



UISEK BUSINESS Y DIGITAL SCHOOL

Trabajo de fin de Carrera titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE MONITOREO IOT PARA LA CALIDAD DEL
AGUA EN LA PISCINA DEL CLUB DE NATACIÓN
FORMATIVO Y DE ALTO RENDIMIENTO NÁUTICO
- LUCIO ROJAS: INTEGRACIÓN CON LORAWAN Y
DATAKAKE”**

Realizado por:

NATALÍ FUSTILLOS MARÍN

Director del proyecto:

MG. DAVID CANDO

Requisito para la obtención del título de:

**INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN CON
ÉNFASIS EN CONTENIDOS INTERACTIVOS**

Quito, Julio de 2025

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, NATALÍ FUSTILLOS MARÍN, con cédula de identidad NO. 1726866146, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal; y que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presenta declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Natalí Fustillos Marín

C.C: 1726866146

DECLARATORIA

El presente Trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO IOT
PARA LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PISCINA DEL CLUB DE
NATACIÓN FORMATIVO Y DE ALTO RENDIMIENTO NÁUTICO -
LUCIO ROJAS: INTEGRACIÓN CON LORAWAN Y DATAKE”**

Realizado por:

NATALÍ FUSTILLOS MARÍN

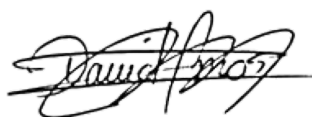
Como requisito para la obtención del título de:

**INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN CON ÉNFASIS EN
CONTENIDOS INTERACTIVOS**

Ha sido dirigido por el profesor:

MG. DAVID CANDO

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'David Cando', with a horizontal line drawn through the middle of the signature.

MG. DAVID CANDO
DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES:

PhD. VIVIANA ELIZABETH CAJAS CAJAS

MSc. VERÓNICA ELIZABETH RODRIGUEZ ARBOLEDA

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral
ante el tribunal examinador.



PhD. Viviana Cajas



Ing. Verónica Rodríguez , MBA

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio constante que han hecho posible este camino académico y personal.

A mi hermana, por ser mi compañera de vida y por brindarme siempre su apoyo.

A mi familia, por estar siempre a mi lado con palabras de aliento y fortaleza, incluso en los momentos más difíciles.

A mis compañeros y amigos, por las risas y los consejos durante estos años.

A todos quienes, de una forma u otra han sido parte de este viaje.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres y hermana por su amor, apoyo y por ser mi inspiración en cada paso de mi vida. Sin su guía este logro no habría sido posible.

Agradezco también a mi familia y amigos, por creer en mí brindándome palabras de aliento y compartir conmigo horas de esfuerzo, dudas y aprendizajes. Sus consejos y amistad han sido una parte invaluable de esta etapa.

A mis profesores, por su dedicación y enseñanzas que me han guiado a lo largo de esta carrera. Su apoyo académico ha sido fundamental para el desarrollo del proyecto.

Finalmente, agradezco de manera especial al MG. Lucio Rojas, mi entrenador y guía desde que tenía 12 años, por confiar en mí y brindarme la oportunidad de implementar este proyecto en su piscina. Su apoyo constante y sus enseñanzas han sido esenciales para mi formación personal y profesional.

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño e implementación de un Sistema de monitoreo IoT para la calidad del agua, en una piscina semiolímpica perteneciente a un club de natación formativo y de alto rendimiento. El sistema integra sensores de temperatura, pH y ORP conectados a un nodo LoRaWAN, con transmisión de datos a la plataforma Datacake para visualización, análisis histórico y envío de alertas automáticas. Durante el periodo de evaluación, se compararon las mediciones del sistema con el método manual tradicional, evidenciando mejoras sustanciales en la frecuencia, precisión y continuidad de los datos. La solución permitió identificar variaciones críticas en el comportamiento del agua, que no eran detectadas por el monitoreo convencional, optimizando la respuesta ante eventos anómalos y fortaleciendo la gestión sanitaria. Además, se verificó la estabilidad de la red y la funcionalidad de las alertas configuradas. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica y operativa de la propuesta, así como su impacto positivo en la eficiencia del control de calidad del agua y soporte a la actividad deportiva del club.

Palabras clave: calidad del agua, LoRaWAN, monitoreo IoT, piscina, sensores.

ABSTRACT

This project presents the design and implementation of an IoT-based monitoring system for water quality in a semi-Olympic swimming pool belonging to a formative and high-performance swimming club. The system integrates temperature, pH, and ORP sensors connected to a LoRaWAN node, transmitting data to the Datacake platform for visualization, historical analysis, and automatic alert generation. During the evaluation period, the system's measurements were compared to the traditional manual method, showing substantial improvements in data frequency, accuracy, and continuity. The solution enabled the detection of critical variations in water behavior that were not identified through conventional monitoring, optimizing the response to anomalous events and strengthening sanitary management. Additionally, the stability of the network and the functionality of the configured alerts were verified. The results demonstrate the technical and operational feasibility of the proposed system, as well as its positive impact on water quality control efficiency and support for the club's sports activities.

Keywords: IoT monitoring, LoRaWAN, sensors, swimming pool, water quality.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURAMENTADA	i
DECLARATORIA	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3

1.3.2	Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO 2		5
MARCO TEÓRICO		5
2.1	Internet de las Cosas (IoT) y su Aplicación en el Deporte	5
2.1.1	Introducción al Internet de las Cosas (IoT)	5
2.1.2	Protocolos de Comunicación Entre Sensores y Nodos IoT	6
2.1.3	Aplicaciones del IoT en el Deporte	7
2.2.	Comunicación LoRaWAN	8
2.2.1.	Introducción a LoRa y LoRaWAN.....	8
2.2.2	Arquitectura de Red LoRaWAN	10
2.3	Plataforma Datacake para Monitoreo y Visualización de Datos	12
2.4	Calidad del Agua en Piscinas	13
2.4.1	Parámetros Críticos y Estándares de Calidad del Agua en Piscinas.....	13
2.4.2	Rendimiento de los Nadadores y su Relación con la Calidad del Agua.....	15
2.4.3	Principios del ORP y su Relación con el Cloro Libre	16
2.5	Técnicas de Monitoreo de Calidad del Agua en Piscinas.....	17
2.5.1	Métodos Manuales: Kits Colorimétricos.....	17
2.5.2	Métodos Automatizados: Sensores.....	18

2.6	Plataforma Blender para la Creación de Modelos 3D	18
CAPÍTULO 3		20
METODOLOGÍA.....		20
3.1	Tipo de Investigación	20
3.2	Diseño Metodológico	20
3.3	Técnicas e Instrumentos Utilizados.....	21
3.4	Criterios de Validación.....	22
3.5	Resultados Esperados	22
CAPÍTULO 4		23
ANÁLISIS DEL ENTORNO DE IMPLEMENTACIÓN.....		23
4.1	Descripción del Club Náutico.....	23
4.2	Situación Actual del Monitoreo de Calidad del Agua	24
4.3	Necesidades Detectadas.....	25
4.4	Restricciones Detectadas	26
CAPÍTULO 5		28
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA		28
5.1	Ciclo de Vida y Metodología.....	28
5.2	Selección de Puerta de Enlace, Nodo Transmisor y Sensores.....	30

5.3	Arquitectura del Sistema	37
5.4	Modelado 3D del Entorno Monitoreado.....	39
5.5	Configuración Técnica y de Dispositivos.....	43
5.6.	Visualización con Datacake.....	48
5.6.1.	Diseño del Dashboard.....	48
5.6.2.	Configuración de Alertas.....	50
5.7.	Instalación del Sistema	52
5.8.	Costos del Sistema.....	55
CAPÍTULO 6		58
EVALUACIÓN Y RESULTADOS		58
6.1.	Comportamiento del Sistema.....	58
6.1.1.	Estabilidad y Cobertura de la Red y la Transmisión de Datos	58
6.1.2.	Mediciones del Sistema IoT Frente al Sistema Manual	59
6.3.	Resultados Obtenidos	65
CAPÍTULO 7		67
DISCUSIÓN.....		67
7.1.	Conclusiones.....	67
7.2.	Recomendaciones	68

REFERENCIAS	69
ANEXOS	75
ANEXO A - Guía para Configuración del Gateway en Datacake.....	75
ANEXO B - Guía para Configuración del Nodo en Datacake	83
ANEXO C - Código del Decodificador de Payload Datacake	87
ANEXO D – Proceso del Diseño del Dashboard en Datacake.....	92
ANEXO E – CONFIGURACIÓN DE ALERTAS EN DATACAKE	101
ANEXO F – Documentación Visual del Proceso de Instalación del Sistema	104
ANEXO G – Registros Detallados del Proceso de Evaluación.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores guías de calidad del agua en piscinas	14
Tabla 2. Criterios de selección del gateway	31
Tabla 3. Criterios de selección del nodo transmisor	32
Tabla 4. Criterios de selección del sensor de pH.....	34
Tabla 5. Criterios de selección del sensor de ORP	35
Tabla 6. Criterios de selección del sensor de temperatura.....	36
Tabla 7. Verificación de precisión de los sensores.....	46
Tabla 8. Costos directos de equipos y materiales	56
Tabla 9. Costos indirectos y generales	57
Tabla 10. Comparación entre sistema IoT y sistema manual	60
Tabla 11. Mediciones del sistema IoT durante el periodo de evaluación.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases del IoT	6
Figura 2. Protocolos de LoRa	9
Figura 3. Arquitectura de red LoRaWAN	11
Figura 4. Kit colorimétrico utilizado en el Club Náutico	24
Figura 5. Diagrama de casos de uso	29
Figura 6. Gateway Milesight UG63-915M.....	30
Figura 7. Nodo Dragino WQS-LB	32
Figura 8. Sensor de pH	33
Figura 9. Sensor de ORP	35
Figura 10. Sensor de temperatura	36
Figura 11. Arquitectura del sistema de monitoreo del agua en piscina	39
Figura 12. Proceso A del modelo 3D de la piscina.....	40
Figura 13. Proceso B del modelo 3D de la piscina.....	41
Figura 14. Proceso C del modelo 3D de la piscina.....	42
Figura 15. Renderizado final del modelo 3D de la piscina.....	43
Figura 16. Cableado del sensor de temperatura al nodo	45
Figura 17. Conexión sensores al nodo y verificación de precisión	47
Figura 18. Conexión sensores al nodo y verificación de precisión	49
Figura 19. Ejemplo de alerta recibida por correo electrónico	51
Figura 20. Pieza fabricada para instalación de los sensores	54

Figura 21. Comparación gráfica entre sistema IoT y sistema manual.....	62
Figura 22. Registro de los tres parámetros durante periodo de evaluación	63
Figura 23. Acceder al web GUI del gateway.....	76
Figura 24. Configurar conexión a internet.....	76
Figura 25. Crear cuenta en Datacake.....	77
Figura 26. Crear Workspace en Datacake	78
Figura 27. Obtener el EUI del gateway	79
Figura 28. Registrar gateway en Datacake	80
Figura 29. Configurar gateway para envío de datos	81
Figura 30. Verificar la conexión del gateway con Datacake	82
Figura 31. Ingresar a Datacake y agregar dispositivos	83
Figura 32. Seleccionar plantilla y servidor en Datacake	84
Figura 33. Registrar nodo en Datacake	85
Figura 34. Encender el nodo y confirmar conexión con Datacake	86
Figura 35. Modo edición del dashboard	92
Figura 36. Diseño estructura superior del dashboard	93
Figura 37. Headline y Device Fields	94
Figura 38. Gráficos para el sensor de temperatura	95
Figura 39. Gráficos para el sensor de pH	95
Figura 40. Gráficos para el sensor de ORP	96
Figura 41. Gráfico de líneas para comparación de variables.....	96
Figura 42. Historia de los datos y su exportación en CSV	97

Figura 43. Pestaña de configuración del dashboard	98
Figura 44. Configuración de permisos del dashboard compartido	99
Figura 45. Generar enlace y código QR público del dashboard	100
Figura 46. Código QR del dashboard	100
Figura 47. Crear nuevas reglas	101
Figura 48. Definir condiciones para las Reglas	102
Figura 49. Configurar acciones para las Reglas	103
Figura 50. Definir frecuencia de ejecución y reactivación para las reglas	103
Figura 51. Proceso de instalación del gateway	104
Figura 52. Instalación final del gateway	104
Figura 53. Pruebas de conectividad y posible ubicación de los sensores	105
Figura 54. Ajuste del termopozo y preparación de la nueva pieza	106
Figura 55. Corte y limpieza del tramo de tubería para la instalación	106
Figura 56. Ensamblaje del nuevo segmento con los sensores	107
Figura 57. Integración de la nueva pieza con la tubería de extracción	108
Figura 58. Instalación final de los sensores	108
Figura 59. Preparación y fijación de la manguera para cableado	109
Figura 60. Montaje del nodo en la pared del cuarto de máquinas	110
Figura 61. Conexión de sensores al nodo y encendido del equipo	111
Figura 62. Instalación final del nodo	111
Figura 63. Verificación de la instalación del sistema de monitoreo IoT	112
Figura 64. Registro de temperatura durante el periodo de evaluación	116

Figura 65. Registro de pH durante el periodo de evaluación	116
Figura 66. Registro de ORP durante el periodo de evaluación.....	117
Figura 67. Registro manual durante el periodo de evaluación	118

INTRODUCCIÓN

La natación es una disciplina deportiva de gran relevancia para la salud integral, reconocida por sus beneficios físicos, mentales y sociales. Según Ferreria et al. (2024), diversos estudios han demostrado que su práctica regular mejora la capacidad cardiorrespiratoria, fortalece el sistema musculoesquelético y estimula el desarrollo de habilidades motoras. Además, contribuye al bienestar psicológico, siendo una actividad recomendada para todas las edades, especialmente adolescentes, por su impacto en el crecimiento.

El monitoreo de la calidad del agua en piscinas no solo es una necesidad técnica y sanitaria, sino que es esencial para garantizar la seguridad, el bienestar y el rendimiento de los nadadores (Khodaei et al., 2016). En instalaciones deportivas de alto nivel, como los clubes de natación, esta responsabilidad es aún más relevante. Con el avance de la tecnología, los sistemas tradicionales de medición manual están dando paso a soluciones automatizadas que permiten una supervisión más precisa y eficiente.

El presente trabajo de titulación se centra en la implementación de una solución tecnológica basada en internet de las cosas, o también conocido como IoT (Atzori et al., 2010), para el monitoreo de parámetros críticos del agua en una piscina de uso deportivo. La propuesta se basa en el uso de sensores para medir variables como la temperatura, el pH y un indicador de desinfección, esta información será transmitida a través de una red LoRaWAN (Saban et al., 2021) y visualizada mediante la plataforma Datacake (Datacake, 2024). Además, el sistema incluirá un modelo tridimensional de la piscina, desarrollado con Blender (Blender Foundation, 2025), para enriquecer la interfaz de usuario.

Esta investigación tiene como finalidad evidenciar el potencial de los sistemas de monitoreo IoT, para proporcionar una visión más completa y en tiempo real de la calidad del agua. Permitiendo una gestión proactiva y eficiente, ayudando así a tener un ambiente óptimo para el desarrollo deportivo.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del Problema

En el Club Náutico (Rojas, 2021), un club de natación formativo y de alto rendimiento, el mantenimiento de la calidad del agua en su piscina es un proceso fundamental para asegurar la salud, el bienestar y el buen desempeño de sus atletas. Actualmente, el club depende de un sistema de monitoreo manual el cual consiste en la medición puntual de los parámetros, pH, cloro libre y la temperatura, realizada tres veces al día, mañana, tarde y noche, mediante el uso de un kit colorimétrico con reactivos y un termómetro. Este protocolo se complementa con un análisis microbiológico trimestral llevado a cabo por un laboratorio externo.

Este enfoque proporciona de forma instantánea la calidad del agua en momentos específicos, sin embargo, presenta limitaciones al ser intermitente y manual. Por ejemplo, un pH elevado y niveles inadecuados de desinfección pueden favorecer la proliferación de bacterias y provocar infecciones en los usuarios. Paredes Lascano et al. (2024) reportó brotes de *E. Coli* y *Klebsiella* en una piscina mal tratada, que ocasionó casos de otitis y afecciones en la piel de los nadadores, lo que evidencia el impacto sanitario que puede tener una inadecuada gestión de la calidad del agua.

En primer lugar, la inversión de tiempo y recursos humanos para estas mediciones y su registro podría ser reasignada a otras actividades esenciales para la operación del club. En segundo lugar, la discontinuidad de los datos obtenidos impide la detección de las fluctuaciones que pueden ocurrir entre las mediciones programadas. En tercer lugar, al usar un kit colorimétrico para las mediciones de cloro libre y pH estos valores quedan muy abiertos a la interpretación, dependiendo de factores como la luz ambiental, lo cual genera valores inexactos. Finalmente, la capacidad de respuesta ante eventos adversos se ve limitada por la frecuencia de las revisiones manuales.

La falta de un sistema de monitoreo automatizado obstaculiza una gestión proactiva de la calidad del agua, lo que podría generar un mayor riesgo de problemas de salud para los nadadores, por ejemplo, problemas respiratorios debido a la inhalación de subproductos como

las cloraminas (World Health Organization, 2006; 2021), y un uso ineficiente de los recursos operativos y económicos destinados al control de la calidad del agua.

A través de la implementación de un Sistema de Monitoreo IoT, integrado con las tecnologías LoRaWAN y la plataforma Datacake, incluyendo la visualización espacial mediante un modelo tridimensional de la piscina, emerge como una solución para superar las deficiencias del sistema manual, ofreciendo la posibilidad de una gestión más eficaz y proactiva.

1.2 Justificación

Para contar con una buena calidad del agua en las piscinas se debe mantener los parámetros físico-químicos y microbiológicos dentro de rangos específicos establecidos por entidades sanitarias, esto no solo minimiza el riesgo de irritaciones, infecciones y otros problemas de salud, sino que también crea las condiciones más favorables para el entrenamiento y la competencia. En el contexto del Club Náutico, donde se realizan entrenamientos de alto rendimiento, mantener un ambiente óptimo es aún más relevante, ya que incluso pequeñas variaciones en la temperatura o nivel de desinfección pueden afectar el desempeño de los nadadores.

La metodología de control manual actualmente implementada, aunque permite obtener mediciones puntuales, estas mediciones no son tan exactas y no permiten detectar las fluctuaciones que pueden ocurrir entre una revisión y otra. Estos valores inexactos y las variaciones no detectadas pueden generar condiciones deficientes que pueden afectar sutilmente la capacidad respiratoria, la sensación de fatiga y la recuperación muscular de los nadadores, impactando negativamente en su rendimiento. Del mismo modo, la falta de datos continuos y detallados dificulta la identificación de tendencias y la anticipación a problemas lo que compromete la gestión integral de la calidad del agua, y la capacidad de mantener un ambiente consistentemente favorable para el entrenamiento de alto nivel.

Ante esta situación, se justifica la implementación de un Sistema de Monitoreo IoT para la calidad del agua, integrado con las tecnologías LoRaWAN y Datacake. El uso de sensores inteligentes para la medición en tiempo real de parámetros críticos como la temperatura, el pH y un indicador de desinfección, combinada con la transmisión de datos a través de la red LoRaWAN y su posterior visualización y análisis en la plataforma Datacake, ofrece un potencial significativo para optimizar diversas áreas operativas y de gestión. Esta supervisión

ayudará en la detección temprana de cualquier desviación y una respuesta proactiva para mantener los parámetros críticos dentro de los rangos óptimos, asegurando que las condiciones del agua sean siempre las más propicias para el entrenamiento de alto rendimiento.

En este contexto, la plataforma Datacake no solo proporcionará herramientas de visualización y análisis de datos en tiempo real, sino que también permitirá la integración de un modelo tridimensional (3D) de la piscina del club. Su integración en el dashboard busca ofrecer una representación visual atractiva y contextual del entorno monitoreado.

La elección de sensores estará determinada por criterios de viabilidad técnica, disponibilidad en el mercado, facilidad de integración y costos. Por ejemplo, aunque el monitoreo de cloro libre es deseable, su implementación directa puede implicar altos costos. En este sentido, el uso de sensores de ORP (Potencial de Oxidación-Reducción) representa una alternativa viable y confiable (Bastian & Brondum, 2009).

Los resultados de esta investigación podrían servir como modelo y referencia para otros clubes e instalaciones deportivas en Ecuador, que enfrentan desafíos similares en la gestión de la calidad del agua y buscan crear las condiciones óptimas para el desarrollo de atletas de alto nivel.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo IoT para la calidad del agua en la piscina del Club Náutico, integrado con las tecnologías LoRaWAN, la plataforma Datacake y la visualización de un modelo tridimensional de la piscina, con el fin de mejorar la eficiencia, la precisión y la capacidad de respuesta, en la gestión de los parámetros críticos, contribuyendo a un ambiente más seguro, saludable y óptimo para el rendimiento deportivo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el sistema actual de monitoreo de la calidad del agua en la piscina del Club Náutico, identificando sus limitaciones, ineficiencias y los recursos involucrados, con el fin de proponer mejoras que optimicen su precisión y eficiencia.

- Seleccionar y configurar los sensores y nodos adecuados, empleando criterios de compatibilidad técnica, precisión de medición y facilidad de integración, para la medición continua de los parámetros críticos en entornos de piscinas.
- Establecer la infraestructura de comunicación LoRaWAN necesaria, configurando y posicionando estratégicamente el gateway y nodo para optimizar la estabilidad de la señal, permitiendo la transmisión eficiente de los datos recolectados por los sensores.
- Desarrollar un modelo tridimensional de la piscina del Club Náutico mediante el uso de software de modelado 3D (Blender), que incluya detalles estructurales reales, para una visualización espacial del entorno.
- Integrar los datos de los sensores y el modelo 3D con la plataforma Datacake, configurando la visualización en tiempo real de los parámetros de calidad del agua a través de un dashboard personalizado.
- Implementar un sistema de alertas y notificaciones en la plataforma Datacake, configurando reglas y umbrales para los parámetros críticos de la calidad del agua, de manera que se advierta al personal del club sobre desviaciones que requieran atención.
- Evaluar el impacto, la eficiencia, precisión y capacidad de respuesta del sistema de monitoreo IoT implementado frente al sistema de monitoreo manual, a partir de datos operativos y pruebas de campo, con el fin de determinar su efectividad y beneficios en la gestión de la calidad del agua.

El presente capítulo expuso el problema, la justificación del proyecto y sus objetivos, que guían la investigación. A continuación, en el Capítulo 2 se desarrollará el marco teórico, en el que se presentarán los fundamentos conceptuales y técnicos que sustentan el proyecto.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Internet de las Cosas (IoT) y su Aplicación en el Deporte

2.1.1 Introducción al Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (Madakam et al., 2015), es un concepto muy relevante en la tecnología actual, IoT proviene de dos palabras, las cuales son “Internet” y “Cosas”. El internet es un sistema global conformado por redes informáticas las cuales están interconectadas y utilizan un conjunto de protocolos estándar de Internet (TCP/IP), al hablar de “Cosas” hace referencia tanto a seres vivos como a cosas inertes.

El IoT permite la interconexión de dispositivos físicos mediante redes de comunicación, facilitando la recolección, transmisión y procesamiento de datos en tiempo real. Estos dispositivos, denominados "cosas", pueden incluir sensores, electrodomésticos, vehículos, sistemas industriales, entre otros, capaces de recopilar información del entorno o recibir instrucciones para modificar su comportamiento (Atzori et al., 2010).

A través del uso de tecnologías de conectividad como Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRaWAN y redes celulares, los dispositivos IoT establecen canales de comunicación que permiten el envío de datos hacia plataformas de procesamiento en la nube o hacia sistemas locales (Al-Fuqaha et al., 2015). Antes el concepto de IoT era principalmente un tema en los ámbitos técnicos, sin embargo, la creciente cantidad de proyectos que utilizan IoT en áreas como las ciudades inteligentes, la agricultura, el transporte, la salud, entre otros, ha contribuido a que estas soluciones se vuelvan más conocidas (Sánchez & Ramoscelli, 2018).

SAP Insights Newsletter (2022, como se citó en Nieto Pacheco et al., 2023) afirma que el funcionamiento del IoT consta de cuatro fases principales: captura, transmisión, procesamiento y acción. En la primera fase, los sensores recogen datos del entorno; luego, en la segunda fase, los datos se envían por redes de comunicación a plataformas de procesamiento; posteriormente, en la tercera fase, el software interpreta esta información y finalmente, en la cuarta fase, se ejecutan acciones automáticas o decisiones informadas en función del análisis realizado. En la Figura 1 se resume gráficamente las fases del IoT

Figura 1*Fases del IoT*

Nota. Tomado de “Current advances of the IoT and its various applications” (p. 64), por A. J. Nieto Pacheco, et al., 2023, *Conciencia Digital*, 6(1).

En cuanto a los protocolos de comunicación utilizados en IoT, existen muchas alternativas que varían según las necesidades, tanto de consumo energético como de alcance y volumen de datos. Protocolos como MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) y CoAP (Constrained Application Protocol) son ampliamente utilizados debido a su ligereza y eficiencia, sobre todo en aplicaciones donde los dispositivos operan con recursos limitados (Naik, 2017).

En cambio, para la capa de acceso a la red, tecnologías como LoRaWAN permiten la transmisión de datos a largas distancias con un consumo energético mínimo, por lo cual constituye una opción ampliamente utilizada en aplicaciones donde la autonomía de los dispositivos y la cobertura son factores críticos (Centenaro et al., 2016).

2.1.2 Protocolos de Comunicación Entre Sensores y Nodos IoT

En un sistema IoT, la comunicación entre los sensores y el nodo que recolecta la información es fundamental, para garantizar la fiabilidad de las mediciones y su eficiencia energética. Dependiendo del tipo de sensor y del entorno donde va a ser implementado, se pueden utilizar diferentes interfaces y protocolos de comunicación. En el sistema propuesto en este proyecto, se utilizan tres tipos de protocolos: RS485, Modbus-RTU y One-Wire.

RS485 - Interfaz Eléctrica Robusta

Se trata de una interfaz de comunicación en serie diferencial, se utiliza mucho en entornos industriales por su resistencia al ruido eléctrico y su capacidad para cubrir largas distancias, también permite la comunicación multipunto, lo que significa que varios sensores pueden estar conectados al mismo bus de datos. Gracias a su arquitectura diferencial, es menos susceptible a interferencias electromagnéticas por lo que es una buena opción para entornos como los cuartos de máquinas (Jiang et al., 2015).

Modbus-RTU - Protocolo Industrial Maestro-Esclavo

Según Elamanov et al. (2022) este protocolo es considerado un estándar en aplicaciones industriales para la comunicación entre dispositivos electrónicos. Además, indicó que su variante RTU (Remote Terminal Unit) se implementa sobre interfaces físicas como RS485, lo que permite la transmisión de datos mediante un esquema maestro-esclavo, donde el maestro es el que inicia la comunicación y los esclavos son los que responden.

One-Wire - Comunicación Sencilla

El protocolo One-Wire es un sistema de comunicación digital que permite la transmisión de datos a través de un solo conductor, esta arquitectura lo hace ideal para aplicaciones en las que se requiere reducir el cableado, minimizar las interferencias o trabajar con sensores de bajo consumo (Chunjiang et al., 2012).

Estos protocolos permiten una comunicación eficiente y adaptada a las condiciones técnicas del entorno de monitoreo en piscinas. Su compatibilidad con nodos LoRaWAN facilita su integración en soluciones IoT prácticas y de bajo consumo energético.

2.1.3 Aplicaciones del IoT en el Deporte

El internet de las cosas es una tecnología clave que transforma múltiples industrias inclusive en el ámbito deportivo. Su capacidad para recopilar y transmitir datos en tiempo real permite una monitorización constante de distintas variables, como las fisiológicas, biomecánicas y ambientales, las cuales impactan en el rendimiento y la salud de los atletas.

Uno de los principales beneficios del IoT en el deporte, es que puede capturar datos fisiológicos en tiempo real mediante dispositivos portátiles. Esto incluye variables como la frecuencia cardíaca, la variabilidad del ritmo cardíaco, la temperatura corporal y patrones de movimiento. Esta información, al ser analizada mediante técnicas de machine learning, permite a entrenadores y especialistas tomar decisiones basadas en evidencia para optimizar el entrenamiento y prevenir lesiones (Consuegra-Fontalvo et al., 2022).

La combinación de IoT con inteligencia artificial ha abierto nuevas posibilidades en la identificación de factores de riesgo. Dispositivos equipados con sensores pueden monitorear datos biomecánicos durante los entrenamientos, y mediante algoritmos de aprendizaje automático es posible detectar patrones que indiquen riesgo de lesiones antes de que ocurran, lo cual promueve un entorno de entrenamiento más seguro y eficiente (Chen & Dai, 2024).

Por otro lado, el IoT ha sido aplicado en la creación de estadios inteligentes, donde sensores instalados en diferentes áreas permiten la gestión eficiente de recursos, como iluminación, ventilación y seguridad. Esta infraestructura no solo mejora la experiencia del cliente, sino que también optimiza el uso de energía y garantiza condiciones óptimas para los eventos deportivos (Mahdi et al., 2021).

Estas aplicaciones demuestran que el IoT no solo permite la monitorización del rendimiento atlético, sino que también es esencial en la gestión de instalaciones deportivas y en la mejora de la salud y seguridad de los deportistas.

2.2. Comunicación LoRaWAN

2.2.1. Introducción a LoRa y LoRaWAN

El constante crecimiento de tecnologías IoT ha impulsado el desarrollo de tecnologías de comunicación inalámbrica, que prioricen la eficiencia energética y el largo alcance. Entre estas, LoRa (Long Range) y LoRaWAN (Long Range Wide Area) se destacan como soluciones clave al tratarse de redes de baja potencia y largo alcance (Augustin et al., 2016).

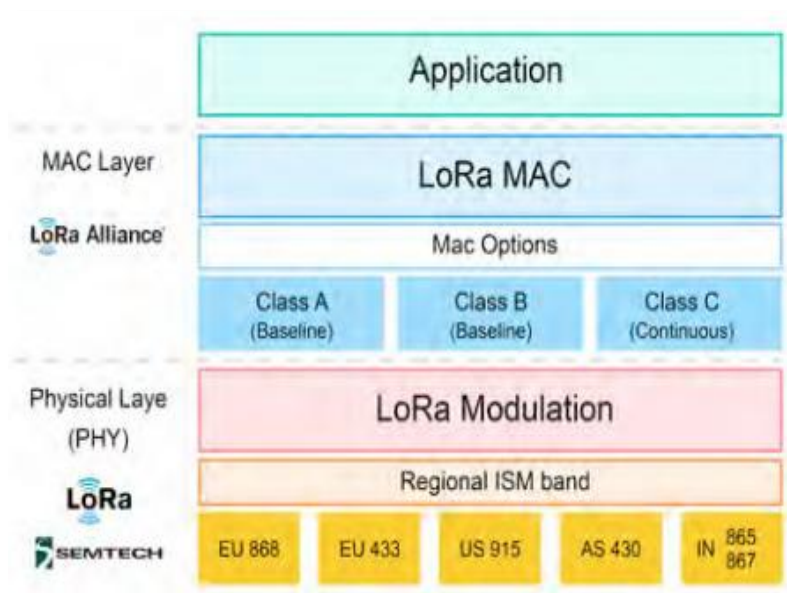
En palabras de Saban et al. (2021) “LoRa es una tecnología inalámbrica de largo alcance y bajo consumo que busca aumentar la duración de la batería de los dispositivos, admitir un gran número de dispositivos conectados y mejorar la robustez y capacidad de la red” (p. 160). La Figura 2 muestra que la tecnología LoRa está formada por dos capas, que son, capa física (PHY)

y capa de acceso al medio (MAC). La capa física se basa en el espectro ensanchado por Chirp (CSS), desarrollada por Semtech, este permite transmisiones robustas incluso en presencia de interferencias (Centenaro et al., 2016).

Esta trabaja en bandas de frecuencia sin licencia, como 433, 868 y 915 MHz, estas son ideales para sensores que envían pequeñas cantidades de información a intervalos espaciados (Augustin et al., 2016). LoRaWAN en cambio es un protocolo de capa MAC y un diseño de arquitectura de sistema, estandarizado por la LoRa Alliance (Saban et al., 2021).

Figura 2

Protocolos de LoRa



Nota. Tomado de “Experimental Analysis of IoT Networks Based on LoRa/LoRaWAN under Indoor and Outdoor Environments: Performance and Limitations” (p. 160), por M. Saban, et al., 2021, *IFAC PapersOnLine*, 54(4).

Según Saban et al. (2021), "La capa Mac de LoRaWAN habilita la comunicación entre los dispositivos LoRa y la puerta de enlace del receptor LoRaWAN. Esta tiene una arquitectura de topología en estrella: los dispositivos finales sólo pueden comunicarse con la puerta de enlace del receptor" (p. 160). LoRaWAN es el protocolo de red que define la estructura de

comunicación entre dispositivos LoRa y gateways, este protocolo se encarga de aspectos como la autenticación, el direccionamiento y la seguridad (Bonilla et al., 2023).

Una de las principales fortalezas de esta tecnología es su bajo consumo energético, por lo que es ideal para dispositivos alimentados por batería, también, LoRaWAN permite una autonomía de varios años en dispositivos finales y su capacidad de penetración a través de obstáculos en entornos urbanos y rurales, permite establecer redes con amplio alcance (Alkhayyal & Mostafa, 2025).

Varias investigaciones (Alkhayyal & Mostafa, 2025; Saban et al., 2021) afirman que existen tres clases de dispositivos finales, los cuales son:

Clase A: Es la más eficiente energéticamente, cuenta con ventanas de recepción programadas tras una transmisión, la comunicación de clase A siempre la inicia el dispositivo final.

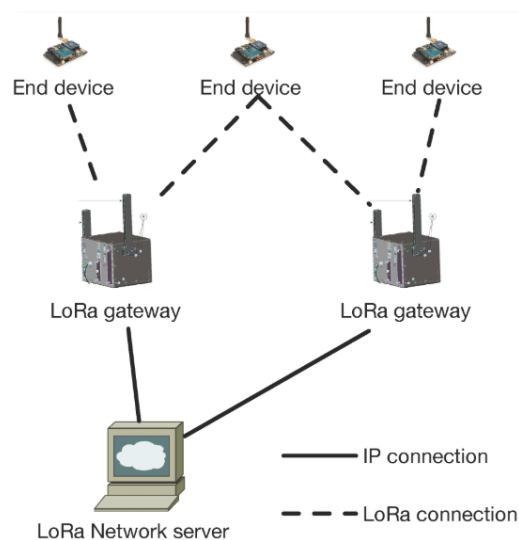
Clase B: Cuenta con ventanas adicionales programadas a ventanas aleatorias, esto hace que la velocidad y el ciclo de transmisión de los datos sean controlados por el servidor, es ideal para aplicaciones que necesiten cierta sincronización.

Clase C: Tiene ventanas de recepción continuamente abiertas, lo que reduce la latencia y es ideal para dispositivos que tengan alimentación constante.

En términos de seguridad, LoRaWAN emplea cifrado simétrico AES-128 tanto para la integridad como para la confidencialidad de los datos, este usa claves separadas para la red y para la aplicación (Bonilla et al., 2023).

2.2.2 Arquitectura de Red LoRaWAN

La arquitectura de red LoRaWAN está diseñada específicamente para aplicaciones de IoT que requieren comunicación de largo alcance, bajo consumo energético y bajo costo. Esta red se basa en una topología tipo estrella donde múltiples dispositivos finales se comunican directamente con uno o más gateways, los cuales, envían los datos hacia un servidor de red centralizado (Alkhayyal & Mostafa, 2025). La Figura 3 muestra gráficamente la arquitectura típica de una red LoRaWAN.

Figura 3*Arquitectura de red LoRaWAN*

Nota. Tomado de “A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things” (p. 4), por A. Augustin, et al., 2016, *Sensors*, 16(9), 1466.

Según Augustin et al. (2016), esta arquitectura contiene tres componentes principales:

Dispositivos Finales. Estos son los sensores que recolectan los datos y se comunican con uno o varios gateways mediante LoRa.

Puertas de Enlace (Gateways): Estos actúan como puentes transparentes que envían tramas LoRaWAN, sin procesar al servidor de red mediante conexiones IP de mayor capacidad, como Ethernet, Wi-Fi o redes celulares. Estos son simplemente convertidores de protocolo y emplean protocolos de red como UDP (User Datagram Protocol), para la transmisión rápida de paquetes de datos y WebSockets, para mantener una conexión persistente y bidireccional con el servidor de red, permitiendo la transmisión en tiempo real de los datos.

Servidor de Red: Este componente administra el tráfico de datos, se encarga tanto de decodificar los paquetes enviados y generar los paquetes que deben devolverse, como de gestionar la seguridad y la duplicación de mensajes.

Delgado-Ferro et al. (2022) afirma que existe un cuarto componente que se debe considerar en la arquitectura de una red LoRaWAN, este es el Servidor de Aplicaciones, el cual se encarga

de recibir los datos ya procesados por el servidor de red y presentarlos a los usuarios o sistemas externos. Aquí es donde se pueden aplicar reglas de negocio o procesos de análisis de datos.

Una ventaja significativa de esta arquitectura es su escalabilidad con bajo costo operacional, ya que una sola red puede admitir miles de dispositivos distribuidos en grandes áreas, esto es gracias a la separación entre la infraestructura física y la lógica. Lo cual es útil en aplicaciones como agricultura, monitoreo ambiental, entre otros (LoRa Alliance, 2024).

2.3 Plataforma Datacake para Monitoreo y Visualización de Datos

Datacake es una plataforma basada en la nube que permite la gestión integral de dispositivos IoT, facilitando la visualización, configuración, procesamiento y automatización de datos. Cuenta con un enfoque sin código y su interfaz intuitiva la convierten en una herramienta poderosa, tanto para desarrolladores como para usuarios no técnicos, también, tiene una aplicación para el celular gratuita, tanto para iOS como para Android (Datacake, 2024).

Visualización de Datos

Una de las principales fortalezas de esta plataforma es su sistema de dashboards personalizables, estos permiten representar en tiempo real los datos recolectados por sensores conectados. Se pueden incluir gráficos de líneas, tablas, mapas, indicadores de estados, entre otros. También, permite establecer líneas de referencia y marcar eventos, lo que facilita la identificación de comportamientos anómalos o condiciones críticas (Datacake, 2024).

En entornos como el monitoreo de la salud, Datacake ha demostrado ser útil al ofrecer visualización clara y continua de parámetros vitales como temperatura, presión arterial o frecuencia cardiaca. Un estudio reciente en un sistema IoT para salud remota, empleó Datacake para mostrar información recolectada por sensores portátiles, usando redes Wi-Fi y LoRaWAN, destacando su facilidad de uso y eficiencia en contexto monitoreo en tiempo real (Abdulmalek et al., 2024).

Configuración de Dispositivos

Datacake permite integrar nuevos dispositivos mediante plantillas preconfiguradas o a través de configuración manual, lo que hace más fácil su adaptación a diferentes aplicaciones. Es posible definir campos personalizados para cada sensor, agrupar dispositivos mediante

etiquetas y utilizar decodificadores de payload que interpretan los datos binarios recibidos desde dispositivos no estandarizados (Datacake, 2024).

Alertas y Automatización

Una funcionalidad que destaca a Datacake como plataforma de visualización es su motor de reglas, este permite definir acciones automáticas cuando ciertos parámetros alcanzan valores predefinidos. Estas reglas pueden generar alertas por correo electrónico, SMS o webhooks para integraciones con otros sistemas externos. Esta capacidad de automatización es crucial para reaccionar ante eventos como los cambios en la calidad del agua o fallas de equipos (Datacake, 2024).

2.4 Calidad del Agua en Piscinas

2.4.1 Parámetros Críticos y Estándares de Calidad del Agua en Piscinas

La calidad del agua en piscinas es un aspecto fundamental para cuidar de la salud de los usuarios, aún más, en instalaciones con alta afluencia como centros deportivos o recreativos. Un control adecuado requiere el monitoreo constante de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que aseguren condiciones higiénicas y que eviten la proliferación de agentes patógenos.

Entre los parámetros físico-químicos críticos destacan el pH, el potencial de oxidación-reducción (ORP), la temperatura, la conductividad eléctrica, la turbidez y la concentración de desinfectantes residuales como el cloro libre. Estos parámetros no solo garantizan la desinfección efectiva, sino que también influyen en la comodidad del usuario y la durabilidad de las instalaciones (Paredes Lascano et al., 2024).

Según World Health Organization (WHO, 2006; 2021), el pH ideal se sitúa entre 7.2 y 7.8, ya que fuera de este rango la efectividad del cloro disminuye y se incrementa la irritación de los ojos y de la piel, por otro lado, el cloro libre debe estar entre 1 y 3 ppm, lo que garantiza una adecuada desinfección. El potencial ORP, el cual es utilizado como parámetro indirecto del poder desinfectante, debe mantenerse como mínimo en 650 mV y como máximo en 750 mV para garantizar una desinfección efectiva, sin llegar a ser perjudicial para la salud. La temperatura también es importante que sea monitoreada, ya que está igual influye en el

metabolismo bacteriano y en la eficacia de los desinfectantes, en piscinas recreativas suele mantenerse entre 26 °C y 30 °C.

En cuanto a los estándares microbiológicos, se exige que el agua esté libre de bacterias indicadoras de contaminación fecal, como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y coliformes totales. No debe detectarse ninguna unidad formadora de colonias (UFC) de estas bacterias en 100 ml de muestra. Esto es muy importante, ya que estos microorganismos pueden causar enfermedades como gastroenteritis, conjuntivitis e infecciones de la piel o del tracto urinario (WHO, 2006; 2021). Los valores recomendados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Valores guías de calidad del agua en piscinas

Parámetro	Rango recomendado
pH	7.2 - 7.8
Cloro Libre (ppm)	1.0 - 3.0
ORP (mV)	650 - 750
Temperatura (°C)	26 - 30
<i>E. coli</i>	0 UFC / 100mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 UFC / 100mL
Coliformes totales	0 UFC / 100mL

Nota. Adaptado de “Guidelines on Recreational Water Quality. Volume 1: Coastal and Fresh Waters”, por WHO, 2021, *World Health Organization*, (1).

A pesar del uso rutinario de desinfectantes como lo es el cloro, se ha demostrado que su interacción con la materia orgánica que está presente en el agua, como el sudor, saliva o restos de productos cosméticos, genera subproductos de desinfección (DBPs). Entre los que destacan son, los trihalometanos, ácidos haloacéticos, halocetonas y haloacetónitrilos. Estos compuestos pueden tener efectos adversos sobre la salud (Abilleira et al., 2023). Es por esto, que el monitoreo y control de estos subproductos se ha vuelto más relevante, aún más en piscinas cubiertas donde la acumulación de estos compuestos es mayor.

En Ecuador, aunque existen normativas generales del control del agua, se ha evidenciado la presencia de bacterias multiresistentes, como cepas de *E. Coli* y *Klebsiella* en piscinas recreativas de la provincia de Tungurahua, lo que demuestra la importancia de establecer estándares más estrictos y monitoreos continuos (Paredes Lascano et al., 2024).

La correcta gestión de la calidad del agua en piscinas requiere, no solo un monitoreo regular de los parámetros críticos, sino también la aplicación de tecnologías de medición, como sensores IoT, que permitan el monitoreo continuo y remoto de datos para una acción rápida y eficiente frente a posibles riesgos, de manera que se pueda mantener una buena calidad del agua.

2.4.2 Rendimiento de los Nadadores y su Relación con la Calidad del Agua

La calidad del agua en piscinas es un factor crítico que influye tanto en la salud, como en el rendimiento deportivo de los nadadores. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua pueden afectar el sistema respiratorio, la piel, los ojos y la sensación de bienestar de los atletas durante el entrenamiento y la competencia.

Uno de los más importantes es el pH, el cual regula la eficacia del cloro como desinfectante. Un pH muy bajo puede causar irritación ocular y picazón en la piel, mientras que valores superiores disminuyen la eficacia del cloro, lo que favorece la formación de cloraminas, compuestos irritantes y potencialmente tóxicos (Paredes Lascano et al., 2024).

El cloro libre también debe atenerse dentro de rangos seguros, porque niveles excesivos pueden llegar a provocar problemas respiratorios en los nadadores, debido a la inhalación de subproductos como las cloraminas, aún más si se trata de piscinas cerradas. Estos compuestos irritan las vías respiratorias y reducen la capacidad pulmonar, igualmente el contacto continuo con el agua clorada puede provocar sequedad de la piel, dermatitis y foliculitis, además de verrugas plantares y pie de atleta (WHO, 2006; 2021).

La temperatura del agua también es crítica, ya que a temperaturas superiores a 30 °C pueden generar un ambiente ideal para la proliferación bacteriana y provocar fatiga muscular, lo cual afecta el rendimiento durante entrenamientos intensos. Además, temperaturas muy bajas aumentan el riesgo de lesiones musculares y reducen la eficiencia metabólica (Khodaei et al., 2016; WHO, 2021).

El monitoreo riguroso de estos parámetros es esencial para mantener el agua de la piscina libre de contaminantes y patógenos, y por lo tanto prevenir afecciones que impactan directamente en

la salud y el rendimiento de los atletas, ya que todo esto puede llevar a interrupciones en la rutina deportiva o requerir tratamiento médico, lo que afecta el calendario competitivo del nadador (Khodaei et al., 2016).

2.4.3 Principios del ORP y su Relación con el Cloro Libre

El potencial de oxidación-reducción (ORP) es un parámetro electroquímico que mide la capacidad de una solución para oxidar o reducir compuestos químicos, lo cual está directamente relacionado con la eficacia desinfectante del agua. En el contexto de piscinas, el ORP se utiliza como indicador indirecto para ver la capacidad del cloro libre presente en el agua, para mantener condiciones adecuadas (Bastian & Brondum, 2009).

A diferencia del cloro libre, el cual cuantifica la cantidad de desinfectante presente, el ORP representa la fuerza oxidante real de dicha solución, integrando los efectos del cloro y otros compuestos presentes. Un valor de ORP superior a 650 mV se ha asociado con una desinfección eficaz, capaz de inactivar patógenos como *Escherichia coli* en menos de 30 segundos (Bastian & Brondum, 2009).

El ORP no actúa de forma independiente, ya que también depende de factores como el pH del agua. En general, a menor pH se favorece la formación de ácido hipocloroso (forma activa del cloro), lo cual aumenta el valor de ORP. Sin embargo, si el pH no se controla adecuadamente, el mismo valor de ORP puede no corresponder con la misma capacidad desinfectante (Gongora et al., 2024).

Gongora et al. (2024) afirma que, aunque el ORP resulta útil como indicador general de la capacidad desinfectante del agua, su interpretación debe ir acompañada del monitoreo del pH. Por ejemplo, se ha observado que un ORP de 650 mV no garantiza una eliminación completa de patógenos si el pH es desfavorable, esto se debe a la reducción en la concentración efectiva de ácido hipocloroso.

En entornos recreativos como piscinas, donde la materia orgánica y la carga bacteriana pueden cambiar constantemente, el monitoreo continuo del ORP puede ser más efectivo que pruebas puntuales de cloro libre. Aun así, el ORP debe usarse como complemento y no como sustituto de otros parámetros químicos.

2.5 Técnicas de Monitoreo de Calidad del Agua en Piscinas

2.5.1 Métodos Manuales: Kits Colorimétricos

Los kits colorimétricos, como los utilizados en el Club Náutico, son una de las herramientas más utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua, debido a su facilidad de uso y su bajo costo para medir parámetros como pH y cloro libre. Estos kits permiten estimar visualmente la concentración de parámetros fisicoquímicos, mediante la comparación de un cambio de color en una muestra con una escala de referencia.

Generalmente, estos kits consisten en un conjunto de tubos de ensayo o celdas acompañados de reactivos químicos, los parámetros más comunes que pueden medirse con estos kits son pH y cloro libre, y en algunos casos la alcalinidad y dureza del agua. Su funcionamiento se basa en reacciones químicas específicas, con el agua de muestra, que genera una coloración proporcional a la concentración de parámetro presente. El operador compara visualmente el color obtenido con una tabla de colores de referencia incluida en el kit (Rowhani & Lagalante, 2007).

A pesar de sus ventajas, Chaabane et al. (2024) afirma que estos kits presentan importantes limitaciones que afectan su precisión y confiabilidad, los cuales son:

Subjetividad en la Interpretación de Color: La lectura depende de la percepción visual del operador, lo que puede llevar a errores especialmente en concentraciones cercanas a los límites de referencia.

Dependencia de la Luz Ambiental: La iluminación al momento de la lectura puede llegar a alterar la percepción del color, aún más en escalas con colores muy similares, lo que dificulta una lectura objetiva y estandarizada.

Experiencia del Operador: La exactitud de los resultados puede variar según el entrenamiento y experiencia de quien realiza la medición, siendo más propenso a errores en manos inexpertas.

Baja Precisión Comparada con Sensores Digitales: Nos dan resultados estimativos dentro de rangos, y los datos no quedan registrados automáticamente ni permiten una supervisión constante, lo que limita su aplicación en monitoreos que requieren alta exactitud.

Por estas razones, aunque los kits colorimétricos siguen siendo herramientas útiles para controles rutinarios rápidos o como respaldo, en instalaciones donde se requiere mayor control, se recomienda complementar o sustituirlos con métodos más precisos, como sistemas automatizados con sensores calibrados y conectividad a plataforma de monitoreo.

2.5.2 Métodos Automatizados: Sensores

Los sistemas automatizados basados en sensores son una solución eficiente, precisa y continua para el monitoreo de la calidad del agua en piscinas. Estos sensores permiten la recolección y transmisión en tiempo real de parámetros, como pH, ORP, cloro libre, oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, entre otros. Por lo general, estos sensores se pueden integrar en plataformas IoT (De Camargo et al., 2023).

Los sensores automatizados funcionan mediante principios físicos o químicos que traducen las propiedades del agua en señales eléctricas. Por ejemplo, los sensores de pH utilizan electrodos de referencia y de medición que detectan la actividad de iones de hidrogeno. Estos sensores suelen estar integrados en sondas multiparamétricas, que combinan varios módulos en una misma unidad, lo que facilita su instalación y mantenimiento (De Camargo et al., 2023).

Una de sus principales ventajas es el monitoreo continuo, con alta frecuencia de muestreo, reducción del error humano y capacidad de integración con plataformas de análisis de datos e interfaces visuales, como dashboards inteligentes. Además, su conexión a sistemas de monitoreo continuo, mediante protocolos IoT, permite tomar decisiones informadas en tiempo real, y los avances recientes en inteligencia artificial y aprendizaje automático han potenciado el análisis predictivo de los datos capturados, lo que permite anticipar riesgos e incluso implementar sistemas automatizados de alerta o corrección (Alotaibi, 2020).

2.6 Plataforma Blender para la Creación de Modelos 3D

Un modelo 3D es una representación digital de un objeto en un espacio tridimensional, definida por sus dimensiones de ancho, alto y profundidad. Estos modelos pueden incluir texturas, materiales e iluminación para aportar realismo, los modelos 3D se utilizan en múltiples campos como la ingeniería, la arquitectura, la animación, entre otros, permitiendo visualizar y manipular objetos desde diferentes perspectivas (Verner et al., 2024).

Blender es una plataforma de creación 3D gratuita y de código abierto, que ofrece un entorno completo para el diseño, simulación y visualización de modelos tridimensionales. Uno de los pilares de Blender es su motor de modelado, el cual incluye herramientas para esculpido, modificación por nodos, aplicación de modificadores no destructivos y desenrollado UV, estas funcionalidades permiten diseñar geometrías complejas de forma precisa (Blender Foundation, 2025).

En el contexto educativo, Blender ha demostrado ser una herramienta efectiva para el aprendizaje basado en simulación. Verner et al. (2024) demuestra como Blender, combinado con plataforma CAD, ha sido utilizado con éxito para que estudiantes universitarios simulen comportamientos físicos complejos, lo cual favorece la comprensión de conceptos abstractos mediante visualización efectiva. Además, Blender incluye un motor de simulación física que permite analizar comportamientos como colisiones, gravedad, fluidos, entre otros.

Otra ventaja clave de Blender es su motor de renderizado llamado Cycles, este permite generar representaciones realistas a través de técnicas como trazado de rayos, iluminación global y sombreado físico. Esta capacidad es útil, no solo para generar imágenes atractivas, sino también para evaluar visualmente condiciones especiales, materiales y configuraciones de diseño (Blender Foundation, 2025).

En resumen, las herramientas y conceptos presentados en este capítulo sientan las bases técnicas necesarias para el desarrollo de la propuesta. A continuación, en el Capítulo 3 se describirá la metodología empleada para el diseño e implementación del sistema, detallando el enfoque adoptado, las etapas de trabajo, los recursos utilizados, entre otros.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

La metodología utilizada en el presente trabajo de titulación es de tipo investigación aplicada (Hernández Sampieri et al., 2014), estructurada por fases, esta se caracteriza por utilizar conocimientos teóricos y científicos para ofrecer soluciones prácticas a problemas concretos de la sociedad o del sector productivo, esta metodología tiene como objetivo generar soluciones prácticas para problemas específicos, mediante el uso de conocimiento científico y tecnológico existente (Lozada, 2014).

La solución tecnológica busca mejorar el monitoreo de los parámetros críticos del agua en el contexto real de la piscina del Club Náutico. El enfoque por fases permite llevar a cabo un proceso secuencial y ordenado de las fases, investigación, análisis del entorno, selección de tecnología, implementación y evaluación. Aunque no fue aplicada una metodología ágil formal como Scrum, el desarrollo incorporó principios de metodologías ágiles, como:

- Iteración y validación continua, mediante pruebas funcionales desde etapas tempranas.
- Retroalimentación directa del usuario final, en este caso, el personal del club encargado del monitoreo.
- Flexibilidad para adoptar componentes técnicos, como sensores o puertas de enlace, según su disponibilidad y funcionamiento en campo.

3.2 Diseño Metodológico

El desarrollo del proyecto se estructuró en cinco fases:

Revisión Documental y Conceptual

Exploración de la literatura científica y técnica sobre tecnologías IoT, sensores aplicables, redes LoRaWAN, protocolos de comunicación, monitoreo de calidad del agua y plataformas de visualización de datos y de modelado 3D.

Análisis del Entorno de Implementación

Evaluación del sistema actual del Club Náutico, identificación de los parámetros críticos a medir y los requerimientos técnicos y funcionales, así como un estudio de la infraestructura disponible para la integración del sistema.

Selección de Herramientas Tecnológicas

Identificación de sensores, nodos y gateway compatibles con tecnología LoRaWAN, según criterios de precisión, consumo energético, durabilidad, facilidad de integración, alcance y disponibilidad comercial. Análisis de las funcionalidades de Datacake para la visualización de datos y de Blender para la creación del modelo 3D.

Configuración e Implementación

Configuración e instalación de los dispositivos seleccionados, elaboración del modelo tridimensional de la piscina, integración con la plataforma Datacake, diseño del dashboard, programación de alertas y notificaciones, y pruebas funcionales del sistema implementado.

Evaluación del Sistema

Validación funcional mediante pruebas de campo, análisis del cumplimiento de los objetivos planteados, evaluación del impacto del sistema en la eficiencia del monitoreo del agua y su potencial impacto en el rendimiento deportivo.

3.3 Técnicas e Instrumentos Utilizados

Para ejecutar el proyecto se empleó:

- Revisión bibliográfica de artículos científicos, normativas técnicas y manuales de fabricantes.
- Instrumentos electrónicos basados en IoT de medición y transmisión compatibles con LoRaWAN.
- Herramientas de modelado 3D, en este caso se utiliza el software Blender.

- Plataformas de visualización de datos en la nube, en este caso se utilizó la plataforma Datacake.
- Técnicas cuantitativas para análisis y validación, como comparación de valores entre el sistema manual y el automatizado.

Nota. La elección específica de sensores, nodos y gateways se detallará en el Capítulo 5.

3.4 Criterios de Validación

La evaluación del sistema consideró los siguientes aspectos:

- Estabilidad y cobertura de la red LoRaWAN y la transmisión de los datos.
- Precisión de las mediciones frente al sistema de medición manual.
- Usabilidad y operatividad del sistema observadas durante su implementación y monitoreo.

3.5 Resultados Esperados

Se espera que la implementación del sistema permita realizar un monitoreo continuo, automatizado y remoto de los parámetros críticos del agua en la piscina, generando datos útiles para la gestión operativa del club Náutico, reduciendo tiempos de supervisión manual y reforzando las condiciones sanitarias y deportivas en el Club.

La metodología descrita en este capítulo define el método, el enfoque y el alcance para la implementación del sistema de monitoreo IoT. A continuación, en el Capítulo 4, se presentará el análisis del entorno de implementación, que incluye una descripción del Club Náutico, su situación actual del monitoreo, las necesidades detectadas y sus restricciones.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DEL ENTORNO DE IMPLEMENTACIÓN

4.1 Descripción del Club Náutico

El Club Náutico forma parte de la reconocida escuela de natación “Natación Lucio Rojas”, institución con más de 40 años de trayectoria, en los cuales ha enseñado a más de 70.000 personas, lo que lo hace un referente nacional en el entrenamiento de natación. Su director, el Mtr. Lucio Rojas, cuenta con una Maestría en entrenamiento deportivo y formación especializada en Alemania, destacándose por haber formado deportistas de alto rendimiento que han representado a la provincia de Pichincha y al país, en competencias nacionales e internacionales.

Esta institución ofrece cursos para diversas edades y niveles, desde bebés en procesos de estimulación temprana, hasta jóvenes y adultos, ofrece servicios de entrenamiento libre para nadadores experimentados y mantiene convenios con instituciones educativas, como el Colegio Condamine, brindando clases prácticas dentro de sus instalaciones. Además, cuenta con equipos competitivos, infantil, juvenil y máster del Club Náutico con sus entrenamientos diarios de alto rendimiento.

El club cuenta con dos piscinas, la principal de 25 metros con cuatro carriles y una más pequeña de 17 metros con tres carriles, ambas piscinas son cubiertas y temperadas. El presente trabajo se enfoca en la piscina principal de 25 metros, al ser el entorno donde se desarrollan los entrenamientos más exigentes y donde la calidad del agua puede influir directamente en el rendimiento y salud de los atletas.

Esta piscina de 25 metros es utilizada de forma intensiva a lo largo del día, con una alta rotación de usuarios. El equipo infantil y juvenil del club realiza entre 7 y 10 sesiones de entrenamiento semanales, incluyendo jornadas dobles. Por otro lado, el equipo master entrena entre 4 y 6 veces por semana, incluyendo sesiones nocturnas. A esto se le suman las clases de natación con colegios en convenio durante la mañana, y los cursos para niños, jóvenes y adultos en la tarde. Esta afluencia de usuarios, desde primeras horas del día hasta la noche, subraya la importancia de mantener una calidad del agua constante y confiable.

4.2 Situación Actual del Monitoreo de Calidad del Agua

Actualmente, el control de calidad del agua en la piscina de 25 metros del Club Náutico se realiza mediante un sistema manual, basado en mediciones puntuales realizadas tres veces al día, en la mañana, tarde y noche. Este proceso está a cargo del personal de limpieza que se encuentre de turno y se utiliza un kit colorimétrico de gotas, para determinar los niveles de pH y cloro libre, así como un termómetro analógico para medir la temperatura del agua.

El kit colorimétrico requiere agregar gotas de reactivos a muestras de agua y comparar visualmente el cambio de color resultante con una escala impresa. Sin embargo, este procedimiento presenta varias limitaciones técnicas, entre las principales está la subjetividad en la interpretación del color, la dependencia de la luz ambiental y la experiencia del operador, estos son factores que pueden afectar significativamente la precisión y consistencia de las mediciones. Además, la medición puntual no permite el monitoreo continuo, lo cual limita la capacidad para detectar variaciones en tiempo real.

En la Figura 4 se presenta una imagen del kit colorimétrico y el termómetro analógico, utilizado actualmente por el club, tomada durante una visita de campo. En esta se pueden ver las limitaciones, antes mencionadas, de este tipo de medición manual.

Figura 4

Kit colorimétrico utilizado en el Club Náutico



Aparte del control diario, a petición de los colegios con los que tiene convenio, realiza un análisis microbiológico del agua cada tres meses, este análisis se lleva a cabo por un laboratorio externo, con el fin de verificar la presencia de agente patógenos y asegurar que los parámetros microbiológicos se mantengan dentro de los rangos establecidos por las normativas sanitarias. Este sistema actual ha sido suficiente para cumplir con los requerimientos mínimos de control, sin embargo, al ser intermitente, manual y dependiente de factores humanos, pone en evidencia la necesidad de una solución más robusta. La implementación de un sistema automatizado permitiría realizar un monitoreo continuo, objetivo y en tiempo real, optimizando así la eficiencia operativa y la seguridad sanitaria.

4.3 Necesidades Detectadas

A partir del análisis del entorno del Club Náutico y de la situación actual del monitoreo de calidad del agua, se evidencia la necesidad de modernizar el sistema mediante una solución tecnológica que permita el control continuo, automatizado y en tiempo real de los parámetros críticos del agua. Esta necesidad surge debido a la alta rotación de usuarios, la intensidad de los entrenamientos y las limitaciones del monitoreo manual. Los principales parámetros que deben ser monitoreados son:

pH: El nivel de acidez o alcalinidad del agua influye directamente en la comodidad de los nadadores, y en la eficacia de los agentes desinfectantes. Valores fuera del rango óptimo (7.2 – 7.8) pueden causar irritación ocular y de la piel, además de reducir la capacidad desinfectante.

Indicador de Desinfección: Es esencial monitorear un parámetro que garantice la correcta desinfección del agua, ya que la piscina es un entorno compartido y cerrado, es muy propenso a la proliferación de microorganismos. Este indicador permite verificar si el nivel de desinfección es suficiente, para prevenir infecciones respiratorias u oculares.

Temperatura: La temperatura del agua afecta el rendimiento físico y la percepción térmica de los nadadores. Una temperatura inadecuada puede generar fatiga, incomodidad e incluso riesgos fisiológicos, especialmente en entrenamientos de alto rendimiento.

Utilizar estos parámetros en un sistema de IoT facilitará una respuesta proactiva ante desviaciones en los valores críticos, mejorando la gestión operativa, reduciendo riesgos sanitarios y asegurando un entorno óptimo para el rendimiento deportivo de alto nivel.

4.4 Restricciones Detectadas

Durante el análisis del entorno de implementación, se identificaron diversas restricciones económicas, de instalación, de conectividad y de tiempo, las cuales influyen directamente en las decisiones sobre los componentes del sistema y su forma de instalación. Estas limitaciones deben ser consideradas para garantizar la viabilidad, seguridad y sostenibilidad del proyecto.

Restricciones Económicas

Uno de los principales factores limitantes es el presupuesto disponible. Si bien el monitoreo del cloro libre, es considerado una de las formas más directas y precisas de evaluar la eficacia del proceso de desinfección, los sensores que permiten esta medición tienen un costo elevado, tanto en adquisición como en mantenimiento y calibración. Por esta razón, se optó por utilizar un sensor de ORP como alternativa viable, este permite inferir la capacidad desinfectante del agua y presenta un costo más asequible con un mantenimiento sencillo.

Restricciones de Instalación

El entorno físico de la piscina impone limitaciones importantes. Ya que la piscina de 25 metros es utilizada para entrenamientos de alto rendimiento, con una alta rotación de usuarios a lo largo del día y múltiples sesiones simultáneas, no es factible instalar los sensores directamente dentro de la piscina. Hacerlo representaría un riesgo de que los nadadores se golpeen, lo que podría provocar lesiones o daños al equipo. Además, la presencia de cables visibles o que sobresalga fuera del agua incrementa el riesgo de caídas o desconexiones accidentales, por parte de usuarios o personal.

Por estas razones se determinó que la ubicación más segura y adecuada para la instalación de los sensores es el cuarto de máquinas, específicamente en las tuberías del sistema de recirculación del agua. Esta ubicación permite medir parámetros representativos del agua que este circulando activamente, y al mismo tiempo protege los sensores del contacto directo con los usuarios.

Restricciones de Conectividad

Aunque el Club Náutico cuenta con conexión a internet, el cuarto de máquinas está ubicado en una zona cerrada y subterránea, lo cual puede limitar la calidad de la señal inalámbrica. Por ello, es necesario verificar la cobertura de la red LoRaWAN antes de la instalación definitiva del nodo transmisor. La elección de tecnología LoRa ayuda justamente a esta restricción, ya que se caracteriza por su bajo consumo energético y su capacidad de transmisión de larga distancia.

Restricciones de Tiempo

El proyecto debe implementarse sin interrumpir el funcionamiento diario del club, ni afectar las rutinas de entrenamiento, esto limita el tiempo disponible para realizar pruebas, ajustes e instalación del sistema. Por esta razón, se ha optado por un sistema modular y de fácil configuración, que permite una instalación rápida y con mínima intervención en la operación regular del club.

En resumen, el análisis del entorno de implementación permitió comprender las características del Club Náutico, esta información es la base para definir la solución tecnológica más adecuada. A continuación, en el Capítulo 5 se presentará el diseño e implementación del sistema, detallando el ciclo de vida, su arquitectura, la selección de componentes, su configuración, entre otros.

CAPÍTULO 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

5.1 Ciclo de Vida y Metodología

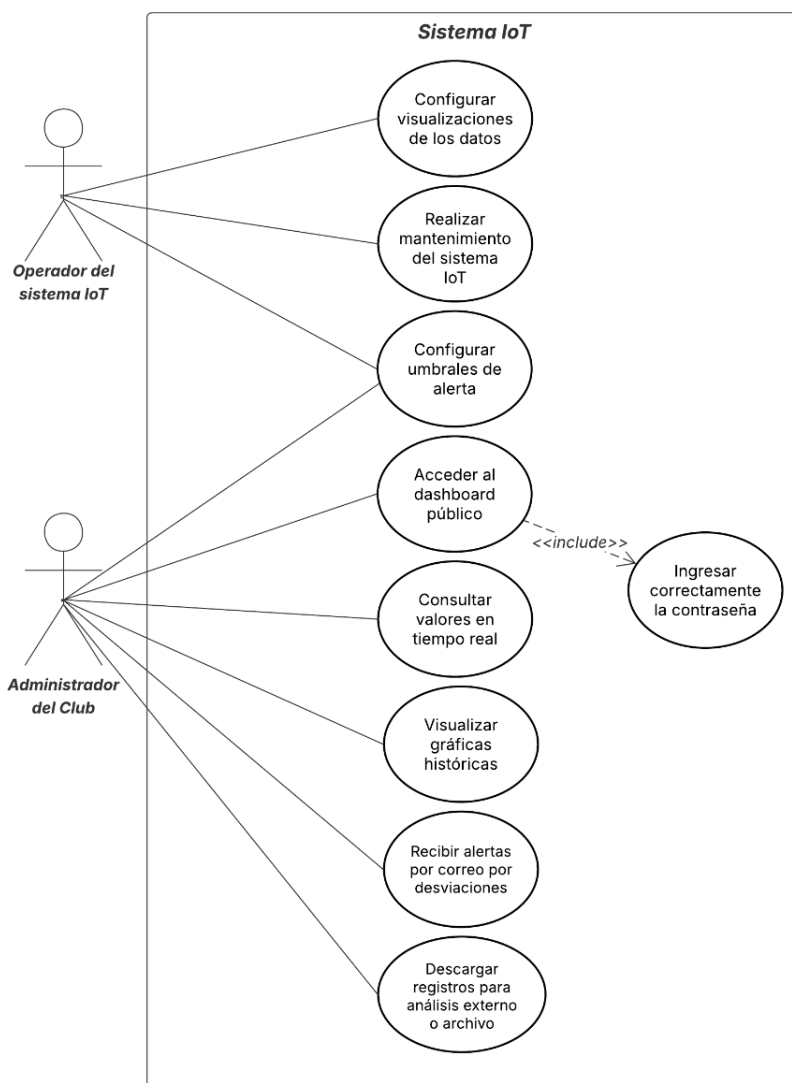
El sistema se desarrolló siguiendo un modelo incremental adaptado (Lior, 2013), en el cual cada componente, hardware, red de comunicación y configuración de la plataforma, se implementó y validó de manera iterativa. Este modelo de desarrollo, a diferencia de los enfoques secuenciales, permite realizar entregas parciales y funcionales del sistema en ciclos cortos, facilitando la incorporación progresiva de mejoras y reduciendo el riesgo de fallos críticos en fases avanzadas, este modelo permitió:

- Integrar progresivamente los sensores y el nodo LoRaWAN.
- Configurar y probar la transmisión de datos hacia el gateway y la plataforma Datacake.
- Ajustar parámetros y umbrales de alertas tras pruebas en campo.

Casos de uso

En la Figura 5 se presenta el diagrama de casos de uso, el sistema contempla dos actores:

1. **Operador del sistema IoT:** configura las visualizaciones de datos, realiza el mantenimiento del sistema, establece umbrales de alerta y gestiona el correcto funcionamiento de la red y la transmisión de datos.
2. **Administrador del Club:** accede al dashboard en Datacake para consultar valores en tiempo real y gráficos históricos, recibir alertas por desviaciones, y descargar registros para análisis externo o archivo.

Figura 5*Diagrama de casos de uso***Gestión de datos**

El sistema utiliza las funciones nativas de Datacake para, almacenamiento temporal de mediciones (7 días en plan gratuito), visualización en tiempo real e histórico y generación de alertas automáticas configuradas en la nube. Este enfoque reduce la necesidad de desarrollar software adicional, centrándose en la integración eficiente entre hardware, red y plataforma.

5.2 Selección de Puerta de Enlace, Nodo Transmisor y Sensores

Puerta de Enlace

En la Figura 6 se presenta el gateway Milesight UG63-915M, el cual actúa como puerta de enlace/concentrador de red LoRaWAN, y permite la transmisión de datos entre los nodos IoT y la plataforma Datacake. En la Tabla 2 se presentan los criterios de selección y especificaciones relevantes del dispositivo.

Figura 6

Gateway Milesight UG63-915M



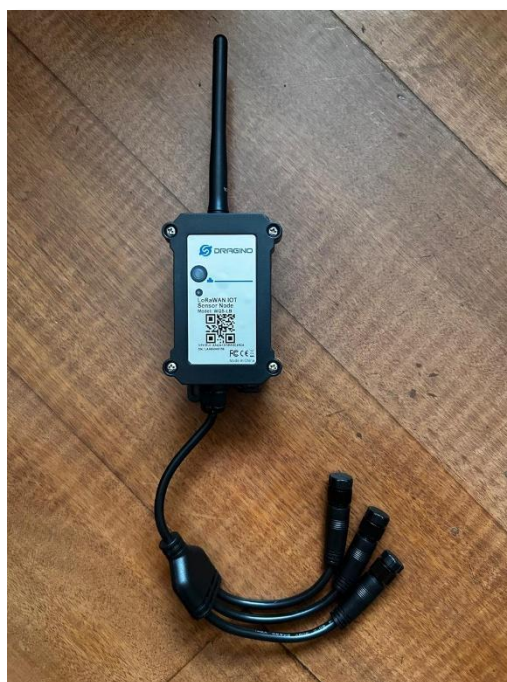
Tabla 2*Criterios de selección del gateway*

Criterio	Descripción
Compatibilidad	Con Datacake y diversos servidores LoRaWAN
Frecuencia soportada	Varias bandas de frecuencia (EU868, AU915, etc.)
Capacidad	Hasta 2000 dispositivos finales (Clase A/B/C)
Conectividad	Mediante Ethernet, WiFi y red celular
Potencia de transmisión	Hasta 27 dBm, garantiza la recepción de señales de largo alcance
Potencia de recepción	Hasta -140 dBm, permite captar señales muy débiles
Disponibilidad	Alta en mercado local e internacional
Costo	Precio accesible. \$70 - \$90
Facilidad de gestión	Interfaz web, API MQTT y actualizaciones remotas
Consumo energético	Bajo consumo. 1,3W
Facilidad de instalación	Montaje en escritorio, pared o techo

Este gateway se seleccionó gracias a su compatibilidad con la plataforma Datacake y su soporte para múltiples frecuencias LoRaWAN, lo cual garantiza una comunicación estable y eficiente con los dispositivos IoT. Por otro lado, su capacidad de conectar hasta 2000 dispositivos, junto con su bajo consumo energético lo convierte en una opción adecuada para la implementación de este sistema.

Nodo Transmisor

En la Figura 7 se muestra el nodo Dragino WQS-LB, el cual se utiliza para recopilar y transmitir datos de los sensores al gateway LoRaWAN. En la Tabla 3 se presentan los criterios utilizados para su selección y las especificaciones relevantes.

Figura 7*Nodo Dragino WQS-LB***Tabla 3***Criterios de selección del nodo transmisor*

Criterio	Descripción
Compatibilidad	Compatible con sensores RS485, LoRaWAN y plataforma Datacake
Frecuencia soportada	Varias bandas de frecuencia (EU868, AU915, etc.)
Disponibilidad	Alta en mercado internacional
Costo	Precio accesible. \$60 - \$80
Batería	Recargable Li/SOCl ₂ de 8500 mAh
Duración batería	Varios años
Consumo energético	Bajo consumo. 1W
Facilidad de integración	Conexión sencilla a la plataforma Datacake
Soporte técnico	Documentación completa y soporte del fabricante

Se escogió este nodo por su compatibilidad con múltiples sensores industriales, su soporte de red LoRaWAN, su integración directa con la plataforma Datacake, que cuenta con una plantilla específica para este dispositivo, y su batería de larga duración.

Sensor de pH

En la Figura 8 se presenta el sensor de pH, Dragino DR-PH01, el cual mide la acidez o alcalinidad del agua, un parámetro crítico para garantizar la calidad del agua y el bienestar de los nadadores. En la Tabla 4 se presentan los criterios utilizados para seleccionar este sensor y las especificaciones relevantes.

Figura 8

Sensor de pH



Tabla 4*Criterios de selección del sensor de pH*

Criterio	Descripción
Compatibilidad	Nodo Dragino y la plataforma Datacake
Disponibilidad	Alta en mercado internacional
Costo	Moderado y competitivo. \$200 - \$220
Rango de medición	0 – 14 pH
Error de medición	Bajo. $\pm 0,15$ pH
Consumo energético	Bajo consumo. $\leq 0,5W$
Facilidad de instalación	Conexión sencilla al nodo mediante RS485
Durabilidad	Materiales resistentes a la corrosión y al uso continuo
Soporte técnico	Documentación y soporte técnico del fabricante

El sensor de pH fue seleccionado principalmente por su alta precisión en rangos relevantes para piscinas, su disponibilidad comercial y su compatibilidad con el nodo Dragino, así como su facilidad de integración con la plataforma Datacake. Además, su diseño garantiza un funcionamiento estable en entornos con alta rotación de usuarios.

Sensor de ORP

En la Figura 9 se puede observar el sensor de ORP, Dragino DR-ORP1, utilizado para medir el potencial de oxidación-reducción del agua, como indicador clave para la desinfección de esta. En la Tabla 5 se presentan los criterios utilizados para seleccionar este sensor y las especificaciones relevantes.

Figura 9*Sensor de ORP***Tabla 5***Criterios de selección del sensor de ORP*

Criterio	Descripción
Compatibilidad	Nodo Dragino y la plataforma Datacake
Disponibilidad	Alta en mercado internacional
Costo	Moderado y competitivo. \$160 - \$180
Rango de medición	-1999 – 1999 mV
Error de medición	Bajo. ± 3 mV
Consumo energético	Bajo consumo. $\leq 0,5W$
Facilidad de instalación	Conexión sencilla al nodo mediante RS485
Durabilidad	Materiales resistentes a la corrosión y al uso continuo
Soporte técnico	Documentación y soporte técnico del fabricante

Se eligió el sensor de ORP debido a su capacidad para medir de manera confiable el potencial de oxidación-reducción, su compatibilidad con el nodo Dragino y su facilidad de integración con la plataforma Datacake, su durabilidad en ambientes húmedos y su disponibilidad en el mercado.

Sensor de Temperatura

En la Figura 10 se muestra el sensor de temperatura, DS18B20, utilizado para medir la temperatura del agua. En la Tabla 6 se presentan los criterios utilizados para seleccionar este sensor y las especificaciones relevantes.

Figura 10

Sensor de temperatura



Tabla 6

Criterios de selección del sensor de temperatura

Criterio	Descripción
Compatibilidad	Nodo Dragino y la plataforma Datacake
Disponibilidad	Alta en mercado local e internacional
Costo	Bajo y muy accesible. \$10 - \$20
Rango de medición	-55 – 125 °C
Error de medición	Bajo. $\pm 0,5$ °C
Consumo energético	Bajo consumo. $\leq 0,5W$
Facilidad de instalación	Conexión al nodo mediante One-Wire
Durabilidad	Materiales resistentes a la corrosión y al uso continuo
Soporte técnico	Documentación y soporte técnico del fabricante

Este sensor de temperatura fue seleccionado por su posibilidad de integración con el nodo Dragino, su bajo consumo energético, su resistencia a la humedad y su precisión adecuada para monitorear la temperatura del agua.

5.3 Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema propuesto para el monitoreo de la calidad del agua en la piscina de 25 metros del Club Náutico, está basada en la tecnología LoRaWAN y se organiza en cinco niveles: sensores, nodo, puerta de enlace (gateway), servidor de red y aplicación de visualización (dashboard).

Comunicación Sensores y Nodo

En el extremo de la red están los sensores de calidad del agua, detallados en el apartado anterior, estos se conectan al nodo Dragino WQS-LB, los sensores de pH y ORP utilizan cables RS485 con protocolo Modbus, en cambio el sensor de temperatura utiliza One-Wire. Esta comunicación cableada es altamente fiable, y permite transmitir los datos de forma robusta al nodo para su posterior envío inalámbrico.

Comunicación Nodo y Gateway

El nodo Dragino WQS-LB se configura en modo Clase A con la opción OTAA (Over The Air Activation) esto quiere decir que, al encender envía un mensaje de solicitud de unión con su identificador único DevEUI, esta identificación corresponde con el registro previamente creado en la plataforma Datacake, lo que asegura la autenticación y vinculación del dispositivo.

La transmisión entre el nodo y el gateway es de forma inalámbrica, se usa el protocolo LoRa, utilizando la banda de frecuencia AU915 MHz, destinada para Latinoamérica. Este protocolo encapsula los datos de medición y los transmite al gateway de manera eficiente y con bajo consumo energético, LoRa permite tanto tráfico de subida como de bajada entre el nodo y el gateway.

Comunicación Gateway y Servidor de Red

El Milesight UG63-915M actúa como un puente transparente entre la red de área local inalámbrica (LoRa), el nodo WQS-LB, la red de área amplia (Internet) y el servidor de red Datacake LNS. Esta puesta de enlace captura las tramas LoRaWAN y las reenvía al servidor de red mediante una conexión a internet, en este caso a través del Ethernet.

Utiliza el protocolo UDP en el modo Packet Forwarder permitiendo el reenvío rápido y sin procesamiento de paquetes LoRaWAN. Cabe señalar que el gateway no requiere emparejamiento previo con el nodo, ya que simplemente recibe cualquier paquete LoRaWAN dentro de la misma banda de frecuencia y lo reenvía al servidor correspondiente.

Comunicación Servidor de Red y Aplicación/Dashboard

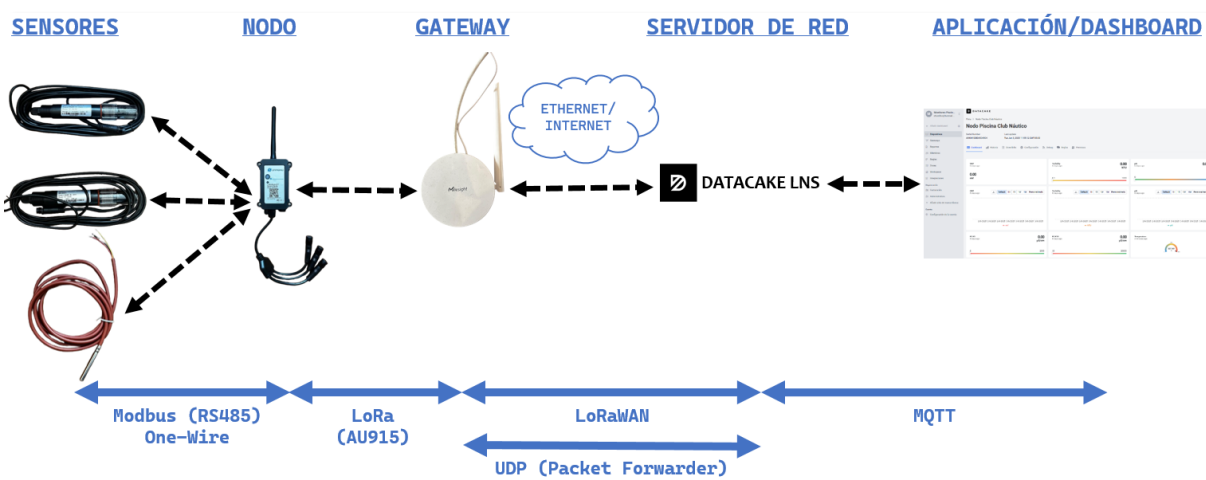
El servidor de red Datacake LNS recibe las tramas LoRaWAN enviadas por el gateway, realiza la decodificación de estas y la gestión de las claves de seguridad, utiliza el DevEUI y AppKey para autenticar y descifra la comunicación. Datacake integra funciones tanto de Network Server (LNS) como de servidor de aplicaciones (dashboard).

El servidor asocia cada paquete de datos con el nodo correspondiente, los datos originalmente llegan en formato hexadecimal y son interpretados por decodificadores personalizados de Datacake, los cuales transforman las tramas en valores legibles y los presentan de manera gráfica en un dashboard en tiempo real. Datacake usa el protocolo MQTT para la comunicación bidireccional con la aplicación de visualización de datos.

En la Figura 11 se observa gráficamente la arquitectura del sistema propuesto y como este se comunica entre sí, para una mayor comprensión.

Figura 11

Arquitectura del sistema de monitoreo del agua en piscina



Esta arquitectura modular permite una recolección de datos confiable, una comunicación eficiente y una visualización centralizada de los datos críticos de la calidad del agua, en la piscina del Club Náutico con la menor latencia posible.

5.4 Modelado 3D del Entorno Monitoreado

Para la representación visual realista de la piscina monitoreada, se utilizó la herramienta Blender, software de modelado 3D de código abierto que permite la creación de modelos detallados y renderizados de alta calidad. La elección de esta herramienta fue gracias a su versatilidad, facilidad de uso, disponibilidad de recursos de aprendizaje y experiencia previa en su manejo.

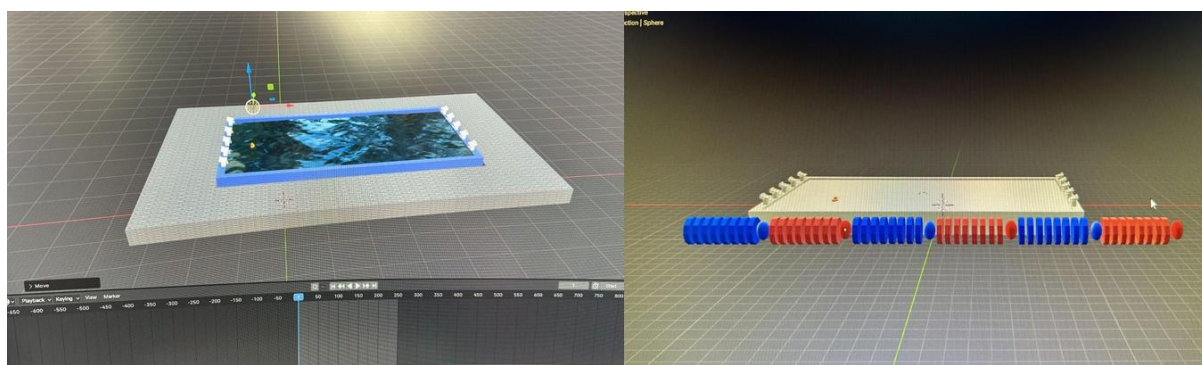
El proceso de modelado comenzó con la creación de un plano base sobre el cual se construyó la estructura de la piscina, mediante la aplicación de herramientas de edición de geometría de Blender, como extrusión y subdivisión. Se dio forma a la piscina cuidando los detalles como el número de carriles, skimmers, propulsores y sumideros, para esto se utilizó distintas herramientas como escala, rotación y modificadores como Boolean que ayuda a realizar operaciones en mallas, que pueden ser muy complejas para hacerlas manualmente.

Posteriormente, se modelaron los detalles externos presentes en la piscina del Club Náutico, los cuales son, carrileras, partidores y los banderines. Una vez terminados estos elementos fueron

incorporados al modelo de la piscina previamente construido, para estos elementos igualmente se utilizó herramientas como las de escala, extrusión, edición por caras y por vértices, entre otros, como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12

Proceso A del modelo 3D de la piscina

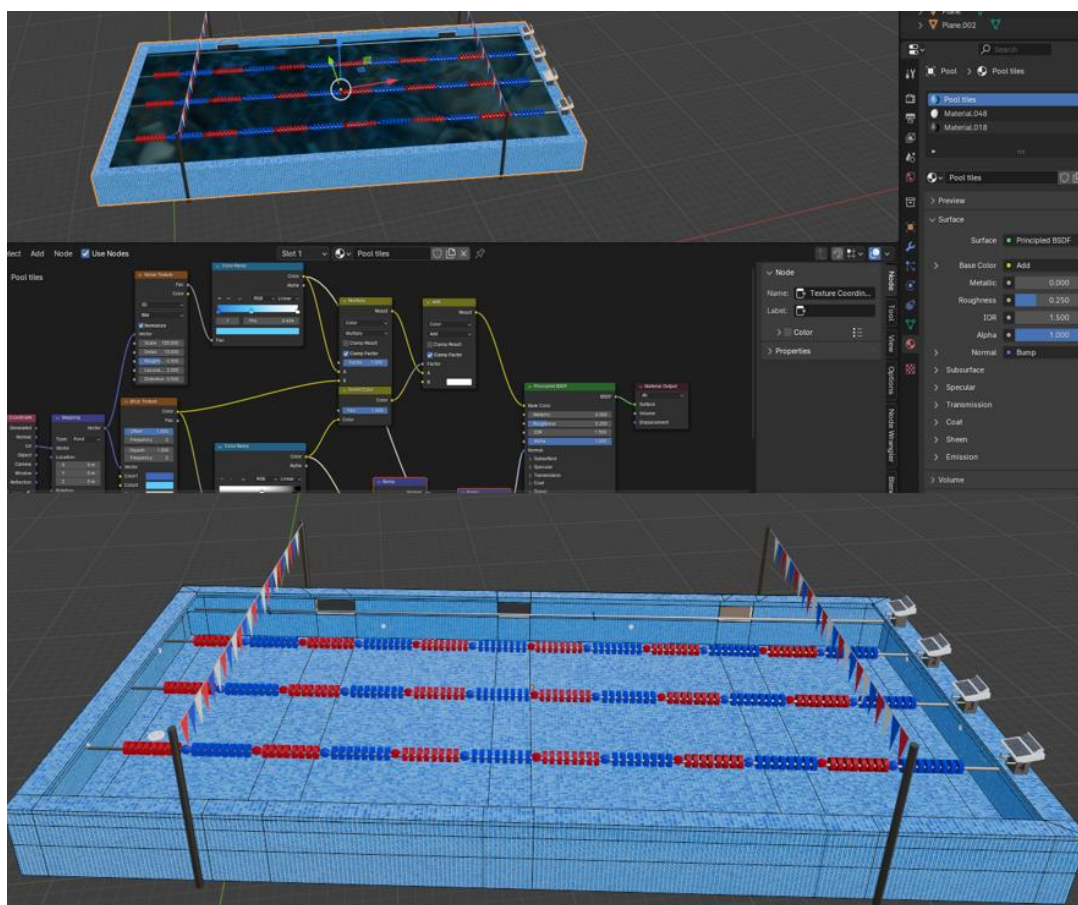


Para la textura de los materiales se emplearon dos métodos, para los materiales que no requerían mucha edición en cuanto a color y textura, como por ejemplo las carrileras, escogí un color base igual al utilizado en el Club, ajustándose posteriormente los niveles de metallic y roughness, para que se asimile al material de plástico. En cambio, para materiales con color y textura más compleja, como por ejemplo la baldosa de la piscina, se utilizó el complemento Blender Kit, para aplicar mosaicos azules realistas en las paredes y fondo de la piscina.

Para ajustar parámetros como el tamaño y la repetición de los mosaicos, y lograr un acabado visual acorde a las características reales de la piscina se utilizó el Shader Editor. Por otro lado, el agua fue modelada utilizando un plano con el modificador Ocean configurando parámetros de profundidad, tamaño, tiempo, escala de la onda y alineación, finalmente se utilizó un material llamado Glass BSDF en un color celeste para simular de manera realista la superficie del agua, como se ilustra en la Figura 13.

Figura 13

Proceso B del modelo 3D de la piscina



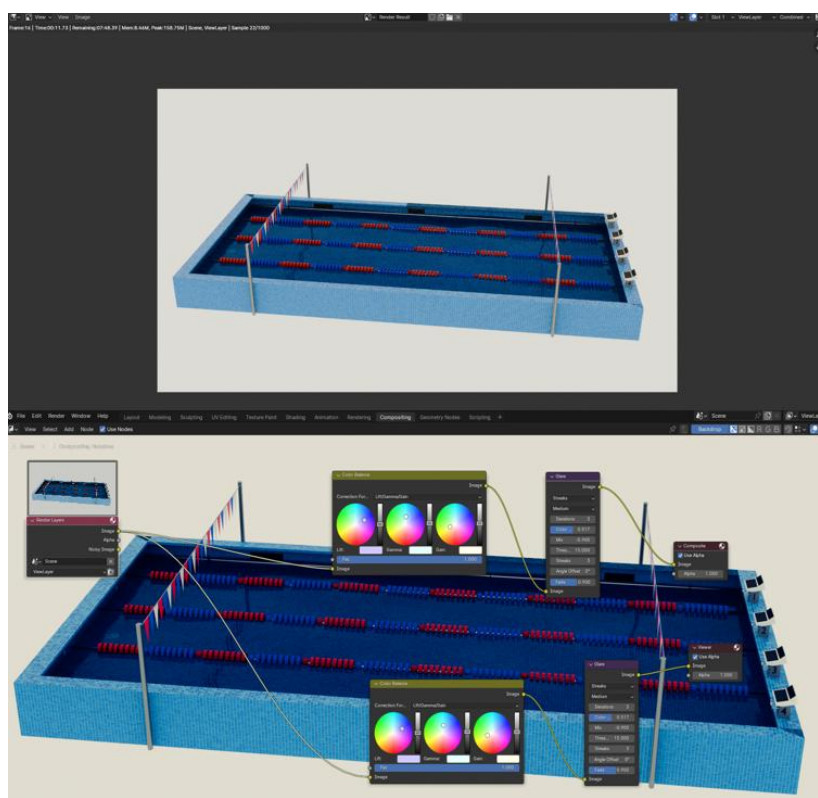
Para la simulación de efectos de iluminación, al ser un escenario bastante grande y con varios detalles, no se utilizó focos de luces, sino que se optó por configurar la iluminación desde la opción de World, esta opción define el entorno de la escena, tanto la iluminación de fondo como la del entono, ya sea con un color fijo, un modelo de cielo o una textura HDRI. En este caso se utilizó un color fijo, en un tono amarillo bajo, logrando así una iluminación uniforme y adecuada para la visualización de la piscina. Adicionalmente, se habilitó la opción de cáusticas de sombra para mejorar la interacción de la luz con el agua y los objetos de la piscina.

Una vez finalizado el modelo, se realizó el renderizado de la piscina utilizando el motor de renderizado Cycles de Blender, configurado con una resolución de 1920x1080 para asegurar la calidad de la imagen final. El renderizado se exporto en formato PNG y se realizaron 2 renderizados desde diferentes ángulos, para proporcionar una perspectiva completa del entorno

monitoreado. Finalmente, se utilizó la herramienta de Compositing de Blender para realizar ajustes de posproducción sobre la imagen renderizada. Se aplicaron correcciones de color, saturación y brillo para mejorar la presentación final, como se aprecia en la Figura 14.

Figura 14

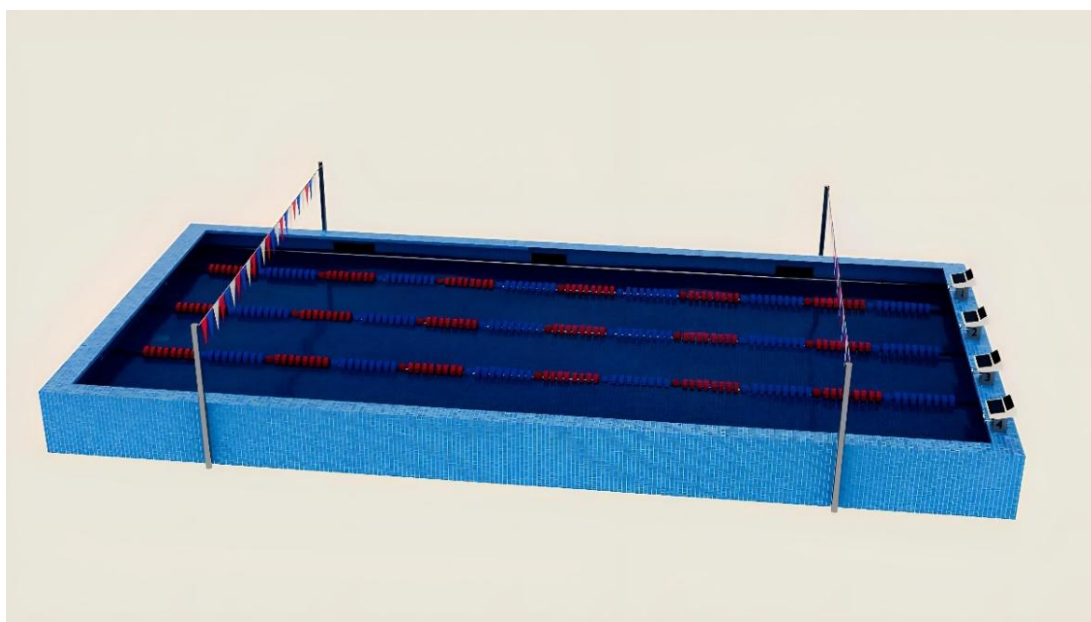
Proceso C del modelo 3D de la piscina



En la Figura 15 se presenta el resultado final renderizado desde uno de los puntos de vista de la piscina del Club Náutico. Esta imagen será integrada en la plataforma Datacake como referencia visual dentro del dashboard, proporcionando una representación gráfica atractiva y contextual del entorno donde opera el sistema de monitoreo IoT.

Figura 15

Renderizado final del modelo 3D de la piscina



5.5 Configuración Técnica y de Dispositivos

Para garantizar la correcta integración y funcionamiento de todos los dispositivos del sistema de monitoreo de calidad del agua, gateway, nodo, y los tres sensores seleccionados anteriormente, se utilizó tanto el manual oficial de Datacake como el de Dragino.

El gateway utilizado es el modelo Milesight UG63-915M, elegido por su compatibilidad con la red LoRaWAN y su capacidad de manejar múltiples dispositivos finales simultáneamente. La configuración del gateway se llevó a cabo siguiendo ambos manuales mencionados anteriormente, una vez completada la configuración del equipo, se documentó el procedimiento en una guía técnica específica para el proyecto, véase Anexo A. Los pasos principales incluyeron:

1. Conexión de equipo a la computadora mediante cable Ethernet.
2. Acceso a la interfaz web de configuración del gateway a través de la IP predeterminada.
3. Configuración del modo de conexión a internet DHCP.
4. Obtención del EUI del gateway y registro en Datacake.

5. Configuración del Packet Forwarder para habilitar el envío de datos al servidor de red Datacake LNS, mediante el protocolo UDP y puerto 1700.
6. Verificación de la conexión y estado en línea del gateway.

Esto permitió establecer la conexión efectiva entre el gateway y el servidor de red, asegurado el tránsito de datos desde los dispositivos finales al servidor y posteriormente a la aplicación/dashboard.

El nodo Dragino WQS-LB se seleccionó como elemento central del sistema, debido a su compatibilidad con LoRaWAN y su capacidad para integrar múltiples sensores. La configuración igualmente se realizó utilizando los manuales de Datacake y Dragino, y también se utilizó la plantilla específica preconfigurada para este nodo disponible en Datacake, finalizada la configuración del nodo, se elaboró una guía detallada adaptada al sistema propuesto, véase Anexo B. Los pasos principales incluyeron:

1. Acceso a la cuenta de Datacake y al Workspace previamente creado.
2. Registro del nodo seleccionado usando la plantilla Dragino WQS-LB Water Quality Sensor y el servidor de red Datacake LNS.
3. Ingreso de los datos de registro extraídos del empaque del nodo.
4. Configuración de frecuencia AU915 MHz y Clase A para la compatibilidad regional.
5. Activación del nodo mediante el botón ACT para forzar el join a la red LoRaWAN, esto confirma la conexión con el servidor.

De acuerdo con el fabricante, el nodo no dispone de un interruptor de encendido/apagado como tal, sino que utiliza el modo de suspensión profunda y un modo operativo. Para activar el modo de operación se requiere el uso del botón ACT. El nodo viene previamente configurado para que envíe datos cada 20 minutos, se dejó esta frecuencia ya que permite una supervisión continua de los parámetros, y al mismo tiempo garantiza un consumo energético eficiente del nodo.

Los sensores de pH y ORP fueron conectados al nodo mediante puertos con conectores estandarizados, lo que simplifica el proceso de instalación y asegura que el sistema sea hermético. En el caso del sensor de temperatura el proceso es distinto, este se conecta directamente a la placa base del nodo a través de la bornera indicada en el manual oficial de Dragino, esto se visualiza en la Figura 16. Para ello, fue necesario desmontar la carcasa del nodo para acceder a la placa y conectar los cables de esta manera:

- VBAT_OUT con el cable rojo Power, para alimentación.

- ONE_WIRE con el cable amarillo Data, para la señal y transmisión de datos.
- GND con el cable negro GND, para la conexión a tierra.

Para pasar los cables y conectarlos en la bornera interna del nodo, se realizó una modificación física en la carcasa del equipo, mediante la perforación con taladro de un orificio adicional en el lateral de la carcasa, en el cual se instaló una segunda prensa estopa. Con esto se garantiza la correcta lectura y transmisión de datos de temperatura desde el sensor hasta el nodo, sin comprometer la hermeticidad del nodo.

Figura 16

Cableado del sensor de temperatura al nodo



El proveedor certificó que los tres sensores están calibrados previamente de fábrica, sin embargo, se realizó una comprobación independiente para verificar su precisión. En la Tabla 7 se presentan los resultados de la verificación de los sensores, comparando los valores de referencia con los valores reportados por los sensores, y el margen de error especificado por el fabricante.

Tabla 7*Verificación de precisión de los sensores*

Sensor	Valor de referencia	Valor medido	Rango de error permitido	Error obtenido	¿Dentro del margen?
pH (DR-PH01)	7,0 – 7,12	7,50	$\pm 0,15$	+0,38	No
ORP (DR-ORP1)	222 – 228 mV	235 mV	± 3 mV	+7 mV	No
Temperatura (DS18B20)	18,7 °C	18,4 °C	$\pm 0,5$ °C	-0,3 °C	Sí

La verificación se realizó con los tres sensores, pH, ORP y temperatura, para el sensor de pH se empleó una solución buffer con valor de pH 7,0 a 7,12, en la que se sumergió el sensor durante un periodo de dos horas, tal como lo recomienda el manual. El sensor reportó un valor de pH 7,5 lo cual supera el margen de error ($\pm 0,15$) indicado por el fabricante, aun así, el valor es aceptable para los fines del proyecto, no obstante, si se requiere una mayor precisión, se sugiere realizar una recalibración del sensor.

Con el sensor de ORP igualmente se utilizó una solución buffer con valor de 222 a 228 mV, el sensor reportó un valor de 235 mV, lo cual supera el margen de error de ± 3 mV, pero se considera aceptable para el propósito del proyecto. En cambio, para el sensor de temperatura, se utilizó una muestra de agua, midiendo con un termómetro digital, que indicó un valor de 18,7 °C y el sensor reportó un valor de 18,4 °C, lo cual está dentro del margen de error ($\pm 0,5$) En la Figura 17 se muestra la conexión de los sensores de pH y ORP al nodo y la verificación de calibración de los tres sensores.

Figura 17

Conexión sensores al nodo y verificación de precisión



En Datacake, una parte clave para la correcta visualización de los datos enviados por el nodo es el decodificador de payload, este es el que interpreta las tramas binarias recibidas a través de LoRaWAN, y las transforma en mediciones comprensibles para el usuario. Este decodificador es un script en JavaScript configurado en Datacake.

El script toma como entrada el payload enviado por el nodo y decodifica cada segmento según las especificaciones del fabricante Dragino. Por ejemplo, convierte los valores codificados en hexadecimal, como el voltaje de batería, temperatura, pH, en lecturas legibles. Este aplica fórmulas necesarias para representar las mediciones con la precisión adecuada, como técnicas de enmascaramiento de bits y escalas de conversión para cada sensor. Además, organiza las mediciones y permite su visualización en tiempo real en el dashboard, el código del decodificador payload utilizado en el sistema se incluye en el Anexo C.

5.6. Visualización con Datacake

5.6.1. Diseño del Dashboard

La visualización de los datos recopilados por el sistema de monitoreo IoT, se actualiza cada 20 minutos, esta frecuencia permite una supervisión suficientemente continua de los parámetros críticos del agua, y al mismo tiempo garantiza un consumo energético eficiente del nodo, manteniendo la estabilidad en la transmisión de datos.

Para mostrar estos datos se diseñó un dashboard en Datacake que integra los principales parámetros monitoreados, temperatura, pH y ORP. El diseño fue orientado a ofrecer una interfaz clara, intuitiva y adaptada a diferentes dispositivos, por lo que se crearon dos versiones, una vista para escritorio y otra vista móvil. Ambas organizadas con la misma distribución y elementos visuales para mantener la coherencia.

En la parte superior del dashboard se incluyeron dos renderizados del modelo 3D de la piscina, como referencia visual del entorno monitoreado, a la derecha se encuentra un indicador del estado del nodo, habilitado o deshabilitado, y un indicador del nivel de batería del nodo.

La sección central, titulada “Estado General de la Piscina”, muestra una tarjeta con las últimas lecturas de los tres sensores. También, incluye dos gráficos individuales por cada sensor, el primer gráfico muestra la última lectura en un medidor vertical, con los rangos acordados con el cliente, excepto para la variable de temperatura que se usó un medidor radial. El segundo gráfico, es uno de barras que muestra la evolución de los datos con diversos filtros como horaria, diaria, semanal, mensual o personalizada. Finalmente, se incluyó un gráfico de líneas para la comparación de los datos registrados de las tres variables, este tiene el mismo filtro que el gráfico de barras. Los gráficos de barras y el de líneas son interactivos y se pueden exportar los datos en formato CSV, los colores utilizados en los gráficos siguen una lógica intuitiva y son visualmente atractivos.

La Figura 18 muestra el diseño final del dashboard tanto la vista de escritorio como la vista móvil.

Figura 18

Conexión sensores al nodo y verificación de precisión



Además, desde la pestaña de “Historia”, es posible seleccionar los datos que se desean visualizar en una tabla a lo largo del tiempo, ya sea, hora, día, mes, año o un rango de tiempo personalizado, y estos datos pueden exportarse directamente en formato CSV, eligiendo el formato de fecha ISO 8601 u hora local. Esta funcionalidad permite realizar análisis posteriores en Excel o herramientas de análisis de datos.

En la pestaña de “Configuración”, se puede observar y editar campos como, el nombre del dispositivo, las notificaciones y el decodificador de payload en lenguaje JavaScript. En la pestaña “Permisos”, es posible gestionar el acceso de usuarios al dashboard, asignando permisos de visualización, edición de metadatos, definición del dispositivo y registro de medidas. Se elaboró un anexo que detalla, paso a paso, el diseño, creación de widgets, configuración de los gráficos, la funcionalidad de las pestañas en Datacake y como obtener el link público del dashboard, ver Anexo D.

5.6.2. Configuración de Alertas

Para garantizar una respuesta oportuna ante cualquier desviación de los parámetros críticos de calidad del agua, se configuraron siete reglas de alerta utilizando el motor de reglas que ofrece la plataforma Datacake. Esto permite el monitoreo continuo de los valores registrados por los sensores instalados, y la ejecución de acciones inmediatas en caso de detectar valores fuera de los rangos establecidos.

Las reglas creadas funcionan de la siguiente manera, cuando el valor de un sensor se encuentra por debajo o por encima del umbral permitido, se envía automáticamente una notificación por correo electrónico al dueño/administrador del Club Náutico. Para temperatura y pH se configuraron una sola alerta para cada uno, en cambio para el ORP se configuraron cinco alertas, ya que está directamente relacionado con el pH y la temperatura, y deben revisarse los parámetros juntos antes de activar la alerta. Las condiciones configuradas fueron:

- **Temperatura:** se activa la alerta si el valor registrado es menor a 28.5 °C O mayor a 30 °C.
- **pH:** se activa la alerta si el valor registrado es menor a 7.2 O mayor a 7.8.
- **ORP_Bajo:** se activa la alerta si el valor registrado es menor o igual a 400 mV.
- **ORP_Bajo y pH_Alto:** se activa la alerta si el valor de ORP registrado es menor o igual a 600 mV Y si el valor de pH registrado es mayor a 7.8.
- **ORP_Alto y pH_Bajo:** se activa la alerta si el valor de ORP registrado es mayor o igual a 1000 mV Y si el valor de pH registrado es menor a 7.6.
- **ORP_Bajo y TEMP_Alto:** se activa la alerta si el valor de ORP registrado es menor a 650 mV Y si el valor de la Temperatura es mayor a 29 °C.
- **ORP_Alto y TEMP_Bajo:** se activa la alerta si el valor de ORP registrado es mayor o igual a 1000 mV Y si el valor de la Temperatura es menor a 27.5 °C.

Para cada condición también se configuró la histéresis, dependiendo de la precisión del sensor y la variabilidad de los datos a lo largo del día, la cual permite evitar alertas múltiples causadas por pequeñas fluctuaciones, ya que establece una zona de tolerancia antes de volver a activar la regla.

Una vez configuradas las reglas y condiciones de alerta, el sistema es capaz de enviar notificaciones automáticas por correo electrónico, cuando se detectan valores anómalos en alguno de los sensores. La Figura 19 muestra un ejemplo de una alerta recibida en el correo,

esta corresponde a una condición crítica de temperatura registrada por el sistema. Se elaboró un anexo que detalla, paso a paso, la creación de las reglas de alerta, ver Anexo E.

Figura 19

Ejemplo de alerta recibida por correo electrónico



5.7. Instalación del Sistema

Instalación del Gateway

Para establecer la conectividad del sistema, se procedió a la instalación del gateway LoRaWAN en la oficina del dueño/administrador del Club Náutico, en el piso superior del club. Este espacio resultó ser el más adecuado, ya que en dicha oficina se encuentra el router principal de internet, el cual es un requisito esencial para el funcionamiento del dispositivo.

El gateway fue ubicado sobre el rack de red del club, a una altura adecuada para evitar interferencias físicas y se conectó directamente al router mediante un cable Ethernet, garantizando así la conexión continua al servidor de red. Además, se utilizó una extensión eléctrica para conectar el gateway a la toma de corriente más cercana, de forma segura.

Para asegurar la cobertura de la señal LoRaWAN, se realizaron pruebas de comunicación con los sensores y el nodo, en diferentes puntos del club, área de la piscina, cuarto de máquinas y túneles subterráneos, donde se encuentran las tuberías. Estas pruebas demostraron que la señal es lo suficientemente fuerte, como para cubrir el área de interés sin necesidad de repetidores, estos resultados serán analizados con mayor detalle en el Capítulo 6. Las imágenes de este proceso y su instalación final se presentan en el Anexo F.

Instalación de Sensores

La instalación de los sensores se realizó en el cuarto de máquinas, específicamente en las tuberías del sistema de recirculación del agua de la piscina, esta decisión se tomó por razones de seguridad y funcionalidad. En el área de la piscina existe una alta afluencia de usuarios lo que vuelve riesgoso mantener sensores sumergidos o expuestos, debido a posibles accidentes o daños a los equipos. Además, mantener los cables protegidos por mangueras hasta un punto fijo en el cuarto de máquinas, permite una instalación más ordenada y segura.

Para la instalación física de los sensores y la adecuación de las tuberías, se contó con el apoyo de un técnico especializado en fontanería, quien colaboró en el diseño y montaje de las conexiones hidráulicas necesarias. Una vez definidos el diseño hidráulico y el esquema de integración de sensores, se procedió con la instalación de los sensores en el circuito de succión del sistema hidráulico de la piscina, por ser el punto en el que el agua proviene directamente de la piscina antes de pasar por el sistema de filtrado.

Esta ubicación fue la mejor opción, ya que permite medir las condiciones reales del agua que están siendo utilizadas por los nadadores. Además, en el Club Náutico el tratamiento del agua, como la aplicación de cloro y reguladores de pH, se realiza directamente en la piscina, y no en los tanques o bombas del sistema, por lo que monitorear la calidad del agua justo en el punto de ingreso al sistema, garantiza una evaluación precisa de su estado actual y permite determinar si requiere algún ajuste.

Se fabricó una nueva pieza de tuberías la cual incluye una válvula, para aislar los sensores y de esta forma realizar mantenimientos sin tener que parar toda la circulación del agua, y se utilizaron tuberías tipo “YEE” de 45° de 3", una para cada sensor. Estas derivaciones anguladas permitieron una instalación más fluida y segura, facilitando el montaje de los sensores sin generar obstrucciones en el flujo principal.

Los sensores de pH y ORP fueron montados directamente sobre esta nueva sección mediante adaptadores y materiales de fijación adecuados. En el caso del sensor de temperatura, al no estar adaptado para la instalación directa en la tubería tipo “YEE” con rosca, como los otros dos sensores, fue colocado dentro de un termopozo, lo que permite una medición precisa sin contacto directo con el agua, facilitando el mantenimiento del sensor sin interrupciones del sistema hidráulico.

Finalmente, al extremo de la pieza se instaló una válvula adicional que permite purgar el aire acumulado dentro del sistema de recirculación. Dado que esta sección de tubería tiene un peso considerable al llenarse de agua, se incorporó un soporte físico para evitar tensión estructural o desplazamiento. La Figura 20 muestra la pieza fabricada antes de su instalación y las imágenes del proceso completo y su instalación final se presentan en el Anexo F.

Figura 20

Pieza fabricada para instalación de los sensores



Instalación del Nodo

El nodo, al igual que los sensores, fue instalado en el cuarto de máquinas en una pared cercana a los sensores. Esta ubicación fue elegida estratégicamente para mantenerse cerca de los sensores y mantener una comunicación estable con el gateway, lo que garantiza una transmisión eficiente de los datos hacia la red LoRaWAN.

Se utilizó la carcasa original diseñada para montaje exterior, y se protegieron los cables de conexión mediante una manguera corrugada. Esta manguera guía los conductores desde el nodo hasta los sensores, asegurando una instalación segura, resistente y facilitando el mantenimiento futuro.

Una vez finalizado el montaje, se procedió a encender el nodo verificando su correcta integración al sistema IoT. Además, se revisaron cuidadosamente todas las conexiones hidráulicas para asegurar que no existieron fugas ni otros inconvenientes operativos del sistema. Las imágenes de este proceso y su instalación final se presentan en el Anexo F.

5.8. Costos del Sistema

A continuación, se presenta un desglose detallado de los costos estimados para la implementación del sistema IoT de la calidad del agua, en la piscina del Club Náutico. Se incluyen tanto los costos directos, asociados a la adquisición de los equipos y materiales necesarios para el funcionamiento del sistema, los cuales se presentan en la Tabla 8, así como los costos indirectos y generales, que incluyen gastos de logística, importación y otros factores relevantes para la ejecución del proyecto, que se detallan en la Tabla 9.

Estos costos han sido calculados con base en precios de mercado vigentes al momento del desarrollo del proyecto, considerando las necesidades específicas del sistema desarrollado, y pueden variar según el proveedor o el país.

Tabla 8*Costos directos de equipos y materiales*

Ítem	Marca/Modelo	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Sensor pH	Dragino DR-PH01	1	\$209.00	\$209.00
Sensor ORP	Dragino DR-ORP1	1	\$172.00	\$172.00
Sensor temperatura	DS18B20	1	\$10.00	\$10.00
Nodo transmisor	Dragino WQS-LB	1	\$71.00	\$71.00
Gateway	Milesight UG63-915M	1	\$80.00	\$80.00
Cable ethernet	Tyco Electronics Cat 6	1	\$3.50	\$3.50
YEE PVC 45° 3"	Plastigama	3	\$18.00	\$54.00
Buje PVC 3x2	Lasco	4	\$7.48	\$29.92
Buje PCV 2x3	Lasco	4	\$3.14	\$12.56
Válvula Bola PVC 3"	Equipagua	1	\$42.75	\$42.75
Tubo PVC	Tunytex	6 m	\$41.85	\$7.11
Pega naranja	Oatey	1	\$15.47	\$15.47
Polilimpia	Construgypsum	1 L	\$12.25	\$12.25
Guaípe	Ferretería Bacuilima	10	\$0.15	\$1.50
Lija hierro #80	Fandeli	3	\$0.53	\$1.59
Manguera corrugada plástica 1"	Electro Braver	8 m	\$0.26	\$2.08
Abrazaderas EMT	Electro Braver	5	\$0.10	\$0.50
Tornillo galvanizado	Fainsa	10	\$0.04	\$0.40
Taco expandible	Fischer	10	\$0.03	\$0.30
Válvula esférica	Edesa	1	\$4.78	\$4.78
Neplo roscable	Equipagua	1	\$0.30	\$0.30
Termopozo 6"	Equipagua	1	\$63.05	\$63.05
Software Datacake	Versión gratuita	1	\$0	\$0
Software Blender	Gratuito	1	\$0	\$0
Total				\$794.06

Tabla 9*Costos indirectos y generales*

Ítem	Descripción	Costo total (USD)
Gastos de importación	Aranceles, nacionalización, transporte internacional	\$280
Mano de obra	Configuraciones de equipos, creación de modelo 3D, diseño del dashboard e instalación y pruebas del sistema	\$200
Combustible	Uso de vehículo para visitas de campo	\$6
Ganancia (20%)	Margen de ganancia para el proyecto	\$ 256.00
Imprevistos (8%)	Contingencias y variaciones en el presupuesto	\$ 102.40
Total		\$844.40

El diseño e implementación del sistema permitió materializar la propuesta tecnológica, esta fase consolidó los elementos necesarios para el monitoreo continuo y remoto de los parámetros críticos de calidad del agua. A continuación, en el Capítulo 6 se presenta la evaluación y resultados, donde se analiza el desempeño del sistema en condiciones reales y su impacto en el Club Náutico.

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN Y RESULTADOS

6.1. Comportamiento del Sistema

6.1.1. Estabilidad y Cobertura de la Red y la Transmisión de Datos

Durante el periodo de pruebas y validación del sistema de monitorio IoT, el cual duró 7 días, se evaluó el comportamiento de la red LoRaWAN. Tanto en su estabilidad como en su cobertura de la transmisión de los datos entre los sensores y el nodo, instalados en el cuarto de máquinas, con el gateway, instalado en la oficina administrativa del Club Náutico. Los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios.

Se verificó que la transmisión de datos fue, en general, completamente estable sin evidencias de pérdidas sostenidas de paquetes durante el periodo de evaluación. El sistema mantuvo un intervalo constante de transmisión de 20 minutos, tal como fue configurado en el firmware del nodo, esta frecuencia resultó adecuada para el control operativo de los parámetros críticos del agua.

Cabe descartar que incluso en zonas de difícil acceso o mayor interferencia, como el cuarto de máquinas que está en un subsuelo, donde fueron instalados los sensores y el nodo, no se registraron zonas muertas o interferencias en el alcance y la comunicación con el gateway, esto demuestra la solidez de la red LoRaWAN dentro de las condiciones estructurales del club.

Los datos recibidos fueron visualizados correctamente en la plataforma Datacake, en tiempo real y con consistencia, permitiendo así una supervisión remota efectiva por parte del dueño/administrador del club. Estos resultados validan la viabilidad técnica de la solución implementada, evidenciando que el sistema funciona correctamente en términos de conectividad estabilidad y cobertura.

En Datacake se había configurado una alerta automática para detectar si el dispositivo dejaba de transmitir datos por un tiempo prolongado. El umbral fue puesto inicialmente en 30 minutos, sin embargo, esto generó notificaciones falsas de “Device Offline”, a pesar de que el nodo continuaba transmitiendo posteriormente.

Estas alertas ocurrieron únicamente durante la madrugada, y estas situaciones fueron atribuidas a pequeños retrasos en la red o micro eventos puntuales, que pudieron generar demoras leves en la llegada del paquete, aunque no representaron una pérdida real o sostenida de datos. Para evitar este tipo de falsos positivos, se ajustó el umbral a 40 minutos, lo que eliminó las alertas erróneas sin afectar la operatividad del sistema.

6.1.2. Mediciones del Sistema IoT Frente al Sistema Manual

El sistema manual, utilizado por el Club Náutico, se basa en un kit colorimétrico y un termómetro analógico, con registros supuestamente realizados tres veces al día, mañana, tarde y noche. Sin embargo, en la práctica se observaron variaciones significativas en la frecuencia, algunos días solo se registró una medición, mientras que otros días hubo hasta cinco, posiblemente debido a cambios de turno del personal o fallas en el seguimiento del protocolo. Por el contrario, el sistema IoT realizó lecturas cada 20 minutos de forma continua, permitiendo detectar variaciones que el monitoreo manual no capta. Durante el periodo de evaluación del sistema IoT, para validar la precisión y usabilidad del sistema implementado, se realizó una comparación entre las mediciones, de temperatura y pH, recolectadas automáticamente por los sensores y aquellas registradas manualmente por el personal del Club Náutico. La Tabla 10 muestra esta comparación de ambos métodos y la Figura 21 presenta la comparación gráfica, lo cual facilita visualizar las diferencias en cuanto a precisión.

Tabla 10*Comparación entre sistema IoT y sistema manual*

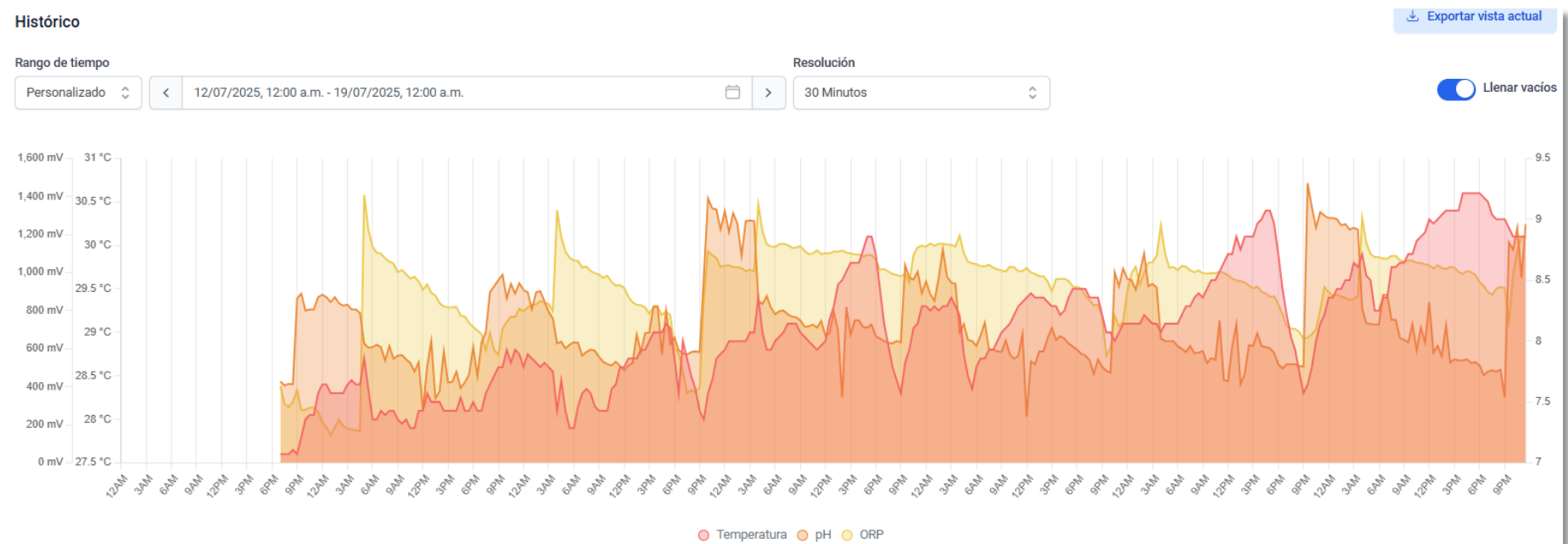
Fecha y Hora	Sistema IoT Temperatura (°C)	Sistema Manual Temperatura (°C)	Diferencia Temperatura	Sistema IoT pH	Sistema Manual pH	Diferencia pH
12/7/2025, 6:45:00 a.m.	28.35	29	0.65	8.02	7.6	0.42
13/7/2025, 6:45:00 a.m.	29	29	0	7.96	7.6	0.36
13/7/2025, 9:00:00 a.m.	29	30	1	7.88	7.6	0.28
14/7/2025, 6:00:00 a.m.	28.9	29	0.1	7.99	7.6	0.39
14/7/2025, 12:00:00 p.m.	29.6	29	0.6	7.76	7.6	0.16
14/7/2025, 3:30:00 p.m.	30	30	0	8.285	7.6	0.69
14/7/2025, 5:50:00 p.m.	29.7	30	0.3	8.03	7.6	0.43
14/7/2025, 9:00:00 p.m.	28.1	29	0.9	7.91	7.2	0.71
15/7/2025, 6:00:00 a.m.	28.9	29	0.1	8.22	7.6	0.62
15/7/2025, 12:00:00 p.m.	28.9	29	0.1	8.04	7.6	0.44
15/7/2025, 3:30:00 p.m.	29.8	29	0.8	8.17	7.6	0.57
15/7/2025, 9:00:00 p.m.	28.3	29	0.7	7.99	7.6	0.39

16/7/2025, 6:00:00 a.m.	28.6	29	0.4	7.96	7.6	0.36
16/7/2025, 12:00:00 p.m.	29.4	29	0.4	7.38	7.6	0.22
16/7/2025, 3:30:00 p.m.	29.3	29	0.3	8.01	7.6	0.41
16/7/2025, 7:00:00 p.m.	29.5	29	0.5	7.88	7.6	0.28
16/7/2025, 9:00:00 p.m.	29.2	29	0.2	7.79	7.6	0.19
17/7/2025, 6:00:00 a.m.	29.1	29	0.1	7.96	7.6	0.36
17/7/2025, 12:00:00 p.m.	29.9	29	0.9	7.67	7.6	0.07
17/7/2025, 3:30:00 p.m.	30.25	29	1.25	8.065	7.6	0.47
17/7/2025, 9:00:00 p.m.	28.3	29	0.7	7.79	7.6	0.19
18/7/2025, 6:00:00 a.m.	29.25	29	0.25	8.135	7.6	0.535
-	-	-	Total = 10.25	-	-	Total = 8.54

Por lo tanto, aunque las variaciones absolutas de temperatura puedan ser mayores, las del pH son más críticas por su estrecho margen y su efecto directo en la calidad del agua. En la Figura 22, se muestra el gráfico histórico, generado en Datacake, durante el periodo de evaluación, aquí se puede visualizar distintos patrones específicos no visibles con el sistema manual. Al principio del gráfico no hay lecturas durante un periodo corto ya que aún no se creaban las variables con el margen de error compensado.

Figura 22

Registro de los tres parámetros durante periodo de evaluación



Por ejemplo, durante la operación nocturna, los valores de ORP pueden superar los 1300 mV, incluso cuando el pH se mantiene por encima de 8. Esta situación se relaciona con la rutina operativa del Club Náutico, en la cual se realiza la adición manual de cloro a las 22:00, generando una sobrecarga temporal de agente oxidante. Dado que el sistema de recirculación se apaga a las 18:00 y se reactiva a las 22:00, si la temperatura es superior a 29 °C, el cloro tiende a concentrarse generando lecturas elevadas de ORP, a pesar de la baja eficacia desinfectante por el pH alto.

Esta información fue clave para ajustar el sistema de alertas, además, el monitoreo continuo permite detectar estas condiciones y verificar si el agua se estabiliza correctamente, tras el encendido del sistema de recirculación durante la madrugada. También se observan fluctuaciones relevantes en los parámetros de temperatura y pH.

En cuanto a la temperatura, se aprecia un incremento gradual desde las primeras horas del día, alcanzando picos entre las 14:00 y 16:00 horas, coincidiendo con el uso intensivo de la piscina y la acumulación de calor ambiental en la instalación cerrada. Posteriormente, los valores descienden progresivamente durante la noche y madrugada, lo cual es coherente con el comportamiento térmico en ambientes bajo techo, donde la inercia térmica y la ventilación influyen en la pérdida de calor.

En el caso del pH, los valores presentan variaciones más irregulares. Se identificaron caídas abruptas y subidas repentinas que, en varios casos, coincidieron con momentos posteriores a la dosificación de químicos o reinicio del sistema de recirculación. Estas fluctuaciones en el pH también pueden deberse a múltiples factores, el pH tiende a subir por la evaporación del CO₂, el uso de cloro líquido o granulado y la exposición solar intensa. En cambio, baja cuando hay alta carga de nadadores o contaminación orgánica.

Estos hallazgos refuerzan la importancia del monitoreo en tiempo real que ofrece el sistema IoT, particularmente para la medición de pH, que es uno de los parámetros más críticos. Al generar datos cada 20 minutos, permite detectar patrones, anomalías o eventos críticos que pueden pasar desapercibidos con un sistema manual, que depende de la disponibilidad del personal. Además, la integración del sistema con alertas automáticas posibilita una respuesta más rápida ante desviaciones, mejorando significativamente la gestión de la calidad del agua.

Los registros completos de las mediciones realizadas por el sistema IoT durante el periodo de evaluación, así como las tablas históricas individuales y fotografías de los registros manuales, se incluyeron en el Anexo G.

6.3. Resultados Obtenidos

Durante los siete días de evaluación, el sistema generó un total de 17 alertas automáticas, distribuidas entre condiciones críticas de pH, ORP y temperatura, según los umbrales definidos previamente en la plataforma Datacake. Las alertas recibidas durante el periodo de evaluación fueron:

- **Alerta de temperatura:** 6
- **Alerta de pH:** 7
- **Alerta de ORP_Bajo y pH_Alto:** 3
- **Alerta de ORP_Alto y pH_Bajo:** 1

Estas alertas permitieron al personal del Club reaccionar ante desviaciones que no habrían sido detectadas con el sistema manual. La configuración de alertas automáticas demostró ser una herramienta clave para reforzar la vigilancia sanitaria de la piscina y facilitar la toma de decisiones operativas en tiempo real.

De acuerdo con lo planteado en la sección metodológica, los resultados esperados de la implementación del sistema IoT fueron, lograr un monitoreo continuo, automatizado y remoto de los parámetros críticos del agua, reducir el tiempo dedicado a la supervisión manual, generar datos útiles para la toma de decisiones operativas y de esta forma reforzar las condiciones sanitarias y deportivas del Club Náutico.

Tras la implementación y el periodo de evaluación del sistema, se demostró que estos objetivos fueron alcanzados en su totalidad. En primer lugar, el sistema permitió la automatización del monitoreo de calidad del agua, eliminando la dependencia de la toma manual intermitente, la cual presentaba inconsistencias en frecuencia y calidad de los registros.

En comparación con el sistema anterior, el nuevo sistema no solo redujo la carga operativa del personal, sino que mejoró significativamente la continuidad y precisión de los datos, especialmente en parámetros sensibles como el pH. Esto permitió la identificación de eventos y patrones que no eran detectados con el monitoreo manual, como las variaciones térmicas según las horas del día.

Además, la integración con la plataforma Datacake y la configuración de alertas automáticas, facilitó una respuesta más rápida ante desviaciones en los valores críticos. Estas mejoras impactan directamente en la gestión sanitaria y también en el desempeño deportivo, al garantizar condiciones estables para el entrenamiento de nadadores de alto rendimiento.

En resumen, el sistema cumplió con los resultados propuestos, demostrando beneficios concretos en eficiencia operativa, control de calidad del agua y fiabilidad de la información para la toma de decisiones.

La evaluación del sistema permitió validar su desempeño técnico y operativo, evidenciando mejoras significativas frente al método manual. A continuación, en el Capítulo 7 se presenta la discusión, en la que se analizan las conclusiones derivadas de los hallazgos y se formulan recomendaciones para potenciar el uso y la escalabilidad del sistema.

CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN

7.1. Conclusiones

- La implementación del sistema de monitoreo IoT para la calidad del agua en la piscina del Club Náutico, demostró ser técnicamente viable y funcional en un entorno real, permitiendo una medición continua, automatizada y remota de los parámetros críticos, temperatura, pH y ORP.
- El sistema IoT superó las limitaciones del monitoreo manual tradicional, el cual presentaba inconsistencias en la frecuencia de registro, y subjetividad en las lecturas. En cambio, el sistema automatizado permitió recolectar datos cada 20 minutos con mayor precisión, eliminando errores humanos y generando información más confiable.
- Se comprobó que el monitoreo continuo permite identificar patrones, anomalías y eventos específicos que el sistema manual no logra detectar, como variaciones nocturnas tras aplicar los químicos o cambios térmicos relacionados con el uso de la piscina.
- La integración del sistema con la plataforma Datacake y la configuración de alertas automáticas, mejoró la capacidad de respuesta del personal ante desviaciones en los parámetros, reforzando las condiciones sanitarias del agua y contribuyendo indirectamente al rendimiento deportivo de los nadadores.
- La red de comunicación LoRaWAN demostró una cobertura y estabilidad adecuadas durante toda la fase de implementación y evaluación, incluso en zonas subterráneas como el cuarto de máquinas.
- El sistema cumplió con todos los resultados esperados planteados en la metodología, lo que representa una solución escalable y eficiente para el monitoreo en tiempo real en piscinas de uso recreativo y deportivo.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda al Club Náutico mantener en operación el sistema IoT implementado, y considerar su expansión a otras piscinas del club que requieran monitoreo, con el fin de estandarizar la gestión de calidad del agua.
- Es aconsejable revisar periódicamente los umbrales de las alertas configuradas, adaptándolos según las rutinas operativas, para evitar alertas innecesarias o falsos positivos.
- Se sugiere complementar el sistema con sensores adicionales, como cloro o turbidez, que permitan ampliar la capacidad de análisis y tomar decisiones más informadas.
- Se recomienda establecer un protocolo semanal de descarga, almacenamiento y análisis de los datos recolectados, ya que el plan gratuito de Datacake conserva el historial por solo 7 días. Esto permitirá evaluar de forma continua la gestión operativa sin depender únicamente de la nube.
- El correcto funcionamiento del sistema IoT depende, en gran medida, del mantenimiento periódico y la calibración adecuada de los sensores, se recomienda establecer un plan de mantenimiento y verificación regular, de todo el sistema, que garantice la fiabilidad de las mediciones.
- Es recomendable implementar el envío de alertas por SMS, mediante la plataforma Datacake, ya que esta funcionalidad permite notificaciones más inmediatas, especialmente en horarios no laborales.

REFERENCIAS

- Abdulmalek, S., Nasir, A., & Jabbar, W. A. (2024). LoRaWAN-based hybrid internet of wearable things system implementation for smart healthcare. *Internet of Things*, 25, 101124.
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101124>
- Abilleira, E., Goñi-Irigoyen, F., Aurrekoetxea, J. J., Cortés, M. A., Ayerdi, M., & Ibarluzea, J. (2023). Swimming pool water disinfection by-products profiles and association patterns. *Heliyon*, 9(2), e13673. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13673>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Alkhayyal, M., & Mostafa, A. M. (2025). Enhancing LoRaWAN Sensor Networks: A Deep Learning Approach for Performance Optimizing and Energy Efficiency. *Computers, Materials & Continua*, 83(1), 1079-1100. <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.061836>
- Alotaibi, A. (2020). Automated and Intelligent System for Monitoring Swimming Pool Safety Based on the IoT and Transfer Learning. *Electronics*, 9(12), 2082.
<https://doi.org/10.3390/electronics9122082>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. (2016). A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. *Sensors*, 16(9), 1466.
<https://doi.org/10.3390/s16091466>

- Bastian, T., & Brondum, J. (2009). Do Traditional Measures of Water Quality in Swimming Pools and Spas Correspond with Beneficial Oxidation Reduction Potential? *Public Health Reports*®, 124(2), 255-261. <https://doi.org/10.1177/003335490912400213>
- Blender Foundation. (2025). *Blender.org—Home of the Blender project—Free and Open 3D Creation Software*. Blender.Org. <https://www.blender.org/>
- Bonilla, V., Campoverde, B., & Yoo, S. G. (2023). A Systematic Literature Review of LoRaWAN: Sensors and Applications. *Sensors*, 23(20), 8440. <https://doi.org/10.3390/s23208440>
- Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60-67. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743>
- Chaabane, S., Riahi, K., Khelifi, S., Slama, E., & Vanclooster, M. (2024). Assessing the Performance of a Citizen Science Based Water Quality Monitoring Program for Nitrates Using Test Strips Implemented in the Medjerda Hydrosystem in Northern Tunisia. *Hydrology*, 11(1), 6. <https://doi.org/10.3390/hydrology11010006>
- Chen, Z., & Dai, X. (2024). Utilizing AI and IoT technologies for identifying risk factors in sports. *Heliyon*, 10(11), e32477. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32477>
- Chunjiang Jia, Ding Wu, Hawkins, I., & Forsyth, A. (2012). One-wire communication system for cryogenic converter control. *6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012)*, P105-P105. <https://doi.org/10.1049/cp.2012.0155>
- Consuegra-Fontalvo, J.-E., Calderón-Velaides, J., & Chanchí-Golondrino, G.-E. (2022). IoT System for Monitoring and Analysing Physiological Variables in Athletes. *Revista Facultad de Ingeniería*, 31(61), e14831. <https://doi.org/10.19053/01211129.v31.n61.2022.14831>

Datacake. (2024). *Datacake | Low Code IoT Platform | White Label | LoRaWAN*. DATACAKE.

<https://datacake.co/>

De Camargo, E. T., Spanhol, F. A., Slongo, J. S., Da Silva, M. V. R., Pazinato, J., De Lima Lobo, A. V., Coutinho, F. R., Pfrimer, F. W. D., Lindino, C. A., Oyamada, M. S., & Martins, L. D. (2023). Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review. *Sensors*, 23(9), 4424. <https://doi.org/10.3390/s23094424>

Delgado-Ferro, F., Navarro-Ortiz, J., Chinchilla-Romero, N., & Ramos-Munoz, J. J. (2022). A LoRaWAN Architecture for Communications in Areas without Coverage: Design and Pilot Trials. *Electronics*, 11(5), 804. <https://doi.org/10.3390/electronics11050804>

Elamanov, S., Son, H., Flynn, B., Yoo, S. K., Dilshad, N., & Song, J. (2024). Interworking between Modbus and internet of things platform for industrial services. *Digital Communications and Networks*, 10(2), 461-471. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2022.09.013>

Ferreira, F. A., Santos, C. C., Palmeira, A. L., Fernandes, R. J., & Costa, M. J. (2024). Effects of Swimming Exercise on Early Adolescents' Physical Conditioning and Physical Health: A Systematic Review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(3), 158. <https://doi.org/10.3390/jfmk9030158>

Gongora, K., Vankerschaver, J., Sampers, I., & Van Haute, S. (2024). The influence of pH on the efficacy of oxidation-reduction potential (ORP) to predict chlorine disinfection of surrogate bacteria, *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in oxidant demand free conditions and fresh produce wash water. *Food Microbiology*, 121, 104516. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104516>

Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C. F., & Bampista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education.

https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Jiang, Q., Yuan, H., Wang, Y., & Jin, X. (2015). Design and analyze of transient-induced latch-up in RS485 transceiver with on-chip TVS. *Microelectronics Reliability*, 55(3-4), 637-644.

<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2014.12.012>

Khodaei, M., Edelman, G. T., Spittler, J., Wilber, R., Krabak, B. J., Solomon, D., Riewald, S., Kendig, A., Borgelt, L. M., Riederer, M., Puzovic, V., & Rodeo, S. (2016). Medical Care for Swimmers. *Sports Medicine - Open*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-016-0051-2>

Lior, L. N. (2013). Design and Development Models and Processes. En *Writing for Interaction* (pp. 21-42). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394813-7.00002-X>

LoRa Alliance. (2024). *What is LoRaWAN®?* LoRa Alliance®. <https://lorawan.org/about-lorawan/>

Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 03(05), 164-173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>

Mahdi, M. J., Aljuboori, A. F., & Hussein Ali, M. (2021). Smart Stadium using Cloud Computing and Internet of Things (IoT): Existing and New Models. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 10(05), 111-118. <https://doi.org/10.7753/IJCATR1005.1002>

Milesight. (2022). *Mini LoRaWAN® Gateway*. Milesight.

<https://www.milesight.com/iot/product/lorawan-gateway/ug63>

Naik, N. (2017). Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, 1-7.

<https://doi.org/10.1109/SysEng.2017.8088251>

Nieto Pacheco, A. J., Villegas Pilay, Y. E., & Galarza Alay, J. I. (2023). Current advances of the Iot and its various applications. *ConcienciaDigital*, 6(1), 58-74.

<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i1.2440>

Paredes Lascano, P. L., Toapanta Yugcha, I. G., Bravo Paredes, L. A., & Aguayo Escobar, A. (2024). Contaminación del agua en piscinas por microorganismos, un riesgo potencial para la salud. *Mediciencias UTA*, 8(4), 127-139. <https://doi.org/10.31243/mdc.uta.v8i4.2633.2024>

Rojas, L. (2021). *Natación Lucio Rojas | clases natacion | Quito, Pichincha, Ecuador*. Cursosnatacion. Recuperado 4 de agosto de 2025, de <https://www.natacionluciorojas.com>

Rowhani, T., & Lagalante, A. (2007). A colorimetric assay for the determination of polyhexamethylene biguanide in pool and spa water using nickel–nioxime. *Talanta*, 71(2), 964-970. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.07.042>

Saban, M., Aghzout, O., Medus, L. D., & Rosado, A. (2021). Experimental Analysis of IoT Networks Based on LoRa/LoRaWAN under Indoor and Outdoor Environments: Performance and Limitations. *IFAC-PapersOnLine*, 54(4), 159-164.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.027>

Sánchez, M. A., & Ramoscelli, G. (2018). Creación de valor a partir del internet de las cosas: Estudio exploratorio en la provincia de Buenos Aires. *Revista Científica Visión de Futuro*,

22(1), 149-169.

<https://visiondefuturo.fce.unam.edu.ar/index.php/visiondefuturo/article/view/224>

Verner, I., Cuperman, D., & Mueller, M. (2024). Student learning of engineering systems through simulation-based design using Onshape and Blender. *Procedia Computer Science*, 232, 2950-2958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.111>

World Health Organization [WHO]. (2006). *Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Volume 2: Swimming Pools and Similar Environments* (Vol. 2). World Health Organization. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43336/9241546808_eng.pdf?sequence=1

World Health Organization [WHO]. (2021). *Guidelines on Recreational Water Quality. Volume 1: Coastal and Fresh Waters* (Vol. 1). World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/342625/9789240031302-eng.pdf?sequence=1>

Zhuang, K. (2025). *WQS-LB -- LoRaWAN Water Quality Sensor Transmitter User Manual—dragino*. Dragino. https://wiki.dragino.com/xwiki/bin/view/Main/User%20Manual%20for%20LoRaWAN%20End%20Nodes/WQS-LB--LoRaWAN_Water_Quality_Sensor_Transmitter_User_Manual/

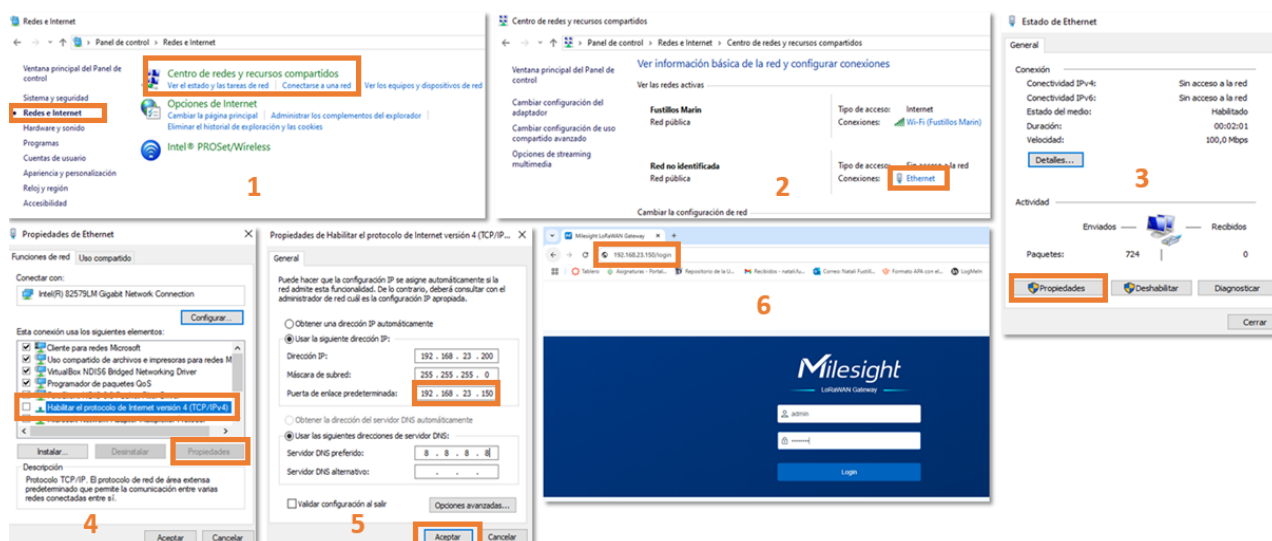
ANEXOS

ANEXO A - Guía para Configuración del Gateway en Datacake

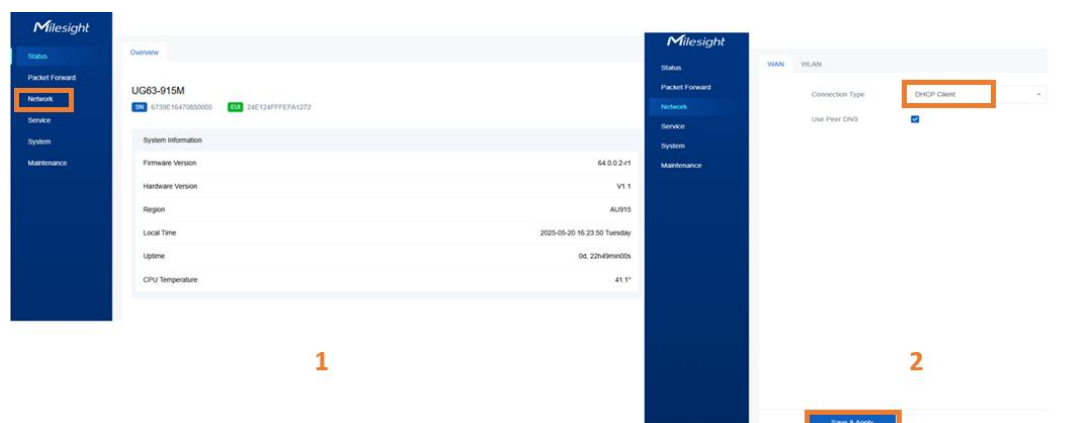
Conexión del Gateway a Internet

Paso 1: Acceder al Panel de Administración del Gateway (Web GUI)

1. Conectar la computadora al puerto ETH del gateway usando un cable de red (Ethernet).
2. En la computadora ir al Panel de control -> Redes e internet -> Centro de redes y recursos compartidos.
3. Seleccionar Ethernet y hacer clic en Propiedades.
4. Seleccionar el Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4) y hacer clic en Propiedades.
5. Configurar la puerta de enlace predeterminada como la IP predeterminada de UG63 (192.168.23.150) y guardar la configuración.
6. Abrir el navegador y acceder a la IP por defecto 192.168.23.150.
7. Iniciar sesión con:
 - Usuario: admin.
 - Contraseña: password.

Figura 23*Acceder al web GUI del gateway***Paso 2: Configurar el Tipo de Conexión a Internet**

1. Una vez dentro del GUI, en el panel izquierdo del gateway, navegar a Network → WAN.
2. Seleccionar el tipo de conexión, en este caso vamos usar DHCP
 - a. DHCP Client (automático): El router asignará una IP automáticamente.
3. Hacer clic en 'Save & Apply' para guardar.

Figura 24*Configurar conexión a internet*

Paso 3: Conectar el Gateway al Router

1. Usar un cable de red para conectar el gateway al router o switch del lugar.
 - Esto permitirá que el gateway obtenga acceso a Internet.

Creación de cuenta y Workspace en Datacake

Paso 1: Crear una Cuenta

2. Abrir el navegador y entrar a <https://datacake.co>.
3. Hacer clic en el botón "Crear cuenta".
4. Llenar los campos necesarios y aceptar los términos de uso y política de privacidad.
5. Hacer clic en "Crear cuenta".
6. Verificar correo, Datacake enviará un email de confirmación. Abrir ese correo y hacer clic en el enlace para activar la cuenta.

Figura 25

Crear cuenta en Datacake

The figure consists of two side-by-side screenshots of the Datacake website interface.

Left Screenshot (Login Page): The browser address bar shows "app.datacake.de/login". The page features the Datacake logo at the top. Below it, there are input fields for "Dirección de correo electrónico" and "Contraseña". A blue button labeled "Inicio de sesión" is positioned below the password field. At the bottom, a button labeled "Crear cuenta" is highlighted with an orange rectangular border. A large orange number "1" is placed above the "Crear cuenta" button.

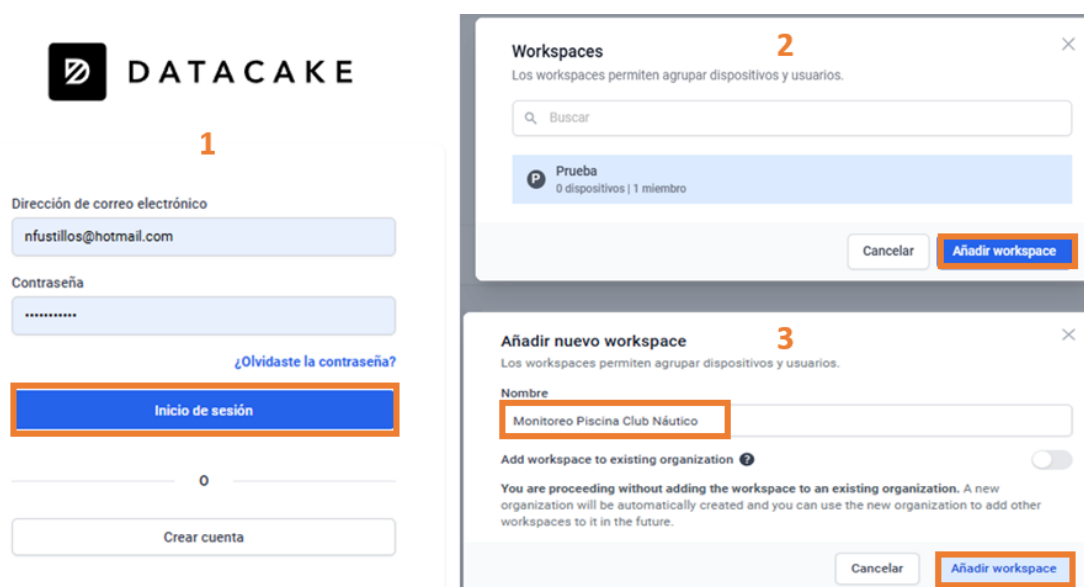
Right Screenshot (Account Creation Page): The page is titled "Crear una cuenta". It contains several input fields: "Primer nombre" (with "Natali" entered), "Apellido" (with "Fustillos" entered), "Dirección de correo electrónico" (with "nfustillos@hotmail.com" entered), and "Nombre de tu primer workspace" (with "NATY" entered). Below these, there are radio buttons for "Tipo de proyecto" (selected: "Empresa", unselected: "Hobby") and checkboxes for "Caso de uso" (selected: "Otros", unselected: "Rastreo de activos", "Gestión de inmuebles", "Cadena de frío", "Energía", "Industrial", "Smart city", "Agricultura inteligente"). There is also a section for "Otros casos de uso de IoT" with a text input field containing "Monitoreo Calidad Agua en Piscina". Below this is a "Contraseña" field and a "Confirmar contraseña" field. At the bottom, there is a checkbox for "Acepto los Condiciones de uso y Política de privacidad." and a blue button labeled "Crear cuenta". A large orange number "2" is placed above the "Crear cuenta" button.

Paso 2: Crear un Workspace

1. Iniciar sesión en <https://datacake.co>.
2. Hacer clic en “Añadir workspace” para crear uno.
3. Colocar el nombre del Workspace y hacer clic en “Añadir workspace”.

Figura 26

Crear Workspace en Datacake



Registro del Gateway Milesight UG63-915M en Datacake

Paso 1: Acceder a la Interfaz Web del Gateway y Obtener el EUI

Generalmente el EUI se encuentra en la parte inferior del equipo.

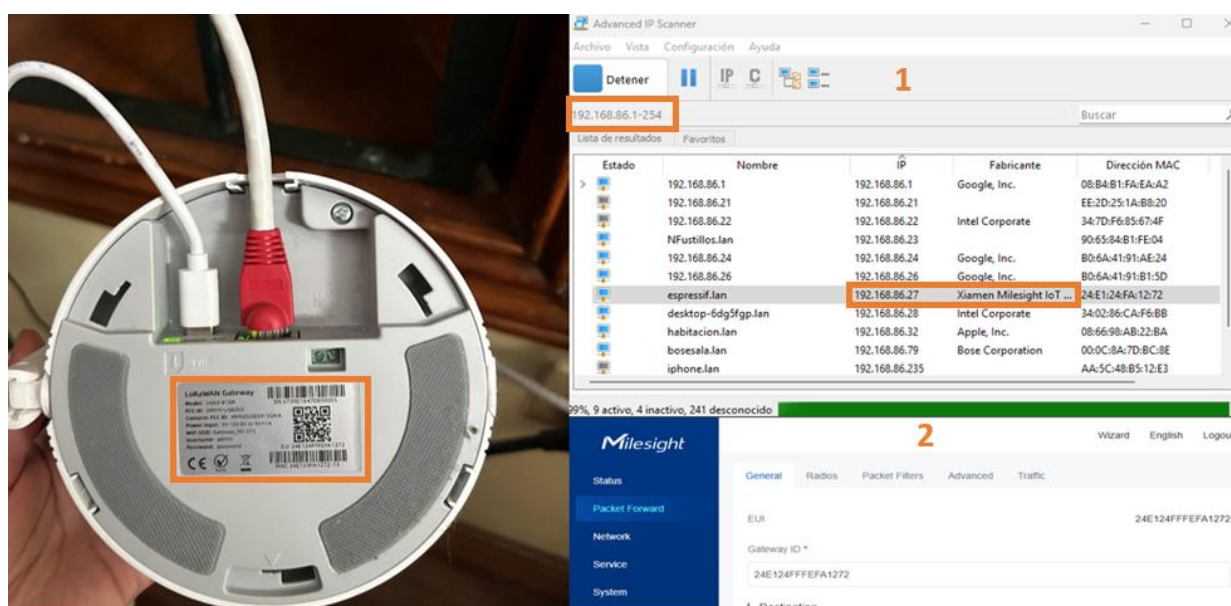
En caso de no estar visible, puede obtenerse desde la interfaz gráfica (GUI). Debido al cambio a DHCP, la dirección IP asignada ya no es conocida.

1. Escanear la red con una app para descubrir dispositivos conectados, en este caso usamos Advanced IP Scanner.
2. Ejecutar el escaneo en la red donde está conectado el gateway (192.168.86.1 - .254).
3. Buscar por nombre o por fabricante, el nuevo IP es 192.168.86.27.
4. Acceder desde el navegador a [http:// 192.168.86.27](http://192.168.86.27).

5. Ingresar el usuario y contraseña.
6. Ir a Packet Forwarder y copiar el Gateway EUI, que empieza con "24" y parece un MAC address largo.

Figura 27

Obtener el EUI del gateway



Paso 2: Registrar el Gateway en Datacake

1. Entrar al workspace en Datacake.
2. Hacer clic en 'Gateways' > 'Añadir gateway LoRaWAN'.
3. Completar:
 - Gateway Name: Un nombre que ej. "Gateway piscina".
 - Gateway EUI: Pegar el EUI copiado del paso anterior.
 - Frequency: Seleccionar US915 MHz (por estar en América).
1. Hacer clic en 'Crear Gateway'.
2. Aparecerá una ventana con la configuración necesaria, copiar estos datos:
 - Protocolo: UDP Packet Forwarder.
 - Dirección del servidor gateway: nam1.datacake-lns.com.
 - Puerto: 1700.

Figura 28*Registrar gateway en Datacake***Paso 3: Configurar el Gateway para Enviar Datos a Datacake**

1. En el GUI, ir a Packet Forwarder.
2. Configurar el “Destination”.
3. Completar:
 - Enable: Activado.
 - Type: Semtech.
 - Address: Seleccionar “nam1.datacake-lns.com”.
 - Port up: 1700.
 - Port down: 1700.
4. Guardar los cambios.

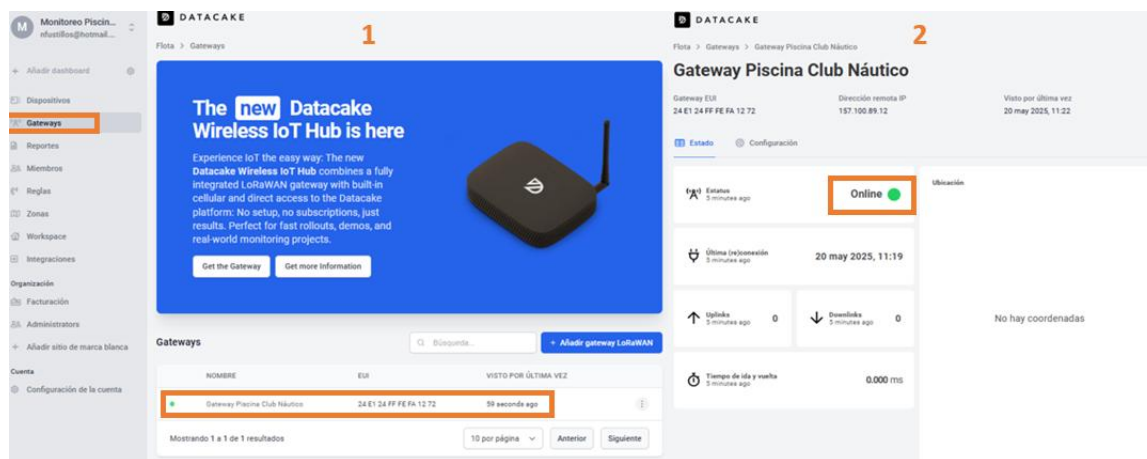
Figura 29

Configurar gateway para envío de datos

The screenshot shows the Milesight web interface. On the left is a dark blue sidebar with the Milesight logo and navigation links: Status, Packet Forward (highlighted with an orange box), Network, Service, System, and Maintenance. The main content area has a top navigation bar with tabs: General (selected), Radios, Packet Filters, Advanced, and Traffic. A large orange number '1' is positioned above the General tab. The configuration form for a gateway is displayed. It includes the EUI (24E124FFFEFA1272) and Gateway ID (24E124FFFEFA1272). The Destination section has an 'Enable' checkbox checked (highlighted with an orange box). The Type is set to 'Semtech' (with a 'Disconnected' status indicator). The Server Address is 'nam1.datacake-lms.com'. The Port Up and Port Down are both set to '1700'. At the bottom, there is a 'Save & Apply' button (highlighted with an orange box) and a green 'Success' message.

Paso 4: Verificar que el Gateway esté Conectado

5. Regresar a Datacake.
6. En la sección de Gateways, seleccionar el gateway.
7. Revisar que esté "Online".
 - Puede tardar hasta 1 minuto en actualizar su estado.
 - También se verán estadísticas como tiempo de conexión, paquetes enviados, etc.

Figura 30*Verificar la conexión del gateway con Datacake***Paso 5 (Opcional): Asignar Ubicación del Gateway en el Mapa**

1. En el dashboard del gateway en Datacake, ir a Configuración.
2. Introducir la latitud y longitud de la ubicación física donde está instalado.
3. Hacer clic en Guardar.

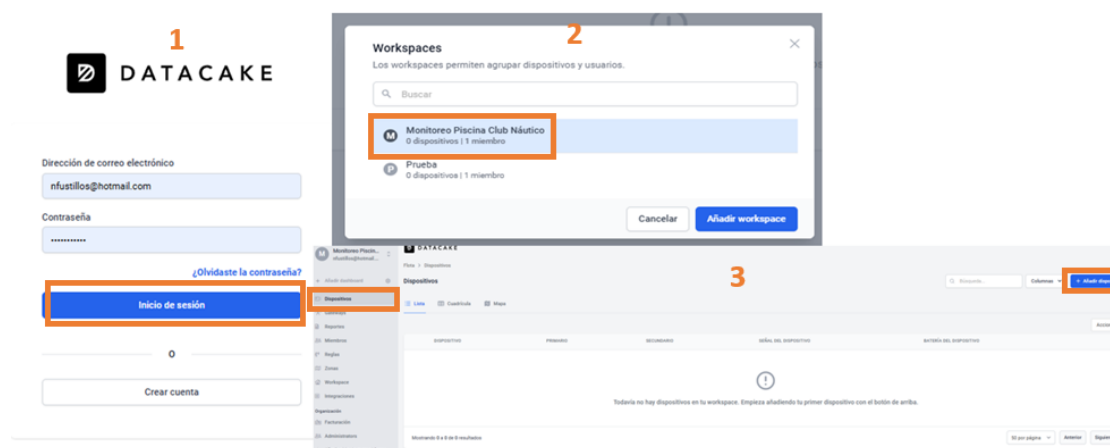
ANEXO B - Guía para Configuración del Nodo en Datacake

Paso 1: Ingresar a Datacake

1. Acceder a <https://app.datacake.de/login> e iniciar sesión.
2. Seleccionar el Workspace.
3. Ir al menú lateral izquierdo y hacer clic en “Dispositivos”.
4. Hacer clic en “Añadir Dispositivo”.

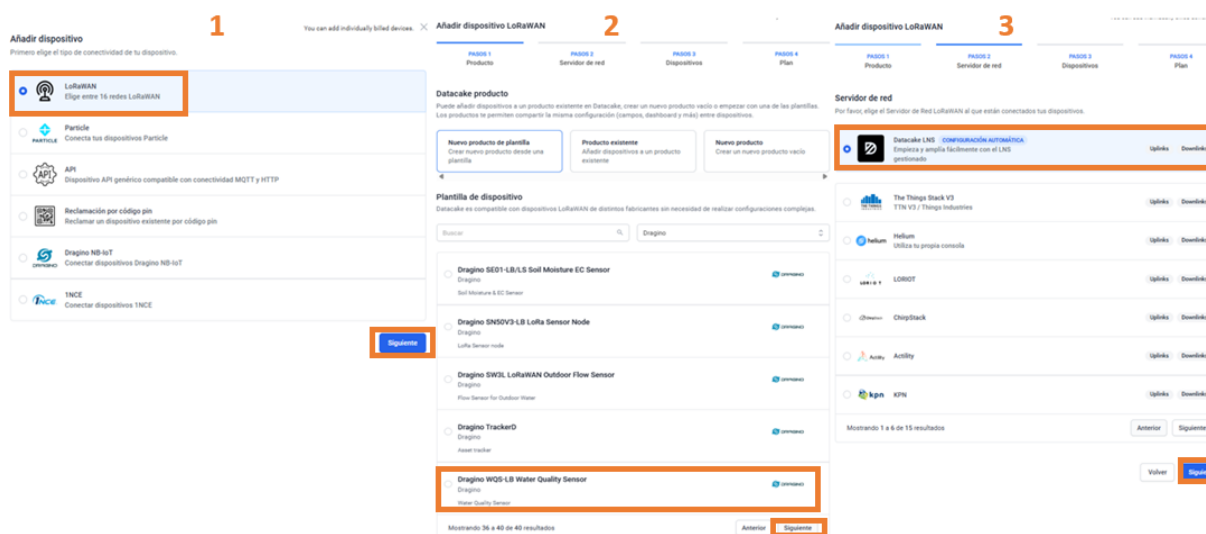
Figura 31

Ingresar a Datacake y agregar dispositivos



Paso 2: Registro del Nodo en Datacake

1. Seleccionar “LoRaWAN” y hacer clic en “Siguiente”.
2. En la lista de plantillas, buscar y seleccionar “Dragino WQS-LB Water Quality Sensor”.
3. Hacer clic en “Siguiente”.
4. Seleccionar como servidor de red “Datacake LNS”.
5. Hacer clic en “Siguiente”.

Figura 32*Seleccionar plantilla y servidor en Datacake*

6. Ingresar los Datos del Dispositivo, la información de registro se encuentra dentro del paquete del dispositivo.

- DevEUI: Identificador único para el dispositivo.
- Nombre: Nombre descriptivo para el dispositivo.
- AppEUI: Para la autenticación del equipo.
- AppKey: Para la autenticación del equipo.
- Frecuencia: Seleccionar según la región.
- Clase de Dispositivo: Seleccionar Clase A. El WQS-LB está configurado en Clase A por defecto.

7. Hacer clic en “Siguiente”.

8. Escoger el plan, en este caso el gratuito y luego hacer clic en “Añadir 1 dispositivo”.

Figura 33**Registrar nodo en Datacake**

The figure shows three sequential screenshots of the 'Añadir dispositivo LoRaWAN' (Add LoRaWAN device) interface in Datacake, numbered 1 to 4.

- Screenshot 1:** Shows the 'PASO 1: Producto' (Step 1: Product) screen. It prompts the user to 'Proporciona uno o varios DevEUI de dispositivos LoRaWAN' (Provide one or more LoRaWAN device DevEUIs) and offers an alternative to upload a CSV file. A red box highlights the 'DevEUI' input field.
- Screenshot 2:** Shows the 'PASO 2: Servidor de red' (Step 2: Network server) screen. It prompts the user to 'Proporciona uno o varios DevEUI de dispositivos LoRaWAN' (Provide one or more LoRaWAN device DevEUIs) and offers an alternative to upload a CSV file. A red box highlights the 'DevEUI' input field.
- Screenshot 3:** Shows the 'PASO 3: Dispositivos' (Step 3: Devices) screen. It prompts the user to 'Proporciona uno o varios DevEUI de dispositivos LoRaWAN' (Provide one or more LoRaWAN device DevEUIs) and offers an alternative to upload a CSV file. A red box highlights the 'DevEUI' input field.
- Screenshot 4:** Shows the 'PASO 4: Plan' (Step 4: Plan) screen. It displays 'Individually billed plans' with four options: Free (0,00 €/ mes), Light (2,00 €/ mes), Standard (3,00 €/ mes), and Plus (5,00 €/ mes). A red box highlights the 'Free' plan option.

Paso 3: Encendido del Dispositivo y Confirmar su Conexión

El nodo WQS-LB no tiene un botón de encendido/apagado como tal, sino que utiliza un modo de reposo profundo (deep sleep) y un modo de operación activa (working mode). Para activar el dispositivo, existen 2 opciones:

- Presionar y mantener presionado el botón ACT entre 1 y 3 segundos.
 - Envía un uplink si ya está registrado.
 - Enciende el módulo Bluetooth (BLE).
 - El LED azul parpadeará una vez.
- Presionar y mantener el botón ACT más de 3 segundos para forzar el "join" a la red LoRaWAN, esta es la opción que se utilizará en este proyecto.
 - El LED verde parpadeará 5 veces rápidamente.
 - Si se conecta con éxito a la red, el LED verde permanecerá encendido durante 5 segundos.

c) Para apagar el nodo (modo deep sleep), presionar el botón ACT rápidamente 5 veces seguidas.

- El LED rojo se encenderá fijo durante 5 segundos indicando que el dispositivo está en reposo profundo.

ANEXO C - Código del Decodificador de Payload Datacake

A continuación, se presenta el código utilizado en el decodificador de Datacake para obtener los datos de los sensores en formato legible.

```
//Sample payload Port 0x02: 0E74 00FF 3F 04D2 0357 00FA 0040 012C 02CB
function Decoder(bytes, port) {
  var result = {};

  // Port 0x02: Live sensor values
  if (port === 0x02) {
    // Battery voltage: two bytes, mask with 0x3FFF then divide by 1000 for volts.
    result.BATTERY = ((bytes[0] << 8 | bytes[1]) & 0x3FFF) / 1000;

    // DS18B20 temperature: 2 bytes signed value divided by 10
    var tempRaw = bytes[2] << 8 | bytes[3];
    if (bytes[2] & 0x80) {
      tempRaw |= 0xFFFF0000; // sign extension for negative values
    }
    result.TEMPERATURE = parseFloat((tempRaw / 10).toFixed(2));

    // The sensor flag and sensor type mask from byte 4
    result.I_FLAG = (bytes[4] >> 7) & 0x01;
    var sensorType = bytes[4] & 0x3F;
    var j = 5; // pointer to the next bytes containing sensor values

    // For each sensor reading, check if its corresponding bit is set and decode
    if ((sensorType >> 5) & 0x01) {
      result.TURBIDITY = (bytes[j] << 8 | bytes[j + 1]) / 10;
      j += 2;
    }
    if ((sensorType >> 4) & 0x01) {
      result.DISSOLVED_OXYGEN = (bytes[j] << 8 | bytes[j + 1]) / 100;
      j += 2;
    }
    if ((sensorType >> 3) & 0x01) {
      result.ERP = (bytes[j] << 24 >> 16 | bytes[j + 1]);
      j += 2;
    }
  }
}
```

```

    if ((sensorType >> 2) & 0x01) {
        result.EC_K10 = (bytes[j] << 8 | bytes[j + 1]) * 10;
        j += 2;
    }
    if ((sensorType >> 1) & 0x01) {
        result.EC_K1 = (bytes[j] << 8 | bytes[j + 1]);
        j += 2;
    }
    if (sensorType & 0x01) {
        result.PH = (bytes[j] << 8 | bytes[j + 1]) / 100;
        j += 2;
    }

    try {

        result.LORA_RSSI = (!!normalizedPayload.gateways &&
!!normalizedPayload.gateways[0] && normalizedPayload.gateways[0].rssi) || 0;
        result.LORA_SNR = (!!normalizedPayload.gateways &&
!!normalizedPayload.gateways[0] && normalizedPayload.gateways[0].snr) || 0;
        result.LORA_DATARATE = normalizedPayload.data_rate;

    } catch (e) {
        console.log(JSON.stringify(e));
    }

    return result;
}
// Port 3: Datalog - process each 11-byte block individually.
else if (port === 3) {
    var dataLogs = [];
    // PNACK flag is extracted from byte 6 (the same for all blocks)
    var pnack = ((bytes[6] >> 7) & 0x01) ? true : false;
    // Process each 11-byte block
    for (var i = 0; i < bytes.length; i += 11) {
        var block = bytes.slice(i, i + 11);
        // Sensor type mask is at byte index 6 of the block
        var sensorTypeMask = block[6] & 0x3F;
        // Define the sensor mapping (bit position, field name, scaling factor, and
decimal precision)
        var sensorMapping = [

```

```

    { bit: 5, name: "TURBIDITY", scale: 1 / 10, precision: 1 },
    { bit: 4, name: "DISSOLVED_OXYGEN", scale: 1 / 100, precision: 2 },
    { bit: 3, name: "ORP", scale: 1, precision: 0 },
    { bit: 2, name: "EC_K10", scale: 10, precision: 0 },
    { bit: 1, name: "EC_K1", scale: 1, precision: 0 },
    { bit: 0, name: "PH", scale: 1 / 100, precision: 2 }
  ];
  var sensorData = {};
  var offset = 0;
  // Loop over the sensor mapping; for each bit set, decode 2 bytes.
  for (var j = 0; j < sensorMapping.length; j++) {
    if ((sensorTypeMask >> sensorMapping[j].bit) & 0x01) {
      // Read a signed 16-bit integer from the block (using bit shifting for
sign extension)
      var raw = (block[offset] << 24 >> 16) | block[offset + 1];
      var value = raw * sensorMapping[j].scale;
      if (sensorMapping[j].precision > 0) {
        value = parseFloat(value.toFixed(sensorMapping[j].precision));
      }
      sensorData[sensorMapping[j].name] = value;
      offset += 2;
    }
  }
  // Timestamp is in the last 4 bytes of the block (bytes 7-10)
  var ts = (block[7] << 24 | block[8] << 16 | block[9] << 8 | block[10]);
  // If ts looks like seconds (ts <= 9999999999), multiply by 1000; otherwise,
assume ms.
  sensorData.timestamp = ts > 9999999999 ? new Date(ts).toISOString() : new
Date(ts * 1000).toISOString();
  dataLogs.push(sensorData);
}
return {
  DATALOG: dataLogs,
  PNACKMD: pnack
};
}
// Port 0x05: Configuration and status message.
else if (port === 0x05) {
  var sensorModel = (bytes[0] === 0x3C) ? "WQS01-LB" : "Unknown";
  var subBand = (bytes[4] === 0xff) ? null : bytes[4];

```

```
var freqBand;
switch (bytes[3]) {
  case 0x01:
    freqBand = "EU868";
    break;
  case 0x02:
    freqBand = "US915";
    break;
  case 0x03:
    freqBand = "IN865";
    break;
  case 0x04:
    freqBand = "AU915";
    break;
  case 0x05:
    freqBand = "KZ865";
    break;
  case 0x06:
    freqBand = "RU864";
    break;
  case 0x07:
    freqBand = "AS923";
    break;
  case 0x08:
    freqBand = "AS923_1";
    break;
  case 0x09:
    freqBand = "AS923_2";
    break;
  case 0x0A:
    freqBand = "AS923_3";
    break;
  case 0x0B:
    freqBand = "CN470";
    break;
  case 0x0C:
    freqBand = "EU433";
    break;
  case 0x0D:
```

```

        freqBand = "KR920";
        break;
    case 0x0E:
        freqBand = "MA869";
        break;
    default:
        freqBand = "Unknown";
    }
    var firmVer = (bytes[1] & 0x0f) + '.' + ((bytes[2] >> 4) & 0x0f) + '.' +
(bytes[2] & 0x0f);
    var bat = (bytes[5] << 8 | bytes[6]) / 1000;
    return {
        SENSOR_MODEL: sensorModel,
        FIRMWARE_VERSION: firmVer,
        FREQUENCY_BAND: freqBand,
        SUB_BAND: subBand,
        BATTERY: bat
    };
}

return { error: "Unsupported port" };
}

```

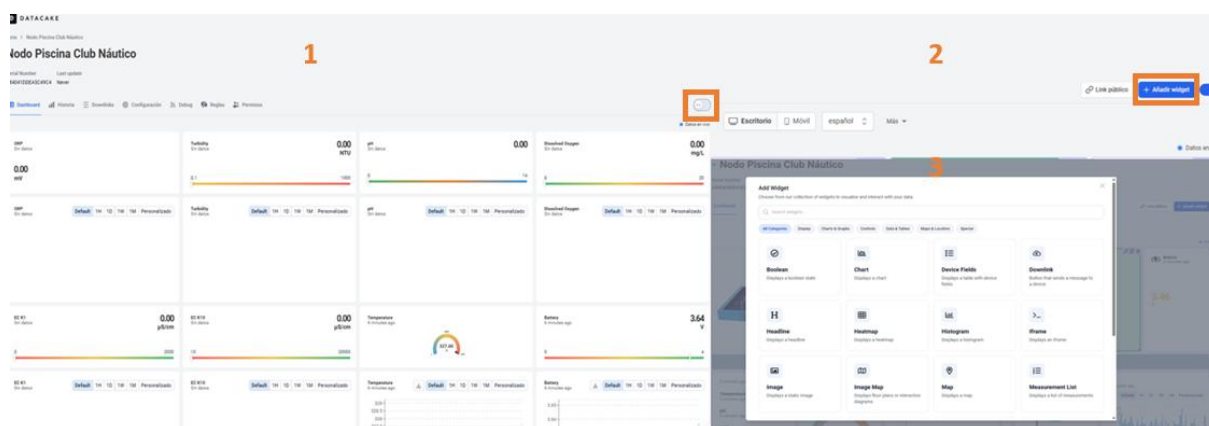
ANEXO D – Proceso del Diseño del Dashboard en Datacake

Vista Escritorio y Móvil del Dashboard

Se crearon dos vistas del dashboard, una para visualización desde escritorio y otra desde dispositivos móviles. Para ambos casos se utilizó el mismo diseño para asegurar uniformidad, para entrar en modo edición se debe activar utilizando el botón en la parte superior derecha, y luego se debe hacer clic en “Añadir widget” y tenemos una variedad de opciones.

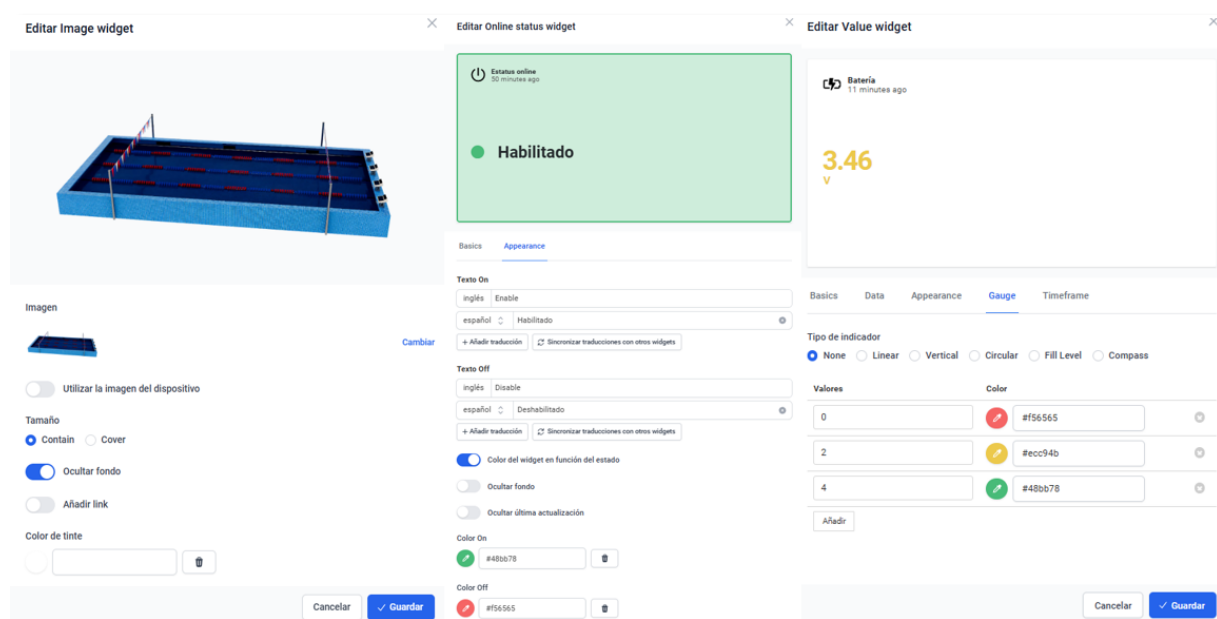
Figura 35

Modo edición del dashboard



La estructura superior del dashboard incluye:

- Dos widgets de tipo “Image”, en el primero se colocó el render del modelo 3 desde una vista frontal, y en el segundo se colocó el render desde una vista superior, como referencia visual.
- Al lado derecho se incluyó un widget de tipo “Online status”, el cual sirve para indicar el estado del nodo, habilitado o deshabilitado.
- También se utilizó un widget de tipo “Value”, el cual muestra el nivel de batería del nodo.

Figura 36*Diseño estructura superior del dashboard*

Se usó un widget de tipo “Headline”, para colocar un título central como separador y de esta forma contextualizar los gráficos de mediciones. Para esta parte del dashboard se incluyó en total 8 widgets, los cuales son:

- Un widget de tipo “Device Fields”, el cual muestra las últimas lecturas de los tres sensores.
- Para el sensor de temperatura se usó un widget de tipo “Value” con el formato de un medidor radial, también se configuró una escala de colores para el rango de los valores. Y un segundo widget de tipo “Chart” con el formato de gráfico de barras con distintos filtros y la opción de exportar los datos en CSV, este muestra la evolución de los datos.
- Para el sensor de pH y ORP igual se usó un widget de tipo “Value” para cada uno, pero con el formato de un medidor vertical, igual se configuró una escala de colores para el rango de los valores. Y se usó un segundo widget de tipo “Chart” para cada uno, con el formato de gráfico de barras con distintos filtros y la opción de exportar los datos en CSV, este muestra la evolución de los datos.

- d) Finalmente se incluyó un gráfico de tipo “Chart” con el formato de gráfico de líneas con distintos filtros y la opción de exportar los datos en CSV, donde se realiza una comparación grafica de las tres variables a lo largo del tiempo.

Figura 37

Headline y Device Fields

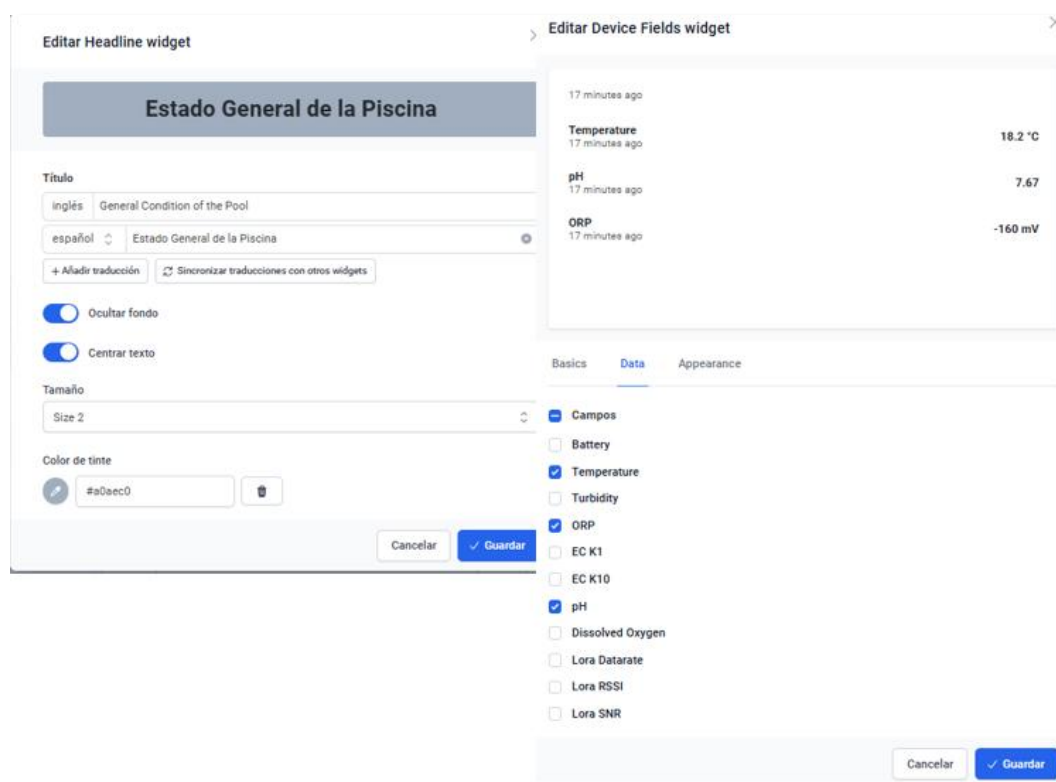


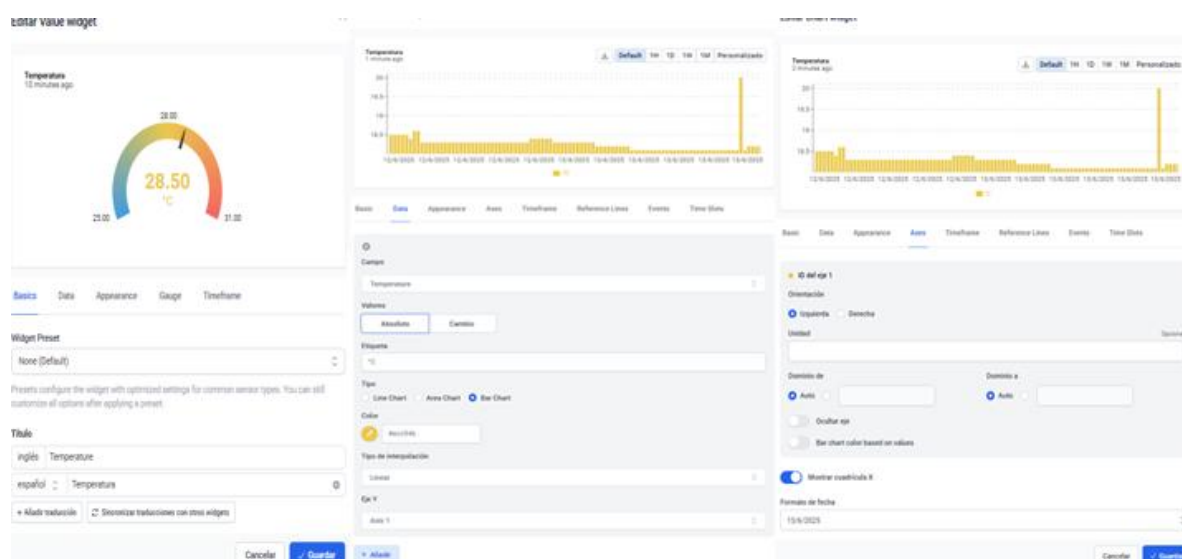
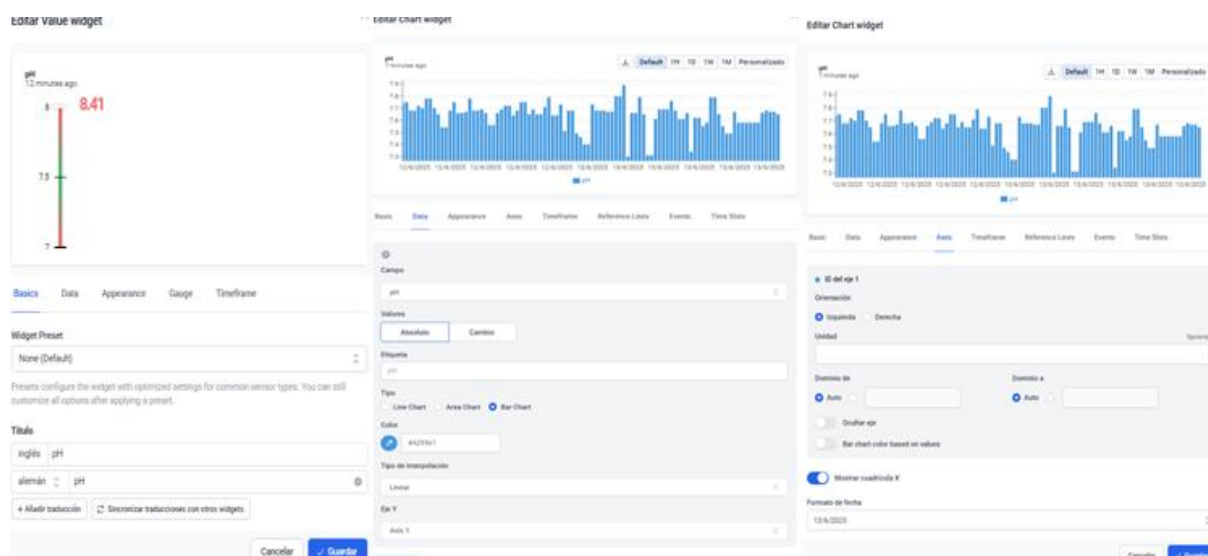
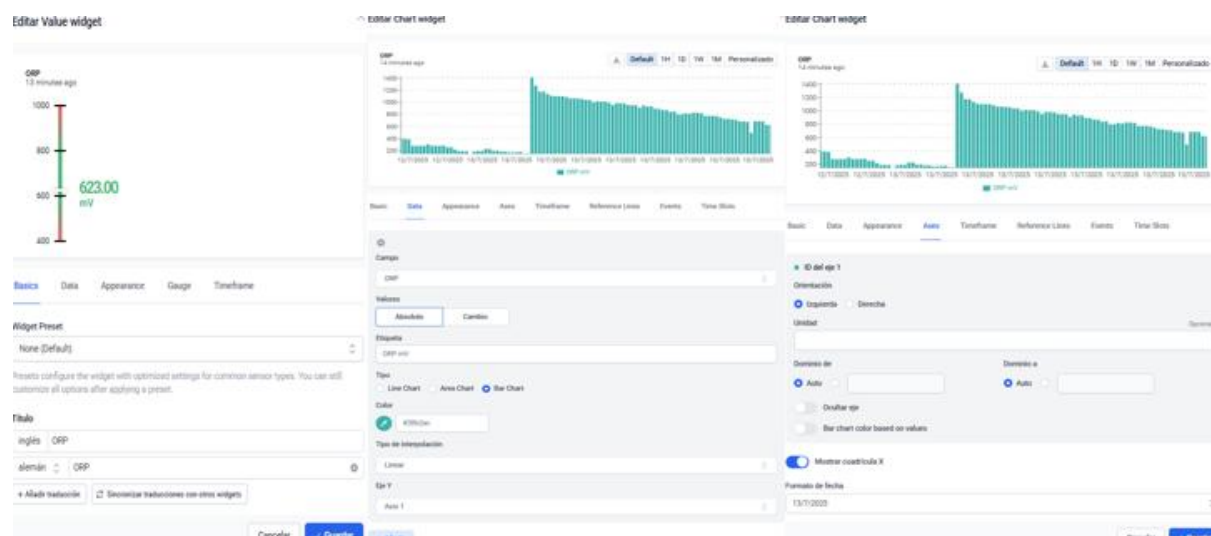
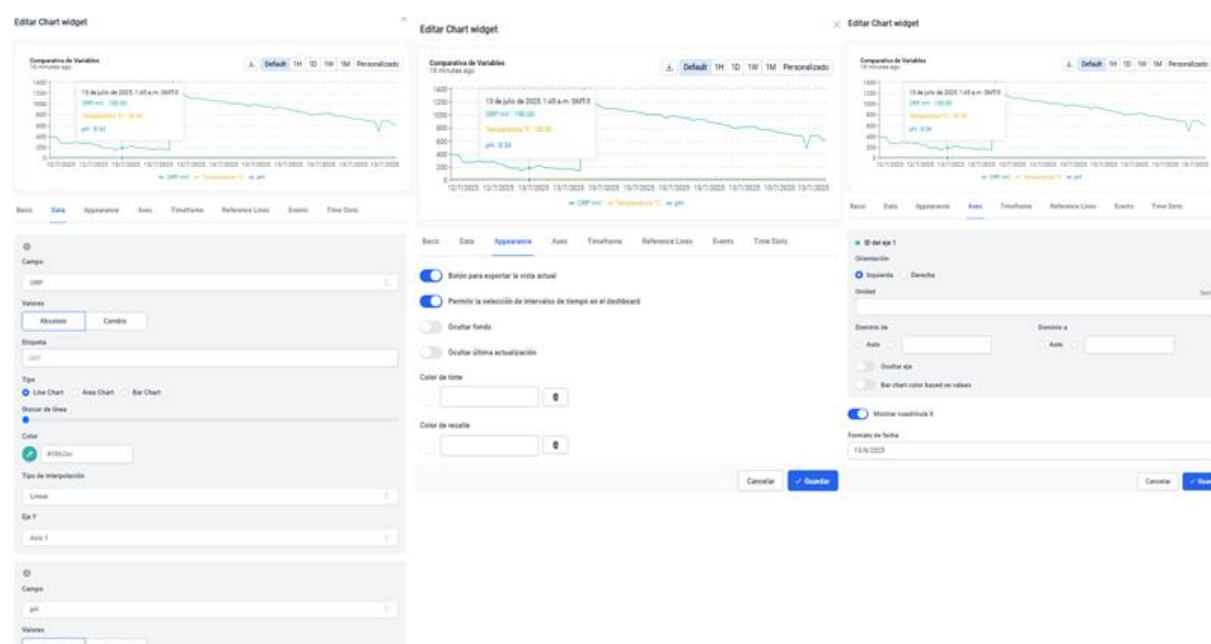
Figura 38*Gráficos para el sensor de temperatura***Figura 39***Gráficos para el sensor de pH*

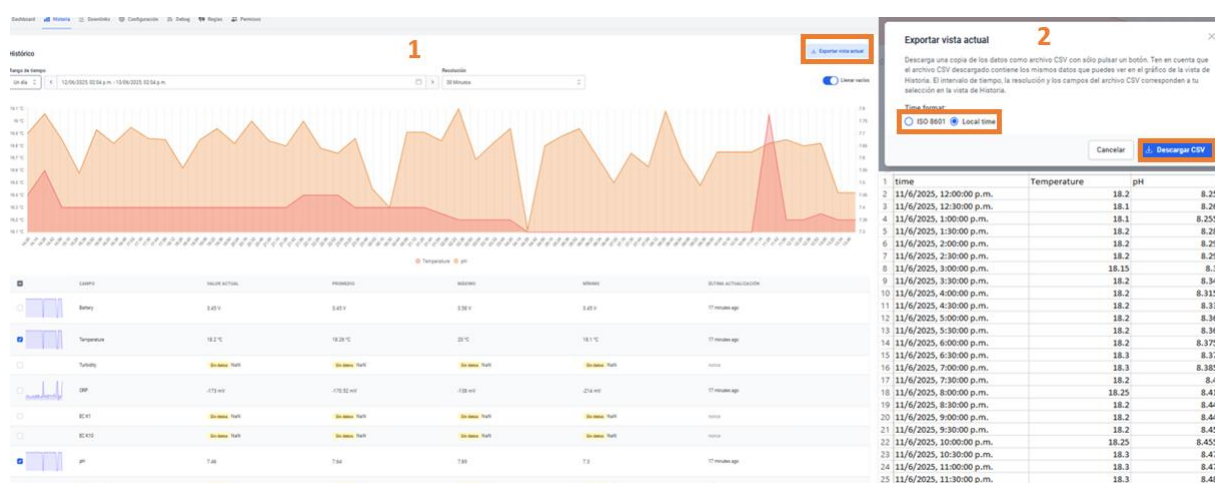
Figura 40*Gráficos para el sensor de ORP***Figura 41***Gráfico de líneas para comparación de variables*

Historia de los Datos y su Exportación

En la pestaña “Historia”, es posible seleccionar los parámetros que queramos visualizar en una tabla y filtrarlos por el rango de tiempo que el usuario necesite, estos datos históricos también se pueden descargar en formato CSV, en esta pestaña se debe hacer clic en el botón de “Exportar vista actual” y escogemos el formato de tiempo.

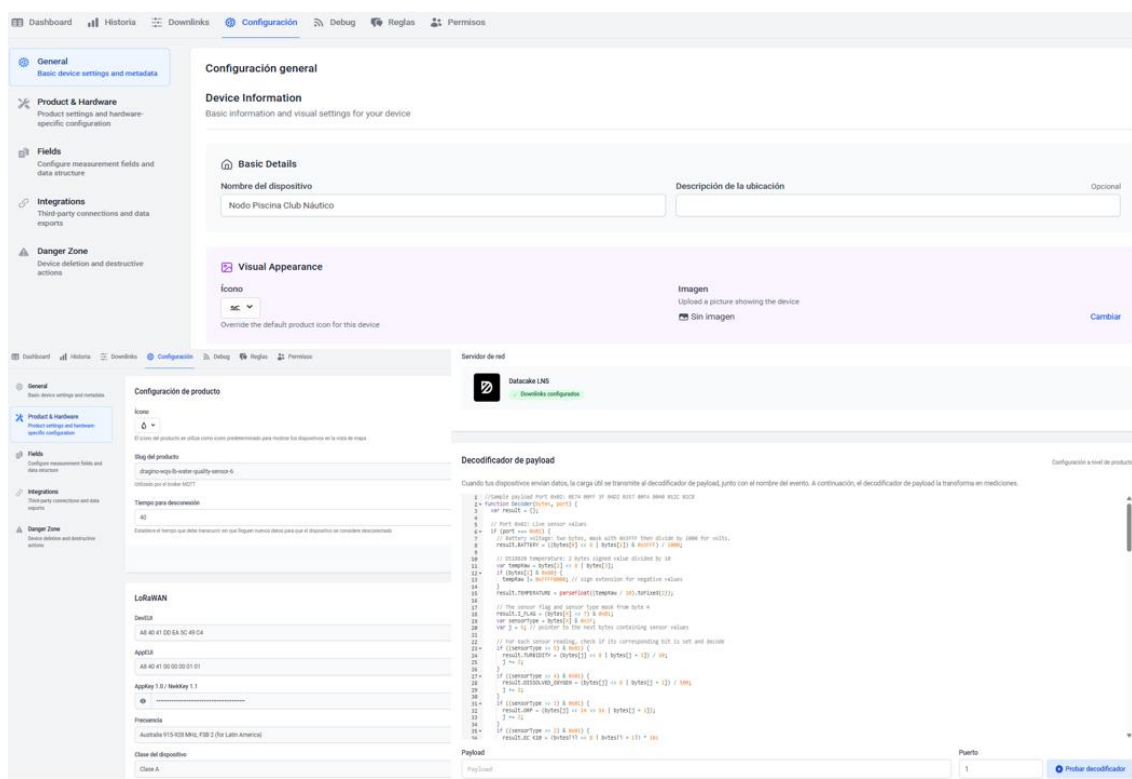
Figura 42

Historia de los datos y su exportación en CSV

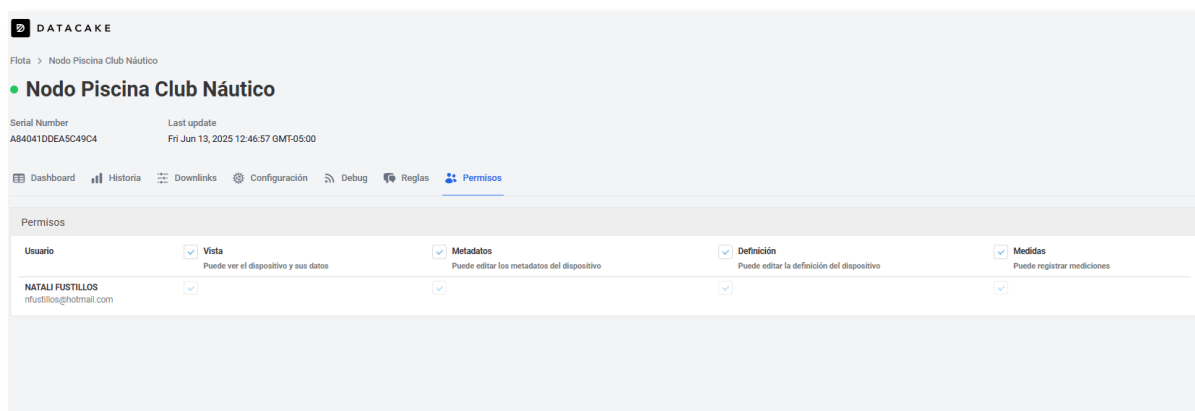


Pestaña de Configuración del Dashboard

En la pestaña “Configuración”, se pueden configurar distintos campos, por ejemplo, el nombre del dispositivo, su ubicación, el tiempo que debe transcurrir sin que lleguen nuevos datos para que el dispositivo se considere desconectado, y también incluye la configuración del decodificador de payload, el cual es el campo más importante.

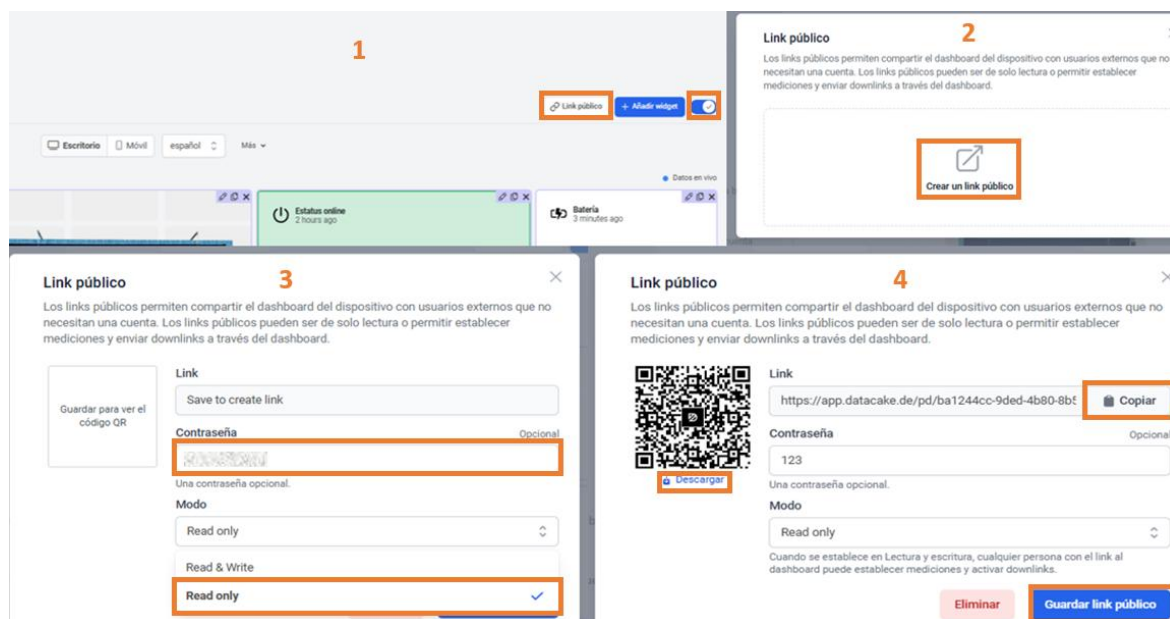
Figura 43**Pestaña de configuración del dashboard****Configuración de Permisos**

En la pestaña “Permisos”, se pueden editar los permisos de usuario al dashboard, las opciones de permisos son: ver dispositivo y sus datos, editar metadatos, editar definición del dispositivo y registrar nuevas mediciones.

Figura 44*Configuración de permisos del dashboard compartido***Publicación del Dashboard**

Una vez finalizado el diseño del dashboard en Datacake, es posible compartirlo públicamente mediante un enlace o código QR, esto es útil para permitir el acceso a usuarios externos como entrenadores, administradores de la piscina, entre otros. Los pasos a seguir para crear el link y código QR público son:

1. Activar el modo edición del dashboard y hacer clic en el botón “Link Público”.
2. En la ventana emergente, hacer clic en “Crear un link público”.
3. Se generará un enlace público y un código QR automáticamente, de forma opcional se puede establecer una contraseña con dos tipos de permiso, solo de lectura o de lectura y escritura.
4. Finalmente descargar el código QR y copiar el link.

Figura 45*Generar enlace y código QR público del dashboard***Figura 46***Código QR del dashboard*

Link público del dashboard: <https://app.datacake.de/pd/ba1244cc-9ded-4b80-8b5d-bca52e8159ed>

ANEXO E – CONFIGURACIÓN DE ALERTAS EN DATACAKE

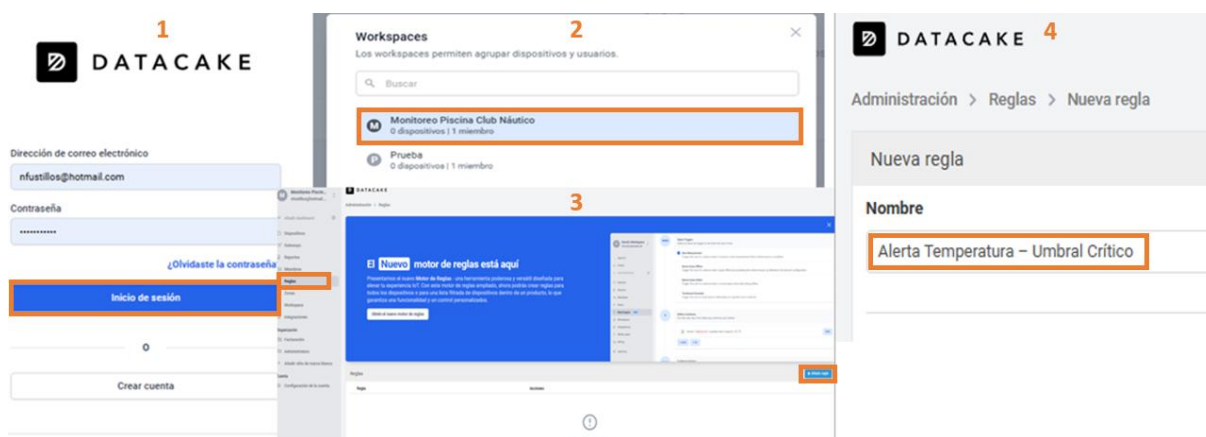
El proceso de configuración se realizó desde la pestaña “Reglas”, donde se configuraron condiciones específicas para cada dispositivo y campo (sensor).

Paso 1: Crear Nuevas Reglas

1. Iniciar sesión en Datacake e ingresar al Workspace.
2. Ir a la pestaña “Reglas”.
3. Hacer clic en “Añadir Regla”.
4. Asignar un nombre a la regla, por ejemplo: Alerta Temperatura – Umbral Crítico.

Figura 47

Crear nuevas reglas



Paso 2: Definir Condiciones para las Reglas

1. Seleccionar el dispositivo que se va a utilizar, en este caso es el “Nodo Piscina Club Náutico”.
2. Seleccionar el campo/sensor que se quiere monitorear, por ejemplo, la temperatura.
3. Asignar las condiciones que activaran la regla, por ejemplo:
 - Si Temperatura es menor a 28 °C, con una histéresis de 0.2 °C.
 - O si Temperatura es mayor a 30 °C, con una histéresis de 0.2 °C.
4. Configurar la histéresis para cada condición.

- Esta permite evitar alertas múltiples causadas por pequeñas fluctuaciones, al establecer una zona de tolerancia antes de volver a activar la regla.

Figura 48*Definir condiciones para las Reglas*

The figure shows three sequential screenshots of a rule configuration interface, labeled 1, 2, and 3, illustrating the steps to define conditions for a rule.

Screenshot 1: Shows the 'Nueva regla' (New rule) screen. The 'Nombre' (Name) field is 'Alerta Temperatura - Umbral Crítico'. Under 'Condiciones' (Conditions), the 'Si' (If) condition is set to 'Por favor, elige' (Please choose), and the 'Then' action is 'Nodo Piscina Club Náutico' (Piscina Club Náutico node).

Screenshot 2: Shows the 'Condiciones' (Conditions) screen. The 'Si' condition is set to 'Por favor, elige' (Please choose), and the 'Then' action is 'Temperature'.

Screenshot 3: Shows the 'Condiciones' (Conditions) screen. The 'Si' condition is set to 'Temperature es menor a 0' (Temperature is less than 0). The 'Then' action is 'Operación' (Operation), with 'Actual' (Actual) selected.

Table 4: A table showing the final rule configuration for temperature monitoring.

Condiciones	Si	Temperatura	es	menor a	28	°C con una histéresis de	0.2	°C
Or	Temperatura	es	mayor a	30	°C con una histéresis de	0.2	°C	

Paso 3: Configurar Acciones para las Reglas

1. Seleccionar la acción “Enviar email”.
2. Ingresar la dirección de correo electrónico del destinatario.
3. Escribir un asunto y mensaje personalizados.
4. Utilizar la función “Insertar marcador de posición” para incluir variables dinámicas, por ejemplo:
 - Nombre del dispositivo.
 - Valor actual del sensor.

Figura 49*Configurar acciones para las Reglas*

Then

Enviar email 1

Enviar email

Enviar un SMS

Llamar a un webhook

Enviar downlink

Ejecutar la función

DZero OS

Then

Enviar email 2

Para:

nfustillos@hotmail.com (NATALI FUSTILLOS) x luciorojasm@hotmail.es x example@domain.com Añadir

Asunto:

Alerta de Temperatura Crítica

Mensaje:

Bold Italic Underline Monospace Insertar marcador de posición

Se ha detectado una anomalía en la temperatura de la piscina, la temperatura es de {{ devices["cf446bbc-d3d5-4c16-bea2-d4187f7e98a7"]["measurements"]["TEMPERATURE"] }}; El valor registrado está fuera del rango permitido, por favor, verificar el estado del agua lo antes posible.

Paso 4: Definir Frecuencia de Ejecución y Reactivación para las Reglas

1. Establecer un límite de frecuencia, por ejemplo, máximo una vez cada 600 segundos.
2. NO activar la opción “Permitir la reactivación”, para evitar que el sistema envíe muchos mails por un mismo evento, de esta forma la regla no volverá a dispararse hasta que el valor vuelva a estar dentro del rango permitido y luego salga nuevamente.
3. Finalmente, hacer clic en “Crear regla”, estas reglas se pueden editar, desactivar temporalmente o eliminar.

Figura 50*Definir frecuencia de ejecución y reactivación para las reglas*

Llevar a cabo estas acciones como máximo una vez cada 600 segundos. 1

Permitir la reactivación

Si se permite la reactivación, las acciones de la regla se ejecutarán cada vez que se registre una medición antes de poder activarse de nuevo.

Crear regla Cancelar

Reglas 2

Regla	Acciones
Alerta ORP_Alt y pH_Bajo - Umbral Crítico	Enviar email
Alerta ORP_Bajo y pH_Alt - Umbral Crítico	Enviar email
Alerta ORP_Alt y TEMP_Bajo - Umbral Crítico	Enviar email
Alerta ORP_Bajo y TEMP_Alt - Umbral Crítico	Enviar email
Alerta ORP_Bajo - Umbral Crítico	Enviar email
Alerta Temperatura - Umbral Crítico	Enviar email
Alerta pH - Umbral Crítico	Enviar email

Editar regla

Desactivar regla

Eliminar regla

ANEXO F – Documentación Visual del Proceso de Instalación del Sistema

Instalación del Gateway

Se realizó la instalación del gateway LoRaWAN en la oficina administrativa, el cual fue conectado al router de internet mediante cable Ethernet, y se conectó a la fuente de energía utilizando una extensión eléctrica, finalmente, el equipo fue organizado y montado sobre el rack de red del club para protección y estabilidad operativa.

Figura 51

Proceso de instalación del gateway



Figura 52

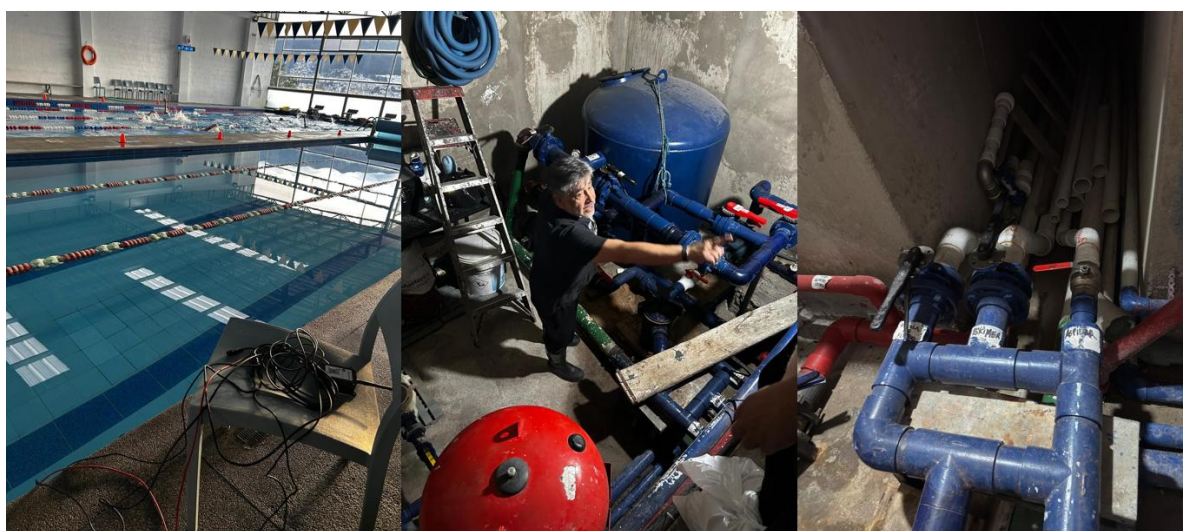
Instalación final del gateway



Durante esta visita de campo, se llevaron a cabo pruebas de conectividad de los sensores en el área de la piscina, en el cuarto de máquinas y túneles subterráneos, con el objetivo de verificar la estabilidad del enlace LoRaWAN. En el cuarto de máquinas se discutieron las posibles opciones de instalación de los sensores, por ejemplo, en las tuberías principales del sistema hidráulico de extracción.

Figura 53

Pruebas de conectividad y posible ubicación de los sensores



Instalación de Sensores

Se realizó una nueva visita de campo para la instalación de los sensores, la cual se llevó a cabo en el cuarto de máquinas del sistema hidráulico del club. Primero, se apagó completamente el sistema de recirculación y se vació el agua de las tuberías, se verificó que la nueva pieza fabricada permitiera la inserción correcta del sensor de temperatura, utilizando un termopozo roscado. Luego, se acopló una válvula de purga al extremo final de la pieza, para facilitar la evacuación de aire atrapado en el sistema de recirculación.

Figura 54

Ajuste del termopozo y preparación de la nueva pieza



Para la instalación fue necesario cortar un tramo de la tubería existente, en la parte de extracción del agua, ya que este tramo tenía un tapón roscado. Se procedió a retirar cuidadosamente los restos internos de la rosca y la goma, hasta lograr una superficie lisa que permitiera insertar la unión correctamente.

Figura 55

Corte y limpieza del tramo de tubería para la instalación



Finalmente, se prepararon los sensores para su instalación, aplicando cinta de teflón en las roscas para asegurar un sellado hermético. El sensor de temperatura fue asegurado mediante una prensa estopa para evitar que se moviera dentro del termopozo, los sensores se instalaron hacia abajo para que no interfiriera con el acceso a las otras válvulas del sistema hidráulico, el orden de instalación de la nueva pieza fue el siguiente:

1. Conexión entre tubería de recolección y la nueva pieza.
2. Válvula de bola para aislar el segmento nuevo.
3. El sensor de temperatura dentro del termopozo.
4. Sensor de pH.
5. Sensor de ORP.
6. Válvula de purga.

Figura 56

Ensamblaje del nuevo segmento con los sensores



Una vez ubicados los sensores, se aplicó el pegamento especializado para unir la nueva pieza con el tramo cortado de la tubería de extracción. Para garantizar la estabilidad estructural, especialmente cuando la tubería está llena de agua, se añadió un soporte debajo de la pieza, lo cual evita el desplazamiento o daño por el peso.

Figura 57

Integración de la nueva pieza con la tubería de extracción

**Figura 58**

Instalación final de los sensores



Instalación del Nodo

Para la instalación del nodo, se comenzó cortando la longitud necesaria de manguera corrugada, en esta se introdujeron los cables de los sensores de pH y ORP. El sensor de temperatura, al no tener un cable de menor longitud, no requirió el uso de la manguera ya que su conexión alcanzaba directamente el punto de instalación del nodo.

Una vez pasados los cables por la manguera, esta se fue fijando a lo largo de la tubería mediante bridas plásticas, lo cual permitió una organización segura del cableado. El cable del sensor de temperatura también fue asegurado por la parte externa de la manguera igual mediante bridas plásticas.

Figura 59

Preparación y fijación de la manguera para cableado



Luego, se fijó físicamente el nodo en la pared más cercana al sensor de temperatura, que es el que tiene el cable más corto, perforando con taladro y utilizando tornillos ya que el nodo contaba con una carcasa con soportes integrados para montaje en exteriores. El extremo de la manguera también fue fijado a la pared mediante una abrazadera metálica.

Figura 60

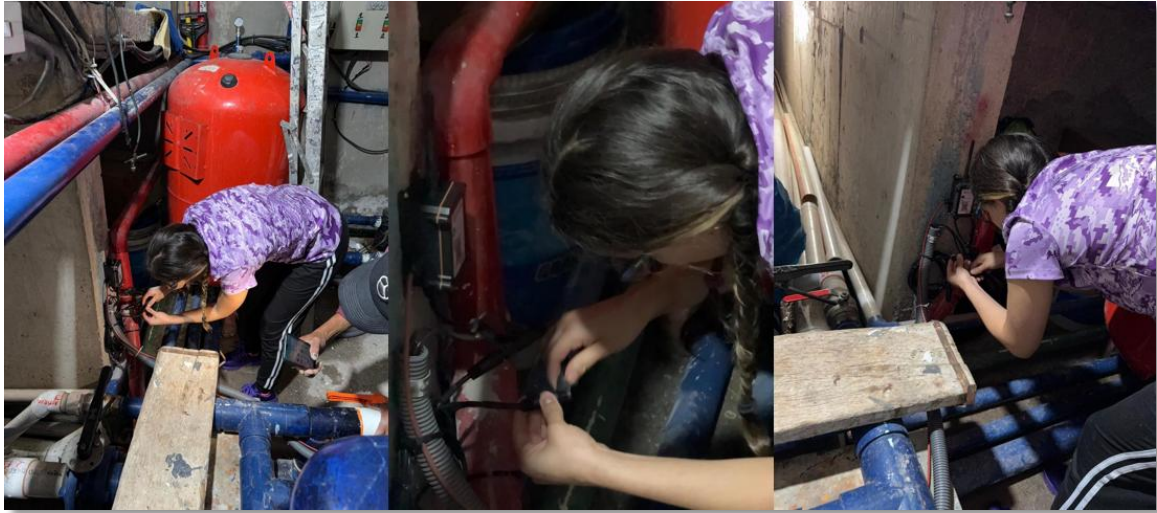
Montaje del nodo en la pared del cuarto de máquinas



Se realizaron las conexiones físicas de los sensores de pH y ORP al nodo, y se encendió el equipo para iniciar la transmisión de datos hacia el gateway LoRaWAN previamente instalado, permitiendo así la visualización en el dashboard.

Figura 61

Conexión de sensores al nodo y encendido del equipo

**Figura 62**

Instalación final del nodo



Finalmente, se llenaron nuevamente las tuberías de agua, se activó el sistema de recirculación y se utilizó la válvula incorporada en la nueva sección, para purgar el aire del sistema hidráulico. Se verificó que no existieran fugas ni otros inconvenientes operativos.

Figura 63

Verificación de la instalación del sistema de monitoreo IoT



ANEXO G – Registros Detallados del Proceso de Evaluación

Se presenta un extracto representativo de las lecturas recolectadas automáticamente, por el sistema IoT implementado en la piscina del Club Náutico, durante el periodo de evaluación de 7 días. Los datos fueron exportados desde la plataforma Datacake con un intervalo de muestreo de 3 horas, para que la tabla no se vuelva demasiado extensa.

Tabla 11

Mediciones del sistema IoT durante el periodo de evaluación

Fecha y Hora	Temperatura (°C)	pH	ORP (mV)
12/7/2025, 1:00:00 a.m.	28.3	8.23	990
12/7/2025, 4:00:00 a.m.	28.6	8.24	863
12/7/2025, 7:00:00 a.m.	28.2	7.99	1069
12/7/2025, 10:00:00 a.m.	27.1	7.93	962
12/7/2025, 1:00:00 p.m.	28.7	7.72	885
12/7/2025, 4:00:00 p.m.	28.9	7.7	576
12/7/2025, 7:00:00 p.m.	28.6	7.67	403
12/7/2025, 10:00:00 p.m.	29	8.25	278
13/7/2025, 1:00:00 a.m.	29.3	8.32	145
13/7/2025, 4:00:00 a.m.	29.4	8.26	172
13/7/2025, 7:00:00 a.m.	29.1	7.95	1100
13/7/2025, 10:00:00 a.m.	29	7.85	991
13/7/2025, 1:00:00 p.m.	29.2	8	894
13/7/2025, 4:00:00 p.m.	29.1	7.75	819
13/7/2025, 7:00:00 p.m.	29.1	7.99	676

13/7/2025, 10:00:00 p.m.	29.8	8.35	740
14/7/2025, 1:00:00 a.m.	29.7	8.26	832
14/7/2025, 4:00:00 a.m.	29.1	7.98	1328
14/7/2025, 7:00:00 a.m.	29.3	7.88	1026
14/7/2025, 10:00:00 a.m.	29.1	7.81	983
14/7/2025, 1:00:00 p.m.	29.7	7.82	843
14/7/2025, 4:00:00 p.m.	30	8.285	817.5
14/7/2025, 7:00:00 p.m.	28.9	7.9	480
14/7/2025, 10:00:00 p.m.	28.3	9.17	1113
15/7/2025, 1:00:00 a.m.	28.9	9.05	1029
15/7/2025, 4:00:00 a.m.	29.4	8.33	1357
15/7/2025, 7:00:00 a.m.	29	8.25	1151
15/7/2025, 10:00:00 a.m.	28.9	8.12	1097
15/7/2025, 1:00:00 p.m.	29.3	8.24	1111
15/7/2025, 4:00:00 p.m.	29.8	8.17	1095.5
15/7/2025, 7:00:00 p.m.	29.1	8	1018
15/7/2025, 10:00:00 p.m.	28.8	8.52	945
16/7/2025, 1:00:00 a.m.	29.3	8.33	1140
16/7/2025, 4:00:00 a.m.	29.2	8.07	1195
16/7/2025, 7:00:00 a.m.	28.7	8.15	1033
16/7/2025, 10:00:00 a.m.	29.1	7.89	1031
16/7/2025, 1:00:00 p.m.	29.4	7.81	993
16/7/2025, 4:00:00 p.m.	29.2	8.04	966
16/7/2025, 7:00:00 p.m.	29.5	7.88	880

16/7/2025, 10:00:00 p.m.	29	7.74	607
17/7/2025, 1:00:00 a.m.	29.1	8.42	1032
17/7/2025, 4:00:00 a.m.	29	8.02	1249
17/7/2025, 7:00:00 a.m.	29.3	7.91	1030
17/7/2025, 10:00:00 a.m.	29.6	7.86	997
17/7/2025, 1:00:00 p.m.	30.1	8.14	959
17/7/2025, 4:00:00 p.m.	30.3	7.96	899
17/7/2025, 7:00:00 p.m.	29.2	7.81	720
17/7/2025, 10:00:00 p.m.	28.6	9.1	676
18/7/2025, 1:00:00 a.m.	29.5	9	883
18/7/2025, 4:00:00 a.m.	29.9	8.27	1288
18/7/2025, 7:00:00 a.m.	29.4	8.38	1073
18/7/2025, 10:00:00 a.m.	29.9	8.14	1061
18/7/2025, 1:00:00 p.m.	30.3	7.96	1038
18/7/2025, 4:00:00 p.m.	30.6	7.84	993
18/7/2025, 7:00:00 p.m.	30.5	7.75	896
18/7/2025, 10:00:00 p.m.	30.1	8.75	990

A continuación, se muestran los gráficos de tendencias históricas de cada parámetro registrado, durante el periodo de evaluación. Cada gráfico permite observar los picos, fluctuaciones y patrones relacionados con el comportamiento del agua y la rutina operativa del Club Náutico.

Figura 64
Registro de temperatura durante el periodo de evaluación

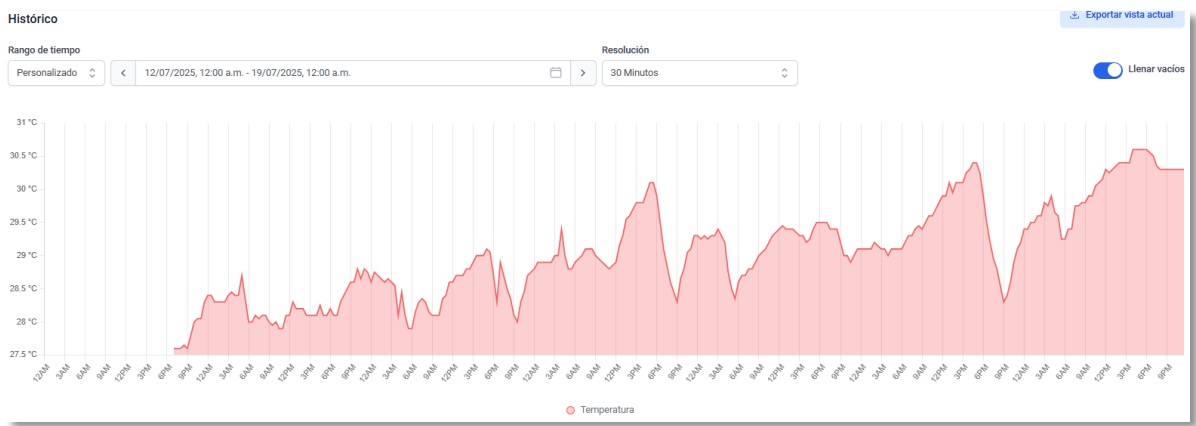


Figura 65
Registro de pH durante el periodo de evaluación



Figura 66*Registro de ORP durante el periodo de evaluación*

Finalmente, se adjuntan fotografías de los formularios de registro utilizados por el personal del club para anotar manualmente las mediciones de temperatura, cloro y pH, durante el periodo de evaluación.

Figura 67

Registro manual durante el periodo de evaluación

FECHA	HORA	PISCINA 25			PISCINA 17M			NOMBRE	FIRMA
		°C	COLOR	PH	°C	COLOR	PH		
11/07/2025	PM 11:30	30°C	1.5	7.6	30°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
11/07/2025	21:00	29°C	0.5	7.2	29°C	0.5	7.2	Alfredo	[Firma]
12/07/2025	06:45	29°C	1.5	7.6	29°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
13/07/2025	06:45	29°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
13/07/2025	PM 09:00	30°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
14/07/2025	06:00	29°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
14/07/2025	12:00	29°C	1.00	7.6	31°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
14/07/2025	15:30	30°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
14/07/2025	PM 17:50	30°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
14/07/2025	21:00	29°C	1.00	7.2	31°C	1.00	7.2	Alfredo	[Firma]
15/07/2025	06:00	29°C	1.5	7.6	30°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]

FECHA	HORA	PISCINA 25			PISCINA 17M			NOMBRE	FIRMA
		°C	COLOR	PH	°C	COLOR	PH		
15/07/2025	12:00	29°C	1.00	7.6	30°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
15/07/2025	15:30	29°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
15/07/2025	21:00	29°C	1.00	7.6	30°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
16/07/2025	06:00	29°C	1.5	7.6	30°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
16/07/2025	12:00	29°C	1.00	7.6	30.5°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
16/07/2025	15:30	29°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
16/07/2025	PM 19:00	29°C	1.5	7.6	31°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
16/07/2025	21:00	29°C	1.00	7.6	30°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
17/07/2025	06:00	29°C	1.5	7.6	30°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]
17/07/2025	12:00	29°C	1.00	7.6	30°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
17/07/2025	15:30	29°C	1.5	7.6	30°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]

FECHA	HORA	PISCINA 25			PISCINA 17M			NOMBRE	FIRMA
		°C	COLOR	PH	°C	COLOR	PH		
17/07/2025	21:00	29°C	1.00	7.6	30°C	1.00	7.6	Alfredo	[Firma]
18/07/2025	06:00	29°C	1.5	7.6	30°C	1.5	7.6	Alfredo	[Firma]