
71     procesar_frame()
72
73
74 def procesar_frame():
75     global cap, heatmap, salida, procesando, total_acumulado, ids_contados
76
77     if not procesando:
78         return
79
80     ret, frame = cap.read()
81
82     if not ret:
83         finalizar_procesamiento()
84         return
85
86     resultados = modelo.track(
87         frame,
88         conf=0.4,
89         classes=[2, 3, 5, 7],
90         persist=True,
91         tracker="bytetrack.yaml"
92     )

```

```

94     vehiculos_actuales = 0
95
96     for resultado in resultados:
97         cajas = resultado.bboxes
98         vehiculos_actuales = len(cajas)
99
100         if cajas.id is not None:
101             ids = cajas.id.cpu().numpy().astype(int)
102
103             for i, caja in enumerate(cajas):
104                 id_vehiculo = ids[i]
105
106                 if id_vehiculo not in ids_contados:
107                     ids_contados.add(id_vehiculo)
108                     total_acumulado += 1
109
110                 x1, y1, x2, y2 = map(int, caja.xyxy[0])
111
112                 cx = int((x1 + x2) / 2)
113                 cy = int((y1 + y2) / 2)
114
115                 cv2.circle(heatmap, (cx, cy), 45, 1, -1)
116
117                 cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 0), 2)
118
119                 cv2.putText(
120                     frame,
121                     f"Vehiculo ID {id_vehiculo}",

```

```

129     heatmap_color = generar_mapa_calor()
130
131     frame_final = cv2.addWeighted(frame, 0.75, heatmap_color, 0.25, 0)
132
133     cv2.putText(
134         frame_final,
135         f"Vehiculos actuales: {vehiculos_actuales}",
136         (30, 50),
137         cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
138         1,
139         (0, 0, 255),
140         3
141     )
142
143     cv2.putText(
144         frame_final,
145         f"Total vehiculos: {total_acumulado}",
146         (30, 90),
147         cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
148         1,
149         (255, 0, 0),
150         3
151     )
152
153     salida.write(frame_final)
154
155     lbl_conteo_actual.config(text=f"Vehiculos actuales: {vehiculos_actuales}")
156     lbl_total.config(text=f"Total de vehiculos detectados: {total_acumulado}")
157
158     mostrar_imagen(frame_final, lbl_video_frame, 600, 330)

```

```

164     def generar_mapa_calor():
165         heatmap_norm = cv2.normalize(heatmap, None, 0, 255, cv2.NORM_MINMAX)
166         heatmap_color = cv2.applyColorMap(
167             heatmap_norm.astype(np.uint8),
168             cv2.COLORMAP_JET
169         )
170         return heatmap_color
171
172
173     def mostrar_imagen(frame, label, ancho, alto):
174         frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
175         img = Image.fromarray(frame_rgb)
176         img = img.resize((ancho, alto))
177         imgtk = ImageTk.PhotoImage(image=img)
178
179         label.imgtk = imgtk
180         label.config(image=imgtk)
181
182
183     def finalizar_procesamiento():
184         global cap, salida, procesando
185
186         procesando = False
187
188         if cap:
189             cap.release()
190
191         if salida:
192             salida.release()

```

```

211 def detener():
212     if procesando:
213         finalizar_procesamiento()
214
215
216 ventana = tk.Tk()
217 ventana.title("Conteo de Vehiculos y Mapa de Calor con YOLO")
218 ventana.geometry("1250x850")
219
220 titulo = tk.Label(
221     ventana,
222     text="Sistema de Conteo de Vehiculos y Zonas de Mayor Afluencia",
223     font=("Arial", 18, "bold")
224 )
225 titulo.pack(pady=10)
226
227 btn_video = tk.Button(
228     ventana,
229     text="Seleccionar video",
230     font=("Arial", 12),
231     command=seleccionar_video
232 )
233 btn_video.pack(pady=5)
234
235 lbl_video = tk.Label(
236     ventana,
237     text="No se ha seleccionado video",
238     font=("Arial", 10)
239 )
240 lbl_video.pack(pady=5)

```

```

296 tk.Label(
297     frame_mapa,
298     text="Mapa de calor vehicular",
299     font=("Arial", 13, "bold")
300 ).pack()
301
302 lbl_mapa = tk.Label(frame_mapa)
303 lbl_mapa.pack()
304
305 lbl_estado = tk.Label(
306     ventana,
307     text="Esperando video...",
308     font=("Arial", 12)
309 )
310 lbl_estado.pack(pady=5)
311
312 lbl_rutas = tk.Label(
313     ventana,
314     text="",
315     font=("Arial", 9)
316 )
317 lbl_rutas.pack(pady=5)
318
319 ventana.mainloop()

```

Figura C2. Scrip para configuración de YOLO, vehículos

Anexo D. Configuración de Grafana

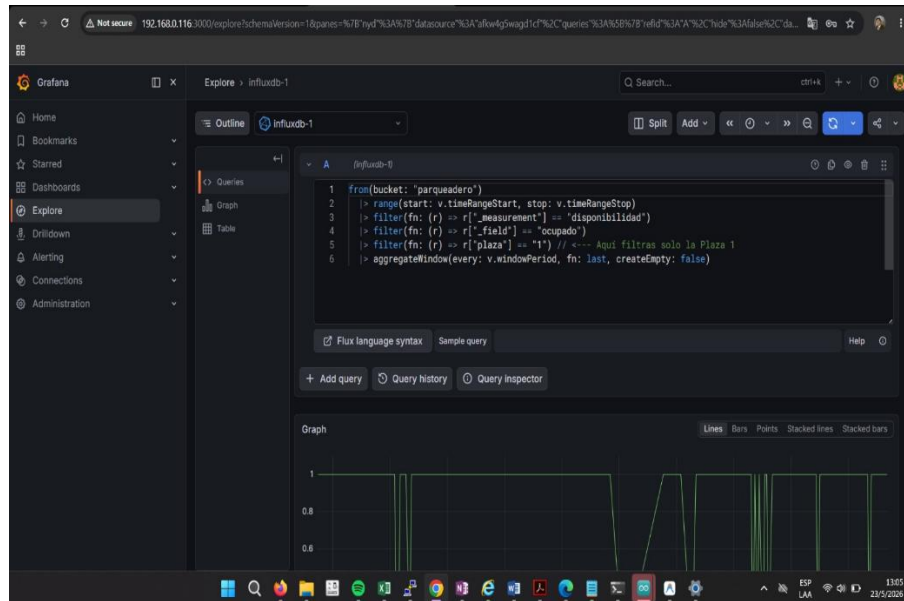


Figura D1. Configuración de Grafana

Anexo E. Especificaciones técnicas de los dispositivos

En la Figura E1, se puede visualizar la hoja técnica de la estación meteorológica Vantage Pro 2



VANTAGE PRO 2 GROWWEATHER

ESTACIÓN METEOROLÓGICA MODULAR DAVIS, BASADA EN LA NUBE

DESCRIPCIÓN

La estación Vantage Pro2 GrowWeather proporciona actualizaciones meteorológicas en tiempo real directamente a dispositivos móviles o PC del productor. Eficaz bajo las condiciones más exigentes, la estación meteorológica basada en la nube está completamente integrada con el software de administración de cultivos uManage, lo que permite ver y almacenar datos en cualquier dispositivo, en cualquier momento y desde cualquier lugar.

PUNTOS DESTACADOS Y BENEFICIOS

- Robusta y flexible.
- Alta precisión.
- Transmisión confiable de datos.
- Conexión plug-and-play a uManage.
- Instalación simple.
- Opciones personalizadas.

COBERTURA DE DATOS

- Temperatura del aire.
- Indicador de lluvia.
- Humedad relativa.
- Colector de lluvia.
- Radiación.
- Cálculo ET (evapotranspiración).
- Velocidad del viento.
- Cálculo del punto de rocío.
- Dirección del viento.
- Máxima velocidad del viento.

ESPECIFICACIONES

- Temperatura de funcionamiento: -40 °C a 65 °C (-40 °F a 150 °F).
- Temperatura no operativa: -40 °C a 70 °C (-40 °F a 158 °F).
- Consumo de corriente (ISS SIM solamente): 5 mA (promedio) a 4.6 VDC.
- Conector de sensores: Sensor modular RJ-II.
- Tipo de cable: 4 conductores, 26 AWG.
- Longitud del cable: Anemómetro 12 m (40 ft) (incluido), 73 m (240 ft) (máx. recomendado).

INSTALACIÓN TÍPICA



Para fines ilustrativos

Para información de ensamblaje e instalación, consulte este código en su smartphone



Para obtener información de mantenimiento, consulte este código en su smartphone



DETALLES DE PEDIDO

CLAVE NETAFIM	DESCRIPCIÓN
33010-012040	UMANAGE WEATHER STATION F/MOST COUNTRIES

Para obtener más información, consulte nuestro soporte de pre-venta a través de: netafim.mexico@netafim.com o visite: www.netafim.com.mx

Figura E1. Hoja técnica de Vantage Pro 2

En la Figura E2, se puede visualizar la hoja técnica de la Cámara Hikvision DS-2CD1023G2-IIZU

HIKVISION

• Specification

Camera	
Image Sensor	1/2.9" Progressive Scan CMOS
Max. Resolution	1920 × 1080
Min. Illumination	Color: 0.005 Lux @ (F1.6, AGC ON), B/W: 0 Lux with IR
Shutter Time	1/3 s to 1/100,000 s
Day & Night	IR cut filter
Angle Adjustment	Pan: 0° to 360°, tilt: 0° to 90°, rotate: 0° to 360°
Lens	
Lens Type	Fixed focal lens, 2.8 and 4 mm optional
Focal Length & FOV	2.8 mm, horizontal FOV 103°, vertical FOV 56°, diagonal FOV 121° 4 mm, horizontal FOV 83°, vertical FOV 44°, diagonal FOV 99°
Lens Mount	M12
Iris Type	Fixed
Aperture	F1.6
DORI	
DORI	2.8 mm, D: 45 m, O: 18 m, R: 9 m, I: 4 m 4 mm, D: 56 m, O: 22 m, R: 11 m, I: 5 m
Illuminator	
Supplement Light Type	IR, White Light
Supplement Light Range	Up to 30 m
Smart Supplement Light	Yes
IR Wavelength	850 nm
Video	
Main Stream	50 Hz: 25 fps (1920 × 1080, 1280 × 720) 60 Hz: 30 fps (1920 × 1080, 1280 × 720)
Sub-Stream	50 Hz: 25 fps (640 × 480, 640 × 360) 60 Hz: 30 fps (640 × 480, 640 × 360)
Video Compression	Main stream: H.265+/H.265/H.264+/H.264, Sub-stream: H.265/H.264/MJPEG
Video Bit Rate	32 Kbps to 8 Mbps
H.264 Type	Baseline Profile, Main Profile, High Profile
H.265 Type	Main Profile
Bit Rate Control	CBR, VBR
Region of Interest (ROI)	1 fixed region for main stream

Figura E2. Hoja técnica de Cámara Hikvision DS-2CD1023G2-IIZU

En la Figura E3, se puede visualizar la hoja técnica de Gateway Milesigth UG67 LoRaWAN

◆ Features

- Quad-core industrial processor with big memory
- Equip with SX1302 chip, handing a higher amount of traffic with lower consumption
- 8 half/full-duplex channels
- IP67 waterproof enclosure and industrial design for harsh environment applications
- Wall or pole mounting optional
- PoE or DC supply optional
- Capacitor for sending alarms in case of power failure
- Multi backhaul backups with Ethernet, cellular (4G) and Wi-Fi
- Enable security communication with multiple VPNs like IPsec/OpenVPN/LT2P/PPTP/DMVPN/WireGuard
- Devicehub and Milesight Development Platform provide easy and centralized management of remote devices
- Compatible with mainstream network servers like The Things Stack, ChirpStack, Actility, AWS, etc.
- Detect and analyze the noise level and provide intuitive diagram for deployment
- Built-in network server and MQTT(s)/HTTP(s) API for easily integration
- Support BACnet/IP and Modbus to integrate LoRaWAN® data to BMS/PLC system easily
- Embedded Python SDK for users secondary development
- Fast and user-friendly programming by Node-RED development tool

◆ Hardware Specifications

Hardware System	
CPU	Quad-core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex-A53
Memory	512 MB DDR4 RAM
Flash	8 GB eMMC
LoRaWAN®	
Antenna Connector	2 × 50 Ω N-Female External Connectors
Channel	8 (Half/Full-duplex)
Frequency Band	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3&4
Sensitivity	-140dBm Sensitivity @292bps
Tx Power	27dBm Max
LBT ¹	Support
Ethernet Interface	
Port	1 × RJ45 WAN Port (PoE PD supported)
Physical Layer	10/100/1000 Base-T (IEEE 802.3)
Data Rate	10/100/1000 Mbps (Auto-Sensing)

Figura E3. Hoja técnica de Gateway Milesigth UG67 LoRaWAN

En la Figura E4, se puede visualizar la hoja técnica del sensor de parque PlacePod

Table 4-1: Performance Specifications*

Parameter	Values
Communication	- LoRa 915, 868, 865, or 923 MHz Module - LoRaWAN compliant - Uses Sub-GHz ISM bands in North America, Europe, South America, Asia, and other regions
LoRaWAN Device Type	Class A
Outputs	2 states: - Occupied - Vacant
Battery Life/Type	- Up to seven years depending on configuration and distance from gateway - Lithium-Thionyl Chloride
Dimensions In-Ground	4.3 in (10.92 cm) diameter -minimum hole 4.5 in (11.43 cm) 1.18 in (3.00 cm) height -minimum hole 2.5 in (6.35cm)
Dimensions Surface-Mount	9.0 in (22.86 cm) diameter 1.25 in (3.15 cm) height
Installation Position	Center of the parking space
Operating Temperature	-30°C to +70°C / -22°F to +158°F
Storage Temperature	-40°C to +85°C / -40°F to +185°F
Activation Type	OTAA
Certifications	FCC (915 MHz), CE (868 MHz)

Footnote:

* Specifications are subject to change.

Table 4-2 PlacePod Vehicle Detection Sensor Default Settings

Parameter	Default
Frequency Sub Band (US915, AU915)	2
Spreading Factor	10
Frame Port	3
Adaptive Data Rate Support	Yes (Configurable via BLE, Off by default)
Keep-Alive Interval	1 Hour
Over-The-Air Activation Keys	Programmable
Payload Format	CayenneLPP [1]
Confirmed Messages	None
BLE Advertise	Once every second while deactivated and once every 10 seconds once activated

For Customer Support, please contact PNI Sensor at: <https://www.pnicorp.com/support/>

Figura E4. Hoja técnica del sensor de parque PlacePod

En la Figura E5, se puede visualizar la hoja técnica de la Jetson Nano

Join the Revolution and Bring the Power of AI to Millions of Devices

The NVIDIA® Jetson Nano™ Developer Kit delivers the compute performance to run modern AI workloads at unprecedented size, power, and cost. Developers, learners, and makers can now run AI frameworks and models for applications like image classification, object detection, segmentation, and speech processing.

The developer kit can be powered by micro-USB and comes with extensive I/Os, ranging from GPIO to CSI. This makes it simple for developers to connect a diverse set of new sensors to enable a variety of AI applications. It's incredibly power-efficient, consuming as little as 5 watts.

Jetson Nano is also supported by NVIDIA JetPack™, which includes a board support package (BSP), Linux OS, NVIDIA CUDA®, cuDNN, and TensorRT™ software libraries for deep learning, computer vision, GPU computing, multimedia processing, and much more. The software is even available using an easy-to-flash SD card image, making it fast and easy to get started.

The same JetPack SDK is used across the entire NVIDIA Jetson™ family of products and is fully compatible with NVIDIA's world-leading AI platform for training and deploying AI software. This proven software stack reduces complexity and overall effort for developers.

KEY FEATURES

Jetson Nano Module

- 128-Core NVIDIA Maxwell™ GPU
- Quad-Core ARM® A57 CPU
- 4 GB 64-bit LPDDR4
- 10/100/1000BASE-T Ethernet

Power Options

- Micro-USB 5V 2A
- DC Power Adapter 5V 4A

I/O

- USB 3.0 Type A
- USB 2.0 Micro-B

- HDMI/DisplayPort
- M.2 Key E
- Gigabit Ethernet
- GPIOs, I²C, I²S, SPI, UART
- MIPI-CSI Camera Connector
- Fan Connector
- PoE Connector

Kit Contents

- NVIDIA Jetson Nano Module with HeatSink and Reference Carrier Board
- Quick Start Guide and Support Guide



NVIDIA JETSON NANO DEVELOPER KIT | DATA SHEET | JAN2018

NVIDIA JETSON NANO DEVELOPER KIT TECHNICAL SPECIFICATIONS

DEVELOPER KIT

GPU	128-Core Maxwell
CPU	Quad-Core ARM A57 @ 1.43 GHz
Memory	4 GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s
Storage	microSD (Not Included)
Video Encoder	4K @ 30 4x 1080p @ 30 9x 720p @ 30 (H.264/H.265)
Video Decoder	4K @ 60 2x 4K @ 30 8x 1080p @ 30 18x 720p @ 30 (H.264/H.265)
Camera	2x MIPI CSI-2 DPHY lanes
Connectivity	Gigabit Ethernet, M.2 Key E
Display	HDMI 2.0 and eDP 1.4
USB	4x USB 3.0, USB 2.0 Micro-B
Others	GPIO, I²C, I²S, SPI, UART
Mechanical	100 mm x 80 mm x 29 mm

*Please refer to NVIDIA documentation for what is currently supported.

Figura E4. Hoja técnica de Jetson Nano