CATASTRONET: GESTIÓN DE DATOS EN CAMPO PARA EL CATASTRO DE REDES HÚMEDAS CON BASE EN LAS ESPECIFICACIONES DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB

AUTORES:
YINA FERNANDA CASTIBLANCO PINILLA
Ingeniera topográfica
JUAN CAMILO MORA CIFUENTES
Ingeniero ambiental

Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA
2023

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

CATASTRONET: GESTIÓN DE DATOS EN CAMPO PARA EL CATASTRO DE REDES HÚMEDAS CON BASE EN LAS ESPECIFICACIONES DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB

PROYECTO DE GRADO

Presentado por:

YINA FERNANDA CASTIBLANCO PINILLA
Ingeniera topográfica
JUAN CAMILO MORA CIFUENTES
Ingeniero ambiental

Dirigido por:
SALOMÓN EINSTEIN RAMÍREZ
MG. EN CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES CON ÉNFASIS EN GEOMÁTICA

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2023

TABLA DE CONTENIDO

1 Introducción 6

2 Marco de referencia 8

2.1 Antecedentes 8

3 Problema 11

4 Justificación 13

5 Objetivos 15

5.1 Objetivo general 15

5.2 Objetivos específicos 15

6 Metodología 16

7 Resultados 18

7.1 Fase 1: Planeación 18

7.1.1 Requerimientos funcionales aplicación móvil 18

7.1.2 Requerimientos no funcionales aplicación móvil 19

7.1.3 Diagrama de casos de uso aplicación móvil 20

7.1.4 Requerimientos funcionales visor geográfico 21

7.1.5 Requerimientos no funcionales visor geográfico 21

7.1.6 Diagrama de casos de uso del visor geográfico 22

7.2 Fase 2: Diseño 22

7.2.1 Vista de procesos 23

7.2.2 Vista lógica 25

7.2.3 Vista de implementación 25

7.2.4 Vista física 28

7.3 Implementación 29

7.4 Evaluación 35

8 Conclusiones 38

9 Recomendaciones 39

10 Referencias 40

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1 Fases para el desarrollo del software 17

Imagen 2 Diagrama de casos de uso aplicación móvil 20

Imagen 3 Diagrama de casos de uso visor geográfico 22

Imagen 4 Diagrama de actividad caso de uso CU01 Visualización mapa 23

Imagen 5 Diagrama de actividad del caso de uso CU5: Diligenciar formulario. 24

Imagen 6 Diagrama de paquetes por casos de uso de la aplicación móvil 26

Imagen 7 Diagrama de paquetes por casos de uso del visor geográfico 27

Imagen 8 Diagrama de componentes del sistema CatastroNet 28

Imagen 9 Diagrama de despliegue de CatastroNet 29

Imagen 10 Creación de cuenta de CatastroNet en KoboToolbox 30

Imagen 11 Creación del proyecto de CatastroNet en KoboToolbox 30

Imagen 12 Panel de configuración de formulario en KoboToolbox 31

Imagen 13 Configuración del servidor y panel principal en KoboCollect 31

Imagen 14 Descarga, diligenciamiento y envío de formulario en KoboCollect 32

Imagen 15 Descarga de información desde KoboToolBox 33

Imagen 16 Publicación de información en Geoserver 34

Imagen 17 Presentación del visor geográfico de CatastroNet 35

Imagen 18 Gráfico de evaluación de CatastroNet 36

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Evaluación de usabilidad CatastroNet 36

1 Introducción

En el desarrollo de proyectos hidráulicos para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB, es necesaria la ejecución del catastro de redes húmedas dentro del componente topográfico en cumplimiento con los Lineamientos para trabajos topográficos de la norma NS030 V.5.4., el cual es un proceso en el que se realizan actividades de recopilación, localización, diagramación y almacenamiento de los datos de los elementos inspeccionados en campo.

Para el desarrollo de estas actividades usualmente se hace uso del Formato de Inspección de Pozos de manera impresa, lo cual implica problemas asociados a la integridad de los datos, puesto que la digitalización posterior a medios digitales puede implicar errores tipográficos y un aumento del tiempo de la ejecución de las actividades. Por otro lado, no se tiene un control de los datos recolectados en su componente espacial, lo cual implica reprocesos en las actividades realizadas en campo.

Dado lo anterior, es necesario la implementación de soluciones digitales que permitan por un lado la optimización de la recolección de datos en campo y por otro lado la verificación de los datos espaciales que están siendo recopilada, ya que actualmente no existen herramientas que permita gestionar de manera eficiente el catastro de redes húmedas. Sin embargo, actualmente existen herramientas de software libre que permiten personalizar soluciones de recolección de datos espaciales y de visualización de información geográfica, como lo son KoboToolBox, KoboCollect, Geosever y Heron.

En el presente documento se describe el proceso de implementación de un sistema de gestión de catastro de redes denominado “CatastroNet”, compuesto por dos módulos que comprenden una aplicación móvil de recolección de datos y un visor geográfico. Esta

implementación se realizó mediante el desarrollo de tres fases: inicialmente la planeación, en donde se establecieron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema; a continuación, el diseño en donde tuvo lugar la definición de la arquitectura del software y; finalmente la implementación, en donde se llevó a cabo la articulación de los componentes y el despliegue del sistema de gestión.

Durante el desarrollo del proyecto fue posible evidenciar que la implementación del sistema de gestión propuesto, permite optimizar el proceso de recolección de datos en campo y controlar la verificación de su componente espacial. Así mismo, se identificó que la reutilización de software y el uso de software libre son estrategias adecuadas para la implementación de soluciones en el ámbito de los sistemas de información geográfica.

2 Marco de referencia

2.1 Antecedentes

El estado del arte de se divide en dos secciones para comprender el contexto y la relevancia este trabajo. La primera sección se centra en las 'Aplicaciones para la captura de información geográfica', explorando las herramientas y tecnologías utilizadas para recopilar datos geoespaciales. La segunda sección, por otro lado, se enfoca en 'Aplicaciones para el catastro de redes húmedas', donde se identifican las aplicaciones y metodologías empleadas en la gestión y recolección de datos de la infraestructura de redes húmedas de alcantarillado.

Dentro de la primera sección se tiene que se han desarrollado varias aplicaciones para la captura de datos geográficos, desde los ámbitos empresariales hasta en ámbitos académicos. En el ámbito empresarial se destacan herramientas de captura de datos como lo es el caso de las herramientas desarrolladas por la empresa ESRI con sus aplicaciones de ArcGIS Survey 123, ArcGis Field Maps (anterior Collector), ArcGIS QuickCapture entre otras; así como las aplicaciones desarrolladas en QGIS para la captura de datos en campo con QFields y Mergin Maps, además de otros desarrollos de código abierto para la captura de datos como es el caso de KoboToolbox, KoboCollect, entre otras.

Estas aplicaciones han sido usadas en numerosos estudios, por ejemplo, ArcGIS Survey 123 ha sido usada para la captura de datos como medio para realizar reportes de calificaciones de viviendas (Montoya y Pachón, 2022), para el inventario de sitios importantes de diferentes empresas (Diaz, 2021); QFields y Mergin Maps se han implementado para inventarios de arbolados (Baya, 2022), para el mapeo de cultivos (Ortiz et al., 2021), inventarios viales (Albuja y Carrillo, 2022) y KoboToolbox ha sido implementado para la captura de datos geológicos (Cubillos y Franco, 2019) o la captura de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del recurso

hídrico en Colombia (Ochoa et al., 2020).

Con respecto a la implementación de procesos tecnológicos en la gestión de tareas y almacenamiento de datos de catastro de redes, en esta segunda sección se encuentran algunos ejemplos de la literatura como es el caso de un trabajo de grado aplicado en la Universidad de Manizales por un estudiante aspirante al título de especialista en Sistemas de Información Geográfica - SIG, donde se llevó cabo "la realización de un catastro de la red del acueducto urbano del municipio de Ortega, incorporándolo dentro de una base de datos geográfica." (Toro, 2018) en donde se detectó la necesidad de un SIG que permitiera realizar un registro exhaustivo de la red de acueducto urbano.

La implementación de este SIG se consideró beneficiosa tanto para la empresa de servicios públicos (Emportega E.S.P.) como para el municipio, ya que posibilitaría un mayor control, una operación más eficiente y mejoras en la calidad del servicio de agua. En este proyecto, se empleó la herramienta ArcMap para crear una Geodatabase destinada a almacenar la información relacionada con el catastro de redes del municipio. Aunque no se utilizó una herramienta de recolección, sino de almacenamiento, se evidencia la necesidad de herramientas poderosas para la gestión de información catastral de redes debido a su gran volumen.

Un ejemplo adicional de la implementación de tecnología para la gestión de datos de catastro de redes se encuentra en un artículo divulgado por la Universidad Alas Peruanas. En este artículo, se reconoce la necesidad de un catastro técnico preciso de las redes de agua y alcantarillado con el fin de mejorar su funcionamiento; para lograrlo, se utiliza Python para crear una herramienta de consulta eficiente en el software QGIS (Ortiz y Sánchez, 2021).

Por otro lado, en el contexto específico de la recolección de datos en campo en el catastro de redes húmedas, se encuentra una limitada cantidad de estudios relacionados con este tema; sin

embargo, se destaca un proyecto realizado por un estudiante de la especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; este proyecto surgió ante la necesidad de simplificar actividades repetitivas en el catastro de redes, como la investigación de pozos de alcantarillado. El estudiante desarrolló una aplicación móvil con el propósito de automatizar este proceso y agilizar la recopilación de datos, lo que podría resultar en la reducción de los tiempos de entrega de información en proyectos y la disminución de costos. Para la generación de la aplicación se utilizó el Framework Ionic, que permite el desarrollo de aplicaciones nativas para dispositivos móviles a partir de lenguajes para la Web como HTML, TypeScript y CCS (Castillo, 2020).

El aplicativo desarrollado tenía la capacidad de recopilar datos, tomar fotografías y almacenar las coordenadas del elemento inspeccionado. Sin embargo, la aplicación no SIGuió un formato o parámetro normativo específico. La información exportada se presenta en un archivo CSV sin un diseño parametrizado, y los elementos recopilados no podían visualizarse en conjunto en un mapa que facilitará el control de la información espacial. A pesar de esto, se reconoce el potencial de esta aplicación, lo que subraya la importancia de crear una herramienta específica para la gestión del catastro de redes. Actualmente, no existe una herramienta parametrizada especialmente diseñada para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

3 Problema

Para la ejecución de proyectos hidráulicos asociados a la Empresa de Acueducto Alcantarillado Bogotá, en el diseño y renovación de redes de alcantarillado, es necesario conocer las condiciones de las redes existentes. Para este propósito, se ha establecido un procedimiento en campo denominado catastro de Redes Húmedas, el cual tiene un procedimiento que implica el despliegue de comisiones de personal encargadas de inspeccionar pozos de aguas lluvias y de aguas residuales. El objetivo principal de esta inspección es evaluar y examinar las condiciones y características de los pozos, incluyendo su estructura, localización, conectividad dentro de la red hidráulica, calidad del revestimiento, toma de registro fotográfico y dimensiones. Para esto, se hace uso del Formato de inspección de pozos establecido por la EAAB en los Lineamientos para trabajos topográficos de la norma NS030 en su versión v5.4, en donde se solicita información específica de las características propias del estado actual de la red de alcantarillado en el área de influencia del proyecto.

El método de catastro de redes es el insumo principal en la elaboración de diseños hidráulicos en las redes de alcantarillado, los cuales son licitados por consultorías y quienes en campo se encuentran encargadas de realizar las operaciones concernientes a recopilar, localizar, calcular, diagramar y almacenar los datos de los pozos inspeccionados.

Sin embargo, en el proceso se han identificado importantes problemáticas. En primer lugar, la información entregada por las consultoras ha presentado inconsistencias y errores. Esto se debe, en parte, al hecho de que las comisiones enviadas a campo realizan un diligenciamiento en formato impreso, lo que posteriormente implica un trabajo adicional en la oficina para digitalizar dichos datos. Esta transición de medios ha ocasionado la aparición ocasional de errores de digitalización, afectando la integridad de los datos y requiriendo tiempo adicional para corregirlos. En

consecuencia, se han generado devoluciones de entregas para ajustar los errores identificados por la EAAB. Estas devoluciones representan un desperdicio de recursos y esfuerzos, lo que incide negativamente en la rentabilidad y eficacia de las actividades desarrolladas por las consultoras.

En segundo lugar, se enfrenta el problema del tiempo empleado en dos momentos: el primero de ellos durante el trabajo en campo realizado por las comisiones, donde la localización de los pozos se vuelve una labor tediosa y que, en ocasiones, al no tener un mecanismo de verificación de los puntos a revisar, hacen falta pozos por inspeccionar, lo que acarrea la necesidad de ampliar la ruta y alargar el día de trabajo. Y el segundo, es el tiempo invertido en la oficina únicamente para la digitalización de los formatos diligenciados en campo a los formatos digitales, lo cual implica una inversión adicional de tiempo que el equipo tarda en realizar esta tarea.

Esta problemática afecta a las empresas consultoras, las cuales enfrentan el desafío de cumplir con los plazos establecidos por la entidad. Esto puede llevar a una presión adicional en su equipo de trabajo y a la asignación de recursos adicionales para acelerar la recolección y digitalización de datos, lo cual puede afectar la integridad de los datos y, por ende, la calidad del trabajo entregado a la EAAB.

Debido a lo anterior, es indispensable aplicar métodos eficientes y eficaces, tanto en los procesos de campo como en los procesos en oficina, garantizando la optimización del catastro de redes húmedas mediante la implementación de herramientas de recolección, gestión y control de datos espaciales, en cumplimiento de los lineamientos para trabajos topográficos NS030 v5.4, lo cual representa una oportunidad para que las empresas consultoras encargadas de realizar el catastro de redes húmedas eviten reprocesos, mejoren la eficiencia de sus actividades y mantengan la calidad de la información entregada.

4 Justificación

La implementación de un sistema que permita la gestión del catastro de redes húmedas surge como respuesta a una serie de desafíos y limitaciones presentes en el desarrollo de proyectos de ingeniería, específicamente en el contexto de proyectos hidráulicos en su componente topográfico y el cumplimiento de las directrices establecidas por la norma NS030 “Lineamientos para trabajos topográficos en campo”, versión 5.4 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

La implementación de estas herramientas tecnológicas se basa en la necesidad de optimizar y agilizar la recopilación y gestión de datos, en la búsqueda de mejoras sustanciales en la calidad y confiabilidad de la información obtenida. Al implementar estas soluciones tecnológicas, las consultorías responsables de los proyectos y los profesionales encargados de ellos evidenciarán beneficios clave. Uno de ellos es la optimización de tiempos en la oficina, ya que el procesamiento manual de datos tras las inspecciones en campo consume de forma Significativa tiempo y recursos. La implementación de un sistema de gestión permitirá registrar los datos y realizar cálculos en tiempo real durante las inspecciones, reduciendo el tiempo requerido para llevar los datos a la oficina. Esto no solo agilizará el proceso, sino también liberará recursos valiosos para asignarlos a otras tareas cruciales del proyecto.

Por otro lado, la aplicación móvil garantiza la integridad de los datos, ya que la entrada manual de información lleva el riesgo de errores tipográficos y de transcripción. Al implementarla, se eliminarán estos errores, asegurando la integridad y precisión de los datos desde su captura en campo hasta su procesamiento posterior. Esto, a su vez, reducirá la posibilidad de interpretaciones erróneas y toma de decisiones incorrectas basadas en información inexacta.

Otra ventaja proyectada del uso de la aplicación es la reducción de costos de personal, ya

que el proceso manual de digitalización y procesamiento de datos en la oficina implica asignación de recursos humanos y financieros adicionales. Al implementar la aplicación, se reducirán los costos asociados con el personal de oficina, ya que muchas tareas repetitivas y propensas a errores serán automatizadas, liberando al personal para tareas más estratégicas y de mayor valor agregado.

En cuanto al control integral de la información en su componente espacial, un visor geográfico proporcionará un monitoreo sobre los datos catastrados con respecto a la información oficial con la que cuenta la EAAB. Esto permitirá una supervisión más efectiva de las inspecciones en campo y garantizará que los datos se registren de manera completa y precisa, evitando la necesidad de reprocesos. Finalmente, la eliminación de errores de cálculo es un aspecto crítico. Los cálculos manuales realizados a partir de los datos recopilados en campo pueden dar lugar a errores que afecten la precisión de los resultados. La aplicación móvil realizará cálculos automáticos basados en los datos ingresados, minimizando la posibilidad de errores y garantizando resultados confiables.

En conclusión, el sistema compuesto por una aplicación móvil y un visor geográfico para la gestión de datos de catastro de redes húmedas, aborda las limitaciones actuales en la recopilación y gestión de datos en proyectos hidráulicos, y aporta ventajas tangibles en cuanto a eficiencia, confiabilidad, control sobre la información, optimización de recursos y costos del proyecto. Con su enfoque en la reducción de tiempo y recursos en la oficina, la garantía de integridad de datos, la reducción de costos de personal y la mejora en la precisión de los cálculos, el sistema de gestión de catastro de redes CatastroNet se posiciona como una herramienta indispensable en la ejecución exitosa y eficiente de proyectos hidráulicos en cumplimiento de los estándares de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

- Implementar un sistema para la gestión de datos de catastro de redes húmedas con base en los requerimientos de la norma NS030 versión 5.4 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

5.2 Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos funcionales y no funcionales necesarios para la implementación del sistema de gestión CatastroNet.
- Definir la arquitectura del sistema de gestión CatastroNet a partir de la incorporación de un aplicativo móvil y un visor geográfico.
- Construir el sistema de gestión CatastroNet a través de la reutilización de componentes adaptándolos mediante su configuración y personalización.
- Evaluar la usabilidad del sistema de gestión de CatastroNet mediante pruebas con usuarios.

6 Metodología

En esta sección se describe la metodología utilizada para la implementación del sistema de gestión CatastroNet, el cual consta de dos componentes principales los cuales son: por un lado, un aplicativo móvil que permite la recolección de datos en campo y por el otro, un visor geográfico, en el cual sea posible visualizar y llevar a cabo el control y verificación de los datos recolectados.

La metodología elegida para implementar el sistema de gestión CatastroNet es un modelo tradicional en cascada, que incluye la reutilización de componentes. Esta elección se basó en el alcance del proyecto y se ejecutó de manera secuencial, siguiendo un proceso en el que cada tarea comenzaba solo después de finalizar la anterior. A pesar de que el proyecto tiene una duración de 3 meses y podría considerarse pequeño, la secuencialidad inherente de esta metodología y la estabilidad de las funcionalidades del sistema la convirtieron en la mejor opción, a pesar de que comúnmente se utiliza en proyectos de mayor envergadura.

La metodología contempló la reutilización de componentes, ya que esto permite disminuir los tiempos de desarrollo del proyecto, así como enfocar los esfuerzos a la solución de la problemática plasmada previamente y no en desarrollar componentes existentes.

El sistema de gestión CatastroNet cuenta con dos componentes los cuales son un aplicativo móvil de captura de datos en campo y un visor geográfico. Inicialmente para el primero se implementó la herramienta KoboCollect la cual es una plataforma de recopilación, gestión y visualización de datos utilizada globalmente para la investigación y el bien social. Para el visor geográfico se implementó Heron, un visor de mapas Web de código abierto y Geoserver el cual es un servidor basado en Java que permite al usuario ver y editar datos geoespaciales, utilizando estándares abiertos establecidos por el Open Geospatial Consortium (OGC).

Para la implementación de CatastroNet se contemplaron tres fases las cuales se describen a continuación:

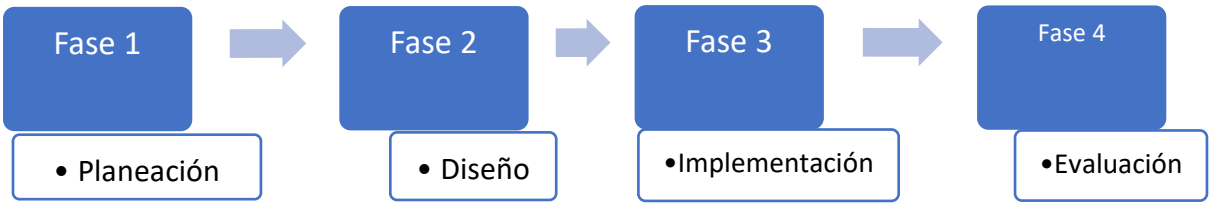


Imagen 1 Fases para el desarrollo del software

Fuente: Elaboración Propia

En la Fase 1 de planeación, es donde se determinó el comportamiento del sistema de gestión de catastro de redes húmedas, para ello se llevó a cabo la identificación y análisis de los requerimientos funcionales y no funcionales; tanto del aplicativo móvil para la recolección de datos como del visor geográfico que componen CatastroNet.

En la Fase 2 de diseño, se definió la arquitectura del sistema en el cual se tuvo en cuenta un modelo de arquitectura de software con las diferentes vistas que lo integran, esto con el fin de tener una completa perspectiva del sistema de software.

En la Fase 3 de implementación, se reutilizó la plataforma de recopilación de datos KoboCollect para el aplicativo móvil, Herón y el servidor Geoserver para el visor geográfico, teniendo en cuenta los requerimientos funcionales y no funcionales resultados de la Fase 1 del proyecto.

Finalmente, en la Fase 4 de evaluación, se llevaron a cabo pruebas con usuarios que hicieron uso del sistema de gestión CatastroNet, con el fin de evaluar su usabilidad.

7 Resultados

7.1 Fase 1: Planeación

Esta fase comprendió la identificación de los requerimientos funcionales, los cuales definen las funciones específicas que el sistema debe ejecutar y los requerimientos no funcionales los cuales establecen características de calidad del sistema de software como rendimiento y seguridad.

7.1.1 Requerimientos funcionales aplicación móvil

Con respecto al aplicativo móvil que se empleó para la recopilación de datos, se definieron los siguientes requerimientos funcionales:

RF1: El sistema deberá permitir la gestión de usuarios mediante la provisión de un, nombre de usuario, contraseña, email y país.

RF2: El sistema deberá permitir la autenticación del usuario mediante el diligenciamiento de su nombre de usuario y contraseña

RF3: El sistema deberá permitir la creación de proyectos

RF4: El usuario podrá asociarse a un proyecto previamente creado.

RF5: El usuario podrá diligenciar el formulario de recolección de datos siguiendo los lineamientos del formato de inspección de pozos de la norma NS030.

RF6: El sistema calculara la cota clave del elemento inspeccionado, con base en la cota rasante y la profundidad registrada por el usuario.

RF7: El usuario podrá registrar la localización actual del dispositivo en longitud y latitud, la cota y la exactitud horizontal.

RF8: El usuario podrá tomar registro fotográfico del elemento inspeccionado.

RF9: El usuario podrá enviar los datos guardados localmente para su almacenamiento en una base de datos.

RF10: El usuario podrá consultar, editar o eliminar datos previamente almacenados localmente en el dispositivo.

RF11: El usuario podrá exportar en formatos CSV, XLS y GeoJSON, los datos que se encuentren almacenados en la base de datos El sistema implementará validaciones para garantizar que los datos ingresados por el usuario cumplan con las reglas de negocio y restricciones establecidas.

RNF12: Acceso a la cámara y galería: El aplicativo debe permitir la captura de imágenes.

Estos requerimientos funcionales proporcionan un marco sólido para el desarrollo del sistema CatastroNet y son fundamentales para garantizar su funcionalidad y utilidad en el contexto de la gestión de proyectos y elementos de inspección de pozos según la norma NS030 v5.4 de la EAAB.

7.1.2 Requerimientos no funcionales aplicación móvil

RNF1: Interoperabilidad: El aplicativo implementado debe ser compatible con el sistema operativo Android.

RNF2: Usabilidad: El aplicativo debe ser autoajustable a cualquier tamaño y resolución de pantalla del usuario: La aplicación debe desplegarse sin deficiencias ni distorsiones de diseño en cualquier tamaño y resolución de pantalla de los dispositivos.

RNF3: Eficiencia: El aplicativo debe contar con un rendimiento óptimo que permita obtener la geolocalización del elemento que está haciendo inspeccionado, en el menor tiempo posible.

RNF6: El aplicativo deberá trabajarse con conexión a Internet.

RNF8: Acceso a la ubicación: El aplicativo debe permitir el uso de la ubicación del

dispositivo.

RNF9: La información exportada deberá dar cumplimiento a los lineamientos establecidos en el formato de inspección de pozos de la norma NS030 versión 5.4 Lineamientos para trabajos topográficos de la EAAB.

RNF10: El aplicativo debe ser implementado en idioma español: Todo el contenido de texto de la aplicación debe ser implementado en español.

7.1.3 Diagrama de casos de uso aplicación móvil

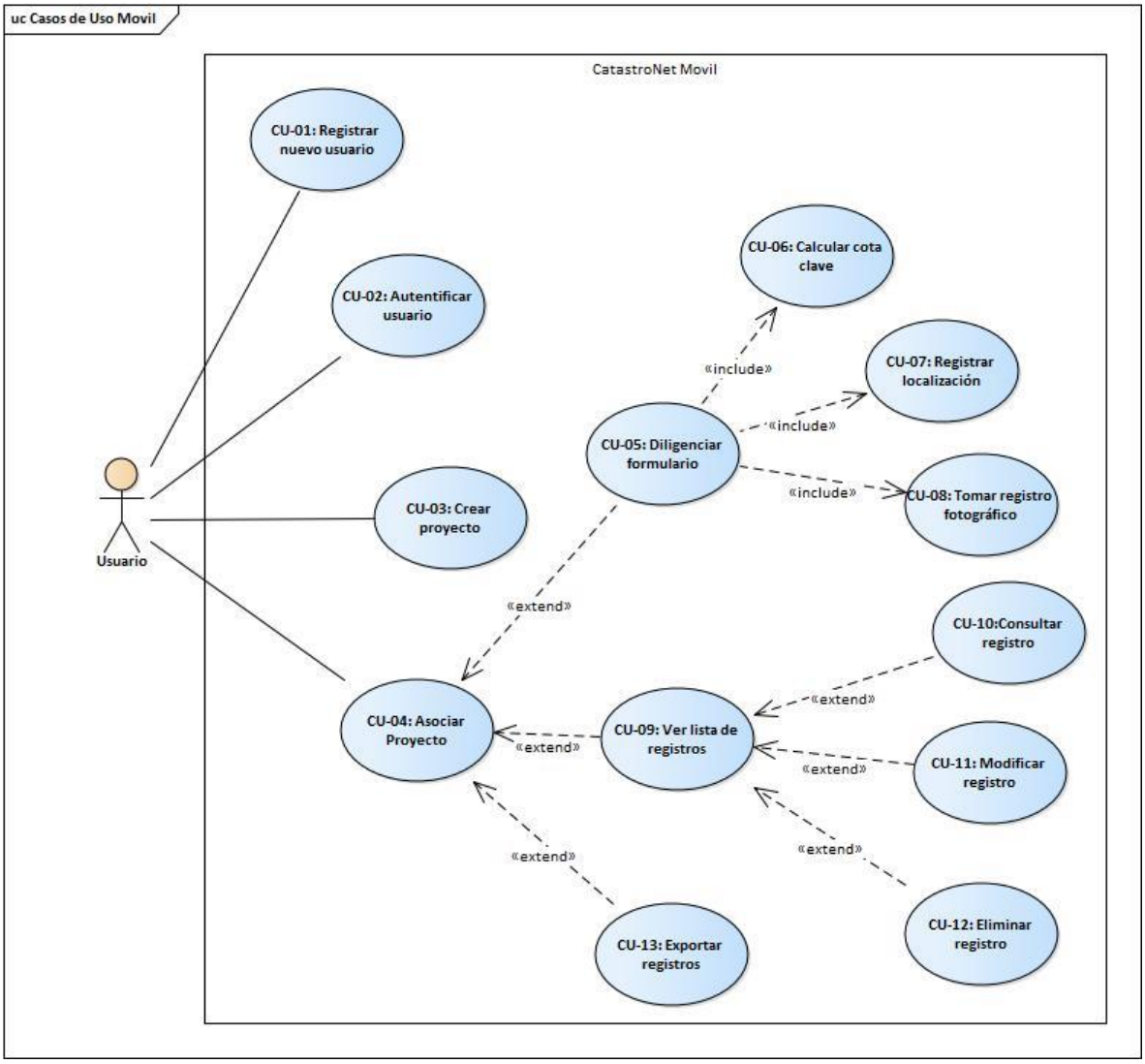


Imagen 2 Diagrama de casos de uso aplicación móvil

Fuente: Elaboración Propia

7.1.4 Requerimientos funcionales visor geográfico

RF 01: El usuario podrá visualizar mapa.

RF02: El usuario podrá alejar, acercar y desplazar la vista del mapa.

RF03: El usuario podrá cambiar el apagar y encender capas.

RF04: El usuario podrá consultar información atributiva de la información disponible en el visor.

7.1.5 Requerimientos no funcionales visor geográfico

RNF1: El visor geográfico debe ser adaptable a navegadores Web comunes para dispositivos móviles y de escritorio.

RNF2: El visor geográfico debe ser autoajustable a cualquier tamaño y resolución de pantalla del usuario.

RNF3: El visor geográfico debe ser intuitivo para el usuario y mostrar la información de manera dinámica, ágil y estética.

RNF4: El visor geográfico debe ser implementado en idioma español.

RNF5: El visor geográfico debe permitir proporcionar mapas a través de Internet de forma estándar (WMS Web Map Sevice), permitiendo a los clientes solicitar mapas y datos geográficos a través de peticiones HTTP en cumplimiento del estándar de la OGC.

RNF6: El visor geográfico debe implementarse haciendo uso de HTML (HyperText Markup Language) y CSS (Cascading Style Sheets) en cumplimiento de los estándares de uso del Consorcio World Wide Web (W3C).

A continuación, se presentan los diagramas de casos de uso del aplicativo móvil y del visor geográfico del sistema de gestión CatastroNet, estos diagramas son una representación gráfica de las funcionalidades clave de este sistema y son esenciales para comprender cómo el usuario

interactúa con el sistema y cómo se logran los objetivos en el contexto del catastro de redes húmedas, en cumplimiento de la norma NS030 de la EAAB.

7.1.6 Diagrama de casos de uso del visor geográfico

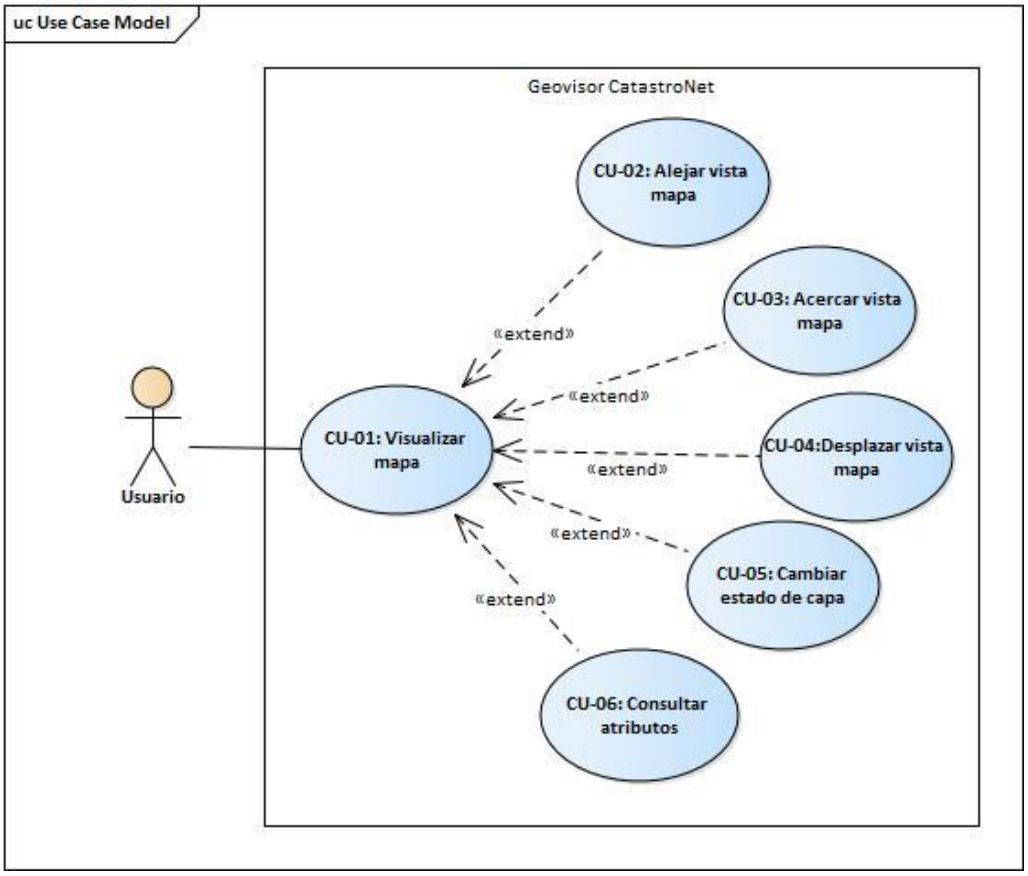


Imagen 3 Diagrama de casos de uso visor geográfico

Fuente: Elaboración Propia

7.2 Fase 2: Diseño

En el proceso de implementación del sistema de gestión CatastroNet, la definición de su arquitectura tiene un papel importante para garantizar el éxito del proyecto. Es por eso que se tiene la tarea fundamental de establecer la estructura y organización esencial del sistema, tomando como punto de partida los requerimientos funcionales y no funcionales identificados anteriormente, con el fin de desarrollar un sistema de gestión eficiente.

7.2.1 Vista de procesos

La vista de proceso tiene como propósito explicar y representar cómo funcionan los procesos y flujos de trabajo entre los diversos componentes de CatastroNet. Se utilizó el diagrama de actividades para representar los flujos de trabajo de las diferentes funcionalidades presentes en el sistema. Es posible observar para el caso del aplicativo móvil el diagrama de actividad del diligenciamiento del formulario y en el visor geográfico el diagrama para la visualización de mapa. Estos diagramas permiten captar el flujo de acciones involucradas en cada proceso y proporcionan una visión clara de cómo se realizan las actividades en el sistema.

7.2.1.1 Diagrama de actividad del visor geográfico

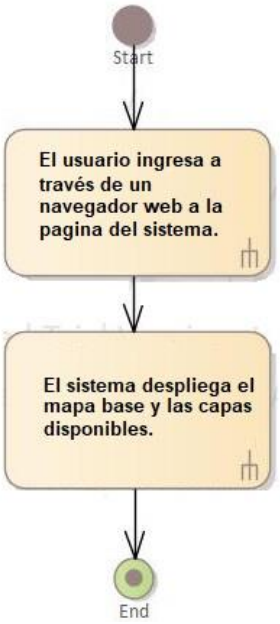


Imagen 4 Diagrama de actividad caso de uso CU01 Visualización mapa

Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.2 Diagrama de actividad de la aplicación móvil

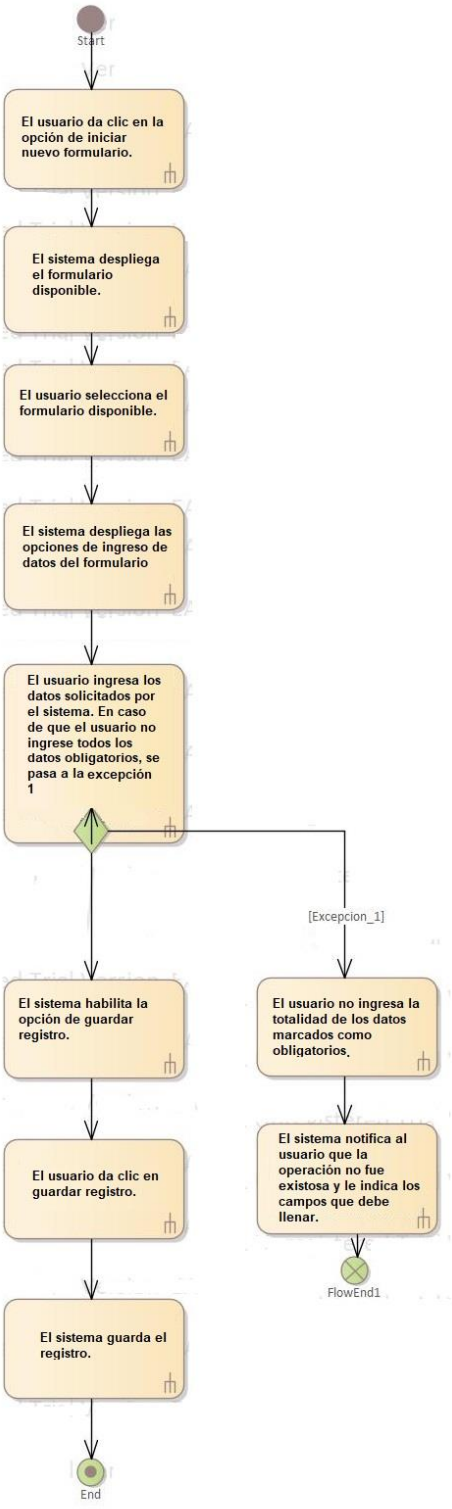


Imagen 5 Diagrama de actividad del caso de uso CU5: Diligenciar formulario.

Fuente: Elaboración Propia

7.2.2 Vista lógica

Este sistema de gestión se diseñó aprovechando la versatilidad de la plataforma de recopilación de datos KoboCollect para la aplicación móvil. Esta elección se basó en su capacidad para crear formularios personalizados y trabajar sin conexión a Internet, almacenando los datos en dispositivos Android hasta que se restablezca la conexión y se puedan enviar a la plataforma Web KoboToolBox. Para la visualización en el visor geográfico, se empleó Herón, una herramienta de código abierto que facilita la creación de aplicaciones de mapeo web en navegadores, ofreciendo la flexibilidad de personalización y configuración.

En cuanto al almacenamiento de las capas de información geográfica, se optó por Geoserver, un servidor de mapas de código abierto reconocido por su sencilla configuración. En este diseño, no se detalló la vista lógica debido a que los componentes utilizados encapsulan su contenido existente

7.2.3 Vista de implementación

La vista de implementación se enfoca en representar la disposición física de los componentes del sistema y su interacción dentro del entorno de ejecución. En el contexto del desarrollo del sistema "CatastroNet" para la gestión de datos de catastro de redes húmedas, esta vista describe cómo se despliegan los componentes de software y hardware para garantizar el funcionamiento efectivo del sistema.

En cuanto al funcionamiento lógico de los módulos, se presentan los diagramas de paquetes por casos de uso; donde se agrupan de manera coherente las funcionalidades del aplicativo móvil y del visor geográfico según su relación, lo que brinda una visión general de las capacidades del sistema, como la creación y edición de elementos, visualización y navegación en el mapa.

Adicionalmente, mediante el diagrama de componentes en esta vista, es posible identificar

los módulos que constituyen el sistema a nivel físico. Los módulos se agrupan considerando su dependencia física, y en este caso se organizarían en categorías como operario, aplicativo móvil, visor geográfico, entre otros.

7.2.3.1 Diagrama de paquetes por casos de uso de aplicación móvil

En este diagrama se representó la agrupación por paquetes de casos de uso del sistema. Inicialmente se evidencia la estructura y la organización del aplicativo móvil en cuatro paquetes: usuario, proyecto, creación de elemento y edición del mismo. Esta representación permite identificar de manera visual las funcionalidades del aplicativo y permite comprender en un nivel alto su lógica y propósito, como se puede observar: en el primer paquete, el usuario dispone de funcionalidades de registro y autenticación; en el segundo, en cuanto al proyecto, se hace evidente que este puede ser creado, asociado en distintitos dispositivos móviles y exportado en diferentes formatos; en el tercer paquete se presentan las funciones de creación del elemento, las cuales se separan del cuarto paquete donde se muestran las funcionalidades de edición.

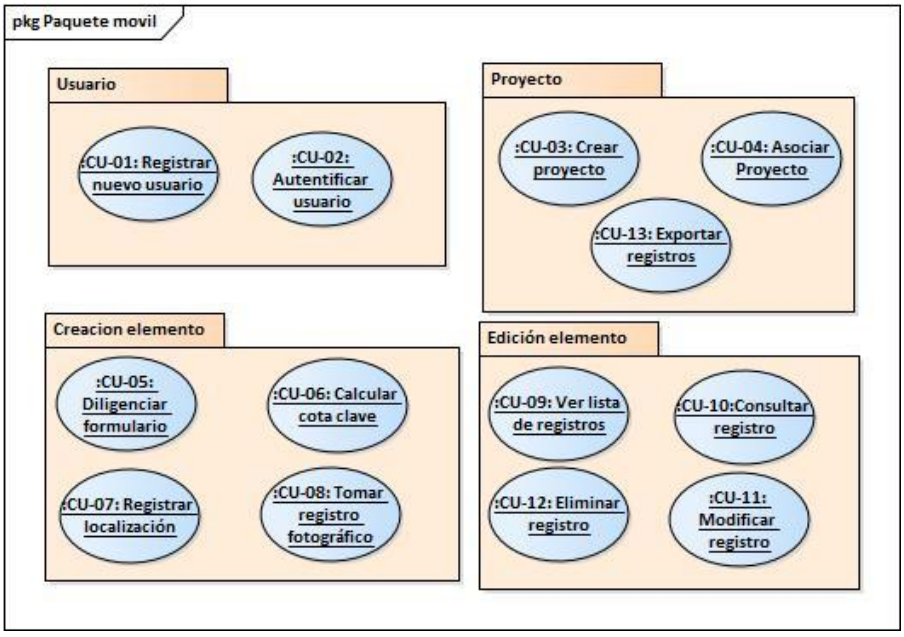


Imagen 6 Diagrama de paquetes por casos de uso de la aplicación móvil

Fuente: Elaboración Propia

7.2.3.2 Diagrama de paquetes por casos de uso visor geográfico

En lo que respecta al diagrama de paquetes de casos de uso del visor geográfico, se muestra la capacidad del usuario para poder visualizar información sobre el mapa y navegar sobre el mismo y del administrador del servidor para cargar capas de datos dentro del servidor.

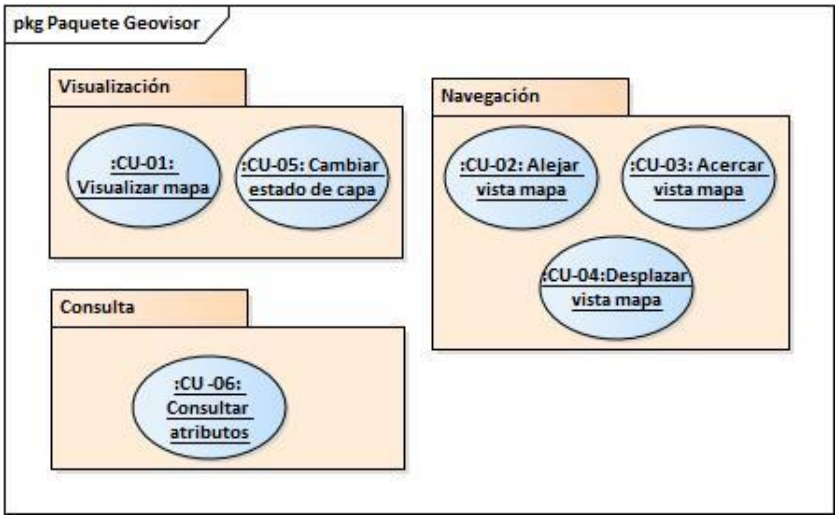


Imagen 7 Diagrama de paquetes por casos de uso del visor geográfico

Fuente: Elaboración Propia

7.2.3.3 Diagrama de componentes de CatastroNet.

El diagrama de componentes de CatastroNet muestra la estructura y las interacciones entre sus elementos.

En dicho diagrama, se identificaron los siguientes componentes clave: en primer lugar, CatastroNet Móvil, responsable de enviar los datos recolectados a KoboToolBox. Desde esta plataforma, es posible descargar archivos GeoJSON, los cuales se transforman luego en shapefiles. Estos shapefiles se cargan en el servidor Geoserver, donde se publica el servicio WMS (Web Map Service). La visualización de este servicio se realiza en CatastroNet Visor Geográfico, al cual se accede a través de un navegador web.

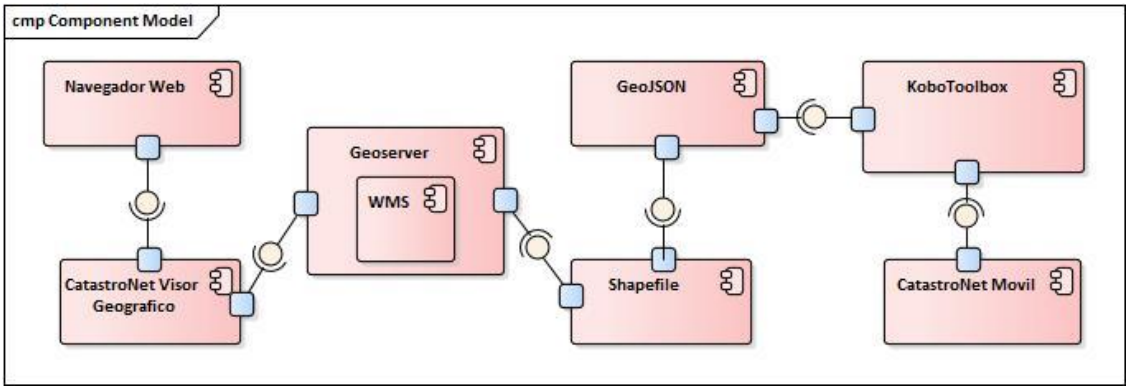


Imagen 8 Diagrama de componentes del sistema CatastroNet

Fuente: Elaboración Propia

7.2.4 Vista física

Esta vista se centra en cómo se despliegan los componentes de CatastroNet en el entorno de ejecución, donde fue posible identificar como se llevará a cabo la distribución física del sistema de gestión y tiene como propósito observar la arquitectura del mismo respecto al almacenamiento y comunicación entre componentes.

7.2.4.1 Diagrama de despliegue CatastroNet.

En el diagrama de despliegue, se representan las diversas capas y componentes del sistema, así como las relaciones y conexiones entre ellos en un entorno de implementación o ejecución.

En el contexto del sistema de gestión CatastroNet, el diagrama de despliegue inicialmente ilustra la presencia del aplicativo móvil CatastroNet, que opera en el sistema operativo móvil Android. A continuación, se destaca la conexión de este aplicativo móvil con KoboToolBox, ubicado en un servidor en la nube (cloud server). Desde KoboToolBox, se pueden descargar archivos GeoJSON, los cuales, tras su descarga, se transforman indirectamente en shapefiles.

El archivo shapefile obtenido se incorpora al servidor de aplicaciones, donde se despliega Geoserver, ejecutándose en Apache Tomcat. Aquí, se lleva a cabo la publicación de servicios WMS (Web Map Service) a partir del shapefile cargado en el visor geográfico, el cual se encuentra

ejecutado en Apache. Finalmente, el cliente accede al visor geográfico a través de un navegador web para visualizar la información.

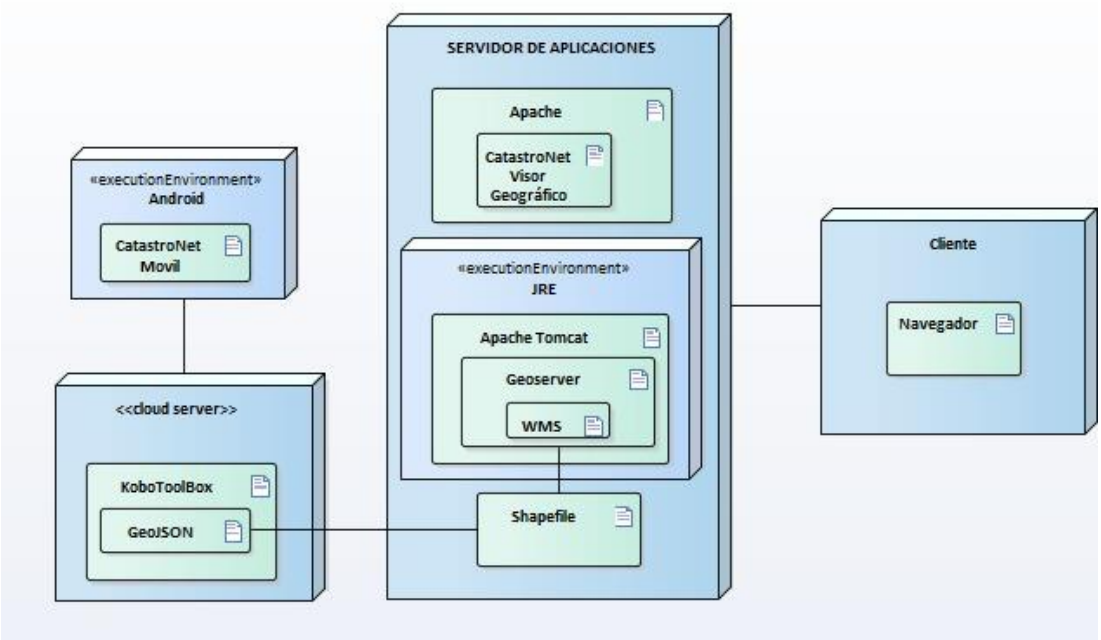


Imagen 9 Diagrama de despliegue de CatastroNet

Fuente: Elaboración Propia

7.3 Implementación

La implementación inició con la creación del formulario encargado de recopilar la información en campo, para lo cual se hizo necesario la creación de una cuenta en KoboToolbox, en donde se diligenció la información solicitada y posteriormente se realizó la creación del proyecto “CatastroNet” que contenía el formulario.

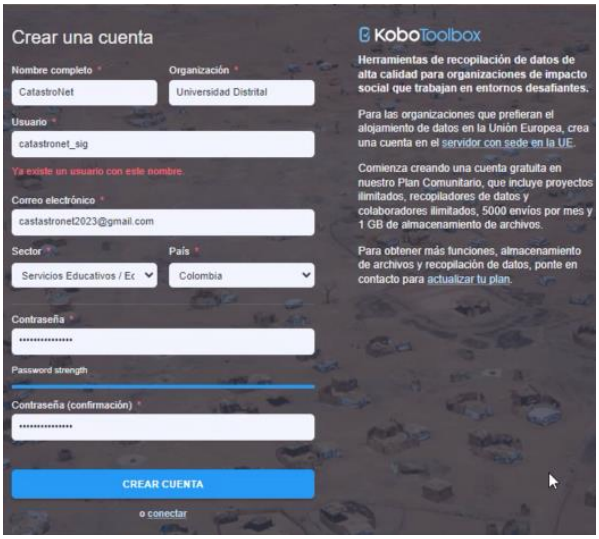


Imagen 10 Creación de cuenta de CatastroNet en KoboToolbox

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 11 Creación del proyecto de CatastroNet en KoboToolbox

Fuente: Elaboración Propia

En el panel de configuración del formulario se crearon las preguntas a partir de los requerimientos funcionales planteados para el colector de datos móvil y se establecieron las reglas de negocio necesarias para garantizar la integridad de los datos, como lo son la obligatoriedad, el tipo de dato, reglas de validación y reglas de dependencia condicionales.

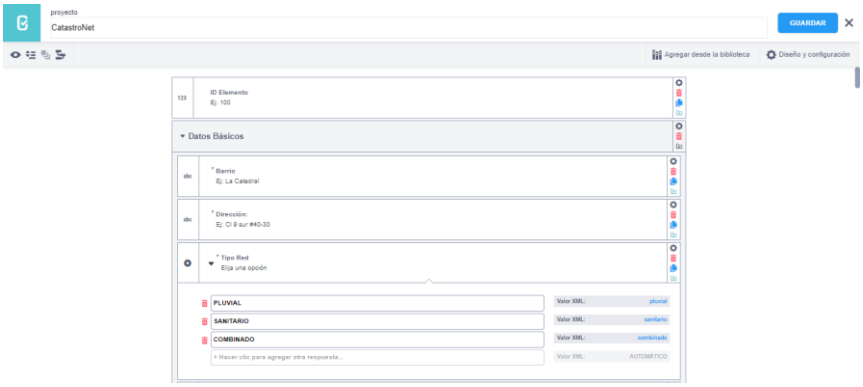
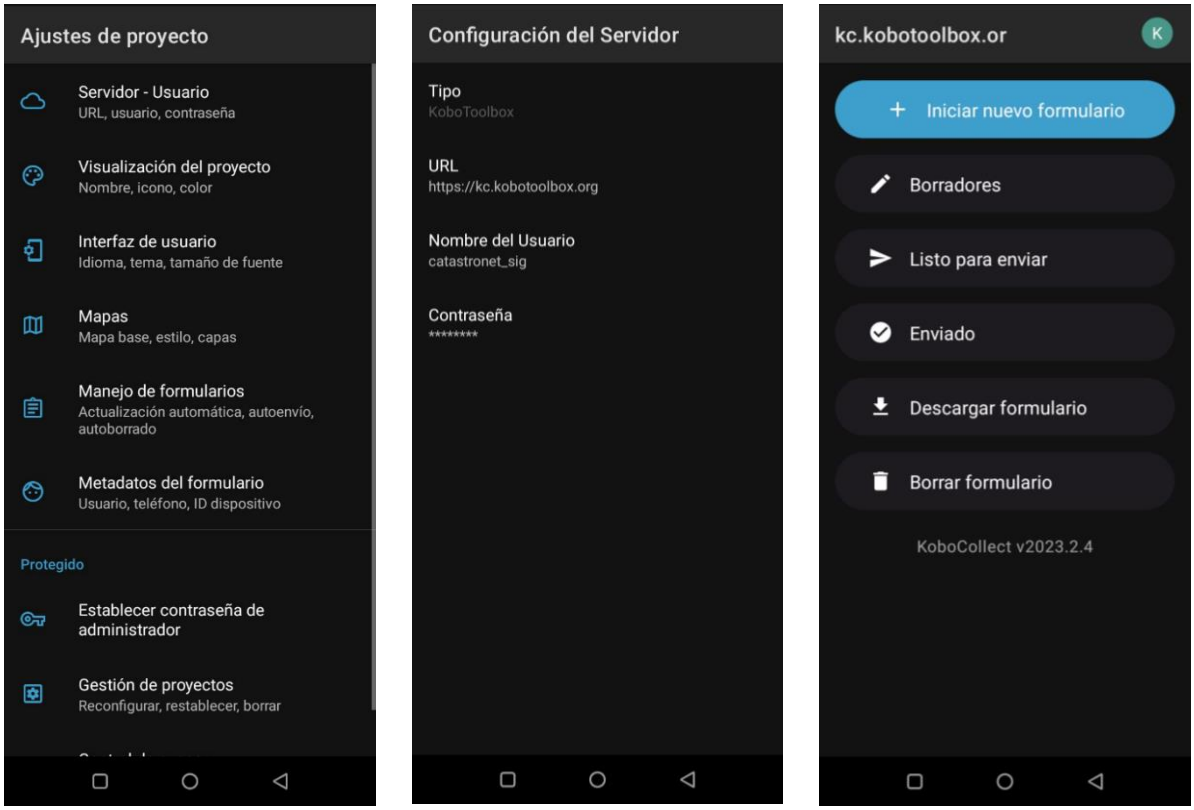


Imagen 12 Panel de configuración de formulario en KoboToolbox

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se implementó el formulario desde KoboToolbox para que quedará disponible en el aplicativo móvil KoboCollect. En este aplicativo se requirió una configuración del Servidor-Usuario para poder asociarse al proyecto "CatastroNet", como lo son: la URL (*https://kc.kobotoolbox.or*g), el usuario (*catastronet_SIG*) y la contraseña (Catastronet2023).

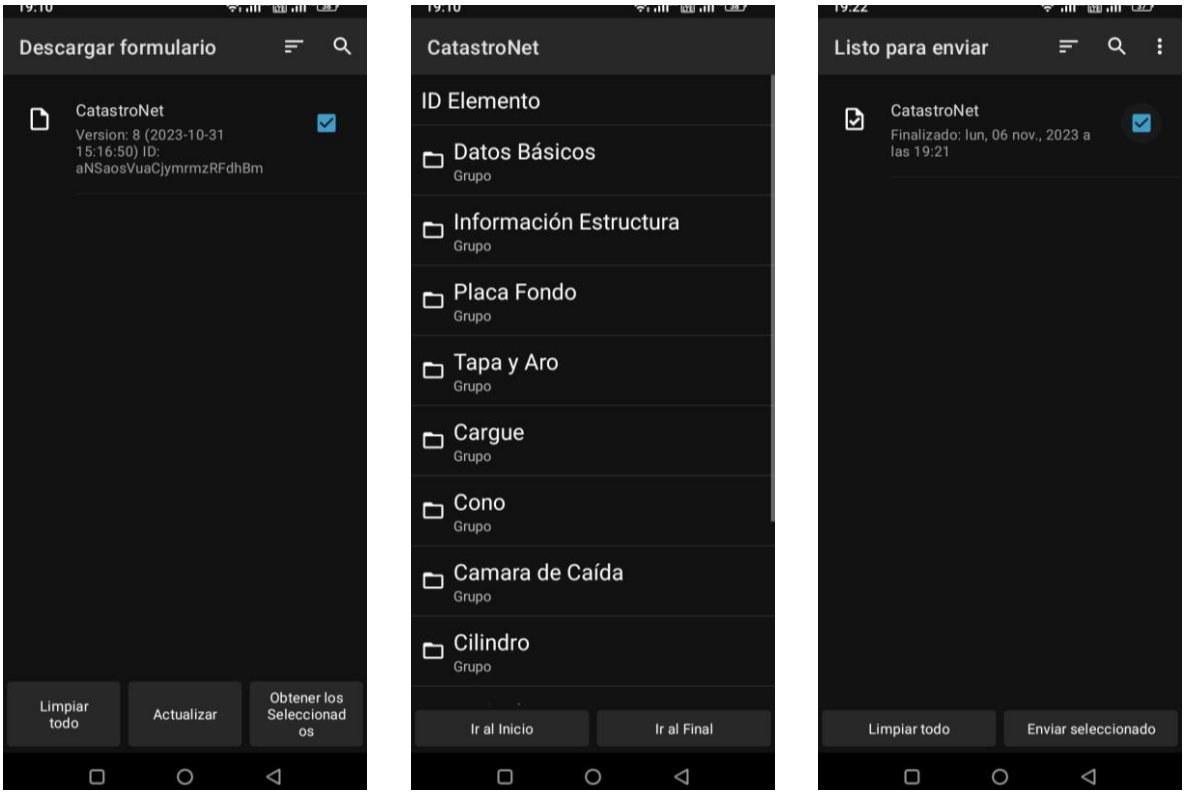


A. *B.* *C.*

Imagen 13 Configuración del servidor y panel principal en KoboCollect

Fuente: Elaboración Propia

Con el servidor configurado, se procedió a descargar el formulario de “CatastroNet” y a diligenciar el mismo en la pestaña *“+ Iniciar nuevo formulario”,* donde después de recolectada toda la información se alojaba localmente en el dispositivo móvil. Para poder enviar los datos capturados en campo, se debió llevar a cabo su envío desde la pestaña *“Listo para enviar”*, para su almacenamiento en KoboToolbox.



A. *B.* *C.*

Imagen 14 Descarga, diligenciamiento y envío de formulario en KoboCollect

Fuente: Elaboración Propia

Los datos almacenados en la nube pueden ser verificados desde KoboToolbox en la opción *“Datos”*, donde se pueden visualizar los formularios colectados. Así mismo, en esta opción es posible encontrar el botón para la descarga de estos datos en formatos como XLS, CSV, KML y GeoJSON.

Para el sistema de gestión CatastroNet se llevó a cabo la descarga en el formato GeoJSON, con el fin de realizar su posterior conversión a archivo shapefile, para lo cual se utilizó QGIS, el

cual es un sistema de información geográfica de software libre y de código abierto. Este es el insumo principal que se despliega en el visor geográfico mediante el cargue en Geoserver.

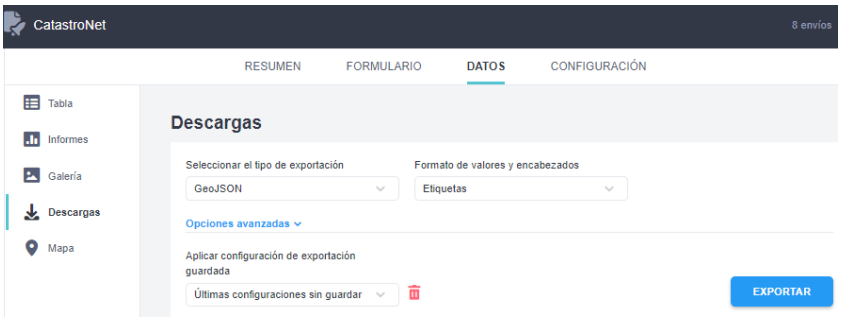


Imagen 15 Descarga de información desde KoboToolBox

Fuente: Elaboración Propia

Con el objetivo de realizar la verificación de los datos recolectados en campo mediante CatastroNet Móvil, se obtuvo la capa de información de pozos de alcantarillado de la cartografía oficial la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá recuperado desde el servicio Web de ArcGIS https://www.acueducto.com.co/wasSIGue/arcgis/rest/services.

Con todos los datos recopilados se tuvieron los insumos para el despliegue del visor geográfico CatastroNet, para lo cual fue necesaria su publicación en Geoserver. Inicialmente, se creó una cuenta para CatastroNet en Geoserver, se cargaron los datos del inventario de pozos de alcantarillado de la EAAB y posteriormente se cargó el archivo Shapefile con la capa de datos de los elementos recolectados en campo.

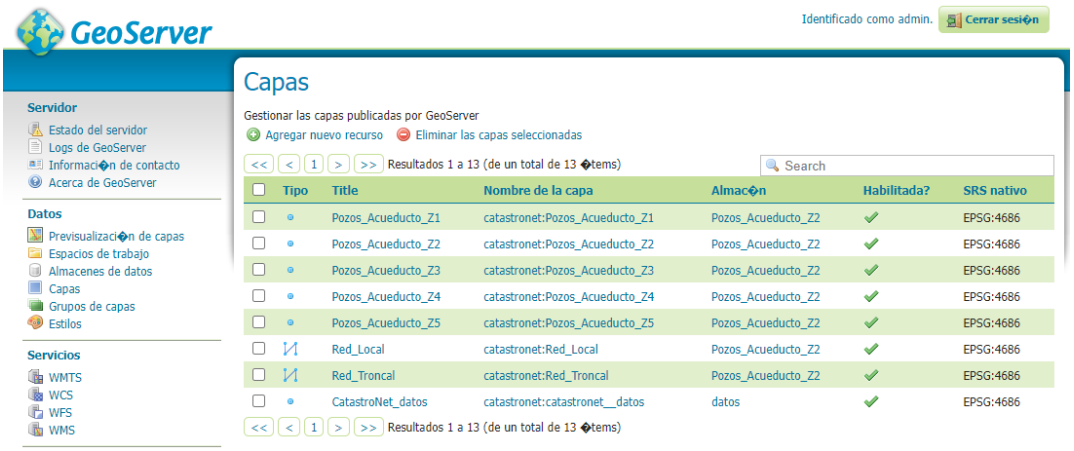


Imagen 16 Publicación de información en Geoserver

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se reutiliza el Famework Web denominado *Heron* en su versión 0.75, el cual es un visor preconfigurado y esta soportado por un kit de herramientas de GeoExt, el cual "es un potente conjunto de herramientas que combina la biblioteca de mapas Web OpenLayers con la interfaz de usuario inteligente de Ext JS para ayudar a crear potentes aplicaciones SIG de estilo escritorio en la Web con JavaScript" (Heron, 2021). En este se hacen las configuraciones pertinentes para la representación adecuada de la información de CatastroNet, cumpliendo con los requerimientos definidos en los numerales anteriores.

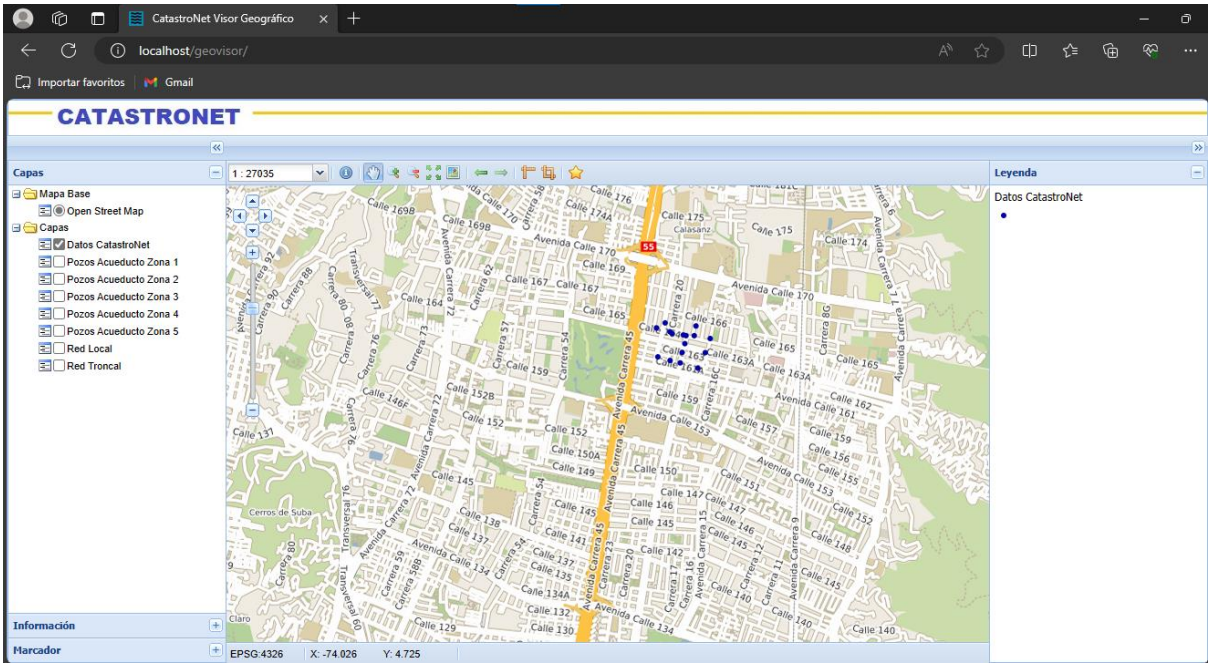


Imagen 17 Presentación del visor geográfico de CatastroNet

Fuente: Elaboración Propia

7.4 Evaluación

En esta fase evaluó la usabilidad del sistema a partir de realización de seis encuestas a usuarios que llevaron a cabo pruebas sobre el sistema de gestión CatastroNet. La encuesta apuntaba a conocer la satisfacción del usuario frente a la interacción con el sistema, con respecto a: la comprensibilidad, que se relaciona con la facilidad que los usuarios perciben para reconocer la estructura lógica y los conceptos del software, la facilidad de aprendizaje que indica el esfuerzo que los usuarios deben hacer para aprender a usar la aplicación, la operabilidad que agrupa los conceptos que evalúan la operación y el control del sistema y la funcionalidad que se refiere a la capacidad del sistema para satisfacer las necesidades y realizar las tareas esperadas por los usuarios.

Los encuestados realizaron la calificación de 1 a 5, donde 5 es totalmente satisfecho y 1 totalmente insatisfecho. Con dichos parámetros se tuvieron los resultados finales de la encuesta,

en la que se tienen las siguientes puntuaciones.

Tabla 1 Evaluación de usabilidad CatastroNet

Usuario	**Comprensibilidad**	**Facilidad de aprendizaje**	**Operabilidad**	**Funcionalidad**	**Usabilidad**
1	3	4	4	5	4.0
2	5	4	4	3	4.0
3	5	3	3	4	3.8
4	3	4	3	4	3.5
5	5	4	3	4	4.0
6	5	4	4	5	4.5

Fuente: Elaboración Propia

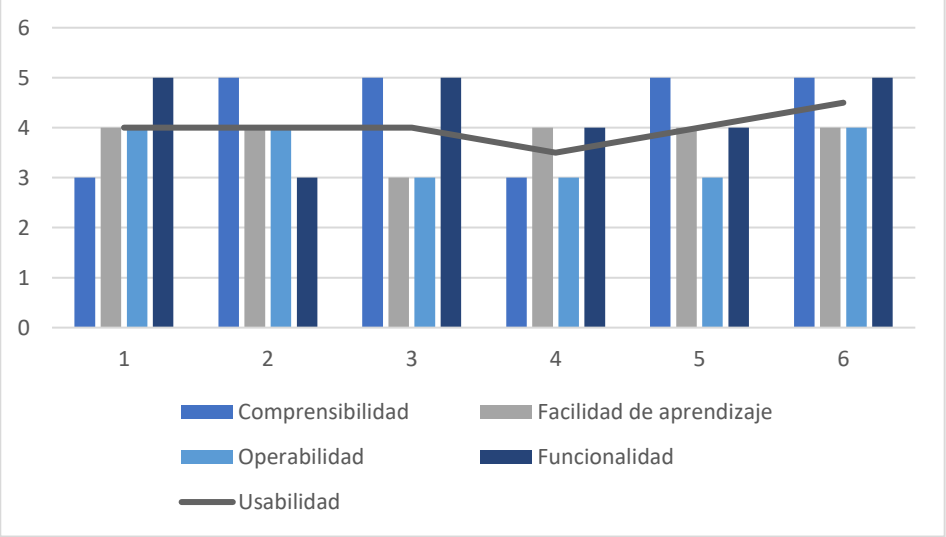


Imagen 18 Gráfico de evaluación de CatastroNet

Fuente: Elaboración Propia

Con dichos resultados es posible determinar que el sistema CatastroNet presenta una usabilidad.

Basándonos en los resultados de las calificaciones otorgadas por los usuarios en diferentes aspectos de usabilidad para el sistema Catastro Net, se pueden observar que:

En cuanto a la comprensibilidad, la puntuación promedio de 4.0 sugiere que los usuarios encuentran que el sistema es generalmente comprensible. La mayoría de los usuarios calificaron este aspecto por encima del punto medio (3), lo cual es positivo y sugiere una buena comprensión

de la estructura lógica y lo que debe hacer el sistema.

La facilidad de aprendizaje también obtuvo una puntuación promedio de 4.0, indicando que los usuarios perciben que el sistema es fácil de aprender.

En cuanto a la operabilidad, aunque la puntuación promedio es de 3.8, ligeramente menor en comparación con otros aspectos de usabilidad, sugiere que los usuarios están en su mayoría satisfechos con la facilidad de operar el sistema.

La funcionalidad recibió una puntuación promedio de 4.0, lo que indica que los usuarios consideran que el sistema cumple adecuadamente con lo que se esperaba del mismo.

En general, la puntuación promedio para la usabilidad general es de 4.1, lo que sugiere una experiencia de usuario positiva. Los usuarios están generalmente satisfechos con la comprensibilidad, facilidad de aprendizaje, operabilidad y funcionalidad del sistema Catastro Net.

8 Conclusiones

La adopción de recursos digitales como lo es un aplicativo móvil para la recolección de datos en el campo en lugar de depender de formatos en papel, ha demostrado ser una decisión estratégica fundamental. Este enfoque no solo ahorra un tiempo valioso al eliminar la necesidad de transcribir manualmente los datos, sino que también garantiza la integridad de la información recopilada, asegurando que los datos no se vean comprometidos, alterados o perdidos durante el proceso. También, la transición a la recolección de datos en campo utilizando medios digítales se traduce en una mayor eficiencia, precisión y confiabilidad en el proceso, lo que beneficia a cualquier organización que dependa de la recopilación y análisis de datos en el campo.

La implementación de un visor geográfico para visualizar los datos recolectados, incluso si no es en tiempo real, ofrece un valioso control sobre la información obtenida. Esto permite la corrección oportuna de errores, la verificación con la información oficial existente y la evaluación de los rendimientos de los trabajos en campo, lo que a su vez facilita el control efectivo de las actividades en el terreno.

La reutilización de soluciones existentes en lugar de emprender desarrollos desde cero se traduce en una mayor eficiencia, ahorro de recursos y aceleración en la implementación de proyectos. Esta estrategia permite aprovechar el conocimiento y los activos ya disponibles, reducir costos, tiempos de desarrollo, así como proporcionar soluciones confiables y probadas.

La elección de utilizar software libre y de código abierto en sistemas de información geográfica demuestra ser una decisión estratégica acertada. Este enfoque no solo brinda acceso a herramientas de alta calidad sin costo de licencia, sino que también promueve la colaboración y la personalización de soluciones.

9 Recomendaciones

Se sugiere considerar la implementación de una solución que permita el cargue automático de los datos recolectados en campo al visor geográfico. Dado el alcance temporal del proyecto no fue posible su abordaje durante la implementación de este sistema. Esta mejora puede aumentar significativamente la eficiencia al eliminar la necesidad de realizar esta tarea manualmente; lo anterior puede ser considerado en futuras etapas del proyecto para optimizar aún más la gestión del catastro de redes húmedas.

En el futuro se sugiere optimizar la creación del diagrama de conectividad hidráulica en el formato de inspección de pozos, para lo cual se recomienda considerar la implementación de esta solución digital dentro del sistema de gestión. Esto mejoraría la eficiencia y reduciría errores en la recopilación de datos, asegurando la calidad y consistencia en el cumplimiento de los lineamientos de la norma NS030.

Para maximizar la utilidad del sistema y satisfacer las demandas de otros proyectos, se sugiere enriquecer aún más la gestión y control de datos mediante la carga de capas adicionales en el visor geográfico, según las necesidades específicas que puedan surgir. Este enfoque flexible proporcionará una mayor versatilidad y adaptabilidad al sistema, garantizando así una gestión integral y eficiente de la información geoespacial.

10 Referencias

Albuja y Carrillo. (2022). *Actualización del inventario vial de las parroquias rurales del cantón Latacunga, fase II, perteneciente a la provincia de Cotopaxi*. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/21066

Baya. (2022). *QFIELD como herramienta para el inventario del arbolado urbano en la plazuela Carlos Berdecio*. Obtenido de http://hdl.handle.net/123456789/29049

Castillo, G. B. (Febrero de 2020). Aplicación en dispositivo móvil para la realización de catastro. *Aplicación en dispositivo móvil para la realización de catastro*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Cubillos y Franco. (2019). *Geolibreta: Aplicación móvil para captura de datos en una campaña de geología*. Obtenido de http://hdl.handle.net/11349/14689

Diaz. (2021). *Diseño e Implementación de un aplicativo de recolección, y almacenamiento de información alfanumérica georreferenciada de campo en tiempo real, para el proceso de mantenimiento y operación de servidumbre*. Obtenido de http://hdl.handle.net/11349/28850

Heron. (11 de 11 de 2021). *Web Mapping Made Easy*. Obtenido de https://heron-mc.org/

Montoya y Pachón. (2022). *urvey 123 Connect como herramienta principal para calificar viviendas rurales ubicadas en el municipio de Talaigua Nuevo departamento de Bolívar en la determinación del avalúo comercial para la construcción por el método de costo de reposición*. Obtenido de http://hdl.handle.net/11349/29722

Ochoa et al. (2020). *MonAmb: Aplicación móvil y visor geográfico para la captura y análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del recurso hídrico en Colombia*. Obtenido de http://hdl.handle.net/11349/22630

Ortiz et al. (2021). *Mapeo de cultivos de Cacao mediante software libre QField utilizando equipos Android para el proyecto SENA SGPS8548- CACAO*. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8739313

Ortiz y Sánchez. (30 de 08 de 2021). Interfaz de Consulta con Lenguaje Python para el Catastro de Redes de Acueducto. *Revista cuatrimestral Universidad Alas Peruanas*, 79.

Toro, D. F. (2018). *Catastro del acueducto urbano de ortega – Tolima, empleando sistemas de información geográfica.* Obtenido de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3381