

**Gestión inteligente del alcantarillado en la comuna 3 de Pasto a través de un
prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo**

Benavides Celis Kevin Alexander

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD CESMAG

MAYO, 2026

Gestión inteligente del alcantarillado en la comuna 3 de Pasto a través de un prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo

Autores:

Benavides Celis Kevin Alexander

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas, en modalidad investigación.

Director

Ayala Benavides Joan Carlos

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD CESMAG

MAYO, 2026

Nota de aceptación

Nota de exclusión

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado, fruto de mi esfuerzo y perseverancia, a toda mi familia, en especial a mis abuelos Cesar Efraín Benavides Narváez y Marta Alicia Torres, quienes gracias a su apoyo incondicional han sido el pilar fundamental que me ha dado la motivación y determinación para cumplir todos mis objetivos a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de este proyecto de grado.

A la Universidad por brindarme los conocimientos, el espacio y las herramientas necesarias para mi formación como ingeniero.

A mi asesor el magister Joan Carlos Ayala Benavides, por compartirme sus conocimientos técnicos y su orientación durante el desarrollo del sistema IoT.

A mis abuelos Cesar Efraín Benavides Narváez y Marta Alicia Torres, quienes siempre han estado a mi lado llenándome de confianza y enseñanzas en todas las etapas de mi vida.

A mis compañeros de estudio por su compañerismo y apoyo mutuo durante los años de carrera.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	19
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	20
A. OBJETO O TEMA DE ESTUDIO.....	20
B. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	20
C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
D. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
E. OBJETIVOS.....	21
E.1 Objetivo general.....	21
E.2 Objetivos específicos	21
F. JUSTIFICACIÓN.....	21
G. DELIMITACIÓN	22
II. MARCO TEÓRICO	23
A. ANTECEDENTES	23
A.1 Internacionales.....	23
A.2 Nacionales	25
A.3 Regionales	26
B. SUPUESTOS TEÓRICOS	28
B.1 Gestión inteligente del agua	28
B.2 Alcantarillado	29
B.3 Prototipo	30
B.4 Plataforma.....	30
B.5 IoT	31
B.6 Plataforma IoT	32

B.7 Monitoreo	33
C. VARIABLES DEL ESTUDIO	33
C.1 Variables Independientes.....	33
C.2 Variables Dependientes	33
D. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	35
D.1 Hipótesis de investigación.....	36
D.2 Hipótesis nula	36
D.3 Hipótesis alterna	36
III. METODOLOGÍA	37
A. PARADIGMA	37
B. ENFOQUE.....	37
C. MÉTODO	37
D. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
E. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
F. POBLACIÓN	38
G. MUESTRA.....	38
H. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	39
I. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	43
A. Adquirir información de los procesos que se utilizan actualmente para el mantenimiento de la red de alcantarillado a partir de los datos suministrados por EMPOPASTO S.A E.S.P.....	43
A.1 Procesos actuales para el mantenimiento de la red de alcantarillado pluvial.....	44
B. Diseñar un sistema de monitoreo preventivo capaz de medir y monitorear las condiciones de la red de alcantarillado.	55
B.1 Arquitectura general del sistema	55
B.2 Especificaciones de los componentes.....	57

B.3 Lógica para alertas.....	59
B.4 Diseño de la base de datos.....	60
B.5 Interfaz de usuario	65
C. Validar el funcionamiento del prototipo de plataforma IoT mediante pruebas en ambiente controlado que permitan medir y evaluar los datos recolectados por el sistema.	70
C.1 Ambiente de pruebas	70
C.2 Pruebas de funcionamiento.....	71
C.3 Pruebas ante corte eléctrico	74
C.4 Pruebas ante corte de conectividad.....	74
C.5 Medición del tiempo medio de detección MTDD	75
C.6 Resultados página web	76
V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	80
A. Análisis del objetivo específico 1.....	80
B. Análisis objetivo específico 2.....	83
C. Análisis del objetivo específico 3.....	84
D. Contraste con las hipótesis de investigación	88
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figuras I. SOLICITUD DE INFORMACIÓN PÚBLICA.....	40
Figuras II. PLANO DEL ALCANTARILLADO DE LA COMUNA 3.	42
Figuras III. MAPA SATELITAL DE LA COMUNA 3	43
Figuras IV. MANTENIMIENTO CORRECTIVO ACTUAL, PÁGINA 1.....	45
Figuras V. MANTENIMIENTO CORRECTIVO ACTUAL, PÁGINA 2	46
Figuras VI. MANTENIMIENTO CORRECTIVO ACTUAL, PÁGINA 3.....	47
Figuras VII. MANTENIMIENTO CORRECTIVO ACTUAL, PÁGINA 4	48
Figuras VIII. MANTENIMIENTO CORRECTIVO ACTUAL, PÁGINA 5	49
Figuras IX. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL, PÁGINA 1	51
Figuras X. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL, PÁGINA 2.....	52
Figuras XI. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL, PÁGINA 3	53
Figuras XII. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL, PÁGINA 4	54
Figuras XIII. DIAGRAMA ARQUITECTÓNICO.....	55
Figuras XIV. INTEGRACIÓN DE COMPONENTES.....	59
Figuras XV. MODELO ENTIDAD - RELACIÓN.....	61
Figuras XVI. INICIO DE SESIÓN	66
Figuras XVII. PANEL DE MONITOREO	67
Figuras XVIII. HISTORIAL DE INCIDENCIAS	68
Figuras XIX. REGISTRO DE MANTENIMIENTO	69
Figuras XX. MANTENIMIENTOS ASIGNADOS.....	69
Figuras XXI. PROTOTIPO IOT COMPLETO Y LISTO PARA PRUEBAS.....	71
Figuras XXII. PROTOTIPO IOT CON NIVEL BAJO	72
Figuras XXIII. PROTOTIPO IOT CON NIVEL MEDIO	73
Figuras XXIV. PROTOTIPO IOT CON NIVEL CRÍTICO.....	74
Figuras XXV. PANEL DE ADMINISTRACIÓN	77
Figuras XXVI. TABLA SENSOR_DATA	78
Figuras XXVII. HISTORIAL DE INCIDENCIAS.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla I. BARRIOS DE LA COMUNA 3.....	43
Tabla II. COMPONENTES HARDWARE DEL PROTOTIPO DE PLATAFORMA IOT.....	58
Tabla III. COMPONENTES SOFTWARE Y FRAMEWORKS DEL SISTEMA.....	59
Tabla IV. UMBRALES DEL PROTOTIPO	60
Tabla V. TABLA COMMUNITIES	62
Tabla VI. TABLA STATIONS	63
Tabla VII. TABLA SENSORS	63
Tabla VIII. TABLA SENSOR_DATA	64
Tabla IX. TABLA MAINTENANCES.....	64
Tabla X. TABLA USERS	65
Tabla XI. RESULTADOS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	72
Tabla XII. RESULTADOS MTTD	75
Tabla XIII. COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO CORRECTIVO ACTUAL Y EL SISTEMA IOT	81
Tabla XIV. COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO PREVENTIVO ACTUAL Y EL SISTEMA IOT	82
Tabla XV. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE LOS COMPONENTES	84
Tabla XVI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MTTD.....	86
Tabla XVII. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA.....	88

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. RESPUESTA SOLICITUD DE INFORMACIÓN.....	97
Anexo II. PLANO DEL SECTOR (COMUNA 3).....	98
Anexo III. PROCEDIMIENTO MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.....	99
Anexo IV. PROCEDIMIENTO MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.....	104

GLOSARIO

ALCANTARILLADO PLUVIAL: Red de tuberías y estructuras diseñada para captar y conducir las aguas lluvias provenientes de las precipitaciones hacia puntos de descarga, con el fin de evitar inundaciones y desbordamientos en las zonas urbanas.

API REST: Interfaz de programación de aplicaciones (Application Programming Interface) que sigue el estilo arquitectónico REST (Representational State Transfer), permitiendo la comunicación entre sistemas mediante solicitudes HTTP estándar.

BACKEND: Componente de un sistema de software encargado del procesamiento de datos, la lógica de negocio y la gestión de la base de datos, que opera en el servidor y no es visible directamente para el usuario final.

BUZZER: Dispositivo electrónico que genera una señal sonora al recibir corriente eléctrica, utilizado en el prototipo como indicador auditivo de alerta cuando el nivel de agua alcanza el umbral crítico.

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Memoria no volátil integrada en el microcontrolador ESP32 que permite almacenar datos de forma permanente, de modo que persisten incluso ante cortes de energía eléctrica.

ESP32: Microcontrolador de doble núcleo con conectividad WIFI y Bluetooth integrada, desarrollado por Espressif Systems. Constituye la unidad central de procesamiento del prototipo IoT desarrollado en este proyecto.

FRONTEND: Capa de presentación de un sistema de software, correspondiente a la interfaz con la que interactúa el usuario. En este proyecto se desarrolla con React y Vite como herramientas principales.

HTTP: HyperText Transfer Protocol. Protocolo de comunicación utilizado para la transferencia de datos entre el microcontrolador ESP32 y el servidor backend mediante solicitudes POST.

IoT (Internet de las Cosas): Paradigma tecnológico que describe la interconexión de dispositivos físicos a través de redes de comunicación, permitiendo la recopilación, transmisión y procesamiento de datos de forma autónoma.

JWT (JSON Web Token): Estándar de autenticación basado en tokens que permite verificar la identidad de los usuarios y controlar el acceso a los recursos del sistema de forma segura y sin estado.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Conjunto de actividades que se ejecutan cuando un equipo, instrumento o estructura ha presentado una falla o parada forzosa, con el fin de restablecer su funcionamiento normal.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Conjunto de actividades planificadas y ejecutadas periódicamente con el propósito de garantizar el correcto funcionamiento de un sistema o infraestructura, evitando que se produzcan fallas o paradas imprevistas.

MONITOREO PREVENTIVO: Proceso de seguimiento continuo y sistemático del estado de una infraestructura o sistema, con el fin de detectar anomalías o condiciones críticas antes de que se conviertan en fallas o emergencias visibles.

MTTD (Mean Time to Detect): Tiempo medio de detección. Métrica que cuantifica el tiempo promedio transcurrido desde que ocurre una anomalía o cambio de estado en el sistema hasta que este es detectado y registrado por el sistema de monitoreo.

PROTOTIPO IOT: Unidad física del sistema de monitoreo, compuesta por el microcontrolador ESP32, el sensor ultrasónico SRF04, el módulo RTC DS3231, los indicadores LED, el buzzer y la batería, encargada de medir el nivel de agua en el colector y transmitir los datos al servidor.

ORM (Object-Relational Mapping): Técnica de programación que permite mapear objetos de un lenguaje de programación a tablas de una base de datos relacional, simplificando las operaciones de consulta e inserción. En este proyecto se utiliza Sequelize como ORM.

POSTGRESQL: Sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto, utilizado en este proyecto para el almacenamiento persistente del histórico de lecturas, estaciones, sensores, mantenimientos y usuarios del sistema.

RTC (Real-Time Clock): Módulo de reloj en tiempo real que provee una marca de tiempo exacta y sincronizada para cada registro generado por el sensor, garantizando la trazabilidad temporal de los datos incluso ante cortes de energía.

SENSOR ULTRASÓNICO SRF04: Sensor de distancia que mide el tiempo de vuelo de ondas ultrasónicas para calcular la distancia entre el sensor y la superficie del agua dentro del colector pluvial, constituyendo la variable principal del sistema de monitoreo.

RESUMEN ANALÍTICO DE ESTUDIO (RAE)	
Título	Gestión inteligente del alcantarillado en la comuna 3 de Pasto a través de un prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo
Autor	Kevin Alexander Benavides Celis
Institución	Universidad CESMAG/Facultad de Ingeniería/Programa de Ingeniería de Sistemas
Director	Joan Carlos Ayala Benavides
Año	2026
Palabras clave	Alcantarillado pluvial, IoT, monitoreo preventivo, plataforma web, sensor ultrasónico
Descripción	En el trabajo de investigación se diseña y valida un prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo de la red de alcantarillado pluvial en la Comuna 3 de Pasto, Nariño, como alternativa técnica a los procedimientos de mantenimiento correctivo y preventivo operados por EMPOPASTO S.A. E.S.P., los cuales carecen de datos dinámicos sobre el estado real de la red. El sistema integra un dispositivo IoT compuesto por un microcontrolador ESP32, un sensor ultrasónico SRF04 y un módulo RTC DS3231, con un backend desarrollado en Node.js, una base de datos PostgreSQL y una interfaz web basada en React. Las 25 pruebas de validación arrojaron resultados totalmente positivos y se obtuvo un tiempo medio de detección (MTTD) promedio de 2.841 segundos.
Fuentes	Referencias bibliográficas en formato IEEE. Las fuentes cubren tres condiciones principales, antecedentes en gestión y mantenimiento de redes de alcantarillado a nivel internacional, nacional y regional; Fundamentos teóricos de IoT, sensores, microcontroladores, plataformas de monitoreo y protocolos de comunicación; Fundamentos metodológicos de investigación cuantitativa, correlacional y cuasiexperimental. Entre las fuentes institucionales destacan los procedimientos ACAL-PR-08 de Mantenimiento Correctivo y ACAL-PR-10 de Mantenimiento Preventivo suministrados por EMPOPASTO S.A. E.S.P. mediante solicitud formal de información pública.
Contenidos	I. Problema de investigación: planteamiento del problema de desbordamientos e inundaciones en la red pluvial de la Comuna 3, formulación del problema, objetivos, justificación y delimitación. II. Marco teórico: antecedentes internacionales, nacionales y regionales sobre gestión de alcantarillado e IoT; supuestos teóricos sobre IoT, sensores, microcontroladores, plataformas de monitoreo y mantenimiento; variables del estudio e hipótesis. III. Metodología: paradigma positivista, enfoque cuantitativo, método científico, tipo correlacional, diseño cuasiexperimental, muestra intencional, técnicas de recolección como la solicitud de información pública, revisión documental y simulación operativa del prototipo, instrumentos y criterios de validez y confiabilidad. IV. Resultados: diagnóstico de los procedimientos de EMPOPASTO S.A. E.S.P., diseño del sistema IoT con arquitectura de tres capas, especificación de hardware y software, diseño de la base de datos, interfaz web, pruebas de funcionamiento, pruebas de resiliencia y medición del MTTD. V.

	Análisis y discusión: interpretación científica de los resultados por objetivo, comparación con antecedentes, reconocimiento de limitaciones y contraste con las tres hipótesis. Conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos como lo son la respuesta de solicitud de información, plano de la red, procedimientos institucionales ACAL-PR-08 y ACAL-PR-10.
Metodología	Paradigma: Positivista. Enfoque: Cuantitativo. Método: Científico. Tipo: Correlacional. Diseño: Cuasiexperimental. Población: Red de alcantarillado pluvial de la Comuna 3 de Pasto, tramos con mayor incidencia de obstrucciones y desbordamientos. Muestra: Intencional, no probabilística “n=3” donde son los tres puntos críticos de la red identificados a partir de los registros suministrados por EMPOPASTO S.A. E.S.P.. Técnicas de recolección: Solicitud de información pública dirigida a EMPOPASTO S.A. E.S.P., carta formal del 13 de mayo de 2025; Revisión documental de los procedimientos institucionales ACAL-PR-08 y ACAL-PR-10; Simulación operativa del prototipo mediante protocolo de cinco bloques de prueba, pruebas de funcionamiento, resistencia a cortes eléctricos, resistencia a cortes de conectividad y medición del MTTD en 10 repeticiones.
Conclusiones	I. El diagnóstico de los procedimientos institucionales de EMPOPASTO S.A. E.S.P. reveló que tanto el mantenimiento correctivo actual, con código ACAL-PR-08, como el mantenimiento preventivo actual, con código ACAL-PR-10, operan sin datos dinámicos sobre el estado real de la red, confirmando que existe una brecha tecnológica que justifica el desarrollo del sistema IoT propuesto. Esta limitación estructural implica que las intervenciones no se activan bajo criterios de monitoreo en tiempo real, sino por reporte ciudadano o por calendario anual fijo. II. El prototipo de plataforma IoT demostró ser técnicamente viable con todos los módulos implementados y en funcionamiento como la autenticación con JWT, registro continuo de lecturas en PostgreSQL con 573 registros acumulados hasta Abril del 2026, panel de monitoreo con actualización automática cada 5 segundos, historial de incidencias y módulo de gestión de mantenimientos. La plataforma opera de forma local sobre un servidor Node.js con interfaz web en React. III. Las 25 pruebas de validación arrojaron resultados totalmente positivos y un MTTD promedio de 2.841 segundos, cumpliendo con lo establecido en la hipótesis de investigación. La hipótesis de investigación se confirma, la hipótesis nula se rechaza con evidencia cuantitativa directa y la hipótesis alterna se acepta parcialmente al verificarse que los factores externos no invalidan el desempeño técnico del prototipo impidiendo su uso como herramienta de apoyo.
Autor del RAE	Kevin Alexander Benavides Celis

RESUMEN

La administración efectiva del alcantarillado pluvial en entornos urbanos constituye un desafío crítico para las empresas de servicios públicos, particularmente en ciudades donde la infraestructura enfrenta eventos recurrentes de desbordamiento. Esta investigación desarrolla el diseño y la puesta en marcha de un prototipo de plataforma basada en el Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo preventivo de la red pluvial en la Comuna 3 de Pasto para evolucionar el modelo de gestión actual de EMPOPASTO S.A. E.S.P. caracterizado por un enfoque correctivo hacia un sistema preventivo respaldado en la captura de datos en tiempo real. La arquitectura técnica integra un prototipo con un sensor ultrasónico SRF04, microcontrolador ESP32 y un módulo RTC DS3231, vinculado a un ecosistema de software con backend en Node.js, base de datos PostgreSQL y una interfaz web en React. Las fases de validación en entornos controlados ratificaron la fiabilidad de la propuesta, obteniendo un 100% de efectividad en las pruebas funcionales y un tiempo medio de detección (MTTD) de 2.841 segundos. Estos hallazgos confirman la viabilidad del sistema y su capacidad para ofrecer una detección temprana inexistente en los protocolos actuales, estableciendo una base sólida para su despliegue en los puntos críticos de la infraestructura urbana.

Palabras clave: Alcantarillado pluvial, IoT, monitoreo preventivo, plataforma web, sensor ultrasónico.

ABSTRACT

The effective management of urban stormwater drainage systems poses a critical challenge for public utility companies, particularly in cities where infrastructure is susceptible to recurrent overflow events. This research details the design and implementation of an Internet of Things (IoT) platform prototype for the preventive monitoring of the stormwater network in Comuna 3 of Pasto. The primary objective is to advance the current management model of EMPOPASTO S.A. E.S.P., shifting from a traditional corrective approach toward a preventive system driven by real-time data acquisition.

The technical architecture integrates a hardware prototype featuring an SRF04 ultrasonic sensor, an ESP32 microcontroller, and a DS3231 RTC module. This hardware is linked to a software ecosystem comprising a Node.js backend, a PostgreSQL database, and a React-based web interface. Validation phases conducted in controlled environments confirmed the reliability of the proposal, achieving 100% effectiveness in functional testing and a Mean Time to Detect (MTTD) of 2.841 seconds. These findings validate the system's viability and its capacity to provide early detection a capability currently absent in existing protocols thereby establishing a robust foundation for deployment across critical urban infrastructure points.

Keywords: Stormwater drainage, IoT, preventive monitoring, web platform, ultrasonic sensor.

INTRODUCCIÓN

La implementación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) se ha consolidado como un factor determinante para la sostenibilidad de la infraestructura urbana. Al integrar plataformas de monitoreo en servicios críticos como el alcantarillado pluvial, es posible evolucionar de modelos de gestión tradicionales hacia estrategias preventivas. Este cambio de paradigma no solo persigue la optimización operativa y económica de los sistemas, sino que busca impactar positivamente en la calidad de vida ciudadana mediante una administración inteligente y eficiente de los servicios públicos.

Para tratar el problema de las inundaciones y fallas operativas en la Comuna 3 de Pasto, se propone un prototipo IoT basado en los procedimientos de EMPOPASTO S.A. E.S.P. El sistema emplea una arquitectura de tres capas que integra un prototipo de monitoreo con microcontrolador ESP32, sensor ultrasónico SRF04 y módulo RTC DS3231, vinculado a un backend en Node.js, base de datos PostgreSQL y una interfaz en React. Esta infraestructura permite el seguimiento constante de los niveles de agua en puntos críticos, facilitando la programación de mantenimientos preventivos y optimizando los recursos institucionales a través de una solución técnica replicable en contextos similares.

Los resultados de las pruebas en ambiente controlado validaron la eficacia de la propuesta, alcanzando un 100% de éxito en los casos evaluados y un tiempo medio de detección (MTTD) de 2.841 segundos, lo que asegura la capacidad de respuesta antes de que los desbordamientos ocurran en superficie. El documento estructura este desarrollo iniciando con el diagnóstico y los objetivos, seguidos por el marco teórico sobre gestión inteligente. Finalmente, se exponen la metodología, el análisis de los hallazgos y los anexos técnicos, consolidando un aporte significativo al uso de herramientas tecnológicas para la gestión de infraestructura urbana.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A. OBJETO O TEMA DE ESTUDIO

Control sobre la red de alcantarillado pluvial para evitar desbordamientos y afectaciones en la salud de los habitantes de la comuna 3 de Pasto, Nariño.

B. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Las TIC abarcan un ecosistema diverso de herramientas, redes y programas diseñados para gestionar la información. Su función principal es articular el procesamiento y la transmisión de contenidos en múltiples formatos como texto, voz, imágenes y videos.[1]

Lenguajes de Programación

Esta sublínea de investigación se dedica a evaluar la eficiencia de diversos lenguajes de programación como herramientas de enseñanza. El enfoque principal es determinar qué recursos y metodologías potencian el desarrollo del pensamiento computacional, analizando el impacto directo que tienen la sintaxis y el diseño de la codificación en la formación técnica y la asimilación de conceptos por parte de los estudiantes.[2]

C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Pasto, Nariño se puede observar especialmente en épocas de lluvias que el sistema de alcantarillado pluvial colapsa, generando desbordamientos, estancamientos de aguas residuales urbanas, malos olores y en general afectando a la calidad de vida de los residentes que han esperado una solución durante bastante tiempo [3]. Se concluye de esto que el mantenimiento solo ocurre cuando se presenta una emergencia sanitaria, lo que multiplica los costos para empresa prestadora del servicio y aumenta los riesgos dentro de las comunidades de la ciudad.

A pesar de los esfuerzos de la Alcaldía Municipal y de la empresa encargada del sistema de alcantarillado en la ciudad, realizando inversiones superiores a los 3 mil millones de pesos para el mejoramiento de la red en algunos sectores de la ciudad [4], todavía se perciben afectaciones directas en diferentes comunidades como lo es la comuna 3, algunas de las más frecuentes son el

daño en viviendas, que implica gastos imprevistos en reparaciones, interrupción de la actividad comercial cuando los establecimientos cierran por limpieza y desinfección, debido al ingreso de aguas residuales urbanas después de cada desbordamiento al igual que la proliferación de mosquitos cuando las aguas residuales urbanas permanecen mucho tiempo estancadas.

Ante esta problemática por la evidente falta de seguimiento técnico dentro del sistema de alcantarillado pluvial se propone la creación de un sistema de monitoreo IoT con un prototipo de plataforma que permita llevar un control del nivel de agua dentro de puntos estratégicos de la red perteneciente a la comuna 3, con esta información junto con los datos obtenidos generar planes de mantenimiento con inspecciones programadas para mejorar el manejo de los recursos al priorizar intervenciones preventivas, contribuyendo a la reducción de emergencias, optimizar los recursos operativos y proteger la salud de los habitantes.

D. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorar el control de la red de alcantarillado pluvial en la comuna 3 de Pasto para prevenir inundaciones y desbordamientos dentro de la red?

E. OBJETIVOS

E.1 Objetivo general

Optimizar el control de la red de alcantarillado pluvial en la comuna 3 de Pasto, a través de IoT para el seguimiento y monitoreo preventivo.

E.2 Objetivos específicos

- Adquirir información de los procesos que se utilizan actualmente para el mantenimiento de la red de alcantarillado a partir de los datos suministrados por EMPOPASTO S.A E.S.P.
- Diseñar un sistema de monitoreo preventivo capaz de medir y monitorear las condiciones de la red de alcantarillado.
- Validar el funcionamiento del prototipo de plataforma IoT mediante pruebas en ambiente controlado que permitan medir y evaluar los datos recolectados por el sistema.

F. JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Pasto, Nariño, cuenta con una red de alcantarillado que fue construida en concreto hace 43 y 53 años para los tramos superiores e inferiores, actualmente ya ha cumplido con su ciclo de vida útil y se encuentra en proceso de reemplazo. Aun así, algunos tramos no cumplen con los criterios para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico [5], uno de los sectores afectados es la comuna 3 que con frecuencia en las temporadas de lluvias presenta colapsos en la red de alcantarillado pluvial, lo que genera desbordamientos, estancamientos de aguas residuales urbanas cuando no hay una temprana evacuación de las aguas y una proliferación de mosquitos que pueden afectar tanto a la salud como a la calidad de vida de los habitantes.

Se presentan planes e inversiones para el mejoramiento de la red de alcantarillado, pero se observa que todavía el mantenimiento de la red sucede cuando se presenta alguna emergencia, debido a esto se propone un sistema de monitoreo IoT que busca dar solución mediante la recolección de datos sobre el nivel del agua que permitan generar planes de mantenimiento para la red, además de optimizar el manejo de los recursos por parte de la empresa EMPOPASTO S.A E.S.P.

Al priorizar las intervenciones preventivas el prototipo de plataforma IoT pretende optimizar el uso de recursos al igual que la salud de los residentes de la comuna 3, ya que permite identificar puntos críticos dentro de la red, al mismo tiempo que reducir las emergencias en temporadas de lluvias y fortalece la planeación técnica dentro de la empresa EMPOPASTO S.A E.S.P. Lo cual implica que pueda ser utilizado como base para estudios futuros con la posibilidad de ser replicado en otras comunas de la ciudad, aportando al fortalecimiento de las competencias IoT validando la importancia de un impacto sostenible tanto para la comunidad como para la ciudad de Pasto, Nariño. 7

G. DELIMITACIÓN

El proyecto se delimita al análisis, diseño y validación de un prototipo de plataforma IoT orientado al monitoreo preventivo de la red de alcantarillado pluvial de la Comuna 3 de Pasto. La validación del prototipo se realizó en ambiente controlado simulando las condiciones operativas de la red, dado que el dispositivo se encuentra en fase de prototipo y no cuenta aún con las condiciones de impermeabilización requeridas para su instalación definitiva dentro de los colectores pluviales. El proyecto no abarcará otros sectores de la ciudad ni el diseño definitivo de la infraestructura, ni

incluirla fases de despliegue masivo ni estudios de impacto ambiental más allá de la validación técnica del prototipo de plataforma IoT.

II. MARCO TEÓRICO

A. ANTECEDENTES

A.1 Internacionales

A nivel internacional, destaca el artículo titulado “Diagnóstico técnico y plan de restauración para infraestructura sanitaria deteriorada: Caso de estudio en Manta, Ecuador”, cuyos autores son, Allisson Michelle Mero González, Alex Vicente Quimiz Tumbaco, Juan Danny Vera Calderón y Roberto Carlos Parrales Baque, para la revista científica INGENIAR [6], este artículo evalúa el estado de la red de alcantarillado en la urbanización Si Vivienda de la ciudad de Manta en Ecuador. Identifica deficiencias críticas como obstrucciones, alcantarillas sin tapa y acumulación de residuos [6], combinando análisis técnico con métodos de recolección para proponer un plan integral sobre el mantenimiento preventivo para una posible solución a las fallas, además permite mejorar significativamente el rendimiento de la red. Es un gran aporte a la investigación debido a que proporciona parámetros para identificar puntos críticos de flujo que pueden ser monitoreados con el prototipo de plataforma IoT, además valida la importancia de la percepción ciudadana y los indicadores de éxito fortaleciendo la planeación técnica a su vez que operativa.

La tesis de grado titulada “Análisis Patológico de las Redes de Alcantarillado del Centro Histórico de la Ciudad de Cienfuegos”, cuyo autor es Adriel González Villarreal de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas [7], esta tesis a través de inspecciones y registros de la operadora municipal logra catalogar fallas más frecuentes y recientes como obstrucciones por grasa, corrosión de las tuberías, daños por raíces de árboles, entre otras. Para proponer acciones y posibles soluciones a estos daños que afectan a la red de alcantarillado. Es importante el aporte de esta investigación ya que permite identificar los sectores críticos en los que debe enfocarse y fortalecerse el monitoreo preventivo, basándose en rutas fundamentadas con datos de condiciones reales para anticipar intervenciones y reducir la incidencia de emergencias.

El proyecto integrador titulado “Manual del proceso constructivo para labores de mantenimiento en sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial en zonas urbanas”, cuyos autores

son María Victoria Palma Carriel y Víctor Alexander Vera Tigua de la Escuela Superior Politécnica del Litoral [8], este proyecto buscó desarrollar un compendio de directrices y procedimientos, desde la inspección inicial hasta la finalización de las obras, para el mantenimiento preventivo de la red de alcantarillado dentro de entornos urbanos con características geográficas similares a Guayaquil, Ecuador. Se documentaron secuencias constructivas y estándares de calidad para la estandarización de procedimientos, incluyendo guías administrativas con modelos de licitación y trámites ambientales para optimizar la gestión documental. Este proyecto sirve como apoyo a la investigación ya que establece parámetros de alerta y controles de calidad que pueden ser utilizados como umbrales de tolerancia para generar alertas con los datos obtenidos del prototipo de plataforma IoT.

El proyecto técnico titulado “Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la estación de bombeo de Punyaro de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Otavalo”, cuyo autor es Luis Antonio Daza Pepinós de la Universidad Técnica de Ambato [9], en este proyecto se diseña y se aplica un programa de mantenimiento preventivo para asegurar la operación continua de la estación de bombeo de Punyaro, identificando equipos críticos, analizando fallas y determinando prioridades de intervención. Se realizó un inventario de las máquinas para ejecutar un análisis de cada componente y desarrollar bitácoras de mantenimiento diario, semanal y anual, junto con un software para registrar intervenciones y calcular la disponibilidad de cada máquina. El aporte de este proyecto es la identificación de componentes críticos y la estructura de fases que sirven como modelo para la arquitectura de la investigación, definiendo modelos y proporcionando la base metodológica para el análisis predictivo.

El proyecto de grado titulado “Análisis operativo del sistema de alcantarillado sanitario de la Ciudadela La FAE y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes”, cuyo autor es Karla Narcisa Vega Delgado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí [10], este estudio evalúa la cobertura, el estado de los pozos y la capacidad de la red de alcantarillado en la Ciudadela La FAE, Guayas, Ecuador [10], mediante el diagnóstico de campo, encuestas e indicadores se identificaron fallas operativas y su efecto en la calidad de vida de los residentes, revelando que pese a que hay un amplio porcentaje de cobertura todavía persisten desbordamientos en pozos y conexiones clandestinas que afectan el servicio. También se determinó, con datos de caudales y

verificación por Manning, que varios tramos operan por debajo de los estándares óptimos, proponiendo el reemplazo de las tuberías. Este proyecto valida el impacto social de la investigación relacionando las fallas operativas y la percepción ciudadana justificando el uso del prototipo de plataforma IoT, mostrando como el monitoreo preventivo puede mejorar la satisfacción y la calidad de vida de los residentes.

A.2 Nacionales

A nivel nacional, destaca el proyecto de grado titulado “plan permanente de mantenimiento preventivo y reposición de válvulas de sistema y control”, cuyo autor es, Juan Esteban Giraldo Satizabal de la Universidad Cooperativa de Colombia [11], esta investigación estructura un plan de mantenimiento preventivo y reposición de válvulas para la red de alcantarillado en la ciudad de Ibagué, se basó en el análisis de 3.036 operaciones registradas por los trabajadores mediante el software ArcGIS para determinar los principales fallos en estos reportes [11]. Dado que posee un enfoque preventivo soportados por datos históricos, ayuda a reducir las intervenciones de emergencia y costos operativos, resultando en un apoyo muy valioso para el desarrollo de la estrategia del proyecto, que se enfoca en la creación de un prototipo de plataforma IoT.

El proyecto de grado titulado “adecuación del plan de mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado, para el municipio de Apía, Risaralda”, cuyo autor es, Miguel Ángel Ramírez Figueroa, de la Universidad Tecnológica de Pereira [12], este estudio desarrolla un manual y un programa de mantenimiento adaptado para la red de alcantarillado del municipio de Apía, Risaralda, combina mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, a partir de un diagnóstico de la infraestructura, análisis de materiales, flujo y falencias. El trabajo aporta un marco probado de procedimientos, frecuencias, riesgos e indicadores que resultan ampliamente valiosos para el diseño del prototipo de plataforma IoT, creando un ciclo completo de monitoreo, alerta y mantenimiento.

La investigación titulada “Ejecución y establecimiento de acciones de mantenimiento a las redes de alcantarillado y sistemas de tratamiento aguas residuales de las unidades del Ejército Nacional.”, cuyo autor es, Yonatan Alfredo Arciniegas Ramírez, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD [13], esta investigación diseña y aplica un programa integral de mantenimiento para las redes de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales en las unidades del Ejército Nacional que se ubican alrededor de todo el país [13], utiliza un diagnóstico de las

líneas bases del alcantarillado, trampas de grasa y pozos sépticos, para formular e implementar un plan de mantenimiento predictivo y correctivo con equipos de succión y presión de lodos, además, evalúa costos, capacidades técnicas y riesgos ambientales que aportan un marco integral para el desarrollo del prototipo de plataforma IoT al proporcionar una estructura de fases y validar continuamente el uso de sensores para reducir emergencias y optimizar el ciclo de mantenimiento.

El proyecto de grado titulado “Metodología de gestión integral del riesgo para la dirección de servicios electromecánica de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá ESP”, cuyos autores son, Carlos Iván Minotta Peñaloza y Néstor Iván Peña Salinas, de la Universidad Externado de Colombia [14], propone una metodología que se encuentra alineada con la norma ISO 31000 y la norma ISO 31010 [14] para estructurar un ciclo de gestión de riesgos en el área de mantenimiento electromecánico, articulando fases de contexto, identificación, análisis, valoración y tratamiento, a través del análisis DOFA y matrices de riesgos para el mantenimiento predictivo y preventivo, aportando en gran medida al proyecto y al desarrollo del prototipo de plataforma IoT gracias a las herramientas para la evaluación del riesgo al incorporar matrices y normas ISO que permitan identificar los puntos críticos de la red de alcantarillado con mayor probabilidad de obstrucción.

El proyecto de grado titulado “Apoyo en labores de modelación y diseño hidráulico para la Empresa de Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo del Líbano – Tolima (E.S.P. EMSER)”, cuyo autor es, Milton Josué Martínez Gutiérrez, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas [15], este proyecto describe cómo se aplicaron herramientas de modelación y sistemas de información para simular el comportamiento de la red de alcantarillado en el municipio de Líbano, Tolima, para así optimizar su diseño, prever escenarios de crecimiento poblacional y mejorar la planificación de las inversiones, sirviendo de apoyo para la investigación gracias al trabajo en escenarios de demanda que permiten intuir proyecciones de crecimiento poblacional ayudando a prevenir obstrucciones en las estaciones de monitoreo, además de permitir ajustar los parámetros necesarios gracias a resultados cuantitativos aplicables en el diseño del prototipo de plataforma IoT.

A.3 Regionales

A nivel regional, destaca la tesis de maestría titulada “Diseño de sistemas de alcantarillado en terrenos muy planos. Factibilidad del diseño sin la operación de bomba. Caso de estudio: Alcantarillado del distrito de Tumaco (Nariño)”, cuya autora es Ligia Mercedes Zárate Carvajal,

de la Universidad de los Andes [16]. Esta tesis plantea un enfoque innovador para adaptar la red de alcantarillado que debido a la falta de pendiente natural dificulta el transporte de las aguas residuales, integra sistemas convencionales y no convencionales para reducir o eliminar la necesidad de bombeo, evaluando la topología, los volúmenes de excavación y los costos energéticos relacionados. Esta tesis aporta una visión de los retos y dificultades que se pueden presentar al momento de llevar a cabo la investigación, potenciando el enfoque de utilizar datos reales para optimizar las condiciones de la red y el manejo de recursos.

El trabajo de grado titulado “Apoyo técnico a la empresa Construcciones y Vías E.U en la construcción del sistema de alcantarillado sanitario vereda La Chorrera, municipio de San Pedro de Cartago, departamento de Nariño”, cuyo autor es, Diego Fernando Ojeda Ibarra, de la Universidad de Nariño [17]. Este proyecto aborda la necesidad de mitigar la contaminación y mejorar las condiciones de saneamiento hidráulico, se enfoca en la carencia de una red de alcantarillado adecuado, resultando en la descarga de aguas residuales a fuentes locales generando un impacto ambiental negativo. La ejecución de este proyecto prioriza la calidad de vida de los habitantes enfocándose en el mejoramiento del sistema incluyendo localización, instalación de tuberías PVC y la construcción de cámaras de inspección. Siendo relevante para la investigación ya que evidencia los esfuerzos previos dentro de la región para desarrollar y optimizar la infraestructura de la red de alcantarillado mediante la aplicación de nuevas tecnologías para una gestión más eficiente.

El proyecto de grado titulado “Plan Estratégico Gerencial para la Empresa de Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo EMSERP E.S.P del Municipio de Pupiales Año 2011”, cuyas autoras son, Janeth Nelcy Díaz Ruano y Violeta del Rocio Palacios, de la Universidad de Nariño [18]. Esta investigación aborda la necesidad de implementar un plan estratégico para optimizar la gestión y el desempeño de los procesos de gestión incluyendo las deficiencias en liderazgo, falta de planeación y obsolescencia de la plataforma informática dentro de la empresa EMSERP E.S.P, el enfoque de esta investigación radica en la mejora de los servicios públicos mediante la implementación de estrategias gerenciales, aportando a la investigación al compartir el objetivo común de apoyar los servicios públicos de la región, destacando la importancia de abordar las problemáticas de gestión e infraestructura, Además, proporciona un marco útil para comprender los desafíos y oportunidades dentro de la región.

El trabajo de grado titulado “Diseño de Alcantarillados y Elaboración del Proyecto de Reposición de la Red de Acueducto de los Tramos que Hacen Parte del Plan de Movilidad de la Ciudad de San Juan de Pasto”, cuya autora es, Magda Yesenia Osejo Argoty, de la Universidad de Nariño [19]. Este proyecto se centra en el diseño de alcantarillados para la reposición de la red en distintos tramos de la ciudad de Pasto, incluye la realización de visitas de inspección, estudios topográficos y evaluación de las redes existentes para diseñar una red de alcantarillado funcional. Este proyecto reconoce y aporta la importancia de una infraestructura eficiente para el desarrollo urbano y el bienestar de los habitantes, también enfatiza en la necesidad de un diagnóstico exhaustivo de la red existente que el análisis de los datos obtenidos mediante el monitoreo preventivo con el prototipo de plataforma IoT puede brindar.

El trabajo de grado titulado “Diseño de Alcantarillados en Varios Sectores del Municipio de Pasto”, cuyo autor es, Franco Esteban Caicedo Trejo, de la Universidad de Nariño [20]. Este trabajo se enfocó en la necesidad de generar soluciones eficientes para la evacuación de aguas residuales, este trabajo involucra la restitución de sectores, separación y diseño de nuevas redes de alcantarillado, con el fin de mejorar la calidad de vida de los residentes. Su enfoque de diseñar soluciones a problemas específicos de la red apoya la implementación del prototipo de plataforma IoT para buscar la optimización en la gestión del alcantarillado considerando el diseño del sistema actual y proporcionando bienestar a la comunidad con una red eficiente.

B. SUPUESTOS TEÓRICOS

B.1 Gestión inteligente del agua

En este proyecto se define como la manera en que se recopilan, comparten y analizan los datos tanto de equipos como de redes de agua a través de la integración de información en tiempo real, esto con fin de optimizar la gestión operativa en conjunto con la estratégica de los recursos hídricos. Se logra mediante la aplicación de las tecnologías de información y comunicación (TIC's), como los sensores remotos, sistemas de información geográfica, internet de las cosas (IoT), big data, inteligencia artificial, entre otras [21].

Los principales elementos que componen una correcta gestión inteligente del agua son:

- Equipos inteligentes: Incluyen tecnologías de tratamiento con sensores automatizados para mejorar el rendimiento, reducir el tiempo y los esfuerzos necesarios para monitorear los equipos.
- Redes inteligentes: Encargadas de recopilar información gracias a equipos que proporcionan una gestión controlada en tiempo real, permitiendo monitorear las operaciones de forma remota y continua.
- Soluciones digitales: Combinan datos en tiempo real con el objetivo de llevar a cabo un mantenimiento preventivo, evitando desbordamientos de aguas residuales y pluviales, así como revisar sus condiciones.

B.2 Alcantarillado

Es el conjunto de tuberías, estructuras, aparatos, instrumentos y elementos que tienen el propósito de recoger, transportar o elevar aguas servidas, domésticas u otros desechos líquidos para su adecuada disposición [22]. Su clasificación depende del tipo de agua que conducen y se clasifican en:

- Alcantarillado sanitario: Es la red en la cual a través de ella se descargan de forma rápida y segura las aguas residuales domésticas o comerciales hacia una planta de tratamiento o un punto de descarga.
- Alcantarillado pluvial: Es la red en la cual se captan y conducen las aguas pluviales para aplicar el procedimiento de ósmosis, almacenamiento o deposición.
- Alcantarillado combinado: Es la red que capta y conduce simultáneamente las aguas residuales domésticas, industriales al igual que pluviales. Es considerada como una solución económica inicial, sin embargo, no resulta adecuada debido a que provoca graves problemas de contaminación al ser vertida en cauces naturales [22] [23].
- Alcantarillado semi-combinado: Es la red distinguida por tratar al completo las aguas residuales producidas por una área o grupo de áreas, que sirve como alivio al sistema pluvial, al considerar el agua de lluvia como residual, para evitar inundaciones viales [22] [24].

Existen dos clases, los mencionados anteriormente son de clase convencional que son ampliamente utilizados, por otra parte, existen los de clase no convencional los cuales se clasifican según el tipo de tecnología aplicada y se limitan a la evacuación de aguas residuales. Por último,

las redes de alcantarillado pueden ser de tipo abierto o cerrado, que se encuentran en una gran variedad de secciones dependiendo de su uso [22].

B.3 Prototipo

Un prototipo se define como el primer modelo de representación o simulación de un producto final, el cual permite verificar su diseño para confirmar si cuenta con las características planteadas, para su uso se recomienda tener en cuenta consideraciones como los procesos, elementos y herramientas que ayuden a formar una mejor propuesta del servicio o del producto [25]. Es ideal para los investigadores ya que permite generar una proporción tangible de una teoría, recopilando datos empíricos para validar o refutar las hipótesis [26].

B.4 Plataforma

Es la combinación de software y tecnologías digitales, que se exhiben usualmente como aplicaciones, páginas web, redes sociales o sistemas operativos, en la cual se permite la interacción entre al menos dos o más tipos de usuarios a través de internet [27].

Las plataformas al ser intermediarias de la comunicación online entre grupos de usuarios cuentan con características entre las que se destacan:

- Generación de datos: Crean y aprovechan los datos obtenidos de las actividades realizadas por los mismos usuarios.
- Gestión de la atención: Determinan el comportamiento de los usuarios hacia zonas específicas de la plataforma, gestionando su atención para incentivar y jerarquizar las acciones de los mismos. En particular direcciona la atención hacia la publicidad, pero también utiliza distintos canales como pueden ser las notificaciones con el fin de generar dependencia a la plataforma y obtener una mayor cantidad de datos.
- Uso de datos generados por los usuarios: Algunas plataformas gestionan y hacen uso impago de los datos, así como del contenido sobre el cual los mismos usuarios autores ceden los derechos.
- Gestión por algoritmos: El comando de las plataformas se establece en gran parte por algoritmos que rigen las reglas de funcionamiento en la interacción de los usuarios.

Las plataformas poseen un carácter performativo, lo cual implica que la experiencia de cada usuario no es de tipo particular, por el contrario, se convierte en una vivencia construida intencionalmente por las mismas [27].

B.5 IoT

Se denomina internet de las cosas (IoT) a cualquier dispositivo o sistema que se comuniquen a través de una red que puede ser cableada o inalámbrica y que tenga como propósito principal procesar datos al igual que comunicarse ya sea con intervención humana o no [28]. La definición de IoT ha evolucionado hasta llegar a abarcar desde dispositivos físicos como lo son vehículos o accesorios domésticos hasta dispositivos que integran electrónica, lo cual envuelve software y sensores. Además, recientemente se incluyeron los dispositivos embebidos, robots, computadores de automóviles, entre otros [29].

Un rasgo a destacar del IoT es el impacto que tiene actualmente y que crece a medida del tiempo en la vida diaria, influyendo en el comportamiento de los usuarios que ejercen como protagonistas en escenarios como la domótica, e-health, asistencia doméstica, aprendizaje mejorado, etc. Sin embargo, se debe crear conciencia en el usuario para que adquiera buenas prácticas de seguridad, permitiendo proteger su información, evitando así una repercusión negativa que no se desee tener o que no se quiera asumir [28] [29].

Para empresas o usuarios que buscan beneficios con el uso de dispositivos IoT algunas ventajas son:

- Comunicación máquina a máquina: Es el intercambio de datos que sucede entre máquinas o dispositivos, ya que al estar conectados a través de internet pueden solicitar órdenes y ejecuciones automáticas.
- Automatización: Gracias a que las máquinas son controladas por un servidor central tienen la capacidad de realizar procesos automatizados sin intervención humana debido a su programación en un software IA, reduciendo los procesos repetitivos y gastos relacionados a la mano de obra.
- Análisis de datos: Al poseer grandes cantidades de información sus componentes tienen la habilidad de llevar a cabo análisis para la toma de decisiones.

- **Monitoreo:** Los sensores interconectados permiten que un sistema IoT pueda monitorear constantemente un proceso.
- **Optimización de tiempo y dinero:** Suponen un ahorro de tiempo utilizado en la toma de decisiones o en el procesamiento de grandes cantidades de información. Esto se traduce en un ahorro económico ya que el sistema automáticamente opta por la mejor decisión que no afecte económicamente al usuario.
- **Calidad de vida:** Los sistemas IoT suprimen cargas innecesarias como lo son las decisiones que ocasionan estrés y benefician el monitoreo de la salud permitiendo que el usuario enfoque su tiempo en pensamientos o actividades que le brinden bienestar además de felicidad.

Los sistemas IoT tienen gran cantidad de aplicaciones, a grandes rasgos se las pueden agrupar de 4 maneras [29]:

- **Ciudades inteligentes:** Es un concepto extenso que abarca campos de aplicación como redes de electricidad inteligentes, transporte inteligente, iluminación inteligente, monitoreo ambiental al igual que residual, salud inteligente e integridad estructural de edificios.
- **IoT industrial:** Este paradigma se adapta muy bien ya que su implementación puede ser de tecnologías accesibles y de bajo costo para la infraestructura necesaria de los usuarios objetivos.
- **Entorno inteligente:** Estos sistemas IoT son diseñados para cumplir con tareas que antes eran realizadas por humanos como lo son la administración energética, seguridad, bienestar y comunicación, dentro de los entornos como el hogar, oficina, plantas y medioambiente. Esta práctica también es conocida como domótica.
- **Otros:** Contiene las aplicaciones personales como redes sociales, compras, consultas y pérdidas. Asimismo, se incluyen sistemas como taxis robots, modelos de información y salas de juego inteligentes.

B.6 Plataforma IoT

Una plataforma IoT es un entorno de conexión en la que se combina hardware, los dispositivos y los protocolos para potenciar una red de servicios, estas son considerada un componente crítico en los ecosistemas IoT ya que sirve de intermediario para la comunicación, el

flujo de datos, además de permitir la administración de los dispositivos al igual que su funcionalidad [30].

Las plataformas IoT reflejan los datos obtenidos por los sensores o dispositivos, de modo que permiten un mejor análisis para ser procesados intentando dar sentido a la gran cantidad de información conseguida [30].

B.7 Monitoreo

Un sistema de monitoreo es un conjunto de técnicas sistemáticas que evalúan tanto el progreso como los resultados de su ejecución en un periodo determinado de tiempo. Incluye la cuantificación de las variables para clasificarlas y ofrecer datos necesarios para la evaluación, específicamente hace uso de indicadores, validados en etapas anteriores, e instrumentos específicos dirigidos al control de la implementación, garantizando que se alcance el objetivo establecido [31].

Una tendencia derivada de las acciones del monitoreo es que con ella se busca validar las hipótesis para así tomar decisiones estratégicas u operativas, es decir, se transforma en una fuente de aprendizaje que aporta mayor pertinencia al proyecto y a su efectividad [32].

Los sistemas de monitoreo se componen de 4 fases o secuencias cíclicas que son [32]:

- Captación de datos: Obteniendo información de las fuentes elegidas y llevando un registro de los respectivos instrumentos.
- Comparación: Contrastando los datos iniciales contra el nivel de cumplimiento esperado.
- Decisión: Planeación de actividades correctivas, preventivas o de retroalimentación de acuerdo al resultado obtenido por el análisis de los datos.
- Implementación: Puesta en marcha de las operaciones correctivas, preventivas o de retroalimentación.

C. VARIABLES DEL ESTUDIO

C.1 Variables Independientes

- Plataforma IoT.

C.2 Variables Dependientes

- Número de intervenciones.

- Tasa de detección temprana de posibles desbordamientos.
- Tiempo medio de detección.
- Frecuencia del muestreo de los sensores.

Definición nominal de variables

- **Plataforma IoT:** El concepto IoT o “Internet de las Cosas” surgido en 1982, se utiliza para describir un sistema de dispositivos interconectados. Su propósito principal es permitir y facilitar el intercambio de datos identificables a través de diversos aparatos o sensores con la finalidad de realizar un análisis para la toma de decisiones y/o ejecución de acciones correspondientes [33].
- **Número de intervenciones:** De la mano con la definición del mantenimiento preventivo, que se fundamenta en una serie de labores o actividades planificadas que se realizan dentro de periodos definidos con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas; para prevenir y pronosticar fallas dentro de los mismos [34]. Es decir, es el número de veces que un sistema emite una señal o alarma al alcanzar el límite superior del rango dentro de lo que se considera operación normal.
- **Tasa de detección temprana de posibles desbordamientos:** Entendiendo que la persistencia de un producto y/o servicio es la capacidad estratégica y táctica para anticipar, dar respuesta a posibles ocurrencias de incidentes e interrupciones para continuar con la operación definida a un nivel normal [35]; este es el porcentaje de amenazas reales que son identificadas con éxito por un sistema de seguridad.
- **Tiempo medio de detección:** El tiempo medio de detección o MTTD ((Mean Time to Detect) se refiere a la medida promedio de tiempo que se tarda para la detección de una falla, siendo útil para medir la eficiencia de una herramienta en el monitoreo y gestión de incidentes [36]. Destacando que detectar fallas en un intervalo de tiempo corto puede implicar no solo un ahorro de tiempo y dinero para una empresa si no reducir la probabilidad de tener equipos dañados [37].
- **Frecuencia del muestreo de los sensores:** Se refiere al número de veces que un sensor adquiere una muestra de datos o señal en el tiempo. Teniendo en cuenta que, el concepto de frecuencia está relacionado de forma directa con la concepción del tiempo y su dimensión es la contraria al tiempo [38].

Definición operativa de variables

- **Plataforma IoT:** Esta variable se medirá a través de la funcionalidad teniendo en cuenta la disponibilidad del prototipo de plataforma IoT junto con su capacidad de procesar ya que a su vez presenta información de manera clara, oportuna y precisa.
- **Número de intervenciones:** Esta variable se midió con la cantidad de registros clasificados como nivel crítico generados por el prototipo durante las pruebas de validación, los cuales representan los eventos que en un escenario de despliegue real requerirían una intervención por parte del personal técnico de EMPOPASTO S.A. E.S.P. Esta cuantificación permite evaluar la capacidad del sistema para identificar situaciones que justifican una intervención preventiva, con base en los datos recolectados durante las pruebas en ambiente controlado.
- **Tasa de detección temprana de posibles desbordamientos:** Esta variable se midió como el porcentaje de transiciones de nivel bajo a nivel crítico correctamente detectadas y señalizadas por el prototipo durante las pruebas de validación en ambiente controlado. Se cuantificó el número de secuencias en las que el sistema activó de forma correcta los indicadores visuales y sonoros definidos para el nivel crítico, en relación con el número total de secuencias ejecutadas, obteniendo así una tasa que refleja la efectividad del prototipo en la detección temprana de condiciones de riesgo.
- **Tiempo medio de detección:** Esta variable se medirá como el promedio de tiempo, en horas o minutos, que transcurre desde que se presenta una anomalía o potencial falla en la red de alcantarillado hasta que es registrada y alertada por el prototipo de plataforma IoT. Se cuantificará el instante del registro de la anomalía por el sensor junto con el instante de la alerta generada, permitiendo evaluar la eficiencia del prototipo de plataforma IoT en la detección rápida de fallas potenciales.
- **Frecuencia del muestreo de los sensores:** Esta variable se medirá como el intervalo de tiempo en que los sensores del prototipo de plataforma IoT registran a la vez que transmiten los datos de nivel en los puntos de monitoreo. Se cuantificó mediante la configuración del intervalo de tiempo en el prototipo de plataforma IoT que se verificó gracias al registro de los datos recopilados, asegurando que la periodicidad de las mediciones sea la adecuada para un correcto monitoreo preventivo.

D. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

D.1 Hipótesis de investigación

El prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo del nivel de agua en la red de alcantarillado pluvial de la Comuna 3, en conjunto con la información operativa suministrada por EMPOPASTO S.A. E.S.P., demostrará capacidad técnica para detectar condiciones de nivel crítico antes de que estas se manifiesten como desbordamientos visibles y proveerá la estructura necesaria para que la empresa pueda fundamentar la programación de intervenciones preventivas en lugar de responder únicamente ante emergencias ya ocurridas.

D.2 Hipótesis nula

El prototipo de plataforma IoT en conjunto con el monitoreo continuo del nivel de agua, aunque sea respaldado por información operativa real, no logrará detectar de forma confiable las condiciones de nivel crítico en los escenarios de prueba definidos, lo que impediría su uso como herramienta de apoyo para la programación de intervenciones preventivas en la gestión de la red de alcantarillado pluvial de la Comuna 3.

D.3 Hipótesis alterna

La implementación del prototipo de plataforma IoT generará alertas tempranas de nivel crítico con una latencia técnicamente aceptable, pero su contribución a la optimización del mantenimiento preventivo estará condicionada por factores externos al sistema, como la disponibilidad continua de energía o de conectividad WIFI.

III. METODOLOGÍA

A. PARADIGMA

La investigación utiliza un enfoque cuantitativo basado en el paradigma positivista, puesto que los datos son específicos y medibles, igualmente se emplean medios estadísticos para analizar la información obtenida. Este paradigma establece que la relación entre el investigador y el fenómeno debe ser controlada para que los resultados sean medibles con el fin de que no exista la percepción ni del más ni del menos [39].

B. ENFOQUE

La investigación utiliza un enfoque cuantitativo al hacer uso de datos cuantificables como características o atributos del objeto de investigación para medir y validar las hipótesis planteadas, permitiendo llevar un registro del nivel de mejoría en el mantenimiento de la red de alcantarillado. Este enfoque consiste en recolectar datos en forma de puntuaciones para llevar a cabo un análisis numérico en términos de su variación, comparando grupos o relacionando factores mediante técnicas estadísticas [40].

C. MÉTODO

La investigación utiliza la técnica del método científico, siguiendo unos pasos secuenciales para identificar el problema de interés y con ello desarrollar predicciones o teorías que fomenten el aprendizaje. El primer paso es identificar el problema, que se genera por la falta de conocimiento, respuestas o explicaciones a datos preexistentes, el segundo paso es proponer una hipótesis para buscar una solución al problema planteado, en el tercer paso se acude a la experimentación u observación para comprobar la hipótesis anteriormente planteada, analizando e interpretando los datos recolectados, en el cuarto paso se verifica los resultados obtenidos y, finalmente, en el quinto paso se realiza el análisis de los resultados [41]. Con esto se busca adquirir información que demuestre la virtud de la implementación del prototipo de plataforma IoT y contribuya a la concientización del mantenimiento preventivo dentro de la red de alcantarillado

D. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo correlacional, ya que tiene como propósito mostrar o examinar la relación entre las variables o los resultados de las variables, describiéndolas, cuantificándolas y

midiendo su grado de relación para así definir los resultados [42]. En este caso la variable independiente es el prototipo de plataforma IoT y las variables dependientes de las cuales se quiere examinar y medir su relación con los datos obtenidos.

E. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un diseño cuasiexperimental, que destaca por contar con dos sub niveles de variable independiente en los cuales se tiene un grupo experimental al cual se le realiza la intervención y un grupo de control sin intervención, además, se caracteriza porque la asignación de los grupos de intervención no es aleatoria [43]. Los datos se obtuvieron a través de la empresa EMPOPASTO S.A. E.S.P. para el diagnóstico del sistema actual, y mediante la ejecución de pruebas en ambiente controlado sobre el prototipo de plataforma IoT para la validación de su funcionamiento. Dado que el prototipo se encuentra en una fase inicial de desarrollo y no cuenta con las condiciones de impermeabilización requeridas para su instalación directa dentro de los colectores pluviales, las pruebas se realizaron utilizando recipientes con agua que permitieron simular los tres estados de nivel definidos en la lógica del sistema. Los resultados fueron analizados para medir y evaluar la capacidad del prototipo en la detección temprana del nivel crítico, la precisión de la señalización y la continuidad de la transmisión de datos hacia la plataforma web.

F. POBLACIÓN

La población para la investigación se entiende como la de la red de alcantarillado de la comuna 3 de Pasto, Nariño. Se incluyen los tramos y sectores que actualmente presentan incidencias de obstrucciones y desbordamientos [44].

G. MUESTRA

Para la muestra de esta investigación se optó por una muestra intencional, no probabilística [45], ya que este tipo de muestreo permite hacer uso del prototipo de plataforma IoT en los sectores donde se espera un mayor beneficio preventivo, validado su uso en puntos críticos de la población. El tamaño de la muestra se explica de la siguiente manera:

$$n = 3$$

Donde “n = 3” correspondiente a los tres puntos críticos de la red de alcantarillado pluvial de la Comuna 3 identificados a partir de los registros históricos de incidencias suministrados por

EMPOPASTO S.A. E.S.P. Dado que el prototipo se validó en ambiente controlado, cada punto crítico fue representado mediante un estado de nivel operativo específico durante las pruebas: nivel bajo (distancia mayor a 25 cm), nivel medio (entre 15 y 25 cm) y nivel crítico (menor o igual a 15 cm). Estos estados simulan las condiciones que el sistema debe detectar en cada uno de los tres puntos de la red, garantizando que la muestra de prueba sea representativa de los escenarios operativos reales con los que el prototipo trabajara en su despliegue final.

H. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para el propósito de esta investigación se emplearon tres técnicas de recolección en base a los datos requeridos, La primera es la solicitud de información pública, mediante la cual se accedió formalmente a los documentos operativos de EMPOPASTO S.A. E.S.P. La segunda es la revisión documental, que permitió analizar en profundidad los procedimientos institucionales obtenidos. La tercera es la simulación operativa del prototipo que consistente en la ejecución de pruebas controladas que permitieron recolectar datos cuantitativos sobre el desempeño del sistema IoT

Validez de la técnica

La validez de las técnicas de recolección de datos es importante ya que permite asegurar que los resultados obtenidos sean reflejados con precisión.

- Solicitud de información pública: La validez de esta técnica se garantiza por su carácter formal e institucional que al ser considerado un derecho humano implica que todas las personas gocen de él, sin importar si son ciudadanos o residentes [46]. La solicitud fue radicada el 13 de mayo de 2025 ante la Gerencia General de EMPOPASTO S.A. E.S.P., y la respuesta fue emitida por la misma entidad, proporcionando documentos con código de versión y fecha de vigencia verificables (ACAL-PR-08 versión 2, vigencia 1-sep-22; ACAL-PR-10 versión 1, vigencia 15-sep-21).

Pasto, 13 de mayo de 2025

Señores
EMPOPASTO S.A. E.S.P.
Atención: Gerencia General
Ciudad

Asunto: Solicitud de permiso para realizar investigación académica

Cordial saludo:

Mi nombre es Kevin Alexander Benavides Celis, identificado(a) con cédula de ciudadanía No. 1.004.234.180, estudiante del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad CESMAG.

Por medio de la presente, me permito solicitar muy respetuosamente autorización para realizar una investigación académica en su reconocida empresa EMPOPASTO S.A. E.S.P., en el marco del proyecto titulado "Gestión inteligente del alcantarillado en la comuna 3 de Pasto a través de un prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo", el cual hace parte de los requerimientos del trabajo de grado, correspondiente a la asignatura de "Investigación I" de octavo semestre.

El objetivo principal de la investigación es conocer cómo funciona actualmente la red de alcantarillado de la ciudad y cuáles son los procesos de mantenimiento dentro de la misma, y se enfocará en la comuna 3. La información requerida será manejada con estricta confidencialidad y se utilizará exclusivamente con fines académicos, garantizando la protección de los datos y el cumplimiento de la normativa ética e institucional.

Agradezco de antemano su atención y colaboración. Estoy atento(a) a cualquier requisito adicional o procedimiento interno que deba cumplir para llevar a cabo esta actividad.

Cordialmente,

Kevin Alexander Benavides Celis
3178125957
kevinalexanderbenavidescelis@gmail.com
Universidad Cesmag
Ingeniería de Sistemas

Figuras I. SOLICITUD DE INFORMACIÓN PÚBLICA

- Revisión documental: La validez de esta técnica radica en que las fuentes analizadas son documentos primarios de carácter institucional, generados y validados por EMPOPASTO S.A. E.S.P. bajo protocolos de gestión de calidad propios de una empresa de servicios públicos. Como herramienta de construcción de conocimiento, la revisión documental aporta al desarrollo de constructos hipotéticos y fundamenta la indagación mediante fuentes irrefutables [47].

- Simulación operativa del prototipo: La validez de esta técnica se garantiza mediante la repetición de los escenarios evaluados. Cada prueba fue ejecutada bajo condiciones controladas y replicables, con parámetros físicos definidos como los umbrales de distancia de más de 25 cm para nivel bajo, entre 15 y 25 cm para nivel medio y menos 15 cm para nivel crítico, registrando automáticamente cada medición en la base de datos PostgreSQL con marca de tiempo exacta, lo que permite la verificación independiente de cada resultado.

Confiabilidad de la técnica

La confiabilidad de las técnicas de recolección es esencial para que se garanticen resultados claros y consistentes en la investigación, para la presente investigación se hace uso de datos previamente parametrizados y validados por parte de la empresa EMPOPASTO S.A E.S.P. Esta empresa cuenta con protocolos técnicos estandarizados para la recopilación, procesamiento y almacenamiento de los datos operativos relacionados al estado y al mantenimiento tanto correctivo como preventivo, garantizando así la consistencia y precisión de la información suministrada. la simulación operativa del prototipo fue ejecutada de forma repetida, garantizando que los resultados no dependan de una única ejecución sino de un conjunto de mediciones.

I. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos de recolección de información que se utilizan para garantizar el análisis, la evaluación y el procesamiento de los datos necesarios suministrados por la empresa EMPOPASTO S.A E.S.P. Dentro de la investigación son:

- Solicitud de permiso y acceso a la información pública: Se utilizó para diligenciar el permiso necesario para realizar la investigación con la información de la empresa EMPOPASTO S.A E.S.P. Además, se solicitó el acceso a la información pública del plano del sector (comuna 3), Procedimiento Mantenimiento Correctivo De Redes De Acueducto y Alcantarillado, y Procedimiento Mantenimiento Preventivo De Redes De Acueducto y Alcantarillado. Esta información ayuda a visualizar la estructura y el procedimiento actual para el mantenimiento preventivo y correctivo de la red de alcantarillado.

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A. Adquirir información de los procesos que se utilizan actualmente para el mantenimiento de la red de alcantarillado a partir de los datos suministrados por EMPOPASTO S.A E.S.P.

La recolección de información empezó por comprender qué zonas hacen parte de la comuna 3 de Pasto, Esta comuna está formada por 28 barrios del suroriente de la ciudad [48], se destaca por ser una zona comercial con un gran número de negocios y viviendas que constantemente en temporada de lluvias se ve afectada por las inundaciones urbanas. Resulta muy importante analizar las condiciones actuales del monitoreo en las alcantarillas de desagüe pluvial para evitar que esta situación continúe afectando a la comunidad.

Barrios de la Comuna 3				
Alejandría	El Ejido	Las Brisas	Pie de Cuesta	Pucalpa III
Arnulfo Guerrero	Guamuez	Las Lajas	Pinar del Río	Rosal Del Oriente
Caicedonia	José Antonio Galán	Las Mercedes	Popular	Santa Bárbara
Camilo Torres	La Esmeralda	Los Pinos	Pucalpa I	Santa Catalina
Casa Loma	La Estrella	Mercedario	Pucalpa II	Santa Mónica
Villa Oriente	Villa Flor I	Villa Flor II		

Tabla I. BARRIOS DE LA COMUNA 3



Figuras III. MAPA SATELITAL DE LA COMUNA 3

A.1 Procesos actuales para el mantenimiento de la red de alcantarillado pluvial

A.1.1 Mantenimiento correctivo

Gracias a datos suministrados por la empresa EMPOPASTO S.A. E.S.P. Se pudo identificar que el flujo de trabajo correctivo se activa únicamente ante la recepción de solicitudes, ya sea vía telefónica, verbal, oficio o plataforma CRM, para posteriormente realizar una visita a cargo del ingeniero de zona que deberá verificar, evaluar y definir la magnitud del daño. Con base en esto se genera una orden de trabajo en el sistema SPARTA, asignando la maquinaria, los equipos y el personal necesario para atender la intervención. Posteriormente la cuadrilla es trasladada al sitio para ejecutar las actividades correspondientes, que pueden incluir limpieza del colector, remoción de obstrucciones y reposición de pavimento en caso de ser necesario. Una vez finalizada la intervención se realiza el cierre del caso registrando la orden de trabajo en el sistema SPARTA, donde se documenta el material utilizado, los tiempos de ejecución y el tipo de trabajo realizado. Sin embargo, este procedimiento no contempla un seguimiento automatizado posterior a la intervención, lo que impide identificar si el punto reparado presenta reincidencia, limitando la capacidad de anticipar futuros eventos en los mismos tramos de la red.

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22

OBJETIVO: Garantizar el suministro de agua potable con continuidad y una adecuada evacuación de aguas servidas

POLÍTICAS GENERALES Y DE OPERACIÓN:

- El procedimiento se ejecutará dando cumplimiento a la normatividad vigente (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS; Título D) y según los lineamientos del Sistema de Gestión Integral (Gestión de Calidad, Gestión Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo).
- Si las actividades contemplan trabajos en altura superior e inferior a 1,50 m tener en cuenta según lineamientos definidos por el coordinador de SST.

ALCANCE: Aplica para el mantenimiento correctivo de redes de acueducto y alcantarillado administradas por EMPOPASTO S.A. E.S.P.

RESPONSABLE: Director de Operación de Redes / Profesionales III - Jefe de Zona

Director Área de Mantenimiento de Redes:

- Aprobar el informe de daños a terceros y enviar a la oficina asesora jurídica, con sus respectivos soportes en un tiempo no mayor a 24 horas después de ocurrido en siniestro, daño o afectación, con el fin de vincular a la aseguradora en el trámite correspondiente.

Ingeniero de Zona:

- En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe informarlo a través de al Director del área de mantenimiento en un tiempo no mayor a 12 horas.

Inspector/Encargado:

- En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe diligenciar el formato "Informe daños a terceros" GJ-FT-16 y presentarlo inmediatamente al Jefe de Zona o quien haga sus veces.

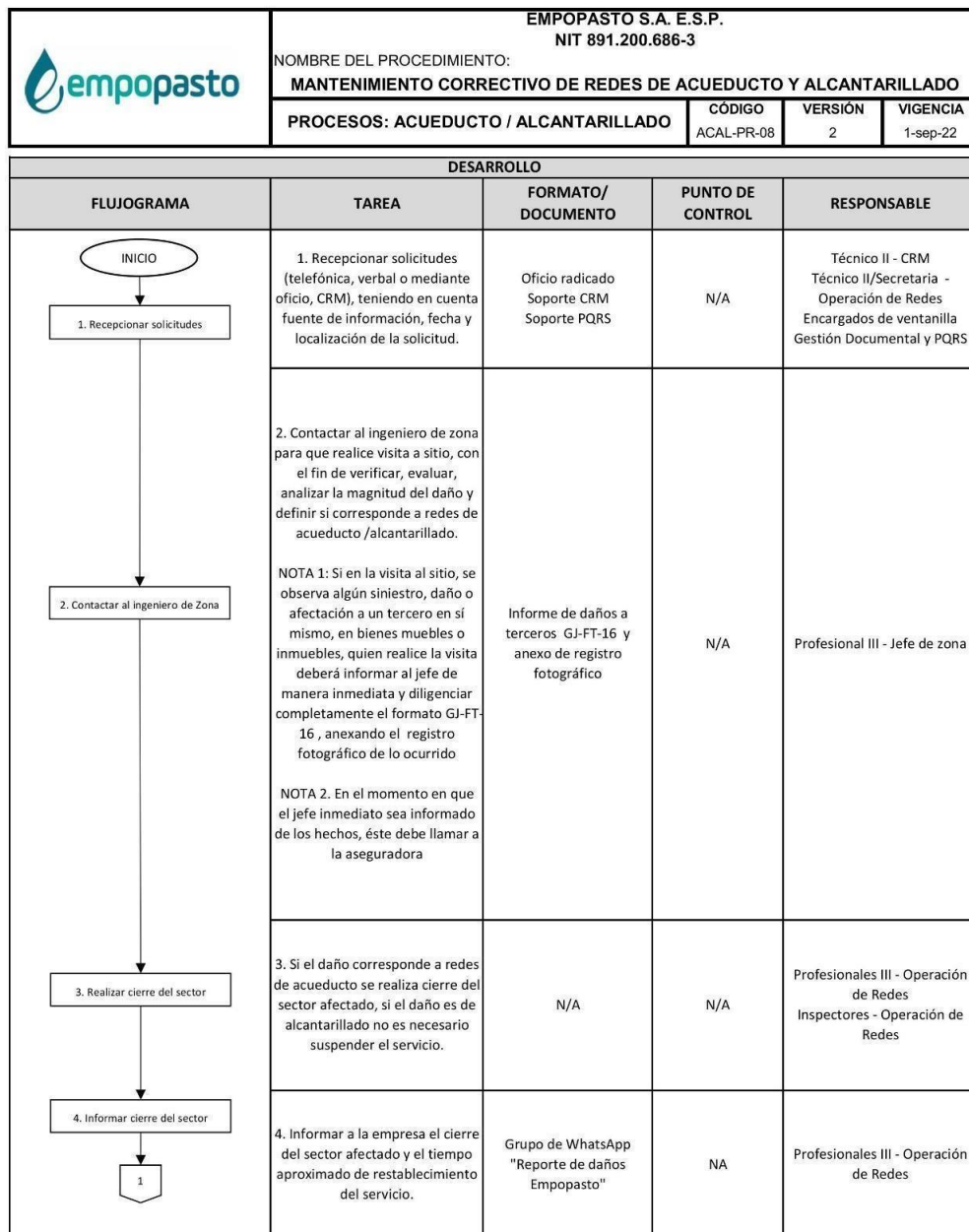
Comunicaciones:

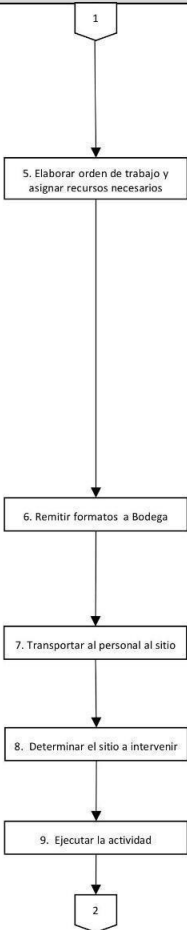
- Una vez se dé cumplimiento al numeral 4 del presente procedimiento y se informe acerca de un cierre de sector, será responsabilidad del área de Comunicaciones **Redactar un comunicado y difundir a las partes interesadas a través de los medios de comunicación.**

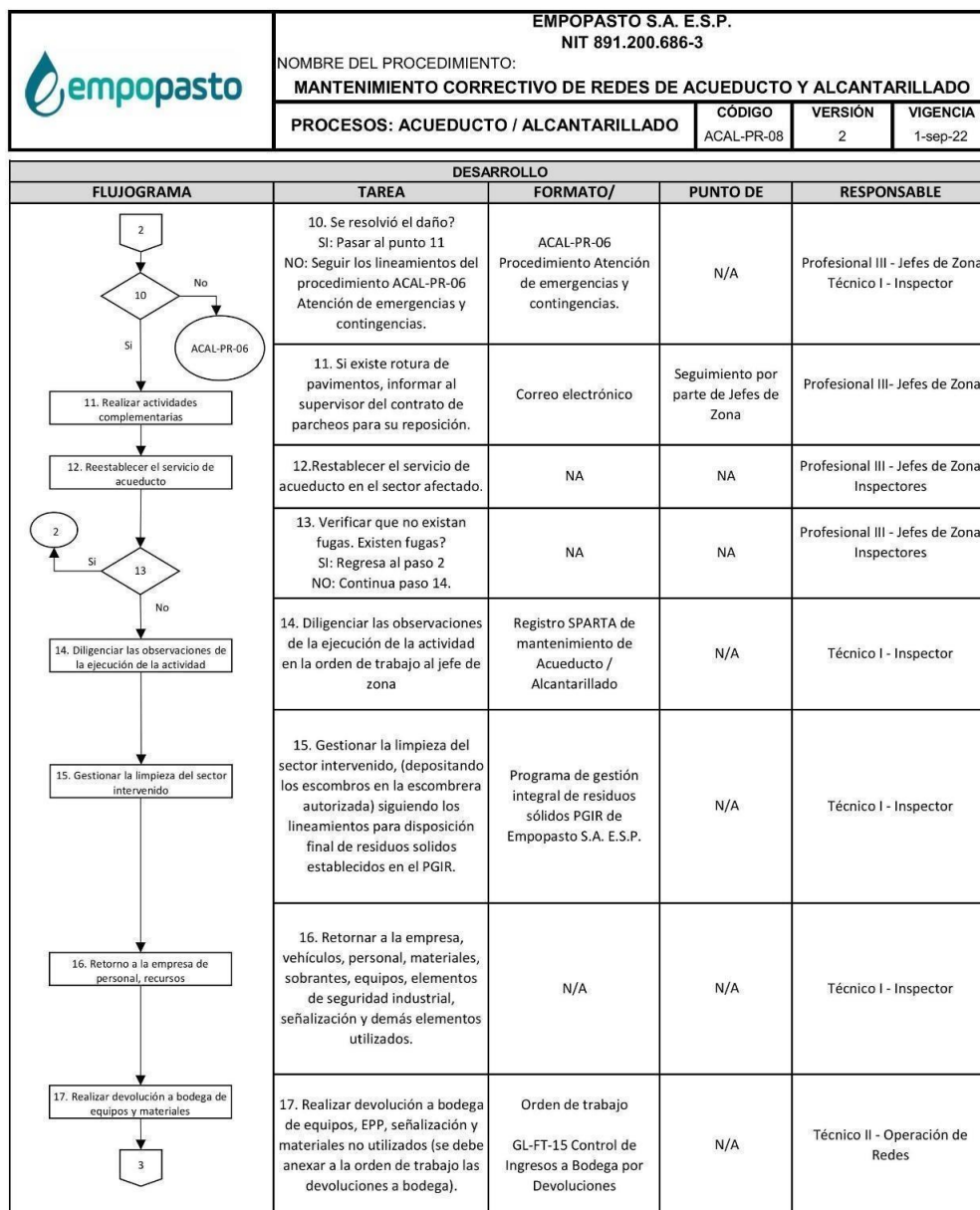
DEFINICIONES:

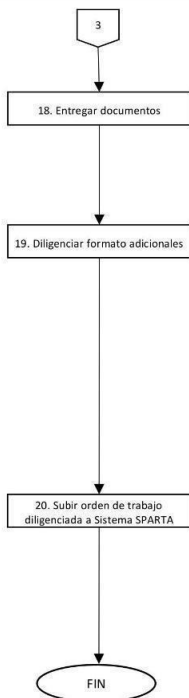
Las siguientes definiciones corresponden a la Resolución 0330 de 8 Junio de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

- Mantenimiento Correctivo:** Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.
- Redes de Alcantarillado:** Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza.
- Redes de Conducción:** Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques, sin conexión de suscriptores.
- Redes de Distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- Colector:** Es un conducto que recoge las aguas residuales y/o lluvias, provenientes de las descargas domiciliarias.
- Sumidero:** Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión de los alcantarillados combinados o de lluvias.
- Válvula:** Accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable.
- Sistema de Información Geográfica SIG:** Sistema que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo a la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rigurosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.



		EMPAPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3		
NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO:		MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO		
PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO		CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22
DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	5. Elaborar orden de trabajo a través del sistema SPARTA, incluyendo la maquinaria necesaria (Equipo de succión presión, minicargador, retro excavadora, entre otras).	Registro de SPARTA mantenimiento de Acueducto. Registro de SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado.	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	Asignar personal, vehículos, maquinaria pesada, equipos, elementos de protección personal y/o colectiva, materiales y herramienta requerida; para autorizar salida diligenciar GL-FT-22 "Control salida de equipos" y para materiales formato de Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras".	Documento APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" GL-FT-22 "Control salida de equipos".	VoBo por Profesional III -Jefes de Zona	Profesionales III - Operación de Redes Inspectores - Operación de Redes
	6. Remitir documentos a bodega "salida de elementos" y Documento Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras"	Documento APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" "Salida de elementos"	Aprobado por Profesional III -Jefes de Zona	Técnico I - Inspector
	7. Transportar al personal, los equipos y el material al sitio para la ejecución de las actividades programadas.	N/A	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	8. Determinar el sitio a intervenir y realizar señalización.	N/A	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	9. Ejecutar la actividad teniendo en cuenta los lineamientos SST y Ambientales.	Depende del tipo de trabajo a realizar. Tener en cuenta los permisos de trabajo en caso de ser tareas de alto riesgo	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector



		EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3		
NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO				
PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO		CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22
DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	18. Entregar orden de trabajo debidamente diligenciada a Profesional III y Director de Redes para firma.	Orden de trabajo	Documentos diligenciados y firmados	Inspector Técnico II- Operación de Redes
	19. Cuando se requiera se diligencia el formato para horas extras, control de turnos fin de semana y reporte de suscriptores afectados por suspensiones en red de acueducto.	AC-FT-08 Reporte de suscriptores afectados por suspensiones en red de acueducto ACAL-FT-13 Control de horas extras ACAL-FT-10 Control turno	Consecutivo de radicación asignado por el software de gestión documental	Técnico II - Operación de Redes
	20. Subir orden de trabajo diligenciada a Sistema SPARTA, teniendo en cuenta: -Material utilizado. - Tiempos de ejecución del trabajo y tiempos de cierres de sector realizado - Tipo de Trabajo realizado	Registro SPARTA de mantenimiento de Acueducto Registro SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	Fin del Procedimiento			

Control de cambios:
V1. Primera versión
V2. Inclusión responsabilidades de comunicaciones, actualización de nombres de documentos relacionados en el proedimiento, eliminación de la referencia del documento ACAL-FT-14.

A.1.2 Mantenimiento preventivo

En cuanto al mantenimiento preventivo, el procedimiento suministrado por EMPOPASTO S.A. E.S.P. Tiene como objetivo disminuir el riesgo de afectación a la red de acueducto y alcantarillado. A diferencia del correctivo, este proceso se activa a partir de la elaboración de un cronograma anual aprobado por el Director de Operación de Redes, que define dos tipos de actividades programadas: la limpieza de colectores y la reposición e instalación de hidrantes y válvulas de cierre. Con base en este cronograma se genera la orden de trabajo en el sistema SPARTA, se asignan los recursos necesarios y se traslada la cuadrilla al sitio para ejecutar las actividades correspondientes bajo los lineamientos de SST y ambientales. Finalizada la intervención se diligencian las observaciones en la orden de trabajo, se gestiona la limpieza del sector y se realiza la devolución de equipos y materiales a bodega para el cierre del proceso. No obstante, aunque este procedimiento parte de una planificación formal y periódica, su programación se basa únicamente en el cronograma anual establecido y no en el estado real y dinámico de la red, lo que significa que las intervenciones se realizan por calendario y no por necesidad técnica comprobada, dejando sin atención los cambios en el comportamiento de la red que ocurren entre un ciclo y otro.

Como resultado del análisis de los documentos institucionales suministrados por EMPOPASTO S.A. E.S.P. se identificó que la gestión de la red de alcantarillado pluvial en la Comuna 3 se lleva a cabo únicamente a través de estos dos procedimientos, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo, ambos ejecutados de forma manual y sin contar con datos dinámicos sobre el estado real de la red en tiempo real.

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

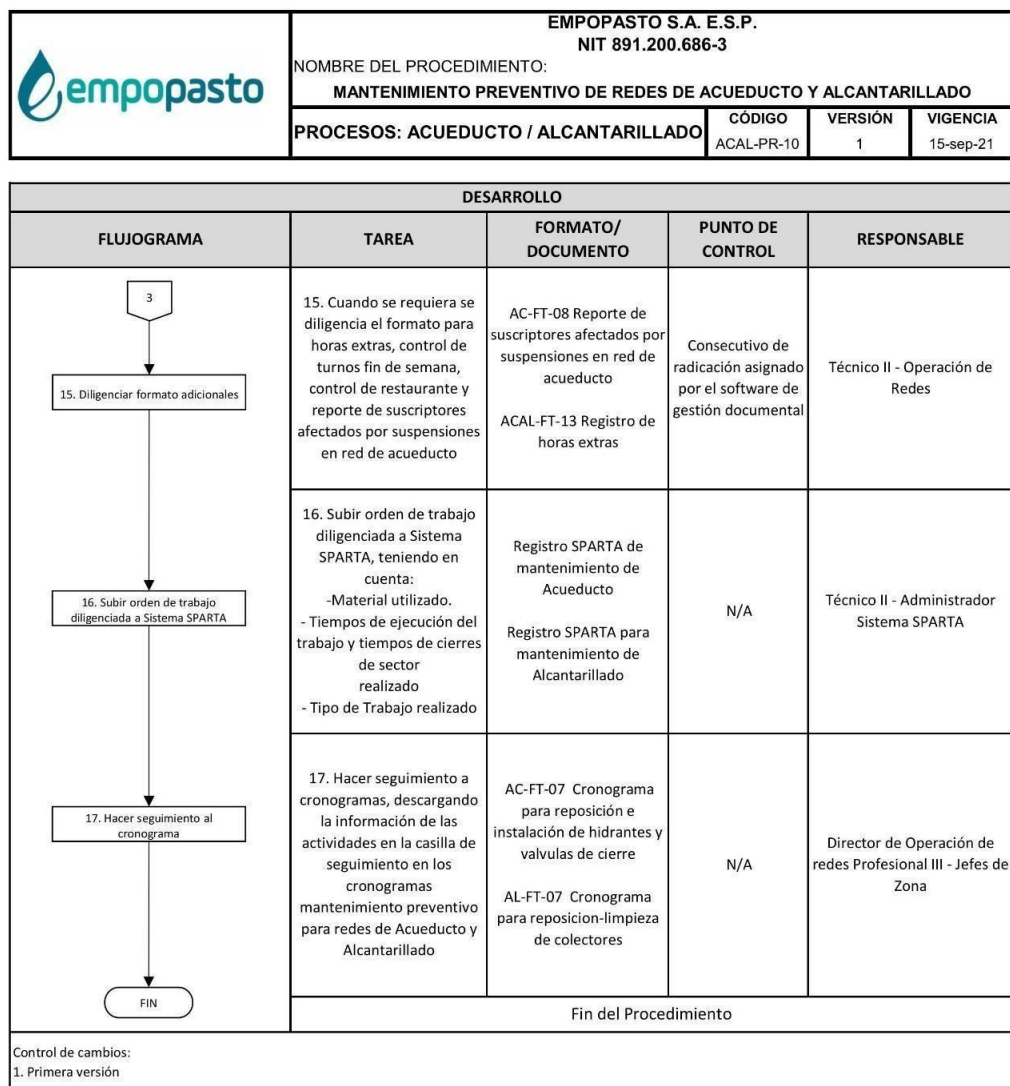
OBJETIVO: Disminuir el riesgo de afectación a la red de acueducto y alcantarillado POLÍTICAS GENERALES Y DE OPERACIÓN: El procedimiento se ejecutará dando cumplimiento a la normatividad vigente (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS; Título D) y según los lineamientos del Sistema de Gestión Integral (Gestión de Calidad, Gestión Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo). Si las actividades contemplan trabajos en altura superior e inferior a 1,50 m tener en cuenta según lineamientos definidos por el coordinador de SST. NOTA 1: Si en la ejecución del mantenimiento, ocurre algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, quien realice la visita deberá informar al jefe de manera inmediata y diligenciar completamente el formato GJ-FT-16, anexando el registro fotográfico de lo ocurrido en el formato DE-FT-16. NOTA 2. En el momento en que el jefe inmediato sea informado de los hechos, éste debe llamar a la aseguradora ALCANCE: Aplica para el mantenimiento preventivo de redes de acueducto y alcantarillado administradas por EMPOPASTO S.A. E.S.P. RESPONSABLE: Director de Operación de Redes / Profesionales III - Ingenieros de Zona Director Área de Mantenimiento de Redes: • Aprobar el informe de daños a terceros y enviar a la oficina asesora jurídica, con sus respectivos soportes en un tiempo no mayor a 24 horas después de ocurrido en siniestro, daño o afectación, con el fin de vincular a la aseguradora en el trámite correspondiente. Ingeniero de Zona: • En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe informarlo a través de al Director del área de mantenimiento en un tiempo no mayor a 12 horas. Inspector/Encargado: • En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe diligenciar el formato GJ-FT-16 y presentarlo inmediatamente al Jefe de Zona o quien haga sus veces. DEFINICIONES: Las siguientes definiciones corresponden a la Resolución 0330 de 8 Junio de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. • Mantenimiento Preventivo: Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosa o imprevista. • Redes de Alcantarillado: Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza. • Redes de Conducción: Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques, sin conexión de suscriptores. • Redes de Distribución: Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo. • Colector: Es un conducto que recoge las aguas residuales y/o lluvias, provenientes de las descargas domiciliarias • Sumidero: Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión de los alcantarillados combinados o de lluvias. • Válvula: Accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable. • SIG: Sistema de información geográfica que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo a la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rigurosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	1. Elaborar cronograma anual para el mantenimiento preventivo para redes de Acueducto, Alcantarillado	AC-FT-07 Cronograma de ejecución para reposición e instalación de hidrantes y válvulas de cierre AL-FT-07 Cronograma de ejecución para limpieza de colectores	Aprobado por Director de Operación de Redes	Profesional III - Jefes de Zona
	3. Elaborar orden de trabajo a través del sistema SPARTA, incluyendo la maquinaria necesaria (Equipo de succión presión, minicargador, retroexcavadora, entre otras)	Registro de SPARTA mantenimiento de Acueducto Registro de SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	4. Asignar personal, vehículo, equipos y materiales requeridos; para autorizar salida diligenciar formato GL-FT-17 "Control salida de equipos" y para materiales formato del Sistema Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras"	Documento APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" GL-FT-17 Control salida de equipos	VoBo por Profesional III -Jefes de Zona	Técnico I - Inspector
	5. Remitir formato a bodega GL-FT-17 "control de salida de equipos" y Documento Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras"	Doc. APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" GL-FT-17 Control salida de equipos	Aprobado por Profesional III -Jefes de Zona	Técnico I - Inspector
	6. Transportar al personal, los equipos y el material al sitio para la ejecución de las actividades programadas	N/A	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	7. Determinar el sitio a intervenir y señalizar	N/A	N/A	Prof. III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	8. Ejecutar la actividad teniendo en cuenta los lineamientos SST y Ambientales	Depende del tipo de trabajo a realizar. Tener en cuenta los permisos de trabajo en caso de ser tareas de alto riesgo	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	1			

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	9. Realizar actividades complementarias de demolición de pavimentos y andenes. (Cuando la intervención amerite se reporta al área de Supervisión de obras)	Correo electrónico	Aprobado por Profesional III -Jefes de Zona	Profesional III - Jefes de Zona
	10. Diligenciar las observaciones de la ejecución de la actividad en la orden de trabajo al jefe de zona	Registro SPARTA de mantenimiento de Acueducto / Alcantarillado	N/A	Técnico I - Inspector
	11. Gestionar la limpieza del sector intervenido, siguiendo los lineamientos para disposición final de residuos del PGIR	Programa de gestión integral de residuos sólidos PGIR	N/A	Técnico I - Inspector
	12. Retorno a la empresa, vehículo, personal, materiales, sobrantes, equipos, elementos de seguridad, etc.	N/A	N/A	Técnico I - Inspector
	13. Realizar devolución a bodega de equipos, EPP, señalización y materiales no utilizados (se debe anexar a la orden de trabajo las devoluciones a bodega)	Orden de trabajo GL-FT-03 Control de Ingresos a Bodega por Devoluciones	N/A	Técnico II - Operación de Redes
	14. Entregar orden de trabajo, diligenciados por profesional III y director de redes para firma.	Orden de trabajo	N/A	Inspector Técnico II- Operación de Redes

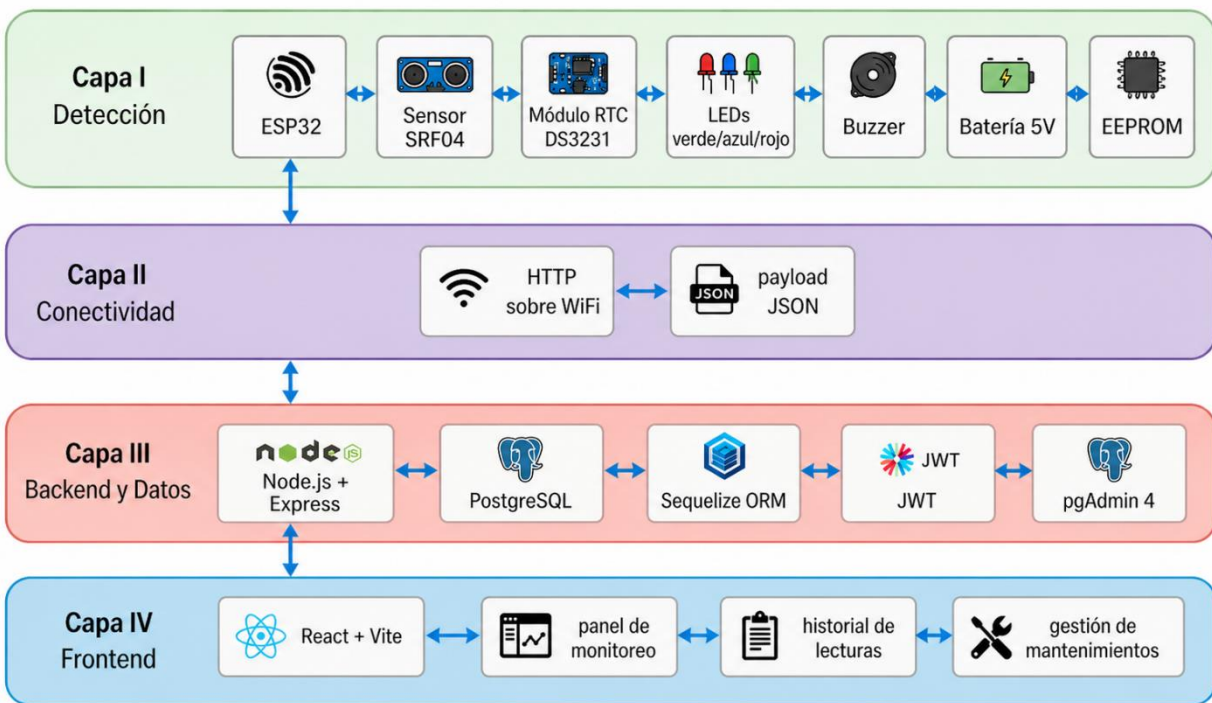


B. Diseñar un sistema de monitoreo preventivo capaz de medir y monitorear las condiciones de la red de alcantarillado.

B.1 Arquitectura general del sistema

El prototipo de plataforma IoT se estructuró en tres capas funcionales que permiten la transición del dato desde su captura dentro del colector pluvial hasta su visualización en la plataforma web, cumpliendo con que todos los módulos estén implementados y en funcionamiento: autenticación con JWT, registro continuo de lecturas en PostgreSQL, panel de monitoreo con actualización automática cada 5 segundos, historial de incidencias y módulo de gestión de mantenimientos, permitiendo al personal de EMPOPASTO S.A. E.S.P. tomar decisiones basadas en información en tiempo real sobre el estado de la red.

B.1.1 Diagrama arquitectónico



Figuras XIII. DIAGRAMA ARQUITECTÓNICO

B.1.2 Descripción de capas

B.1.2.1 Capa de detección

La capa de detección está compuesta por el prototipo IoT físico instalado en el punto de monitoreo. El sensor ultrasónico SRF04 es el encargado de medir de forma continua la distancia entre su ubicación que es en la parte superior del colector y la superficie del agua, dato a partir del cual se calcula el nivel de llenado de la tubería. Es importante aclarar que, dado que el sensor se ubica en la parte superior del colector, a mayor distancia registrada menor es el nivel del agua y a menor distancia mayor es el nivel, acercándose a una condición de desbordamiento. El microcontrolador ESP32 procesa esta lectura, actualiza el indicador visual mediante los Leds de estado, activa el buzzer en caso de nivel crítico y gestiona el envío de los datos hacia el backend. Adicionalmente, el módulo RTC DS3231 garantiza la sincronización horaria de cada registro, empleando la zona horaria de Colombia mediante NTP, y la memoria EEPROM interna del ESP32 permite conservar el último estado del sistema ante posibles interrupciones en el suministro eléctrico.

B.1.2.2 Capa de conectividad

Esta capa gestiona el transporte de la información desde el prototipo hacia el servidor mediante el protocolo HTTP sobre red WIFI. Cada vez que se cumple el intervalo de muestreo configurado, el ESP32 realiza una solicitud POST hacia el endpoint de la API, enviando en formato JSON el identificador del sensor, el identificador de la estación y el valor de nivel registrado en centímetros.

B.1.2.3 Capa de Backend y datos

Se configuró el servidor empleando Node.js con el framework Express como capa de mediación y lógica de la API REST. La información proveniente del prototipo se almacenó de forma estructurada en una base de datos relacional PostgreSQL, gestionada a través del ORM Sequelize. El acceso al sistema se protegió mediante autenticación basada en tokens JWT, asegurando que solo el personal autorizado de EMPOPASTO S.A. E.S.P. pueda consultar o gestionar la información del sistema.

B.1.2.4 Capa Frontend

Se desarrolló una aplicación web utilizando React con Vite, que permite al personal de EMPOPASTO S.A. E.S.P. visualizar en tiempo real el nivel del agua registrado en cada estación de monitoreo, consultar el historial de lecturas y revisar los mantenimientos asociados a cada punto.

Esta interfaz convierte los datos del backend en información clara y de fácil interpretación para la toma de decisiones preventivas.

B.2 Especificaciones de los componentes

B.2.1 Componentes Hardware

Tabla de Componentes Hardware		
COMPONENTE	MODELO	FUNCIÓN EN EL PROYECTO
Microprocesador	ESP32	Procesamiento de la señal del sensor, gestión de la comunicación WIFI y coordinación de los indicadores visuales y sonoros
Sensor de nivel	SRF04	Medición de la distancia entre el sensor y la superficie del agua dentro del colector pluvial
Módulo reloj	RTC DS3231	Proporciona la marca de tiempo exacta para cada registro, sincronizado con NTP en la zona horaria de Colombia
Led azul		Indicador visual de nivel bajo: distancia mayor a 25 cm
Led verde		Indicador visual de nivel medio: distancia entre 15 y 25 cm
Led rojo		Indicador visual de nivel crítico: distancia menor o igual a 15 cm, con parpadeo intermitente

Buzzer		Alerta sonora activada cuando el nivel alcanza el estado crítico
Batería	5V	Suministra energía al prototipo para su operación

Tabla II. COMPONENTES HARDWARE DEL PROTOTIPO DE PLATAFORMA IOT

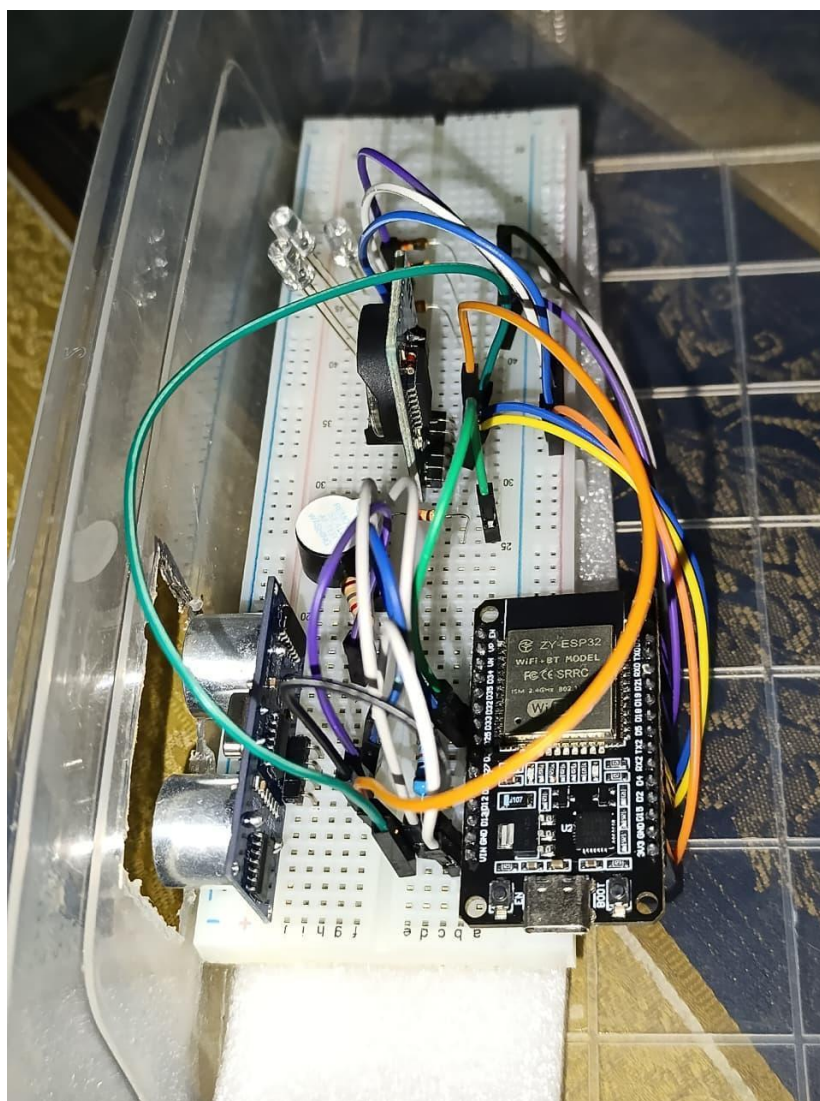
B.2.2 Componentes Software

Componentes Software		
HERRAMIENTA	TIPO	FUNCIÓN EN EL PROYECTO
React + Vite	Framework Frontend	Desarrollo de la interfaz web de monitoreo y visualización de datos
Node.js + Express	Framework Backend	Coordinación de la API REST y gestión de las rutas de comunicación entre el hardware y la base de datos
pgAdmin 4	Herramienta de administración	Gestión visual de la base de datos PostgreSQL durante el desarrollo y validación del esquema relacional
Sequelize	ORM	Gestión y mapeo de la base de datos PostgreSQL desde el Backend
PostgreSQL	Base de datos relacional	Almacenamiento persistente del historial de lecturas, estaciones, sensores, usuarios y mantenimientos

JWT	Mecanismo de autenticación	Control de acceso al sistema mediante tokens de sesión para el personal autorizado
HTTP	Protocolo de comunicación	Transmisión de datos desde el ESP32 hacia el Backend mediante solicitudes POST

Tabla III. COMPONENTES SOFTWARE Y FRAMEWORKS DEL SISTEMA

B.2.3 Integración de componentes



Figuras XIV. INTEGRACIÓN DE COMPONENTES

B.3 Lógica para alertas

La lógica programada del ESP32 se estructura en tres estados operativos que permiten identificar de forma inmediata el nivel de riesgo en el punto de monitoreo a partir de la distancia registrada por el sensor. Esta lógica también ajusta de forma automática el intervalo de muestreo según el estado detectado, aumentando la frecuencia de lectura cuando el nivel se vuelve crítico asegurando una monitorización detallada en los momentos de mayor riesgo.

Umbrales del prototipo			
ESTADO	DISTANCIA	INDICADORES ACTIVOS	INTERVALO DE MUESTREO
Nivel bajo	Mayor a 25 cm	Led azul	3.000 ml (3 s)
Nivel Medio	Entre 15 y 25 cm	Led azul + Led verde	3.000 ml (3 s)
Nivel Crítico	Menor o igual a 15 cm	Led rojo (parpadeante) + Led azul + Led verde + Buzzer	1.000 ml (1 s)

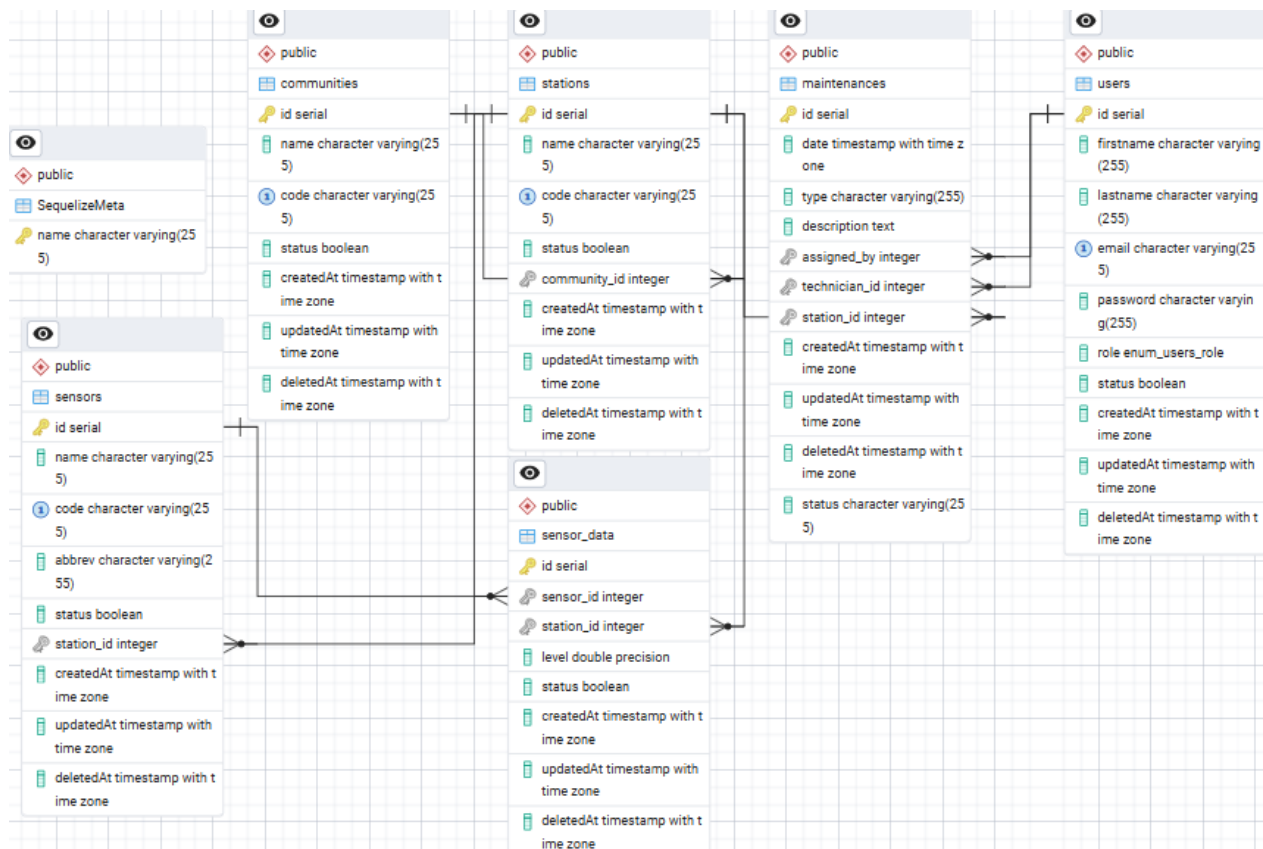
Tabla IV. UMBRALES DEL PROTOTIPO

Adicionalmente, el sistema almacena en la memoria EEPROM del ESP32 la última distancia registrada y el intervalo de muestreo vigente, de modo que ante una interrupción eléctrica el prototipo pueda recuperar su estado operativo anterior al reiniciarse, garantizando la continuidad del monitoreo.

B.4 Diseño de la base de datos

Para garantizar la persistencia de los datos, la trazabilidad de las lecturas y la gestión de los puntos de monitoreo, se diseñó una base de datos relacional implementada en PostgreSQL y administrada a través de pgAdmin 4. Esta estructura permite registrar de forma organizada el historial de niveles por estación, controlar los mantenimientos asociados y gestionar el acceso de los usuarios al sistema.

B.4.1 Modelo Entidad-Relación



Figuras XV. MODELO ENTIDAD - RELACIÓN

B.4.2 Descripción del modelo

La entidad central del modelo es la tabla STATIONS, que centra el control del prototipo IoT instalado en la red pluvial de la Comuna 3, vinculado directamente con la comunidad a la que pertenecen a través de la tabla COMMUNITIES. Cada estación puede tener asociados uno o varios sensores registrados en la tabla SENSORS, los cuales generan las lecturas que se almacenan en la tabla SENSOR_DATA, donde el campo LEVEL registra en tiempo real la distancia medida en centímetros por el sensor ultrasónico.

La tabla MAINTENANCES permite registrar todas las intervenciones preventivas o correctivas asociadas a cada estación, vinculando el técnico responsable y el usuario que asignó la tarea a través de la tabla USERS. Esta relación es clave para el objetivo del sistema, ya que permite contrastar las lecturas de nivel con las intervenciones realizadas, facilitando la evaluación del impacto del monitoreo preventivo en la gestión de la red.

La tabla USERS gestiona el acceso a la plataforma web, asignando roles diferenciados mediante el campo ROLE, lo que permite controlar los permisos de cada usuario dentro del sistema.

B.4.3 Diccionario de datos

Tabla COMMUNITIES		
CAMPO	TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Id	Serial	Identificador único de la comunidad
Name	Varchar (255)	Nombre de la comunidad
Code	Varchar (255)	Código de identificación de la comunidad
Status	Boolean	Indica si la comunidad está activa
CreatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de registro
UpdatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de la última modificación
DeletedAt	Timestamp with time zone	Fecha de eliminación

Tabla V. TABLA COMMUNITIES

Tabla STATIONS		
CAMPO	TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Id	Serial	Identificador único de la estación
Name	Varchar (255)	Nombre de la estación
Code	Varchar (255)	Código de identificación de la estación
Status	Boolean	Indica si la estación está operando
Community_id	Integer	Relación con la comunidad a la que pertenece la estación
CreatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de registro

UpdatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de la última modificación
DeletedAt	Timestamp with time zone	Fecha de eliminación

Tabla VI. TABLA STATIONS

Tabla SENSORS		
CAMPO	TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Id	Serial	Identificador único del sensor
Name	Varchar (255)	Nombre del sensor
Code	Varchar (255)	Código de identificación del sensor
Abbrev	Varchar (255)	Abreviatura del sensor
Status	Boolean	Indica si el sensor está activo
Station_id	Integer	Relación con la estación a la que pertenece el sensor
CreatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de registro
UpdatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de la última modificación
DeletedAt	Timestamp with time zone	Fecha de eliminación

Tabla VII. TABLA SENSORS

Tabla SENSOR_DATA		
CAMPO	TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Id	Serial	Identificador único del registro
Sensor_id	Integer	Relación con el sensor que tomó la lectura
Station_id	Integer	Relación con la estación donde se tomó la lectura
Level	Double precision	Distancia registrada en centímetros
Status	Boolean	Estado del registro

CreatedAt	Timestamp with time zone	Fecha y hora exacta de la lectura
UpdatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de la última modificación
DeletedAt	Timestamp with time zone	Fecha de eliminación

Tabla VIII. TABLA SENSOR_DATA

Tabla MAINTENANCES		
CAMPO	TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Id	Serial	Identificador único del mantenimiento
Date	Timestamp with time zone	Fecha y hora del mantenimiento
Type	Varchar (255)	Tipo de mantenimiento (Correctivo o Preventivo)
Description	Text	Descripción detallada del mantenimiento
Assigned_by	Integer	Usuario que asignó el mantenimiento
Technician_id	Integer	Técnico responsable de ejecutar el mantenimiento
Station_id	Integer	Estación a la que se le va a hacer el mantenimiento
Status	Varchar (255)	Estado actual del mantenimiento
CreatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de registro
UpdatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de la última modificación
DeletedAt	Timestamp with time zone	Fecha de eliminación

Tabla IX. TABLA MAINTENANCES

Tabla USERS

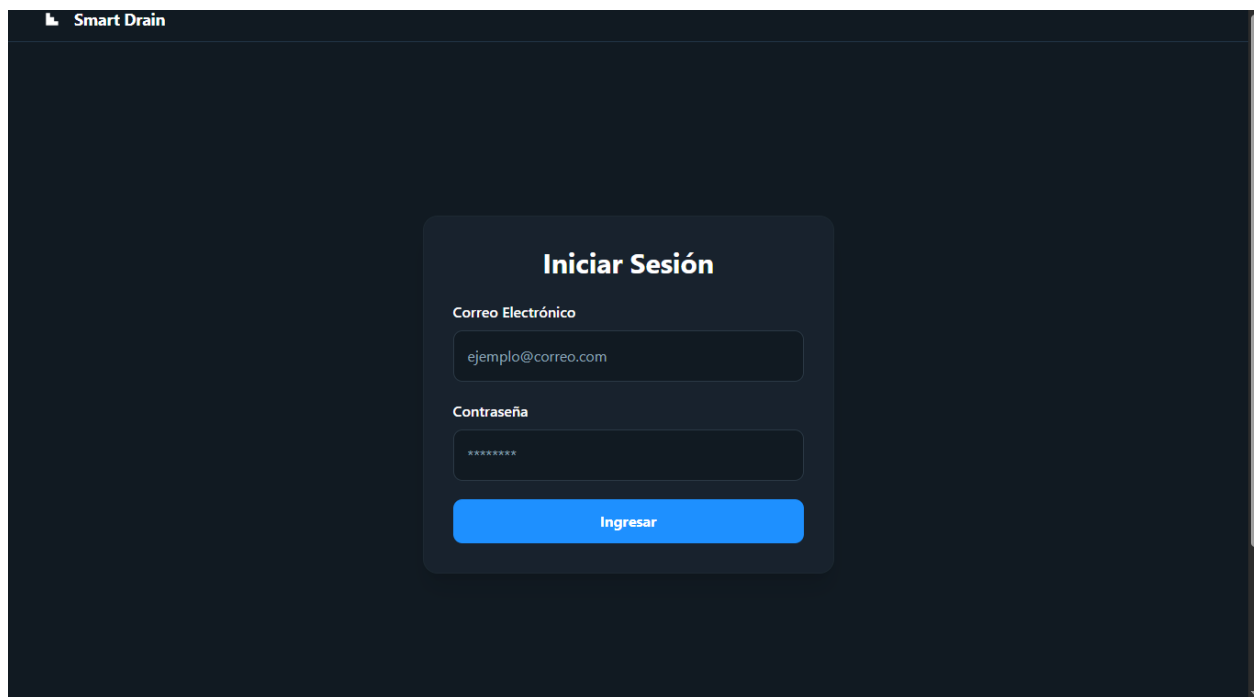
CAMPO	TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Id	Serial	Identificador único de la estación
Firstname	Varchar (255)	Nombre del usuario
Lastname	Varchar (255)	Apellido del usuario
Email	Varchar (255)	Correo electrónico utilizado para el inicio de sesión
Password	Varchar (255)	Contraseña del usuario
Role	Enum users_role	Rol asignado al usuario
Status	Boolean	Indica si el usuario está habilitado
CreatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de registro
UpdatedAt	Timestamp with time zone	Fecha de la última modificación
DeletedAt	Timestamp with time zone	Fecha de eliminación

Tabla X. TABLA USERS

B.5 Interfaz de usuario

La interfaz web, se desarrolló en React con Vite utilizando un enfoque funcional que permite al personal de EMPOPASTO S.A. E.S.P. Supervisar en tiempo real el estado de la red de alcantarillado pluvial en la Comuna 3.

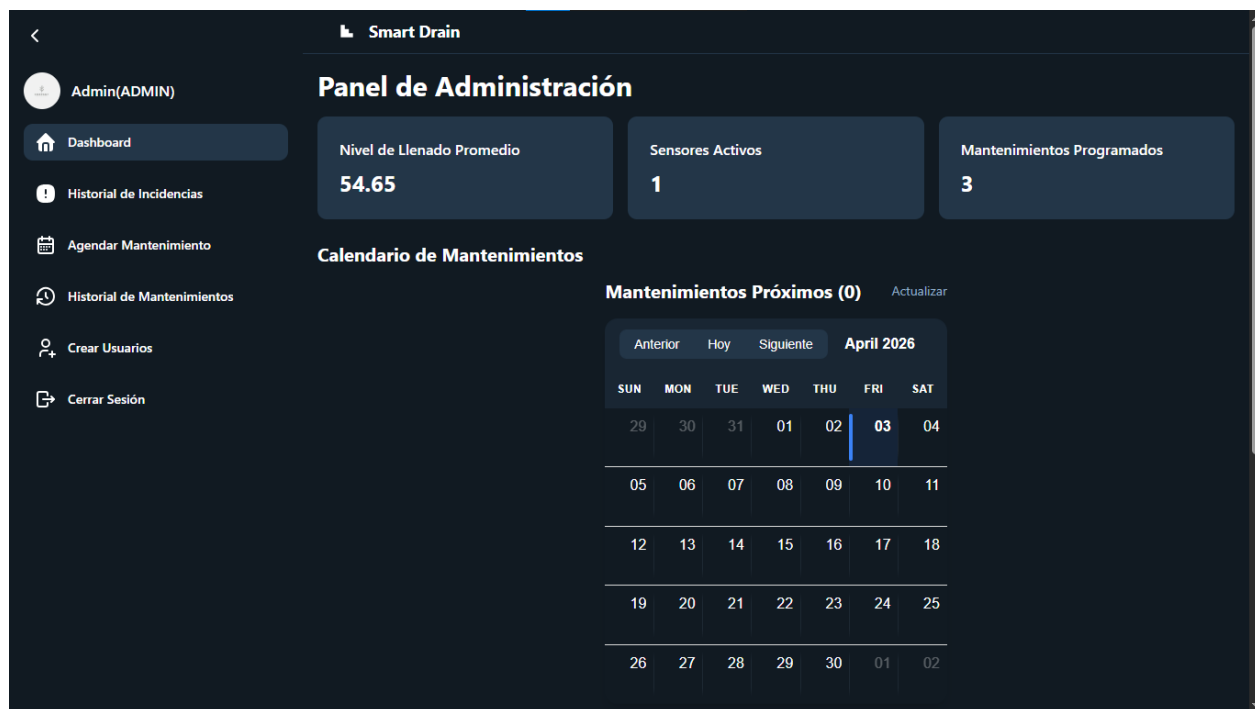
B.5.1 Inicio de sesión



Figuras XVI. INICIO DE SESIÓN

El módulo de autenticación implementa un control de acceso mediante tokens JWT, garantizando que únicamente el personal autorizado de EMPOPASTO S.A. E.S.P. pueda ingresar al sistema. El acceso se gestiona a través del correo electrónico y contraseña registrados en la tabla USERS, y el rol asignado determina los permisos disponibles dentro de la plataforma.

B.5.2 Panel de monitoreo



Figuras XVII. PANEL DE MONITOREO

El panel principal permite visualizar el estado operativo de cada estación de monitoreo registrada en la red. Para cada punto se muestra el nivel actual registrado por el sensor, el estado de alerta correspondiente según los umbrales definidos y la última marca de tiempo de la lectura. Esto permite al personal identificar de forma inmediata qué estaciones requieren atención preventiva antes de que se produzca un desbordamiento.

B.5.3 Historial de incidencias

ID	Fecha	Sensor	Estación	Nivel	Estado	Acciones
#000001	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	25.8	Normal	Cambiar estado
#000002	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	38.0	Normal	Cambiar estado
#000003	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	38.0	Normal	Cambiar estado
#000004	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	38.0	Normal	Cambiar estado
#000005	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000006	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	6.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000007	28/10/2025	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	38.0	Normal	Cambiar estado

Figuras XVIII. HISTORIAL DE INCIDENCIAS

Este módulo presenta en una tabla el historial de mediciones registradas por cada sensor, incluyendo el valor de nivel en centímetros junto con la fecha y hora exacta de cada lectura. Esta información permite al personal técnico identificar tendencias en el comportamiento de la red y programar intervenciones preventivas con base en datos históricos.

B.5.4 Gestión de mantenimientos

Nuevo Registro de Mantenimiento

Complete los siguientes campos para agendar una nueva tarea.

Fecha de Mantenimiento
dd/mm/aaaa

Tipo de Mantenimiento
Seleccionar tipo...

Estación / Alcantarilla
Seleccionar estación...

Técnico Asignado
Asignar técnico...

Descripción Detallada
Añada una descripción detallada de la tarea a realizar...

Cancelar **Guardar Mantenimiento**

Figuras XIX. REGISTRO DE MANTENIMIENTO

Mantenimientos Asignados

ID	Fecha	Descripción	Asignado Por	Técnico Responsable	Estación	Estado	Acciones
#000001	2025-01-15	Reemplazo de sensor de nivel de agua en estación 12	Kevin	Kevin	Estación Alcantarilla Ejemplo	Resuelto	Cambiar estado
#000002	2025-11-27	Aguas estancadas	Admin	Kevin	Estación Alcantarilla Ejemplo	Resuelto	Cambiar estado
#000003	2025-11-23	Limpieza	Admin	Kevin	Estación Alcantarilla Ejemplo	Resuelto	Cambiar estado

Términos de servicio [Política de privacidad](#)

Ayuda

© 2025 Smart Drain. Todos los derechos reservados.

Figuras XX. MANTENIMIENTOS ASIGNADOS

El módulo de mantenimientos permite registrar y consultar las intervenciones asociadas a cada estación de monitoreo, especificando el tipo de mantenimiento, la fecha, el técnico

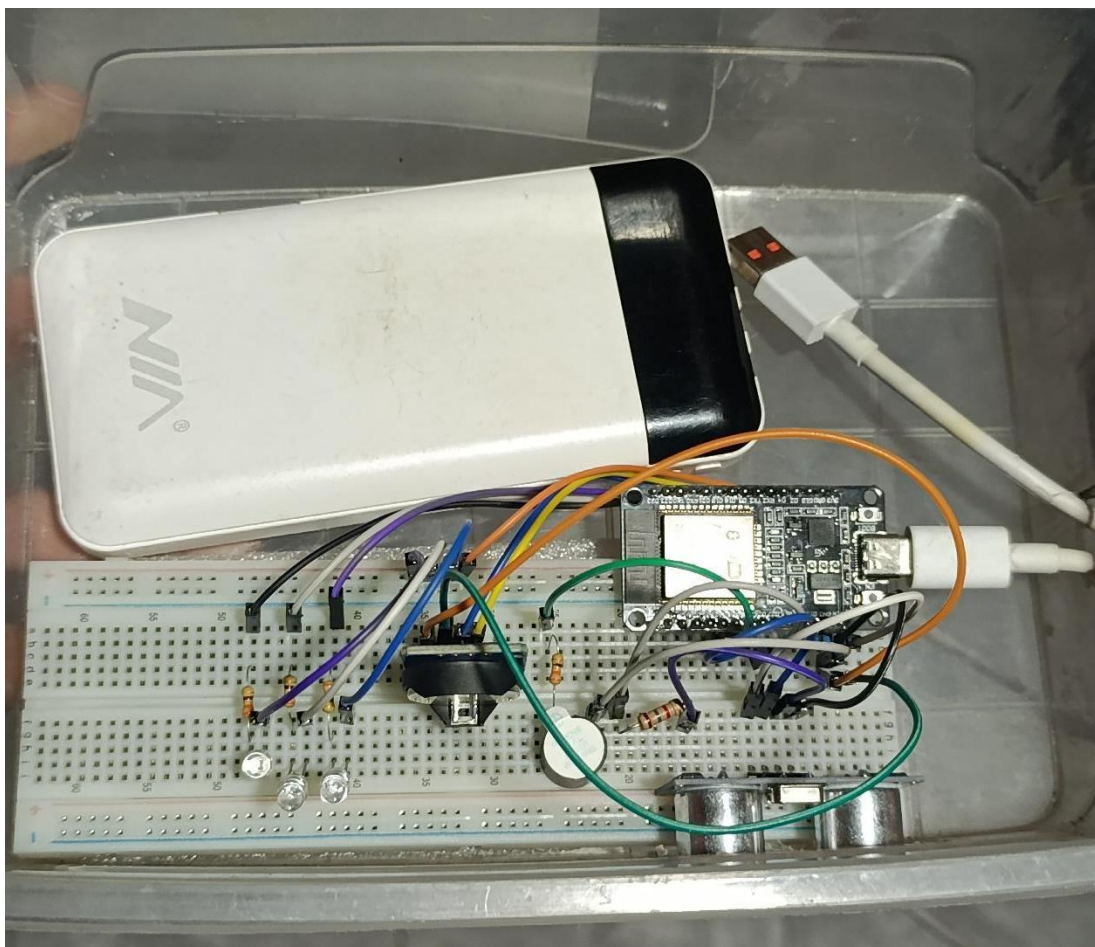
responsable y una descripción de la actividad realizada. Esta funcionalidad permite al personal de EMPOPASTO S.A. E.S.P. convertir una alerta de nivel crítico en una intervención preventiva programada y documentada.

C. Validar el funcionamiento del prototipo de plataforma IoT mediante pruebas en ambiente controlado que permitan medir y evaluar los datos recolectados por el sistema.

Con base en los resultados obtenidos en el objetivo anterior, se procedió a la validación del prototipo de plataforma IoT mediante la ejecución de un conjunto de pruebas funcionales en ambiente controlado. Dado que el prototipo se encuentra en fase inicial de desarrollo y no cuenta aún con las condiciones de impermeabilización requeridas para su instalación definitiva dentro de los colectores pluviales de la red real de la Comuna 3, las pruebas se realizaron utilizando recipientes con agua que permitieron simular de forma controlada los tres estados de nivel operativo definidos en la lógica de umbrales del sistema.

C.1 Ambiente de pruebas

Las pruebas se realizaron utilizando recipientes de agua en un ambiente controlado, lo que permitió simular de forma repetible los tres estados de nivel definidos en la lógica del sistema: nivel bajo con distancia mayor a 25 cm, nivel medio entre 15 y 25 cm, y nivel crítico con distancia menor o igual a 15 cm. El prototipo se conectó a una red WIFI local y al servidor backend durante toda la sesión, garantizando la transmisión continua de datos hacia la base de datos PostgreSQL y su visualización en tiempo real en la plataforma web. La fotografía del prototipo en condiciones de prueba se presenta en la siguiente figura.



Figuras XXI. PROTOTIPO IOT COMPLETO Y LISTO PARA PRUEBAS

C.2 Pruebas de funcionamiento

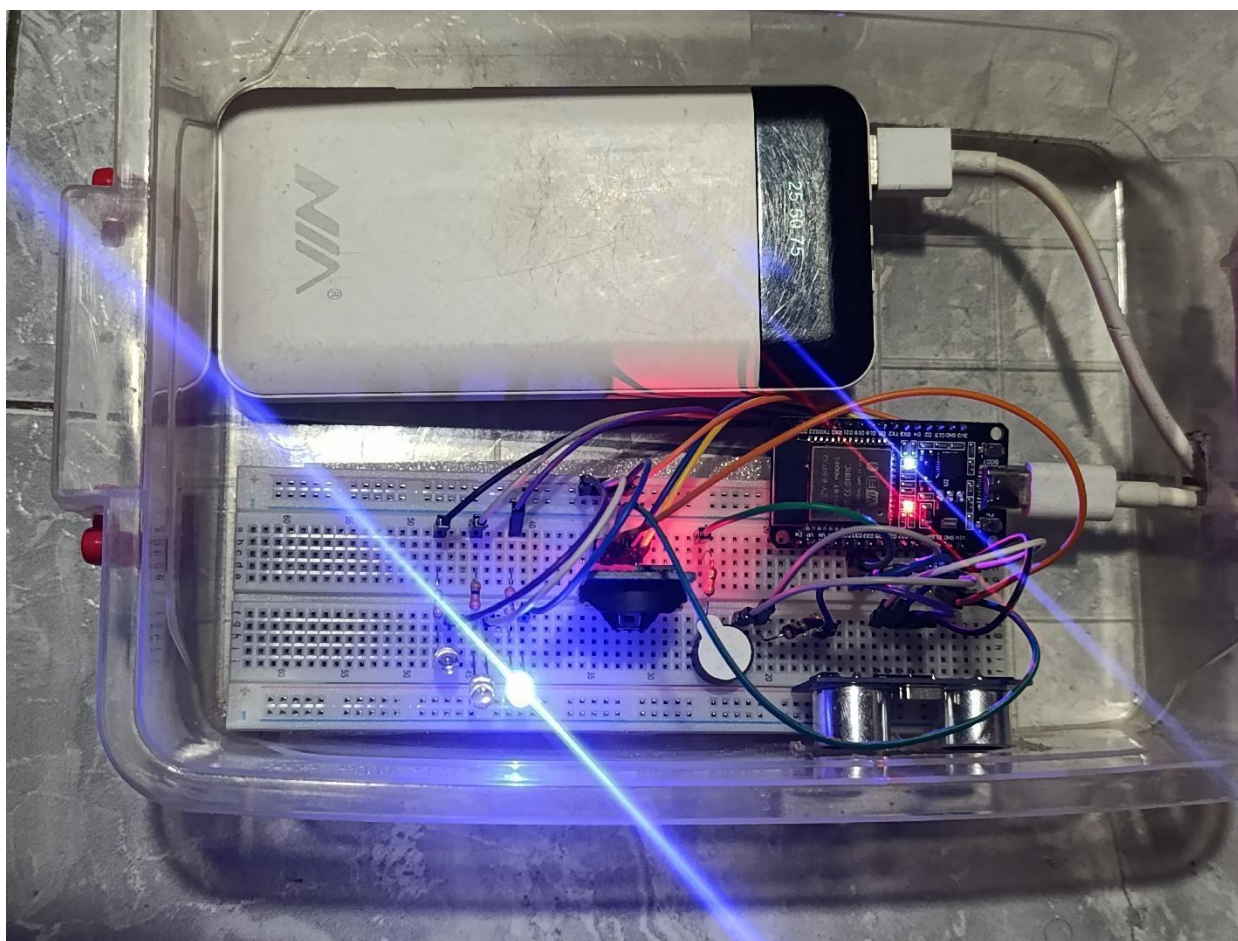
Con el fin de verificar el funcionamiento adecuado entre los estados de nivel medidos por el sensor y la respuesta del sistema, se ejecutaron cinco repeticiones de una secuencia de tres niveles, evaluando en cada caso la activación correcta de los indicadores visuales, la señal sonora y el registro en la base de datos.

Resultados de las pruebas de funcionamiento				
REPETICIÓN	LED AZUL (> 25CM)	LED AZUL + VERDE (15 – 25CM)	LED AZUL + VERDE + ROJO + BUZZER (≤ 15CM)	REGISTRO EN LA BASE DE DATOS

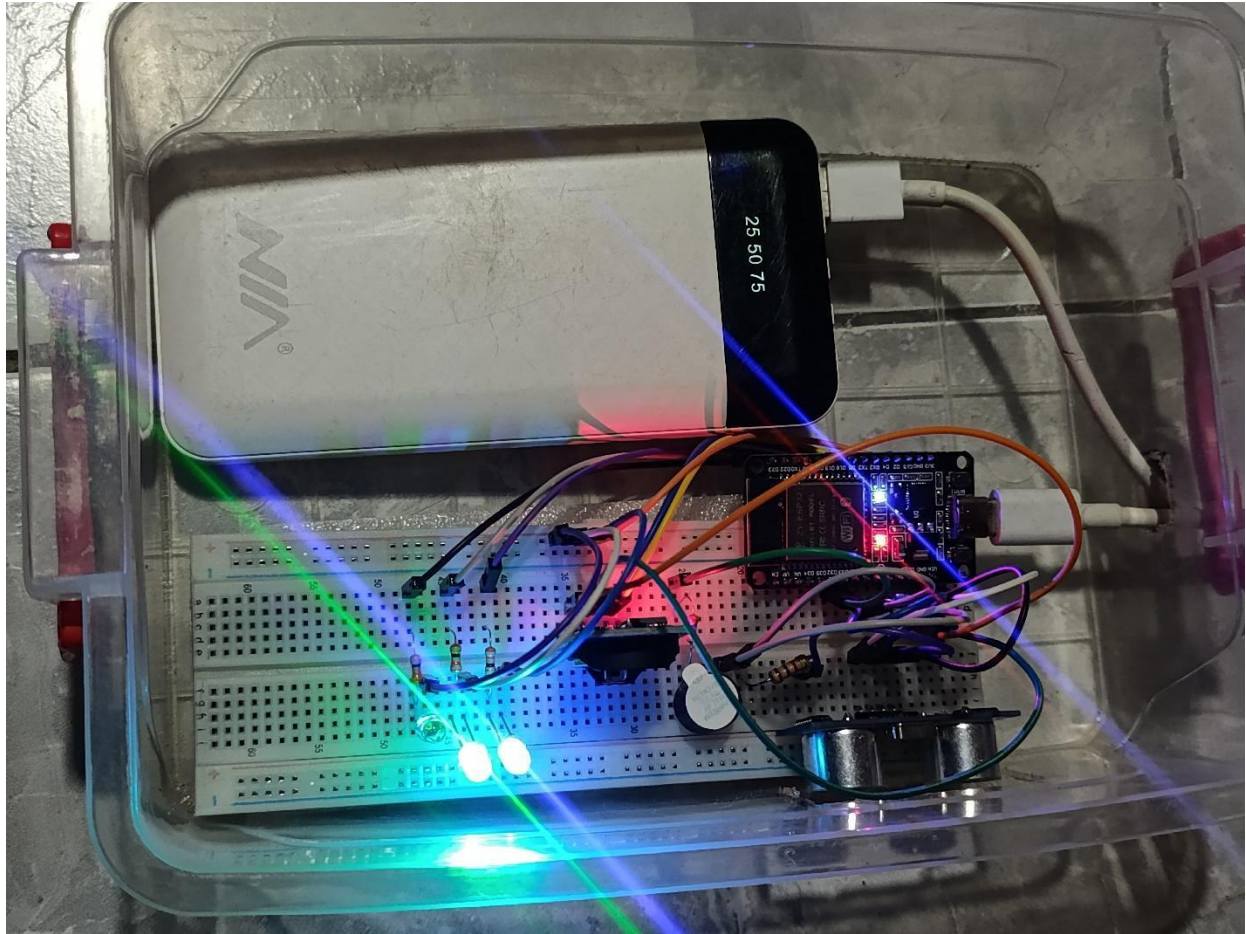
1	Sí	Sí	Sí	Sí
2	Sí	Sí	Sí	Sí
3	Sí	Sí	Sí	Sí
4	Sí	Sí	Sí	Sí
5	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla XI. RESULTADOS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En las cinco repeticiones, el sistema respondió de forma correcta a los tres estados de nivel evaluados, La activación del indicador visual ocurrió dentro del intervalo de muestreo configurado que es detección cada 3 segundos en estado normal y detección cada segundo en estado crítico, confirmando que la latencia de respuesta es adecuada. En todos los casos, el registro en la base de datos PostgreSQL se completó de manera exitosa lo que confirma el óptimo funcionamiento del prototipo bajo las condiciones de prueba establecidas.



Figuras XXII. PROTOTIPO IOT CON NIVEL BAJO



Figuras XXIII. PROTOTIPO IOT CON NIVEL MEDIO



Figuras XXIV. PROTOTIPO IOT CON NIVEL CRÍTICO

C.3 Pruebas ante corte eléctrico

Para evaluar la capacidad de recuperación del prototipo ante una interrupción en el suministro eléctrico, se desconectó la batería durante 10 segundos mientras el sensor registraba nivel crítico. Al reconectar la alimentación, el sistema retomó su operación de forma autónoma, recuperando el último estado almacenado en la memoria EEPROM y volviendo a activar el LED rojo sin necesidad de intervención manual. Tras la reconexión a la red WIFI, el prototipo reanudó el envío de datos al servidor, registrándose un nuevo dato en la tabla sensor_data. Este resultado confirma que el mecanismo de persistencia implementado mediante la EEPROM interna del ESP32 cumple con la función de garantizar continuidad operativa ante fallas en el suministro eléctrico.

C.4 Pruebas ante corte de conectividad

Para evaluar el comportamiento del prototipo ante una pérdida temporal de conectividad, se cortó la señal WIFI durante 30 segundos mientras el prototipo se encontraba en funcionamiento. Durante este período, el prototipo continuó realizando mediciones y actualizando los indicadores visuales con normalidad, evidenciando que la lógica de medición y señalización es independiente de la conectividad de red. Al restablecer la conexión WIFI, el sistema retomó el envío de datos al servidor, La llegada de nuevos registros a pgAdmin fue verificada tras la reconexión, confirmando que no se produjo una pérdida de los datos anteriores a la desconexión.

C.5 Medición del tiempo medio de detección MTTD

El tiempo medio de detección (MTTD) se midió cuantitativamente como el tiempo transcurrido desde el momento en que el sensor pasa de nivel bajo a nivel crítico hasta el instante en que el LED rojo se activa por primera vez. Para su medición se empleó el cronómetro de un dispositivo móvil, el tiempo se inició en el momento exacto en que el sensor fue posicionado a menos de 15 cm de la superficie del agua como transición a nivel crítico y se detuvo en el instante en que el LED rojo se activó por primera vez. Se realizaron 10 mediciones independientes, separadas por 30 segundos entre sí para garantizar que el sistema retornaba al estado normal entre cada medición.

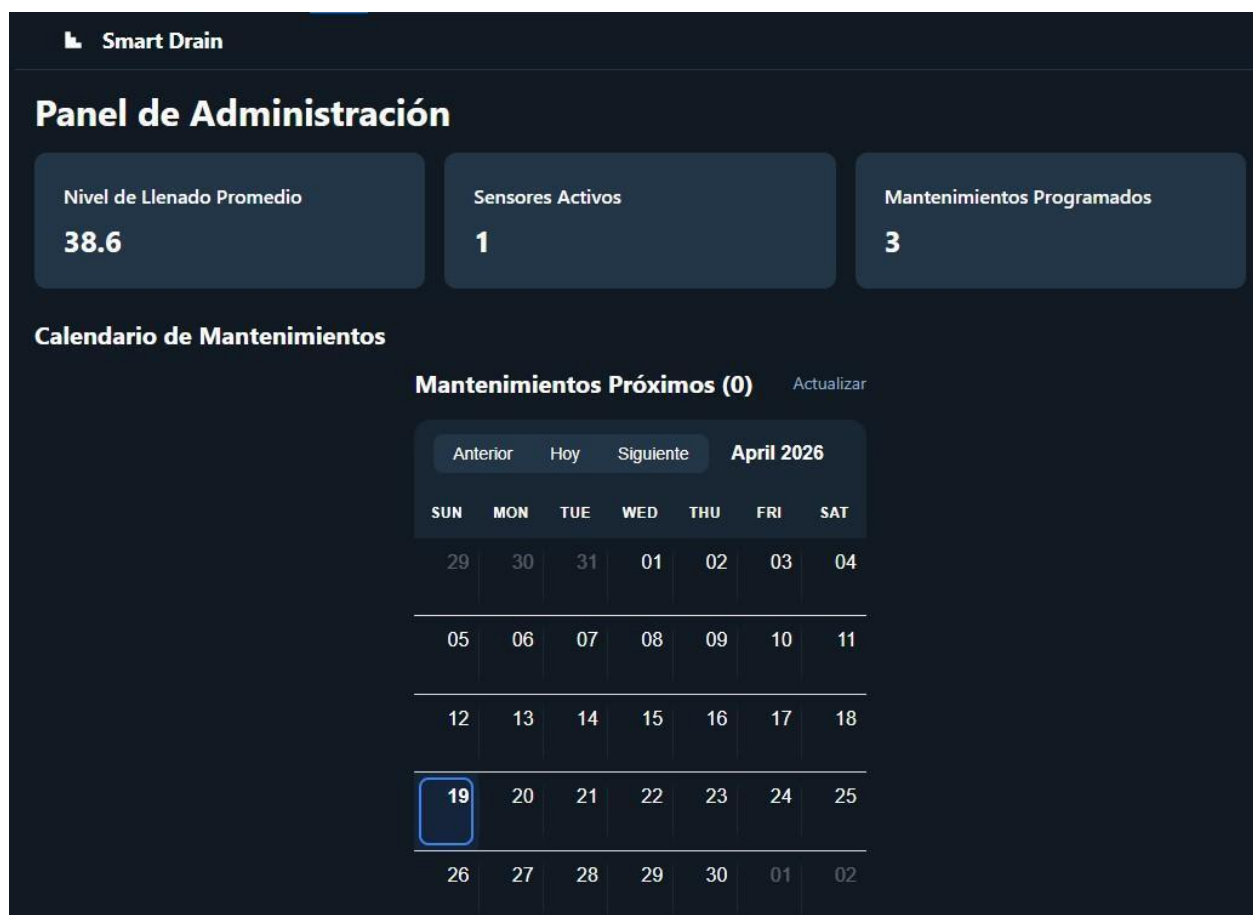
Tiempos obtenidos en la medición del MTTD	
REPETICIÓN	TIEMPO DE DETECCIÓN (SEGUNDOS)
1	3.07 s
2	1.96 s
3	3.74 s
4	2.01 s
5	3.39 s
6	2.40 s
7	3.37 s
8	2.82 s
9	1.98 s
10	3.67 s
Promedio	2.841 s

Tabla XII. RESULTADOS MTTD

El MTTD promedio obtenido fue de 2.841 segundos, con un valor mínimo de 1.96 segundos y un valor máximo de 3.74 segundos. Esta variación se explica por el intervalo de muestreo del sensor, configurado en 3 segundos para el estado de operación normal y reducido a 1 segundo al detectar el nivel crítico, lo que determina el tiempo máximo dentro del cual el sistema puede generar la alerta. Este resultado confirma que el prototipo es capaz de detectar y señalar un cambio a nivel crítico en un tiempo inferior a 4 segundos, lo que representa una capacidad de detección temprana que el proceso de mantenimiento correctivo actual de EMPOPASTO S.A. E.S.P. no contempla.

C.6 Resultados página web

Como evidencia cuantitativa de la integración completa del sistema, la tabla sensor_data de PostgreSQL registró un total de 573 lecturas acumuladas hasta abril de 2026. Dentro del historial de incidencias se logran visualizar los datos exactamente igual a como están registrados en la tabla sensor_data con el mismo nivel de agua y la hora correspondiente al timestamp para la zona horaria de Colombia, UTC-5.



Figuras XXV. PANEL DE ADMINISTRACIÓN

La tabla `sensor_data` en `pgAdmin` evidencia el registro continuo de lecturas, con 573 registros acumulados hasta el 20 de abril de 2026, mostrando los cambios entre los valores de nivel bajo y nivel crítico durante las pruebas.

	id [PK] integer	sensor_id integer	station_id integer	level double precision	status boolean	createdAt timestamp with time zone	updatedAt timestamp with time zone	deletedAt timestamp with time zone
1	573	1	1	34	true	2026-04-19 20:26:25.94-05	2026-04-19 20:26:25.94-05	[null]
2	572	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:25.636-05	2026-04-19 20:26:25.636-05	[null]
3	571	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:21.85-05	2026-04-19 20:26:21.85-05	[null]
4	570	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:21.097-05	2026-04-19 20:26:21.097-05	[null]
5	569	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:20.416-05	2026-04-19 20:26:20.416-05	[null]
6	568	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:15.547-05	2026-04-19 20:26:15.547-05	[null]
7	567	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:10.279-05	2026-04-19 20:26:10.279-05	[null]
8	566	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:09.475-05	2026-04-19 20:26:09.475-05	[null]
9	565	1	1	9	true	2026-04-19 20:26:08.126-05	2026-04-19 20:26:08.126-05	[null]
10	564	1	1	18	true	2026-04-19 20:26:05.535-05	2026-04-19 20:26:05.535-05	[null]
11	563	1	1	18	true	2026-04-19 20:26:04.764-05	2026-04-19 20:26:04.764-05	[null]
12	562	1	1	18	true	2026-04-19 20:26:02.09-05	2026-04-19 20:26:02.09-05	[null]
13	561	1	1	18	true	2026-04-19 20:25:54.112-05	2026-04-19 20:25:54.112-05	[null]
14	560	1	1	29	true	2026-04-19 20:25:49.553-05	2026-04-19 20:25:49.553-05	[null]
15	559	1	1	30	true	2026-04-19 20:25:46.89-05	2026-04-19 20:25:46.89-05	[null]
16	558	1	1	29	true	2026-04-19 20:25:43.509-05	2026-04-19 20:25:43.509-05	[null]
17	557	1	1	52	true	2026-04-19 20:25:43.1-05	2026-04-19 20:25:43.1-05	[null]
18	556	1	1	52	true	2026-04-19 20:25:37.702-05	2026-04-19 20:25:37.702-05	[null]

Figuras XXVI. TABLA SENSOR_DATA

El historial de incidencias en la plataforma web refleja de igual forma los diferentes estados registrados, clasificando automáticamente cada lectura como Normal o Mantenimiento según el umbral definido. Además, la plataforma web fue optimizada para actualizar la tabla de lecturas de forma automática cada 5 segundos, eliminando la necesidad de recargar la página manualmente para visualizar los datos más recientes.

Historial de Incidencias

ID	Fecha	Sensor	Estación	Nivel	Estado	Acciones
#000573	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	34.0	Normal	Cambiar estado
#000572	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000571	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000570	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000569	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000568	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado
#000567	19/4/2026	Senor Arduino-1	Estación Alcantarilla Ejemplo	9.0	Mantenimiento	Cambiar estado

Figuras XXVII. HISTORIAL DE INCIDENCIAS

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A. Análisis del objetivo específico 1

Adquirir información de los procesos que se utilizan actualmente para el mantenimiento de la red de alcantarillado a partir de los datos suministrados por EMPOPASTO S.A E.S.P.

Gracias a la información suministrada por EMPOPASTO S.A E.S.P. acerca de los procedimientos institucionales actuales se pudo determinar que la gestión actual de la red de alcantarillado pluvial en la Comuna 3 opera bajo dos modalidades de mantenimiento formalizadas y protocolizadas, pero tienen una limitación estructural en común y es que ninguna incorpora datos en tiempo real sobre el estado actual de la red como criterio de activación o de priorización para intervenciones.

El procedimiento de mantenimiento correctivo, con código ACAL-PR-08, se activa exclusivamente ante reportes ciudadanos o de detección visual del desbordamiento. Esto genera que el sistema solo actúe cuando la falla ya es visible y ha generado una afectación, este procedimiento no solo eleva los costos operativos, si no que expone a la comunidad a los desbordamiento que ocasionan daños en viviendas, proliferación de insectos e interrupción de las actividades comerciales, durante el tiempo desde que transcurre el origen del incidente hasta la respuesta de las cuadrillas. Este comportamiento coincide con lo documentado por Adriel González Villarreal [5], quien identificó que en sistemas de alcantarillado que operan sin un monitoreo continuo las fallas se acumulan silenciosamente hasta que se manifiestan como emergencias visibles, incrementando tanto su severidad como el costo de la intervención. Esta situación se recrea en la Comuna 3 ya que el procedimiento ACAL-PR-08 exige reporte ciudadano o detección visual como condición previa a cualquier actuación técnica, lo que implica que la red debe colapsar antes de que el sistema responda.

El procedimiento de mantenimiento preventivo con código ACAL-PR-10, aunque está formalizado como preventivo, opera sobre un cronograma anual fijo que no se ajusta al comportamiento real de la red teniendo en cuenta variables como la temporada de lluvias, la acumulación de sedimentos o el nivel de llenado de los colectores. La consecuencia directa es que el mantenimiento preventivo no puede responder a cambios de la condición de la red que ocurren

entre un ciclo de inspección y el siguiente, por lo que al igual que el procedimiento correctivo permanece desconectado del estado real de la infraestructura. Esta brecha tecnológica se confirmó mediante la revisión documental de los procedimientos institucionales y constituye la justificación técnica del sistema IoT propuesto.

Comparación entre el modelo de mantenimiento correctivo actual y el sistema IoT propuesto		
ASPECTO	MODELO ACTUAL	SISTEMA IoT
Activación del proceso	Reporte ciudadano o detección visual del desbordamiento	Alerta automática al superar el umbral de nivel crítico (≤ 15 cm)
Tiempo de detección	Variable pudiendo tardar horas o días desde el inicio del incidente	MTTD promedio de 2.841 segundos
Datos disponibles	No existen registros en tiempo real del estado de la red	Lecturas continuas almacenadas en PostgreSQL (573+ registros)
Tipo de intervención	Correctiva, posterior al reporte o a la detección visual del incidente	Preventiva, teniendo en cuenta constantemente el nivel del agua
Registro de actividades	Sistema SPARTA, manual y post-evento	Base de datos automática que permite trazabilidad completa
Visualización del estado	No disponible en tiempo real	Panel web con actualización automática cada 5 segundos

Tabla XIII. COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO CORRECTIVO ACTUAL Y EL SISTEMA IOT

El procedimiento de mantenimiento preventivo, con código ACAL-PR-10, que representa un avance frente al modelo correctivo, opera sobre un cronograma anual aprobado con antelación por el Director de Operación de Redes, no sobre indicadores técnicos del estado real de la red. Esto significa que la frecuencia y los puntos de intervención no se seleccionan teniendo en cuenta la condición hidráulica de la red. Por consecuencia, un tramo que presente acumulación de sedimentos o incremento en el nivel del agua asociado a las lluvias intermitentes no recibirían una

intervención adicional hasta que el cronograma lo requiera, salvo que el problema escale a una emergencia visible y active el protocolo correctivo.

Comparación entre el modelo de mantenimiento preventivo actual y el sistema IoT propuesto		
ASPECTO	MODELO ACTUAL	SISTEMA IoT
Activación del proceso	Sujeto a lo estipulado en el cronograma anual	Intervenciones personalizadas, programadas teniendo en cuenta los datos recolectados por el sistema
Datos disponibles	Datos históricos recolectados anualmente	Monitoreo constante que permite visualizar cuando el nivel del agua se acerca al estado crítico
Tipo de intervención	Preventiva, sin prioridad por zonas que presentan incidentes de forma constante	Preventiva, permitiendo priorizar zonas con niveles críticos
Visualización del estado	No disponible en tiempo real	Panel web con la información de las intervenciones organizada y con el estado pendiente, en proceso o resuelto
Registro de actividades	Sistema SPARTA, manual y post-evento	Base de datos automática que permite trazabilidad completa

Tabla XIV. COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO PREVENTIVO ACTUAL Y EL SISTEMA IOT

Las Tablas XIII y XIV presentan de forma comparativa las principales diferencias entre los modelos de gestión correctivos y preventivos actuales de EMPOPASTO S.A E.S.P. y el sistema de monitoreo IoT propuesto. Estos hallazgos soportan lo planteado por Giraldo Juan Esteban Giraldo Satizabal [9], quien demostró que los planes de mantenimiento preventivo basados exclusivamente en datos históricos y calendarios fijos generan una distribución ineficiente de recursos técnicos, al no tener en cuenta la variabilidad real del comportamiento de la red.

B. Análisis objetivo específico 2

Diseñar un sistema de monitoreo preventivo capaz de medir y monitorear las condiciones de la red de alcantarillado.

El sensor ultrasónico SRF04 fue seleccionado directamente como respuesta a la variable principal que se debe monitorear, que es el nivel del agua dentro del colector, representado como la distancia que hay entre el sensor ubicado en la parte superior de la alcantarilla y la superficie del agua. Esta es una relación inversa ya que, a menor distancia registrada, mayor nivel del agua y mayor riesgo de desbordamiento, con esa lógica se construyeron los umbrales del sistema que se encuentran en la Tabla IV. El sensor ultrasónico SRF04 ofrece una lectura de nivel sin contacto con el fluido, lo que resulta adecuado para el contexto de los colectores pluviales donde el agua transporta sedimentos y residuos que podrían afectar la precisión de sensores de contacto.

La arquitectura dividida en tres capas permitió al sistema mantener una separación clara desde la adquisición del dato hasta su transmisión, su procesamiento y finalmente su visualización. El protocolo HTTP sobre WIFI fue pertinente ya que permitió que el prototipo se comuniqué de manera eficiente con la API del backend para guardar y posteriormente visualizar las mediciones gracias al frontend, aunque cuenta con la necesidad de tener conexión para poder enviar los datos, el prototipo IoT continúa funcionando, guardando los datos en la memoria EEPROM interna y tomando las medidas de manera adecuada para conocer el nivel de agua de forma visual gracias a los LEDs y al buzzer incorporados que se activan según los umbrales definidos.

El diseño de la base de datos relacional en PostgreSQL y administrada a través de pgAdmin4, cuenta con 6 tablas que son communities, stations, sensors, sensor_data, maintenances y users, estas tablas soportan el registro histórico de lecturas y la gestión de mantenimientos programados, dando un valor agregado a los procedimientos actuales de EMPOPASTO S.A E.S.P. que registran sus intervenciones en el sistema SPARTA sin tener en cuenta ningún indicador técnico del estado de la red. La combinación entre el historial de lecturas y el módulo de mantenimientos en una misma plataforma permitiría, en una implementación real, organizar directamente los eventos de nivel crítico con las intervenciones preventivas generadas como respuesta, facilitando la evaluación del impacto del sistema sobre los procesos operativos de la empresa.

La siguiente tabla presenta la justificación técnica de los principales componentes seleccionados para el prototipo, evidenciando que cada decisión de diseño se tomó pensando directamente en las condiciones operativas identificadas en el diagnóstico de EMPOPASTO S.A. E.S.P.

Justificación técnica de los componentes del sistema		
COMPONENTE	ALTERNATIVAS CONSIDERADAS	JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN
ESP32	Arduino Uno, Raspberry Pi Pico W	Conectividad WIFI nativa, doble núcleo, bajo costo, soporte NTP y EEPROM integrada
HTTP sobre WIFI	MQTT, GSM	Suficiente para el alcance del prototipo; arquitectura REST compatible con Node.js y React
PostgreSQL + Sequelize	MySQL, MongoDB	Base de datos relacional robusta, soporte para 6 entidades relacionadas, compatible con el ORM
React + Vite	Angular, Vue.js	Renderizado optimizado, actualización automática cada 5 seg, componentes reutilizables para escalar
JWT	OAuth, sesión en servidor	Autenticación sin estado, compatible con API REST, implementación directa en Node.js + Express

Tabla XV. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE LOS COMPONENTES

C. Análisis del objetivo específico 3

Validar el funcionamiento del prototipo de plataforma IoT mediante pruebas en ambiente controlado que permitan medir y evaluar los datos recolectados por el sistema.

Los resultados de las pruebas de validación en ambiente controlado permitieron evaluar la relación entre la variable independiente que es la plataforma IoT y cada variable dependiente definida en la investigación. La validación funcional en ambiente controlado es una práctica metodológica válida y necesaria en sistemas IoT de monitoreo antes de su despliegue real ya que sirve precisamente para identificar y corregir fallos en las condiciones más predecibles antes de enfrentar la variabilidad en entorno real.

Respecto a la variable plataforma IoT, las pruebas de funcionamiento arrojaron un resultado favorable en todas las pruebas realizadas, que fueron en condiciones controladas y reproducibles, sin las variaciones de temperatura, humedad, interferencia electromagnética y cambios de nivel propios de un colector condición real. Se obtuvo un 100% de respuestas correctas en las 25 evaluaciones individuales realizadas durante las cinco repeticiones, confirmando que el sistema es capaz de medir el nivel, clasificar el estado, activar los indicadores correspondientes y registrar los datos en la base de datos de forma continua y consistente. También, la plataforma web mantuvo su correcto funcionamiento durante toda la duración de pruebas, procesando y mostrando en tiempo real la información proveniente del prototipo con actualización automática cada 5 segundos.

Para la variable frecuencia de muestreo de los sensores, el sistema operó con un intervalo de 3 segundos en condiciones normales y de 1 segundo en estado de nivel crítico, esta disposición implica que, en el peor caso, el sistema tarda hasta 3 segundos en registrar un cambio de estado en nivel normal, y hasta 1 segundo en nivel crítico. eso garantiza una detección temprana adecuada de los cambios en el comportamiento de la red. Esta configuración adaptativa es una característica indispensable del sistema, ya que concentra la detección en el momento de mayor riesgo, optimizando la transmisión y procesamiento de los datos. En el contexto de la red pluvial de la Comuna 3, donde los desbordamientos no ocurren de forma instantánea sino que el nivel sube progresivamente durante lluvias prolongadas, un intervalo de 3 segundos en estado normal proporciona un medio suficiente para anticipar el evento con margen de intervención.

En torno a la variable tasa de detección temprana, el prototipo demostró exitosamente su capacidad para identificar y señalar el cambio a nivel crítico antes de que este se manifieste como un desbordamiento, que es la condición que activa el protocolo correctivo de EMPOPASTO S.A. E.S.P. Comparándolo con el modelo actual, donde la detección ocurre cuando el agua ya desborda la superficie, el prototipo detecta la condición de riesgo mientras el agua aún está dentro del

colector generando una alerta en el momento en que el nivel supera el umbral definido y abriendo la posibilidad de una intervención preventiva que el modelo actual no contempla. Esta diferencia fundamental es la que sustenta la utilidad práctica del sistema en el contexto de la gestión pública del alcantarillado pluvial.

Con relación a la variable tiempo medio de detección (MTTD), el valor promedio de 2.841 segundos con desviación estándar de 0.710 segundos refleja la latencia total del sistema desde el cambio del nivel del agua hasta la activación del indicador. La diferencia observada en el rango que es de 1.78 segundos entre el valor mínimo de 1.96 segundos y el valor máximo de 3.74 segundos se explica en que el cambio de nivel ocurre justo después de una lectura del sensor, el sistema tarda el intervalo completo de muestreo en detectarlo; si ocurre justo antes de la siguiente lectura, la detección es casi inmediata. Este comportamiento es inherente a cualquier sistema de muestreo periódico y no representa una falla del diseño sino una limitación estructural conocida. El MTTD de 2.841 segundos representa una capacidad de respuesta considerablemente óptima para el contexto urbano. Para presentar los resultados desde una perspectiva estadística la siguiente tabla presenta el análisis de las 10 mediciones realizadas

Análisis estadístico del tiempo medio de detección (MTTD)		
INDICADOR	VALOR	FORMULA
Media aritmética ($\bar{x}$)	2.841 segundos	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
Desviación estándar (σ)	0.710 segundos	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
Valor mínimo ($X_{mín}$)	1.96 segundos	$X_{mín}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10})$
Valor máximo ($X_{máx}$)	3.74 segundos	$X_{máx}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10})$
Rango (R)	1.78 segundos	$R = X_{máx} - X_{mín}$
Total de mediciones (n)	10	Conteo total de repeticiones

Tabla XVI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MTTD

La desviación estándar de 0.710 segundos, que representa el 25% de la media, indica que el sistema es predecible dentro del margen determinado por el intervalo de muestreo. Esta estabilidad es relevante para la gestión operativa ya que significa que el personal técnico de EMPOPASTO S.A. E.S.P. podría confiar en que, ante un evento de nivel crítico, el sistema

generará la alerta en un tiempo máximo de aproximadamente 4 segundos. La precisión del MTTD está directamente condicionada por la frecuencia de muestreo configurada, reducir el intervalo normal de 3 a 1 segundo disminuiría la desviación estándar pero aumentaría el consumo de ancho de banda y el volumen de datos en la base de datos.

Las pruebas de resistencia ante corte eléctrico confirmaron que el mecanismo de persistencia implementado mediante la memoria EEPROM interna del ESP32 cumple con su objetivo de permitir al prototipo recuperar el ultimo estado operativo y retomar la transmisión de datos tras una interrupción de energía sin necesidad de una reconfiguración manual. Igualmente, las pruebas de resistencia ante cortes de conectividad WIFI demostraron que el prototipo puede mantener sus funciones de medición y señalización visual de forma autónoma independiente a la disponibilidad de red, y que la transmisión de datos se reanuda de forma autónoma una vez restablecida la conexión, sin afectar al funcionamiento operativo del prototipo.

Resultados de las pruebas de resistencia del prototipo			
PRUEBA REALIZADA	CONDICIÓN EVALUADA	EFEECTO OBSERVADO	RESULTADO
Corte eléctrico	Desconexión de batería durante 10 segundos en nivel crítico	El LED rojo se reactivó automáticamente continuando con la medición y se reanuda el envío de datos a pgAdmin	Satisfactorio
Reconexión eléctrica	Reconexión tras corte de energía	El sistema recuperó el funcionamiento sin perder la última medición guardada en la memoria EEPROM sin necesidad de reconfiguración manual	Satisfactorio

Corte de conexión WIFI	Interrupción de la señal WIFI durante 30 segundos en nivel normal	El prototipo continuó tomando las mediciones y activando los LEDS indicadores visuales de nivel	Satisfactorio
Reconexión WIFI	Reconexión tras corte de conectividad	Retomo la transmisión de datos de forma automática y continuó enviando los nuevos datos a pgAdmin	Satisfactorio

Tabla XVII. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA

La Tabla XVII exhibe los resultados de las cuatro pruebas de funcionamiento ejecutadas sobre el prototipo IoT, demostrando que el prototipo puede mantener su correcto funcionamiento de toma de datos, guardado automático en la memoria EEPROM, indicadores visuales y envío de datos, ante condiciones adversas que afecten a su funcionamiento operativo.

En la correlación entre la variable independiente plataforma IoT y las variables dependientes evaluadas, los resultados indican una relación directa y positiva en todos los casos. La implementación del sistema IoT dio como resultado con una tasa de detección temprana correcta en 25 de 25 casos, es decir 100% de efectividad, un MTDD promedio de 2.841 segundos y una frecuencia de muestreo adaptativa de 3 segundos en operación normal y 1 segundo en nivel crítico, todos estos valores evidencian que la variable independiente aporta favorablemente a cada variable dependiente medida. Esta relación no puede cuantificarse mediante un coeficiente de correlación clásico dado que el grupo de control no opera con datos en tiempo real y por tanto no genera métricas comparables.

D. Contraste con las hipótesis de investigación

La hipótesis de investigación plantea que la plataforma IoT permitirá una reducción en la frecuencia de reparaciones y posibilitará la programación de intervenciones preventivas. Con base en la evidencia obtenida, la hipótesis se acepta totalmente porque los resultados demuestran que el

sistema genera alertas tempranas con un MTTD promedio de 2.841 segundos antes de que el desbordamiento sea visible, y que la plataforma web con sus módulos de historial de incidencias y gestión de mantenimientos completamente implementados, provee la estructura de datos necesaria para fundamentar intervenciones preventivas. Los resultados obtenidos aportan evidencia técnica que respalda la fiabilidad del prototipo validado.

La hipótesis nula planteó que el prototipo no lograría detectar de forma confiable las condiciones de nivel crítico lo que impediría su uso como herramienta de apoyo para la programación de intervenciones preventivas en la gestión de la red de alcantarillado pluvial de la Comuna 3. Los resultados obtenidos rechazan claramente esta hipótesis debido a que el sistema demostró identificar y señalar el estado de nivel crítico de forma sistemática y reproducible en todas las repeticiones ejecutadas, lo que elimina la posibilidad de que los resultados favorables sean producto de una ejecución aislada o de condiciones excepcionales de prueba.

La hipótesis alterna planteó que el prototipo generaría alertas tempranas con una latencia técnicamente aceptable, pero que su contribución a la optimización del mantenimiento preventivo estaría condicionada por factores externos al sistema, como la disponibilidad continua de energía o la disponibilidad continua de conectividad WIFI. Esta hipótesis se respalda en resultados obtenidos como el MTTD de 2.841 segundos que confirma que la diferencia de detección es técnicamente aceptable, pero no se acepta completamente porque el prototipo demostró durante las pruebas realizadas que su funcionamiento óptimo no está estrictamente ligado a los factores externos y esas condiciones no invalidan el desempeño técnico del prototipo.

Finalmente, el contraste entre las tres hipótesis y los resultados obtenidos establece el siguiente balance; la hipótesis de investigación se acepta porque el sistema cumple los criterios técnicos medibles, la hipótesis nula se rechaza con evidencia cuantitativa directa y la hipótesis alterna se confirma parcialmente ya que el desempeño técnico es óptimo y no depende en su totalidad de factores externos para contribuir en el control preventivo de la red de alcantarillado pluvial.

CONCLUSIONES

El diagnóstico de los procedimientos institucionales de EMPOPASTO S.A. E.S.P. reveló que, aunque la gestión de la red pluvial en la Comuna 3 está formalizada bajo modalidades correctivas y preventivas, carece de una integración de datos dinámicos sobre el estado real de la infraestructura. Esta limitación estructural, donde las intervenciones no se activan bajo criterios de monitoreo en tiempo real, confirma la relevancia técnica de implementar un sistema que cierre esta brecha tecnológica. En este contexto, el prototipo IoT desarrollado demostró ser plenamente viable; su arquitectura de tres capas permitió la integración armónica de componentes como el microcontrolador ESP32 y diversos sensores con un ecosistema de software basado en Node.js, PostgreSQL y React. Este despliegue evidencia que es posible robustecer la gestión de servicios públicos mediante tecnologías de código abierto y bajo costo, facilitando su adopción en entornos similares.

Las pruebas de validación del prototipo en ambiente controlado confirmaron el adecuado funcionamiento del sistema en todos los escenarios evaluados, arrojando un 100% de respuestas correctas en los 25 casos individuales evaluados. Esta modalidad de validación se adoptó dado que el prototipo, en su fase actual de desarrollo, no cuenta con las condiciones de impermeabilización necesarias para su instalación definitiva dentro de los colectores pluviales, siendo las pruebas en ambiente simulado el método más apropiado para comprobar la viabilidad funcional del sistema antes de su despliegue en campo. Las pruebas de resistencia ante corte eléctrico y corte de conectividad demostraron que el prototipo mantiene su capacidad operativa de medición y señalización de forma autónoma, retomando la transmisión de datos de forma automática al restablecer las condiciones normales de operación.

Un hallazgo determinante fue la medición del tiempo medio de detección (MTTD), el cual promedió los 2.841 segundos, con una desviación estándar de 0.710 segundos. Esta capacidad de respuesta permite señalar niveles críticos en menos de 4 segundos, lo que representa una mejora significativa frente al modelo de mantenimiento actual, cuya activación depende exclusivamente del reporte o de la detección visual de desbordamientos en la superficie. Estos resultados respaldan la hipótesis de la investigación, demostrando que un sistema de monitoreo continuo proporciona la base técnica necesaria para transitar de una gestión correctiva hacia un modelo preventivo fundamentado en evidencia real. La validación del prototipo confirma su capacidad para detectar

y señalar condiciones de riesgo antes de que estas se manifiesten como emergencias visibles, cerrando la brecha tecnológica identificada en los procedimientos actuales de EMPOPASTO S.A. E.S.P. y estableciendo un referente replicable para la gestión inteligente del alcantarillado pluvial en otras comunas de la ciudad de Pasto.

RECOMENDACIONES

Es aconsejable profundizar en el uso de tecnologías de código abierto (Node.js, PostgreSQL, React) y hardware de bajo costo como el ESP32 y se recomienda a las empresas de servicios públicos considerar este modelo como una alternativa viable y económica frente a soluciones propietarias costosas, permitiendo una mayor escalabilidad y facilidad de mantenimiento preventivo sin comprometer la precisión técnica.

Se recomienda formalizar la integración de datos dinámicos en los manuales de mantenimiento con el objetivo de transitar de un modelo reactivo que depende de los avisos o reportes ciudadanos, hacia uno preventivo donde la activación de cuadrillas esté relacionada con los indicadores de nivel en tiempo real proporcionados por plataformas IoT.

Se recomienda adoptar el Tiempo Medio de Detección (MTTD) de 2.841 segundos como un estándar de referencia para futuras evaluaciones de sistemas de monitoreo de alcantarillado ya que mantener este umbral de detección inferior a los 4 segundos es de gran importancia para garantizar que las alertas lleguen con la antelación necesaria para controlar los desbordamientos e inundaciones.

Se recomienda proyectar la implementación de esta solución hacia otras comunas de la ciudad de Pasto que presenten condiciones similares de recurrencia en desbordamientos e inundaciones. Esto es viable ya que es posible ampliar la cobertura de la red de monitoreo sin necesidad de realizar modificaciones en la plataforma tecnológica existente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “¿Qué son las TIC y para qué sirven?” Consultado: el 23 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: https://enacom.gob.ar/institucional/-que-son-las-tic-y-para-que-sirven-_n4646
- [2] “Línea y sub líneas_merged”.
- [3] J. Gomez, “En Pasto avanzan en la reposición de redes de alcantarillado”, Diario del Sur. Consultado: el 6 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.diariodelsur.com.co/en-pasto-avanzan-en-la-reposicion-de-redes-de-alcantarillado/>
- [4] Administrador, “Alcaldía Municipal y Empopasto entregaron 10 obras de mejoramiento de acueducto y alcantarillado”, Alcaldía de Pasto. Consultado: el 6 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pasto.gov.co/index.php/noticias-despacho-del-alcalde/16160-alcaldia-municipal-y-empopasto-entregaron-10-obras-de-mejoramiento-de-acueducto-y-alcantarillado>
- [5] M. De, “ING. JORGE LUIS ACOSTA GARCÍA”.
- [6] M.-G. A. Michelle, Q.-T. A. Vicente, V.-C. J. Danny, y P.-B. R. Carlos, “DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y PLAN DE RESTAURACIÓN PARA INFRAESTRUCTURA SANITARIA DETERIORADA: CASO DE ESTUDIO EN MANTA, ECUADOR”, *Rev. Científica*, vol. 8, 2025.
- [7] Adriel González Villarreal y G. C. Sánchez, “Análisis Patológico de las Redes de Alcantarillado del Centro Histórico de la Ciudad de Cienfuegos”, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.28544.97287.
- [8] “T-70470 -PALMA-CARRIEL-MARIA-VICTORIA”.
- [9] “Tesis I.M. 740 - Daza Pepinós Luis Antonio”.
- [10] “VEGA DELGADO KARLA NARCISA”.
- [11] J. E. G. Satizabal, “PLAN PERMANENTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REPOSICION DE VALVULAS DE SISTEMA Y CONTROL”, 2022.
- [12] M. A. R. Figueroa, “ADECUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, PARA EL MUNICIPIO DE APÍA, RISARALDA”.

- [13] Y. A. A. Ramírez, “alcantarillado y sistemas de tratamiento aguas residuales de las unidades del Ejército”.
- [14] C. I. M. Peñaloza y N. I. P. Salinas, “METODOLOGÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO PARA LA DIRECCIÓN DE SERVICIOS ELECTROMECÁNICA DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ ESP.”.
- [15] M. J. M. Gutiérrez, “APOYO EN LABORES DE MODELACIÓN Y DISEÑO HIDRÁULICO PARA LA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DEL LÍBANO - TOLIMA (E.S.P EMSER).”, 2023.
- [16] L. M. Z. Carvajal, “DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN TERRENOS MUY PLANOS. FACTIBILIDAD DEL DISEÑO SIN LA OPERACIÓN DE BOMBA. CASO DE ESTUDIO: ALCANTARILLADO DEL DISTRITO DE TUMACO (NARIÑO)”.
- [17] D. F. O. Ibarra, “APOYO TÉCNICO A LA EMPRESA CONSTRUCCIONES Y VIAS E.U EN LA “CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO VEREDA LA CHORRERA, MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE CARTAGO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.”, 2018.
- [18] J. N. D. Ruano y V. D. R. Palacios, “MUNICIPIO DE PUIALES AÑO 201”, 2011.
- [19] M. Y. O. Argoty, “DISEÑO DE ALCANTARILLADOS Y ELABORACION DEL PROYECTO DE REPOSICION DE LA RED DE ACUEDUCTO DE LOS TRAMOS QUE HACEN PARTE DEL PLAN DE MOVILIDAD DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.”, 2010.
- [20] “70934”.
- [21] F. J. G. Villarreal y J. A. A. Medina, “EDITORES Y COORDINADORES”.
- [22] “Orlando Saavedra Jorge Luis”.
- [23] R. G. J. Carlos, “TUTORES PRINCIPALES: DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA DR. JOSÉ LUIS HERRERA ALANÍS, FACULTAD DE INGENIERÍA”.
- [24] M. F. M. Cortes y J. L. C. Nuñez, “UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS FACULTAD DE INGENIERÍA PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA CATASTRAL Y GEODESÍA”.
- [25] “webmaster,+m6-33-34”.

- [26] W. Vázquez Méndez, V. D. J. Cárdenas Rivera, S. H. García Rivas, y C. J. Herrera Castrillo, “Prototipo experimental para el aprendizaje de fenómenos ondulatorio”, *Rev. Educ.*, vol. 22, núm. 23, pp. 12–24, ene. 2024, doi: 10.51440/unsch.revistaeducacion.2024.23.485.
- [27] M. Zukerfeld y G. Yansen, “Plataformas. Una introducción: la cosa, el caos, humanos y flujos”, *Redes Rev. Estud. Soc. Cienc. Tecnol.*, vol. 27, núm. 53, ago. 2022, doi: 10.48160/18517072re53.167.
- [28] G. Henao y L. Alexander, “GESTIÓN DE RIESGOS EN EL INTERNET DE LAS COSAS (IoT)”.
- [29] L. González, O. Sofía, D. Laguía, E. Gesto, y K. Hallar, “Internet del Futuro – Estudio de tecnologías IoT”, *Inf. Científicos Téc. - UNPA*, vol. 12, núm. 3, pp. 105–137, dic. 2020, doi: 10.22305/ict-unpa.v12.n3.744.
- [30] T. D. Fernández, “Plataformas IIoT con potencial aplicación en el contexto industrial cubano”.
- [31] “Monitoreo_Seguimiento_y_Evaluacion”.
- [32] “Organizacion_de_Estados_Iberoamericanos”.
- [33] F. J. Ávila-Camacho y L. M. Moreno-Villalba, “Internet de las Cosas (IoT) Retos para las Empresas en la era de la Industria 4.0”, *Pädi Bol. Científico Cienc. Básicas E Ing. ICBI*, vol. 10, núm. 20, pp. 10–16, ene. 2023, doi: 10.29057/icbi.v10i20.9516.
- [34] C. Pinzón, “TIPOS DE MANTENIMIENTO”.
- [35] D. P. Aranda-Rúa, M. D. P. Gómez-Fernández, M. Palacio De La Cruz, Q. A. Peralta-Núñez, M. Ortiz-Barrios, y L. Borrero-López, “Diseño de Herramientas para la Detección y Atención Temprana de Emergencias en Empresas de Producción: Un Caso de Estudio”, *Bol. Innov. Logística Oper.*, vol. 4, núm. 1, jun. 2022, doi: 10.17981/bilo.4.1.2022.12.
- [36] P. Souza, W. Marques, R. Reis, y T. Ferreto, “IAGREE: Infrastructure-agnostic Resilience Benchmark Tool for Cloud Native Platforms”:, en *Proceedings of the 9th International Conference on Cloud Computing and Services Science*, Heraklion, Crete, Greece: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2019, pp. 396–403. doi: 10.5220/0007728503960403.
- [37] J. A. P. Olivares, E. R. Beltrán, J. L. O. Mora, y J. O. V. Valadez, “DETECCIÓN DE FALLAS EN TIEMPO REAL MEDIANTE REDES COMPLEJAS EN UN SISTEMA DE MANUFACTURA 4.0”, vol. 42, núm. 136, 2020.

- [38] J. G. Proakis, “Tratamiento Digital De Señales”.
- [39] J. Mejía-Rivas, “Los paradigmas en la investigación científica”, *Rev. Cienc. Agrar.*, vol. 1, núm. 3, pp. 7–14, oct. 2022, doi: 10.35622/j.rca.2022.03.001.
- [40] L. Jiménez, “IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA EN LA ACTUALIDAD”, *Converg. Tech*, vol. 4, núm. IV, pp. 59–68, ene. 2020, doi: 10.53592/convtech.v4iIV.35.
- [41] S. M. De Hoyos Benítez, “El método científico y la filosofía como herramientas para generar conocimiento”, *Rev. Filos. UIS*, vol. 19, núm. 1, pp. 229–245, sep. 2019, doi: 10.18273/revfil.v19n1-2020010.
- [42] “PASOS PARA ELABORAR UNA TESIS DE TIPO CORRELACIONAL”, 2020.
- [43] C. Ramos-Galarza, “Editorial: Diseños de investigación experimental”, *CienciAmérica*, vol. 10, núm. 1, pp. 1–7, feb. 2021, doi: 10.33210/ca.v10i1.356.
- [44] D. P. C. Ojeda, “Universo, población y muestra”.
- [45] “Metodologia_de_la_Investigacion_Escuela”.
- [46] T. S. A. Rey, “Tesis de doctorado en Ciencia Política presentada como requisito para optar al título de Doctor en Ciencia Política”.
- [47] P. Gutiérrez-Gómez, “Aprendizaje desarrollador de competencias en Ingeniería Civil: Un enfoque integral ante la complejidad”, *593 Digit. Publ. CEIT*, vol. 9, núm. 1, pp. 790–809, ene. 2024, doi: 10.33386/593dp.2024.1.2199.
- [48] “Comunas”, Pasto Tierra Cultural. Consultado: el 31 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <http://pastotierracultural.jimdofree.com/el-municipio/organización-político-administrativa/comunas/>

ANEXOS

ANEXO 1: Respuesta solicitud de información.



Al contestar por favor cite estos datos:
Radicado No. 20253000069471

Pasto. Lunes, 19 de mayo de 2025

KEVIN ALEXANDER BENAVIDES CELIS

Estudiante de Ingeniería de Sistemas
Universidad Cesmag
Celular: 3178125957
Email: kevinalexanderbenavideselis@gmail.com
Pasto - Nariño

Asunto: Respuesta Rad. 20255010068232 del 13 de mayo de 2025, solicitud de Información

Cordial saludo:

Respecto a la solicitud de información para realizar el proyecto de investigación gestión inteligente del alcantarillado en la comuna 3 de pasto a través de un prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo", EMPOPASTO S.A. E.S.P. informa que en aras de contribuir a la academia y al desarrollo investigativo de la región facilita los siguientes documentos:

- Plano del sector (Comuna 3) en formato PDF
- Procedimiento Mantenimiento Correctivo De Redes De Acueducto y Alcantarillado
- Procedimiento Mantenimiento Preventivo De Redes De Acueducto y Alcantarillado

Se solicita, tomar las precauciones necesarias y apropiadas para mantener la información suministrada como confidencial, puesto que esta es de propiedad de EMPOPASTO, y no deberá ser divulgada a terceras partes.

Atentamente,


JOSE ROSALES ENRIQUEZ
Subgerente Técnico (E)
EMPOPASTO S.A. E.S.P

Proyectó: Mabel Pérez Paz – Profesional SIG 
Anexo: Planos del sector y procedimientos de Mantenimiento

 Sede Administrativa Cra. 24 No. 21 - 40 - San Juan de Pasto - Colombia
 PBX (602) 733 00 30
 ventanilla.unica@empopasto.com.co
 www.empopasto.com.co



Anexo I. RESPUESTA SOLICITUD DE INFORMACIÓN

ANEXO 2: Plano del sector (Comuna 3).



Anexo II. PLANO DEL SECTOR (COMUNA 3)

ANEXO 3: Procedimiento Mantenimiento Correctivo De Redes De Acueducto y Alcantarillado

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22

OBJETIVO: Garantizar el suministro de agua potable con continuidad y una adecuada evacuación de aguas servidas

POLÍTICAS GENERALES Y DE OPERACIÓN:

- El procedimiento se ejecutará dando cumplimiento a la normatividad vigente (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS; Título D) y según los lineamientos del Sistema de Gestión Integral (Gestión de Calidad, Gestión Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo).
- Si las actividades contemplan trabajos en altura superior e inferior a 1,50 m tener en cuenta según lineamientos definidos por el coordinador de SST.

ALCANCE: Aplica para el mantenimiento correctivo de redes de acueducto y alcantarillado administradas por EMPOPASTO S.A. E.S.P.

RESPONSABLE: Director de Operación de Redes / Profesionales III - Jefe de Zona

Director Área de Mantenimiento de Redes:

- Aprobar el informe de daños a terceros y enviar a la oficina asesora jurídica, con sus respectivos soportes en un tiempo no mayor a 24 horas después de ocurrido en siniestro, daño o afectación, con el fin de vincular a la aseguradora en el trámite correspondiente.

Ingeniero de Zona:

- En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe informarlo a través de al Director del área de mantenimiento en un tiempo no mayor a 12 horas.

Inspector/Encargado:

- En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe diligenciar el formato "Informe daños a terceros" GJ-FT-16 y presentarlo inmediatamente al Jefe de Zona o quien haga sus veces.

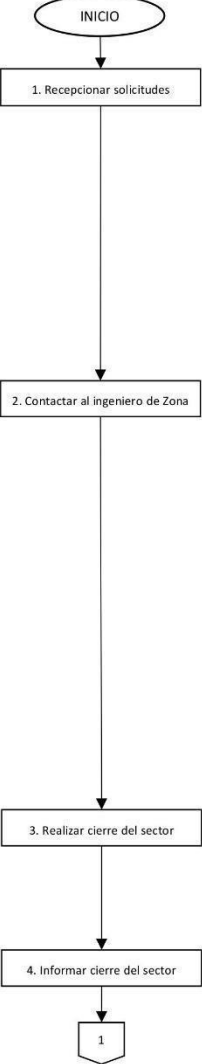
Comunicaciones:

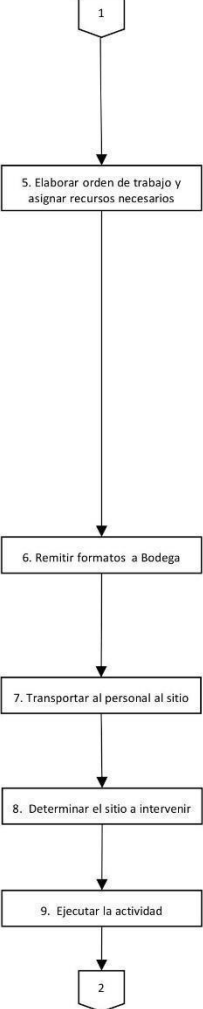
- Una vez se dé cumplimiento al numeral 4 del presente procedimiento y se informe acerca de un cierre de sector, será responsabilidad del área de Comunicaciones **Redactar un comunicado y difundir a las partes interesadas a través de los medios de comunicación.**

DEFINICIONES:

Las siguientes definiciones corresponden a la Resolución 0330 de 8 Junio de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

- **Mantenimiento Correctivo:** Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.
- **Redes de Alcantarillado:** Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza.
- **Redes de Conducción:** Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques, sin conexión de suscriptores.
- **Redes de Distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- **Colector:** Es un conducto que recoge las aguas residuales y/o lluvias, provenientes de las descargas domiciliarias
- **Sumidero:** Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión de los alcantarillados combinados o de lluvias.
- **Válvula:** Accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable.
- **Sistema de Información Geográfica SIG:** Sistema que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo a la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rigurosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22
DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	1. Recepcionar solicitudes (telefónica, verbal o mediante oficio, CRM), teniendo en cuenta fuente de información, fecha y localización de la solicitud.	Oficio radicado Soporte CRM Soporte PQRS	N/A	Técnico II - CRM Técnico II/Secretaria - Operación de Redes Encargados de ventanilla Gestión Documental y PQRS
	2. Contactar al ingeniero de zona para que realice visita a sitio, con el fin de verificar, evaluar, analizar la magnitud del daño y definir si corresponde a redes de acueducto /alcantarillado. NOTA 1: Si en la visita al sitio, se observa algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, quien realice la visita deberá informar al jefe de manera inmediata y diligenciar completamente el formato GJ-FT-16, anexando el registro fotográfico de lo ocurrido NOTA 2. En el momento en que el jefe inmediato sea informado de los hechos, éste debe llamar a la aseguradora	Informe de daños a terceros GJ-FT-16 y anexo de registro fotográfico	N/A	Profesional III - Jefe de zona
	3. Si el daño corresponde a redes de acueducto se realiza cierre del sector afectado, si el daño es de alcantarillado no es necesario suspender el servicio.	N/A	N/A	Profesionales III - Operación de Redes Inspectores - Operación de Redes
	4. Informar a la empresa el cierre del sector afectado y el tiempo aproximado de restablecimiento del servicio.	Grupo de WhatsApp "Reporte de daños Empopasto"	NA	Profesionales III - Operación de Redes

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22
DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	5. Elaborar orden de trabajo a través del sistema SPARTA, incluyendo la maquinaria necesaria (Equipo de succión presión, minicargador, retro excavadora, entre otras).	Registro de SPARTA mantenimiento de Acueducto. Registro de SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado.	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	Asignar personal, vehículos, maquinaria pesada, equipos, elementos de protección personal y/o colectiva, materiales y herramienta requerida; para autorizar salida diligenciar GL-FT-22 "Control salida de equipos" y para materiales formato de Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras".	Documento APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" GL-FT-22 "Control salida de equipos".	VoBo por Profesional III -Jefes de Zona	Profesionales III - Operación de Redes Inspectores - Operación de Redes
	6. Remitir documentos a bodega "salida de elementos" y Documento Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras"	Documento APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" "Salida de elementos"	Aprobado por Profesional III -Jefes de Zona	Técnico I - Inspector
	7. Transportar al personal, los equipos y el material al sitio para la ejecución de las actividades programadas.	N/A	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	8. Determinar el sitio a intervenir y realizar señalización.	N/A	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	9. Ejecutar la actividad	Depende del tipo de trabajo a realizar. Tener en cuenta los permisos de trabajo en caso de ser tareas de alto riesgo	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector



EMPOPASTO S.A. E.S.P.
NIT 891.200.686-3

NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO:

MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

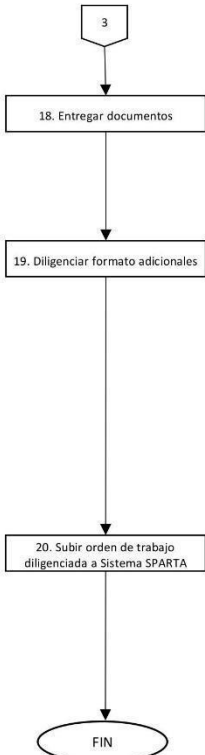
PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO

CÓDIGO
ACAL-PR-08

VERSIÓN
2

VIGENCIA
1-sep-22

DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/	PUNTO DE	RESPONSABLE
	10. Se resolvió el daño? SI: Pasar al punto 11 NO: Seguir los lineamientos del procedimiento ACAL-PR-06 Atención de emergencias y contingencias.	ACAL-PR-06 Procedimiento Atención de emergencias y contingencias.	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	11. Si existe rotura de pavimentos, informar al supervisor del contrato de parcheos para su reposición.	Correo electrónico	Seguimiento por parte de Jefes de Zona	Profesional III - Jefes de Zona
	12. Restablecer el servicio de acueducto en el sector afectado.	NA	NA	Profesional III - Jefes de Zona Inspectores
	13. Verificar que no existan fugas. Existen fugas? SI: Regresa al paso 2 NO: Continúa paso 14.	NA	NA	Profesional III - Jefes de Zona Inspectores
	14. Diligenciar las observaciones de la ejecución de la actividad en la orden de trabajo al jefe de zona	Registro SPARTA de mantenimiento de Acueducto / Alcantarillado	N/A	Técnico I - Inspector
	15. Gestionar la limpieza del sector intervenido, (depositando los escombros en la escombrera autorizada) siguiendo los lineamientos para disposición final de residuos sólidos establecidos en el PGIR.	Programa de gestión integral de residuos sólidos PGIR de Empopasto S.A. E.S.P.	N/A	Técnico I - Inspector
	16. Retorno a la empresa, vehículos, personal, materiales, sobrantes, equipos, elementos de seguridad industrial, señalización y demás elementos utilizados.	N/A	N/A	Técnico I - Inspector
	17. Realizar devolución a bodega de equipos, EPP, señalización y materiales no utilizados (se debe anexar a la orden de trabajo las devoluciones a bodega).	Orden de trabajo GL-FT-15 Control de Ingresos a Bodega por Devoluciones	N/A	Técnico II - Operación de Redes

	EMPAPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-08	VERSIÓN 2	VIGENCIA 1-sep-22
DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	18. Entregar orden de trabajo debidamente diligenciada a Profesional III y Director de Redes para firma.	Orden de trabajo	Documentos diligenciados y firmados	Inspector Técnico II- Operación de Redes
	19. Cuando se requiera se diligencia el formato para horas extras, control de turnos fin de semana y reporte de suscriptores afectados por suspensiones en red de acueducto.	AC-FT-08 Reporte de suscriptores afectados por suspensiones en red de acueducto ACAL-FT-13 Control de horas extras ACAL-FT-10 Control turno	Consecutivo de radicación asignado por el software de gestión documental	Técnico II - Operación de Redes
	20. Subir orden de trabajo diligenciada a Sistema SPARTA, teniendo en cuenta: -Material utilizado. - Tiempos de ejecución del trabajo y tiempos de cierres de sector realizado - Tipo de Trabajo realizado	Registro SPARTA de mantenimiento de Acueducto Registro SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	Fin del Procedimiento			
Control de cambios: V1. Primera versión V2 Inclusión responsabilidades de comunicaciones, actualización de nombres de documentos relacionados en el proedimiento, eliminación de la referenica del documento ACAL-FT-14.				

ANEXO 4: Procedimiento Mantenimiento Preventivo De Redes De Acueducto y Alcantarillado

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

OBJETIVO: Disminuir el riesgo de afectación a la red de acueducto y alcantarillado

POLÍTICAS GENERALES Y DE OPERACIÓN:

El procedimiento se ejecutará dando cumplimiento a la normatividad vigente (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS; Título D) y según los lineamientos del Sistema de Gestión Integral (Gestión de Calidad, Gestión Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo). Si las actividades contemplan trabajos en altura superior e inferior a 1,50 m tener en cuenta según lineamientos definidos por el coordinador de SST.

NOTA 1: Si en la ejecución del mantenimiento, ocurre algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, quien realice la visita deberá informar al jefe de manera inmediata y diligenciar completamente el formato GJ-FT-16, anexando el registro fotográfico de lo ocurrido en el formato DE-FT-16.

NOTA 2. En el momento en que el jefe inmediato sea informado de los hechos, éste debe llamar a la aseguradora

ALCANCE: Aplica para el mantenimiento preventivo de redes de acueducto y alcantarillado administradas por EMPOPASTO S.A. E.S.P.

RESPONSABLE: Director de Operación de Redes / Profesionales III - Ingenieros de Zona

Director Área de Mantenimiento de Redes:

- Aprobar el informe de daños a terceros y enviar a la oficina asesora jurídica, con sus respectivos soportes en un tiempo no mayor a 24 horas después de ocurrido en siniestro, daño o afectación, con el fin de vincular a la aseguradora en el trámite correspondiente.

Ingeniero de Zona:

- En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe informarlo a través de al Director del área de mantenimiento en un tiempo no mayor a 12 horas.

Inspector/Encargado:

- En caso de que ocurra algún siniestro, daño o afectación a un tercero en sí mismo, en bienes muebles o inmuebles, debe diligenciar el formato GJ-FT-16 y presentarlo inmediatamente al Jefe de Zona o quien haga sus veces.

DEFINICIONES: Las siguientes definiciones corresponden a la Resolución 0330 de 8 Junio de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

- **Mantenimiento Preventivo:** Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosa o imprevista.
- **Redes de Alcantarillado:** Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza.
- **Redes de Conducción:** Serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques, sin conexión de suscriptores.
- **Redes de Distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
- **Colector:** Es un conducto que recoge las aguas residuales y/o lluvias, provenientes de las descargas domiciliarias
- **Sumidero:** Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión de los alcantarillados combinados o de lluvias.
- **Válvula:** Accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable.
- **SIG:** Sistema de información geográfica que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo a la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rigurosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.

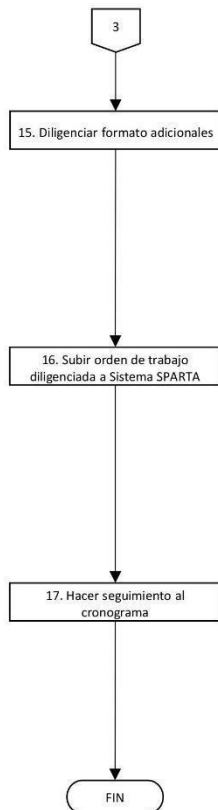
	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	1. Elaborar cronograma anual para el mantenimiento preventivo para redes de Acueducto, Alcantarillado	AC-FT-07 Cronograma de ejecución para reposición e instalación de hidrantes y válvulas de cierre AL-FT-07 Cronograma de ejecución para limpieza de colectores	Aprobado por Director de Operación de Redes	Profesional III - Jefes de Zona
	3. Elaborar orden de trabajo a través del sistema SPARTA, incluyendo la maquinaria necesaria (Equipo de succión presión, minicargador, retroexcavadora, entre otras)	Registro de SPARTA mantenimiento de Acueducto Registro de SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	4. Asignar personal, vehículo, equipos y materiales requeridos; para autorizar salida diligenciar formato GL-FT-17 "Control salida de equipos" y para materiales formato del Sistema Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras"	Documento APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" GL-FT-17 Control salida de equipos	VoBo por Profesional III -Jefes de Zona	Técnico I - Inspector
	5. Remitir formato a bodega GL-FT-17 "control de salida de equipos" y Documento Apoteosys "Estado de Solicitud de Compras"	Doc. APOTEOSYS "Estado de Solicitud de Compras" GL-FT-17 Control salida de equipos	Aprobado por Profesional III -Jefes de Zona	Técnico I - Inspector
	6. Transportar al personal, los equipos y el material al sitio para la ejecución de las actividades programadas	N/A	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	7. Determinar el sitio a intervenir y señalizar	N/A	N/A	Prof. III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	8. Ejecutar la actividad teniendo en cuenta los lineamientos SST y Ambientales	Depende del tipo de trabajo a realizar. Tener en cuenta los permisos de trabajo en caso de ser tareas de alto riesgo	N/A	Profesional III - Jefes de Zona Técnico I - Inspector
	1			

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
	9. Realizar actividades complementarias de demolición de pavimentos y andenes. (Cuando la intervención amerite se reporta al área de Supervisión de obras)	Correo electrónico	Aprobado por Profesional III -Jefes de Zona	Profesional III - Jefes de Zona
	10. Diligenciar las observaciones de la ejecución de la actividad en la orden de trabajo al jefe de zona	Registro SPARTA de mantenimiento de Acueducto / Alcantarillado	N/A	Técnico I - Inspector
	11. Gestionar la limpieza del sector intervenido, siguiendo los lineamientos para disposición final de residuos del PGIR	Programa de gestión integral de residuos sólidos PGIR	N/A	Técnico I - Inspector
	12. Retomar a la empresa, vehículo, personal, materiales, sobrantes, equipos, elementos de seguridad, etc.	N/A	N/A	Técnico I - Inspector
	13. Realizar devolución a bodega de equipos, EPP, señalización y materiales no utilizados (se debe anexas a la orden de trabajo las devoluciones a bodega)	Orden de trabajo GL-FT-03 Control de Ingresos a Bodega por Devoluciones	N/A	Técnico II - Operación de Redes
	14. Entregar orden de trabajo, diligenciados por profesional III y director de redes para firma.	Orden de trabajo	N/A	Inspector Técnico II- Operación de Redes

	EMPOPASTO S.A. E.S.P. NIT 891.200.686-3			
	NOMBRE DEL PROCEDIMIENTO: MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO			
	PROCESOS: ACUEDUCTO / ALCANTARILLADO	CÓDIGO ACAL-PR-10	VERSIÓN 1	VIGENCIA 15-sep-21

DESARROLLO				
FLUJOGRAMA	TAREA	FORMATO/ DOCUMENTO	PUNTO DE CONTROL	RESPONSABLE
 <pre>graph TD 3[3] --> 15[15. Diligenciar formato adicionales] 15 --> 16[16. Subir orden de trabajo diligenciada a Sistema SPARTA] 16 --> 17[17. Hacer seguimiento al cronograma] 17 --> FIN([FIN])</pre>	15. Cuando se requiera se diligencia el formato para horas extras, control de turnos fin de semana, control de restaurante y reporte de suscriptores afectados por suspensiones en red de acueducto	AC-FT-08 Reporte de suscriptores afectados por suspensiones en red de acueducto ACAL-FT-13 Registro de horas extras	Consecutivo de radicación asignado por el software de gestión documental	Técnico II - Operación de Redes
	16. Subir orden de trabajo diligenciada a Sistema SPARTA, teniendo en cuenta: -Material utilizado. - Tiempos de ejecución del trabajo y tiempos de cierres de sector realizado - Tipo de Trabajo realizado	Registro SPARTA de mantenimiento de Acueducto Registro SPARTA para mantenimiento de Alcantarillado	N/A	Técnico II - Administrador Sistema SPARTA
	17. Hacer seguimiento a cronogramas, descargando la información de las actividades en la casilla de seguimiento en los cronogramas mantenimiento preventivo para redes de Acueducto y Alcantarillado	AC-FT-07 Cronograma para reposición e instalación de hidrantes y valvulas de cierre AL-FT-07 Cronograma para reposicion-limpieza de colectores	N/A	Director de Operación de redes Profesional III - Jefes de Zona
	Fin del Procedimiento			
Control de cambios: 1. Primera versión				



CÓDIGO: AAC-BL-FR-032

VERSIÓN: 1

FECHA: 09/JUN/2022

Jóan Carlos Ayala Benavides
87067598
Ingeniería de sistemas
3005910463
Jcayala@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG WTE 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Kevin Alexander Benavides Celis	Documento de identidad: 1004234180
Correo electrónico: Kabenavides.4180@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3178125957
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor: Joan Carlos Ayala Benavides	Documento de identidad: 87067598
Correo electrónico: jcayala@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3005910463
Título del trabajo de grado: Gestión inteligente del alcantarillado en la comuna 3 de Pasto a través de un prototipo de plataforma IoT para el monitoreo preventivo	
Facultad y Programa Académico: Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería de Sistemas	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de

 UNIVERSIDAD CESMAG MIT: 800.189.387-7 VOLADIA MEDICACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.

- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

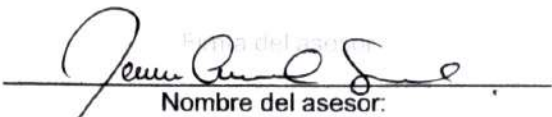
Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 11 días del mes de 08 del año 2026

<i>Kevin Benavides C.</i>	
Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor: <i>Kevin Alexander Benavides C.</i>	Nombre del autor:
Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor:	Nombre del autor:

 UNIVERSIDAD CESMAG NT: 800.109.387-7 OFICINA VINCULACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031 VERSIÓN: 1 FECHA: 09/JUN/2022
--	--	---

 Nombre del asesor:
--