



Prototipo de sistema autónomo para captura de información topográfica

Especificación de Requerimientos de Software

Escrito por:
Karen Tatiana Zamudio

Revisión A
Esteban Volentini
Santiago Salamandri

Universidad de Buenos Aires

23 noviembre 2023

Historial de cambios

Cuadro 1: Registro de Revisiones

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	10 de noviembre 2023
1	Entrega A	16 de noviembre 2023
2	Entrega B	23 de septiembre de 2023

IEEE-830

Tabla de contenido

1. Introducción	4
1.1. Propósito	5
1.2. Ámbito del sistema	6
1.2.1. Nombre del sistema	6
1.2.2. Objetivos	6
1.2.3. Alcance	6
1.3. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas	7
1.3.1. Acrónimos	7
1.3.2. Definiciones	7
1.4. Referencias	8
1.5. Visión general del documento	8
1.5.1. Descripción general del documento	8
1.5.2. Requisitos específicos	8
2. Descripción general del documento	10
2.1. Perspectiva del producto	10
2.2. Funciones del producto	10
2.3. Características de los usuarios	10
2.4. Restricciones	11
2.5. Suposiciones y dependencias	11
2.6. Requisitos futuros	12
3. Requisitos específicos	13
3.1. Interfaces externas	13
3.2. Funciones	13
3.3. Requisitos de rendimiento	14
3.4. Restricciones de diseño	15
3.5. Atributos del sistema	15
3.6. Otros requisitos	17
4. Apéndices: información complementaria	19
4.1. Caso de uso 1: captura de datos topográficos	20
4.2. Caso de uso 2: visualización de datos topográficos en tiempo real	21
4.3. Caso de uso 3: integración con sistemas de terceros	22
4.4. Caso de uso 4: gestión de datos capturados	23
5. Bibliografía	24

1. Introducción

La Especificación de Requisitos de Software (ERS) que se evidencia a continuación es el resultado de un esfuerzo colaborativo destinado a proporcionar una base clara y completa para el desarrollo de un sistema innovador. Este documento tiene como objetivo principal establecer los requisitos funcionales y no funcionales necesarios para la creación exitosa de prototipo de sistema autónomo para captura de información topográfica (figura 1), en respuesta a la creciente demanda de eficiencia en la obtención de datos topográficos.

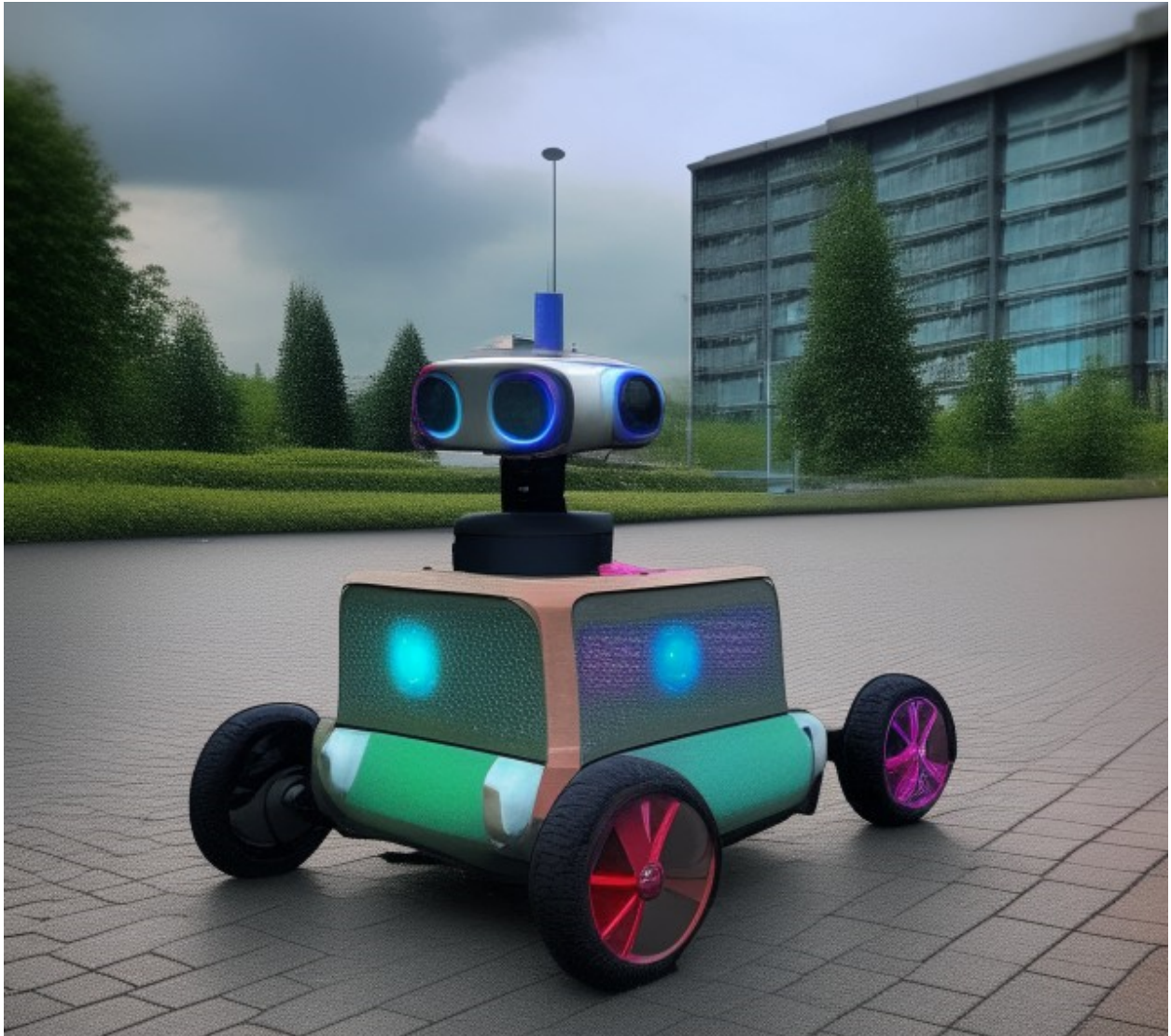


Figura 1: Prototipo para captura de información de nube de puntos.

1.1. Propósito

El objetivo principal del proyecto es abordar los desafíos relacionados con la obtención de datos topográficos precisos, por lo anterior, está dirigido a profesionales y organizaciones involucradas en proyectos que requieren información geoespacial precisa, como ingenieros, arquitectos, empresas de construcción y gestión de recursos naturales.

El prototipo se basa en la integración de múltiples sensores, que incluyen sensores GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélite), sensores LIDAR (Detección y Teledetección por Luz y Alcance), un sensor de imagen con profundidad y una IMU (Unidad de Medición Inercial) en su versión inicial, los anteriores componentes trabajan en conjunto para capturar una amplia gama de datos topográficos (fusión de datos para nube de puntos 3D), desde coordenadas geoespaciales iniciales hasta detalles visuales y altimétricos, con el potencial de escalabilidad a sensores de mayor precisión en futuras etapas del proyecto. La fusión de datos para nube de puntos 3D es una etapa clave en el proceso del sistema autónomo para captura de información topográfica. Comienza con la recopilación de datos de múltiples sensores, incluyendo GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, que capturan información topográfica. Estos datos se envían al MicroControlador (MC), donde se combinan y procesan inteligentemente para generar una nube de puntos 3D con coordenada que representa el entorno topográfico, este proceso se evidencia en la figura 2.

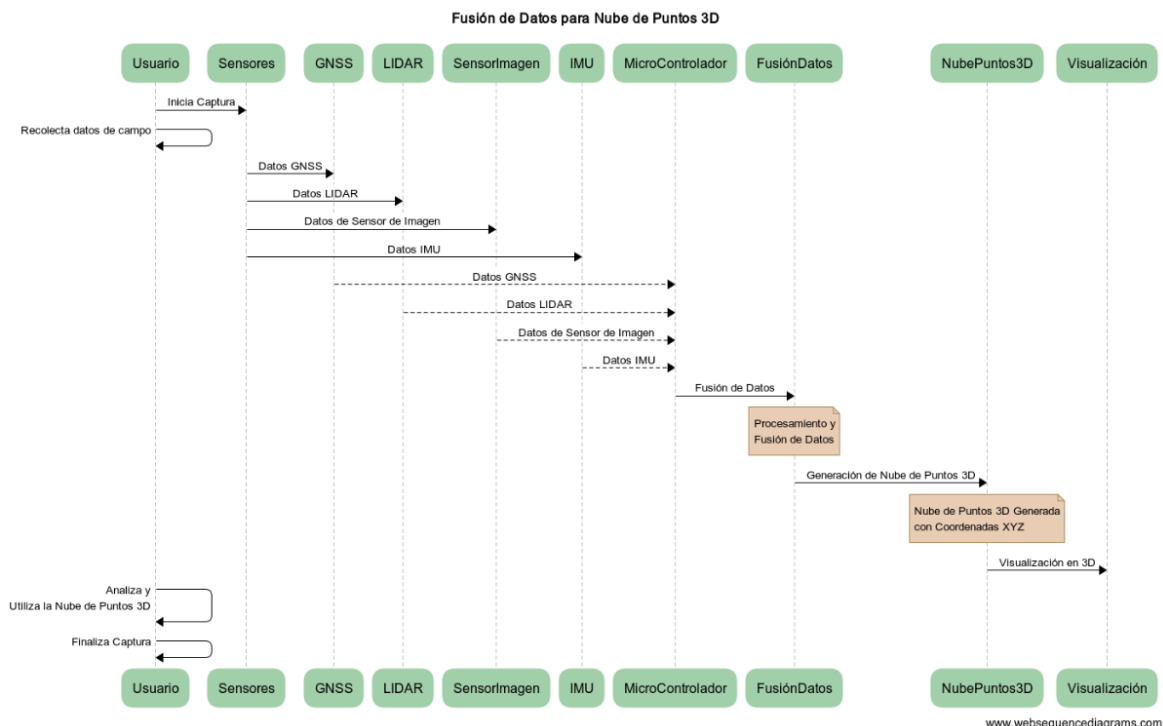


Figura 2: Diagrama de secuencia

1.2. Ámbito del sistema

1.2.1. Nombre del sistema

Se introduce con entusiasmo al innovador proyecto Realità", un sistema autónomo diseñado para la captura de información topográfica de manera eficiente y precisa, la elección del nombre Realità refleja su capacidad única para capturar la realidad del entorno con una precisión excepcional. Adicionalmente, el nombre no solo simboliza la fusión de datos provenientes de múltiples sensores, como GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, para crear una representación tridimensional detallada, sino que también encarna la visión de transformar sueños en una realidad tangible para quien construye este proyecto.

En un contexto donde la precisión de la información topográfica es esencial para profesionales y organizaciones en diversas áreas, Realità" se rige como un sueño convertido en realidad, ofreciendo un enfoque revolucionario que supera los desafíos actuales y promete redefinir la manera en que se aborda la captura de datos geoespaciales.

1.2.2. Objetivos

- Desarrollar un prototipo funcional del sistema autónomo para la captura de información topográfica, destacando la integración de sensores multimodales como piedra angular.
- Demostrar la viabilidad y eficacia de esta tecnología innovadora al generar mapas precisos del entorno que sean comparables a los mapas generados por métodos tradicionales, lo que reduce en nuevas oportunidades para la aplicación de la tecnología en una variedad de campos, como la construcción, la planificación urbana y la gestión de recursos naturales.
- Implementar un algoritmo de fusión de datos de última generación para integrar datos de sensores GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, lo anterior proporcionará una representación detallada y precisa del terreno, permitiendo a los usuarios obtener una comprensión más completa del entorno y, por ende, tomar decisiones más informadas.
- Culminar exitosamente el desarrollo del prototipo, estableciendo así las bases para futuras mejoras y desarrollos en la captura de datos topográficos, esta plataforma experimental permitirá a los investigadores explorar nuevas tecnologías que mejoren la precisión, eficiencia y utilidad de la captura de datos topográficos.

1.2.3. Alcance

Este proyecto tiene como alcance principal el desarrollo de un prototipo funcional para un sistema autónomo diseñado específicamente para la captura de información topográfica, la esencia del enfoque radicarán en la integración de sensores multimodales, como GNSS, LIDAR, sensor de imagen e IMU, con el propósito de demostrar la viabilidad y eficacia en la generación de mapas precisos del entorno, además la implementación de un algoritmo de fusión de datos de última generación será crucial para proporcionar una representación detallada y precisa del terreno. Todo lo anterior, llevará a cabo una evaluación exhaustiva en campos como la construcción, planificación urbana y gestión de recursos naturales.

Sin embargo, es esencial señalar que este proyecto no contemplará la implementación de sensores de mayor precisión en futuras etapas, ni explorará la integración de tecnologías aún no desarrolladas. Además, no se abordarán aspectos relacionados con la seguridad cibernética

de los datos recopilados, quedando este tema claramente fuera del alcance del presente trabajo. Estas limitaciones se establecen con el propósito de proporcionar claridad con respecto a las fronteras del proyecto y dirigir futuras investigaciones hacia objetivos específicos.

1.3. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

En esta subsección se definirán todos los términos, acrónimos y abreviaturas utilizadas en la especificación de requisitos de software.

1.3.1. Acrónimos

- CAD (*Computer-Aided Design*) es un proceso de diseño que utiliza software para crear, modificar, analizar o optimizar un diseño.
- DEM (Modelo de Elevación Digital), un modelo matemático que representa la elevación del terreno en una cuadrícula regular. En el contexto del sistema topográfico, un DEM es fundamental para comprender la topografía del área capturada.
- ERS (Especificación de Requisitos de Software), documento que establece de manera detallada los requisitos y especificaciones para el desarrollo del prototipo de captura de información topográfica.
- GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) es un sistema de navegación por satélite desarrollado por Rusia, que utiliza una constelación de satélites para proporcionar información precisa de posición y tiempo a receptores en la Tierra. GLONASS es independiente pero compatible con otros sistemas de navegación, como el GPS.
- GNSS (*Global Navigation Satellite System*) incluye satélites como GPS, GLONASS y otros, utilizados para determinar la posición geoespacial con precisión.
- GPS (*Global Positioning System*) es un sistema de navegación por satélite que permite determinar la ubicación y la hora en cualquier lugar de la Tierra o cerca de ella, consta de una constelación de satélites en órbita que transmiten señales que son recibidas por receptores en la Tierra, permitiendo la triangulación precisa de la posición.
- IMU (*inertial measurement unit*) es un dispositivo que mide la aceleración y la velocidad angular para determinar la orientación y movimiento de un objeto.
- LIDAR (*Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*) es una tecnología que utiliza pulsos láser para medir distancias y crear mapas tridimensionales precisos.
- SIG (*Geographic Information System*) es una herramienta para recopilar, organizar, analizar, compartir y visualizar información geoespacial.

1.3.2. Definiciones

- Georreferenciación es el proceso de asociar datos espaciales con coordenadas geográficas reales. En el proyecto, la georreferenciación es fundamental para situar y contextualizar los datos capturados en relación con la superficie terrestre, permitiendo una interpretación precisa y útil de la información topográfica.

- Planimetría es la representación gráfica y métrica de la superficie terrestre en un plano horizontal, sin considerar las elevaciones. En el proyecto, la planimetría es importante para obtener información precisa sobre la distribución y disposición de elementos en el terreno.
- Topografía es la ciencia que se ocupa de la descripción detallada y precisa de la superficie terrestre, incluyendo sus formas, características naturales y artificiales. En el contexto del proyecto, la topografía es esencial para la captura y análisis de datos, proporcionando información crucial sobre la configuración del terreno.

1.4. Referencias

En esta subsección se mostrará una lista de los documentos referenciados en la ERS (Especificación de Requisitos de Software), documento que establece de manera detallada los requisitos y especificaciones para el desarrollo del prototipo de captura de información topográfica:

- **ISO/IEC 9126:2001:** la norma ISO/IEC 9126:2001 [?] proporciona directrices para la evaluación de la calidad del producto de software. Es crucial para el prototipo de captura de información topográfica ya que establece estándares para asegurar la calidad del software, lo que es esencial para un sistema autónomo.
- **IEEE Std 830-1998:** el estándar IEEE Std 830-1998 [?] describe prácticas recomendadas para la especificación de requisitos de software. En el contexto del prototipo, esta referencia es fundamental para la correcta documentación de los requisitos del sistema, garantizando una comprensión clara y completa de las especificaciones.
- **Prototipo de Sistema Autónomo para Captura de Información Topográfica:** el documento del prototipo de sistema autónomo [?] proporciona detalles específicos sobre la implementación y la funcionalidad del prototipo de captura de información topográfica. Esta referencia es esencial para comprender la arquitectura del sistema y sus características técnicas.

1.5. Visión general del documento

Esta subsección ofrece un resumen conciso de los contenidos y la estructura de ERS para el Prototipo de Captura de Información Topográfica, siguiendo las pautas establecidas en el estándar IEEE Std. 830-1998. La estructura del documento se divide en dos secciones principales: descripción eneral del documento y requisitos específicos.

1.5.1. Descripción general del documento

La sección de descripción general del documento brinda una visión integral del proyecto. Se abordan aspectos como la perspectiva del producto, las funciones del producto, las características de los usuarios, las restricciones para visualizar los límites en el diseño y desarrollo las suposiciones y dependencias y requisitos futuros.

1.5.2. Requisitos específicos

La sección de requisitos específicos constituye el núcleo de la especificación de requisitos de software (SRS). En ella se detallan los elementos técnicos clave del sistema, incluyendo las

interfaces externas, las funciones, los requisitos de rendimiento, las restricciones de diseño, los atributos del sistema y otros requisitos.

2. Descripción general del documento

Esta sección proporciona una visión general del proyecto, incluyendo los siguientes aspectos:

2.1. Perspectiva del producto

El producto se integra con otros sistemas de información topográfica, como sistemas de gestión de bases de datos y sistemas de visualización de datos, el producto opera en un entorno determinado, que incluye el entorno físico y el entorno operativo.

1. Entorno físico: el entorno físico incluye el lugar donde se utilizará el producto. En el caso de la captura de información topográfica, el entorno físico puede ser una zona urbana, una zona rural o un entorno natural.
2. Entorno operativo: el entorno operativo incluye las condiciones en las que se utilizará el producto. En el caso de la captura de información topográfica, el entorno operativo puede ser variable, dependiendo de las condiciones climáticas y del terreno.

2.2. Funciones del producto

El producto proporciona las siguientes funciones:

1. Captura de datos topográficos: el producto permite capturar datos topográficos mediante sensores, como GPS, cámaras y escáneres láser. Los datos topográficos se pueden capturar en dos dimensiones (2D) o en tres dimensiones (3D).
2. Procesamiento de datos topográficos: el producto permite procesar datos topográficos para generar modelos digitales del terreno, mapas y otros productos topográficos. El procesamiento de datos topográficos puede incluir operaciones como la corrección de errores, la interpolación de datos y la generación de superficies.
3. Visualización de datos topográficos: el producto permite visualizar datos topográficos de forma interactiva. La visualización de datos topográficos puede ayudar a los usuarios a comprender la información topográfica y a tomar decisiones.

2.3. Características de los usuarios

Los usuarios del producto son profesionales de la topografía, la geografía y la arquitectura, que presentan conocimientos y habilidades en el área de la topografía, informática y tecnologías de la información.

1. Conocimientos: los usuarios deben tener conocimientos de topografía, incluyendo conceptos como coordenadas, escalas y curvas de nivel.
2. Habilidades: los usuarios deben tener habilidades en informática, incluyendo el uso de software de diseño asistido por computadora (CAD) y software de sistemas de información geográfica (SIG).

2.4. Restricciones

El producto puede evolucionar para satisfacer las siguientes restricciones presentes:

1. Limitaciones del hardware: el prototipo, basado en la plataforma STM32 con la placa de desarrollo NUCLEO-F767ZI, tiene restricciones específicas en términos de capacidad de procesamiento y almacenamiento. Además, se deben considerar las limitaciones de precisión inherentes a los sensores de bajo costo utilizados, como el GNSS (NEO-6M), el Lidar (LD06, Lidar LD19 D300), y el IMU (MPU9250).
2. Lenguaje(s) de programación: la programación para la plataforma STM32 se restringe principalmente a los lenguajes C y C++, estos lenguajes son los más adecuados para aprovechar las bibliotecas y APIs proporcionadas por STM32Cube, optimizando así el rendimiento del sistema. Otros lenguajes pueden tener limitaciones de soporte, lo que podría afectar negativamente la eficiencia y compatibilidad del código.

2.5. Suposiciones y dependencias

En la planificación y desarrollo del prototipo de captura de datos topográficos, es fundamental establecer un marco claro que aborde las suposiciones y dependencias esenciales para la ejecución exitosa del proyecto. Estas suposiciones representan las condiciones fundamentales que se consideran como premisas válidas, mientras que las dependencias delinean los elementos críticos que deben estar en su lugar para garantizar el progreso continuo. A continuación, se detallan las suposiciones y dependencias clave que guiarán el curso del desarrollo del prototipo.

1. Suposiciones:

- Se presupone que la estructura organizativa de las unidades de la empresa no experimentará cambios significativos durante el desarrollo y la implementación del prototipo.
- Se asume que los sensores requeridos para el prototipo, incluyendo el GNSS (Neo 6M), Lidar (LD06, Lidar LD19 D300), sensor de imagen (Astra Pro Plus Depth Camera), y el IMU (MPU9250) mantendrán una disponibilidad y compatibilidad adecuadas a lo largo del ciclo de vida del prototipo.
- Se asume que las políticas de seguridad de datos actuales de la empresa no experimentarán cambios sustanciales que afecten la implementación y operación del prototipo.
- Se presupone que las condiciones climáticas normales, sin eventos adversos extremos, son las que predominarán durante las operaciones del sistema.
- Se asume que no habrá cambios significativos en las regulaciones y normativas relacionadas con la captura de información topográfica durante el desarrollo del prototipo.

2. Dependencias:

- El desarrollo exitoso del prototipo depende de la disponibilidad continua de los sensores GNSS, LIDAR, sensor de imagen y IMU con las especificaciones técnicas requeridas.

- La efectiva capacitación y asimilación por parte de los usuarios finales son factores cruciales para el éxito del prototipo, lo anterior dependerá de la disponibilidad de recursos de formación pertinentes y de la claridad de la documentación proporcionada, asegurando una adopción eficiente del sistema.

2.6. Requisitos futuros

El producto puede evolucionar para satisfacer los siguientes requisitos futuros:

- Mejoras en la precisión de los sensores: se considerará la posibilidad de incorporar sensores de última generación que ofrezcan una mayor precisión en la captura de datos topográficos, permitiendo una generación de mapas más detallada y exacta.
- Integración de tecnologías emergentes: se evaluará la viabilidad de integrar tecnologías emergentes, como inteligencia artificial y aprendizaje automático, para mejorar la capacidad de procesamiento y análisis de datos, lo que podría conducir a una captura y generación de mapas más eficiente.
- Integración con sistemas de terceros: el producto puede integrarse con sistemas de terceros para proporcionar una visión más completa de la información topográfica.
- Adaptabilidad a condiciones climáticas adversas: se explorará la posibilidad de implementar mejoras que permitan la captura de información topográfica incluso en condiciones climáticas adversas, mejorando la robustez y utilidad del sistema autónomo.
- Escalabilidad del sistema: se estudiará la escalabilidad del sistema para la integración de sensores de mayor precisión en etapas futuras, asegurando que el prototipo pueda adaptarse a avances tecnológicos y requisitos cambiantes.
- Seguridad cibernética: considerando la importancia de la seguridad de los datos topográficos, se analizarán mejoras en las medidas de seguridad cibernética, como la encriptación avanzada y la protección contra amenazas potenciales.
- Optimización de velocidad de procesamiento: se buscará optimizar la velocidad de procesamiento mediante la implementación de algoritmos más eficientes y la actualización del hardware, garantizando una captura de datos topográficos rápida y sin demoras significativas.

3. Requisitos específicos

Esta sección detalla los requisitos que afectan las interfaces externas del prototipo, abordando aspectos como la interfaz de usuario, la interacción con otros sistemas (tanto hardware como software), y los requisitos de comunicación.

3.1. Interfaces externas

1. Interfaz de usuario:

- **[RS-001]** La interfaz de usuario deberá tener una representación clara de la nube de puntos topográficos.
- **[RS-002]** La navegación en la interfaz permitirá la exploración detallada de datos capturados por cada sensor, con opciones específicas para visualizar información de la cámara, Lidar y datos de profundidad.

2. Interfaz con otros sistemas:

- **[RS-003]** La integración de datos del MPU9250, GNSS NEO-6M, sensores HC-SR04, cámara Astra Pro Plus Depth y Lidar LD06/LD19 D300 será efectiva y escalable para futuros sensores.
- **[RS-004]** Se utilizarán protocolos estándar y abiertos como I2C para MPU9250 y UART para GNSS NEO-6M, garantizando una integración sin problemas.
- **[RS-005]** La fusión coherente de datos de los diferentes sensores se realizará mediante el expansor de módulo PCA9544, asegurando una integración.

3. Interfaces de comunicación:

- **[RS-006]** Las interfaces de comunicación entre los sensores y el microcontrolador (NUCLEO-F767ZI) utilizarán conexiones específicas para cada sensor, adaptándose a las necesidades para una transferencia de datos fluida.
- **[RS-007]** Se implementarán protocolos seguros de comunicación, especialmente para la transmisión de datos GNSS, cámara y Lidar, garantizando la seguridad y confidencialidad de la información topográfica capturada.
- **[RS-008]** El prototipo utilizará protocolos estándar y abiertos, como por ejemplo, *PointCloud Data Exchange (PCDX)* y *LAS (Lidar Data Exchange)*, para la comunicación con plataformas externas de visualización 3D, tales como *QGIS* y *CloudCompare*, asegurando así la interoperabilidad con diversas herramientas de visualización.

3.2. Funciones

1. Por tipos de usuarios:

- **[RS-009]** Usuario principal: el sistema permitirá la inicialización y finalización de la captura de datos topográficos, así como la visualización de la información en tiempo real desde la interfaz de usuario.
- **[RS-010]** Usuario técnico: el sistema proporcionará funciones específicas para el usuario técnico, como la configuración avanzada de los sensores, calibración y ajuste de parámetros para garantizar la precisión de la captura.

- **[RS-011]** Usuario administrador: el sistema proporcionará acceso a funciones de gestión del sistema, como la actualización de firmware, monitorización del estado de los sensores y generación de informes sobre la calidad de los datos.

2. Por objetos:

- **[RS-012]** Objeto sensor GNSS: el sistema procesará y registrará datos precisos de ubicación geográfica proporcionados por el sensor GNSS, incluyendo la latitud, longitud y altitud.
- **[RS-013]** Objeto sensor de imagen (Cámara): el sistema especificará funciones para la captura de imágenes, permitiendo al sistema almacenar y asociar datos visuales con la información topográfica (colorizar).
- **[RS-014]** Objeto Lidar: el sistema proporcionará funciones específicas para el escaneo láser y la captura de datos de distancia, generando una representación detallada del entorno en 3D.
- **[RS-015]** Objeto sensores de proximidad: el sistema detectará obstáculos cercanos durante la operación, mejorando la seguridad del sistema y evitando posibles colisiones.

3. Por estímulos:

- **[RS-016]** Estímulo de inicio de captura: el sistema activará todos los sensores cuando se inicie la captura de datos para comenzar el proceso de recopilación de información topográfica.
- **[RS-017]** Estímulo de parada de captura: el sistema desencadenará la finalización de la recopilación de datos y el procesamiento final mediante la función de detener la captura, ya que esta será el estímulo.

4. Por jerarquía funcional:

- **[RS-018]** Procesamiento de datos: el sistema llevará un proceso detallado para analizar, filtrar y fusionar la información proveniente de los sensores, incluyendo GNSS, Lidar, cámara y sensores de proximidad.
- **[RS-019]** Generación de nube de puntos: el sistema transformará los datos capturados en una nube de puntos en 3D, proporcionando una representación visual de la topografía.

3.3. Requisitos de rendimiento

- **[RS-020]** Carga de sensores: el sistema deberá ser capaz de soportar la conexión y funcionamiento simultáneo de los siguientes sensores: IMU MPU-9250, GNSS Neo-6M, Expansor de módulo PCA9544, Sensores de proximidad HC-SR04, Cámara Astra Pro Plus Depth Camera, Lidar LD06, Lidar LD19 D300.
- **[RS-021]** Frecuencia de captura de datos: el sistema deberá capturar datos topográficos a una frecuencia mínima de 10 Hz para garantizar la precisión y la actualización en tiempo real.

- **[RS-022]** Procesamiento en tiempo real: el sistema deberá procesar y fusionar datos de los sensores para generar la nube de puntos en 3D en tiempo real, con un tiempo de procesamiento no superior a 100 ms.
- **[RS-023]** Número de usuarios concurrentes: la interfaz de usuario deberá admitir al menos 5 usuarios concurrentes, permitiendo la visualización simultánea de datos y la interacción con el sistema.
- **[RS-024]** Capacidad de transmisión de datos: el sistema deberá ser capaz de transmitir datos a sistemas externos, como sistemas de gestión de infraestructuras, con una tasa de transferencia mínima de 1 Mbps.
- **[RS-025]** Precisión del sistema: la precisión del sistema, medida como la diferencia entre la ubicación capturada y la ubicación real, deberá ser menor a 10 cm en condiciones normales de operación.
- **[RS-026]** Escalabilidad: el sistema deberá ser diseñado de manera que permita la integración sencilla de sensores adicionales con mayores capacidades y precisiones en el futuro, lo anterior implica que el hardware y el software deben ser adaptables y compatibles con nuevas tecnologías emergentes, asegurando la expansión efectiva del prototipo para incorporar mejoras en la captura de datos topográficos.

3.4. Restricciones de diseño

- **[RS-027]** Protocolos de Comunicación: el diseño deberá adherirse a protocolos de comunicación específicos para cada sensor, como I2C para MPU9250 y UART para GNSS NEO-6M.
- **[RS-028]** Capacidad de Procesamiento: el diseño estará limitado por la capacidad de procesamiento del microcontrolador NUCLEO-F767ZI, requiriendo optimización para garantizar un procesamiento eficiente de los datos en tiempo real.
- **[RS-029]** Dimensiones Físicas: el diseño deberá ajustarse a las dimensiones físicas y requisitos de montaje de los sensores y componentes hardware especificados para asegurar una integración adecuada.
- **[RS-030]** Consumo Energético: El sistema deberá mantener un consumo energético promedio no superior a 5 vatios por hora durante las operaciones de captura de datos. Además, se requerirá que el sistema pueda funcionar de manera continua durante al menos 8 horas con una batería estándar de iones de litio de 12 V y 5000 mAh. Estas restricciones se aplicarán para adaptarse a entornos específicos con limitaciones de fuentes de energía.

3.5. Atributos del sistema

- **[RS-031]** Fiabilidad: el sistema deberá ser altamente confiable, asegurando la adquisición precisa y consistente de datos topográficos en diversas condiciones y entornos.
 - Métrica: porcentaje de precisión en la adquisición de datos topográficos.
 - Fórmula: $\text{Precisión} = \frac{\text{Datos precisos}}{\text{Total de datos}} \times 100 \%$.
 - Objetivo: establecer un objetivo de adquisición de datos topográficos superior al 95 por ciento, incluso en condiciones adversas y variadas.

- **[RS-032]** Mantenibilidad: el prototipo deberá ser diseñado con prácticas de mantenibilidad que faciliten la identificación y corrección eficiente de posibles problemas, permitiendo actualizaciones y mejoras sin interrupciones significativas.
 - Métrica: tiempo promedio de detección y corrección de problemas.
 - Fórmula: $\text{Tiempo promedio} = \frac{\text{Suma de tiempos de detección y corrección}}{\text{Número de problemas}}$.
 - Objetivo: establecer un objetivo de menos de 24 horas para resolver cualquier inconveniente identificado en el tiempo promedio de detección y corrección de problemas.
- **[RS-033]** Compatibilidad de sensores: se deberá garantizar la compatibilidad entre los distintos sensores utilizados
 - Métrica: índice de éxito en las pruebas de integración.
 - Fórmula: $\text{Índice de éxito} = \frac{\text{Número de pruebas exitosas}}{\text{Total de pruebas}} \times 100 \%$.
 - Objetivo: establecer un objetivo de integración que aseguren la comunicación sin errores entre los sensores utilizados, con un índice de éxito del 98 por ciento.
- **[RS-034]** Portabilidad: se buscará una alta portabilidad del sistema, permitiendo su despliegue en diferentes plataformas o entornos de captura de información topográfica.
 - Métrica: número de plataformas diferentes en las que se despliega el sistema.
 - Objetivo: establecer como objetivo satisfactorio si el sistema se despliega con éxito en al menos tres plataformas clave que cubren una variedad de escenarios topográficos.
- **[RS-035]** Seguridad:
 - Control de acceso: el sistema implementará un sistema de control de acceso para autenticar y autorizar a los usuarios. Se establecerán roles y privilegios específicos para garantizar la seguridad de la información.
 - Métrica: tasa de detección de intentos de acceso no autorizado.
 - Fórmula: $\text{Tasa de detección} = \frac{\text{Número de intentos no autorizados detectados}}{\text{Total de intentos de acceso}} \times 100 \%$.
 - Objetivo: un valor satisfactorio de la tasa de detección es del 95 por ciento o más. Esto implica que el sistema es capaz de detectar y bloquear la gran mayoría de los intentos de acceso no autorizado.
 - Cifrado de datos: todos los datos transmitidos y almacenados estarán cifrados para proteger la confidencialidad y la integridad de la información topográfica sensible.
 - Métrica: tasa de resistencia a intentos de descifrado.
 - Fórmula: $\text{Tasa de resistencia} = \frac{\text{Número de intentos de descifrado fallidos}}{\text{Total de intentos de descifrado}} \times 100 \%$.
 - Objetivo: una tasa de resistencia del 99 por ciento o más, lo anterior indicará una fuerte resistencia del sistema a intentos de descifrado y una sólida protección de la confidencialidad de la información topográfica sensible.
 - Protección contra amenazas: se incorporarán medidas de protección contra amenazas como intrusiones, manipulación de datos y accesos no autorizados.
 - Métrica: tasa de detección de amenazas simuladas.

- Fórmula: Tasa de detección de amenazas = $\frac{\text{Número de amenazas simuladas detectadas}}{\text{Total de amenazas simuladas}} \times 100 \%$.
 - Objetivo: una tasa de detección del 98 por ciento o más, lo anterior a razón de implementar una buena capacidad del sistema para detectar y responder a amenazas simuladas.
- Registro de auditoría: el sistema incluirá un registro de auditoría detallado que registrará las acciones de los usuarios, proporcionando trazabilidad para fines de seguridad y análisis forense.
 - Métrica: precisión en la reconstrucción de eventos.
 - Fórmula: Precisión en la reconstrucción = $\frac{\text{Número de eventos correctamente reconstruidos}}{\text{Total de eventos registrados}} \times 100 \%$.
 - Objetivo: una precisión del 95 por ciento o más. Esto indicará que el sistema es capaz de reconstruir eventos con alta precisión, proporcionando una trazabilidad confiable.
- **[RS-036]** Usabilidad: el diseño del sistema se centrará en la usabilidad, garantizando una interfaz intuitiva y fácil de usar para los usuarios, incluso en condiciones de campo.
 - Métrica: tasa de éxito en la realización de tareas específicas en condiciones de campo.
 - Fórmula: Índice de éxito = $\frac{\text{Número de pruebas exitosas}}{\text{Total de pruebas}} \times 100 \%$
 - Objetivo: lograr una tasa de éxito en la usabilidad superior al 90 por ciento en condiciones de campo.

3.6. Otros requisitos

- **[RS-037]** Formatos de datos: el sistema deberá admitir los siguientes formatos estándar para la entrada y salida de datos, facilitando la interoperabilidad con otros sistemas y herramientas de análisis topográfico:
 - Entrada de datos: KMZ, DWG, SHP.
 - Salida de datos: LAS, LAZ, OBJ.
- **[RS-038]** Análisis de costes: se realizará un análisis detallado de los costes asociados al desarrollo, implementación y mantenimiento del prototipo, lo anterior, incluirá recursos humanos, hardware, software y posibles gastos adicionales.
- **[RS-039]** Lenguaje de programación: la implementación del prototipo se realizará preferentemente utilizando lenguajes de programación eficientes y compatibles con los requisitos del sistema, como Python y C++. Se proporcionará documentación detallada sobre la elección del lenguaje y las restricciones asociadas.
- **[RS-040]** Requisitos de documentación: se establecerán los siguientes requisitos específicos para la documentación del sistema:
 - Manual de usuario: deberá contener instrucciones claras y detalladas sobre la operación del sistema, dirigido a usuarios finales con diversos niveles de experiencia.

- Manual técnico: deberá incluir información detallada sobre la arquitectura del sistema, especificaciones técnicas, procedimientos de instalación, configuración y mantenimiento, dirigido a personal técnico y de soporte.
 - Documentación adicional: se generarán documentos adicionales, como guías de solución de problemas, informes de pruebas y cualquier otro documento necesario para comprender, implementar y mantener el prototipo, según lo determine el equipo de desarrollo y los usuarios finales.
-
- **[RS-041]** Compatibilidad con plataformas: el prototipo se diseñará para ser compatible con múltiples plataformas, incluyendo sistemas operativos como Linux y Windows, garantizando flexibilidad en su despliegue..
 - **[RS-042]** Capacitación del usuario: se establecerán requisitos para la capacitación de usuarios, proporcionando materiales educativos y sesiones de formación para garantizar el uso efectivo y seguro del sistema.
 - **[RS-043]** Gestión de configuración: se implementará un sistema de gestión de configuración que permita realizar un seguimiento de las versiones del software, controlar cambios y facilitar la reversión a versiones anteriores si es necesario.
 - **[RS-044]** Interfaz de usuario personalizable: el sistema contará con una interfaz de usuario que permita cierto grado de personalización según las preferencias del usuario, mejorando la experiencia de usuario y la eficiencia en la interacción.
 - **[RS-045]** Cumplimiento de normativas: el prototipo cumplirá con todas las normativas y regulaciones relevantes en el ámbito de la captura de información topográfica, incluyendo requisitos legales y éticos.

4. Apéndices: información complementaria

En los apéndices se incluye información adicional relevante para el desarrollo del prototipo de captura de información topográfica, proporcionando detalles que enriquecen la Especificación de Requisitos de Software (ERS) principal. A continuación, se detallan los contenidos específicos de los apéndices:

1. Formatos de entrada/salida de datos: se presenta una descripción detallada de los formatos utilizados para la entrada y salida de datos en el prototipo. Esto incluirá estructuras de datos, convenciones y ejemplos que faciliten la comprensión y manipulación de la información topográfica.
2. Resultados de análisis de costes: se proporcionan los resultados completos del análisis de costes asociados al desarrollo, implementación y mantenimiento del prototipo. Incluye estimaciones de recursos, presupuestos detallados y consideraciones económicas relevantes para el proyecto.
3. Restricciones acerca del lenguaje de programación: detalles específicos sobre las restricciones asociadas con los lenguajes de programación utilizados en el desarrollo del prototipo. Se destaca la preferencia por C++, Python y Java, junto con normativas específicas para la documentación del código.
4. Detalles técnicos: información técnica adicional que complementa la ERS, abordando aspectos como configuraciones específicas de sensores, requisitos de hardware y otros detalles técnicos relevantes para la implementación exitosa del sistema.
5. Documentación del código: normativas y pautas para la documentación del código fuente, siguiendo las recomendaciones del manual de usuario de Doxygen. Esto facilitará la comprensión y mantenimiento del código por parte de los desarrolladores.

Estos apéndices no solo actúan como complemento de la ERS, sino que también brindan una referencia detallada para los desarrolladores y otros interesados en el proyecto de prototipo de captura de información topográfica.

4.1. Caso de uso 1: captura de datos topográficos

Elemento	Descripción
Nombre	Captura de datos topográficos
Breve Descripción	Este caso de uso describe el proceso de captura de datos topográficos mediante el prototipo.
Actor Principal	Operador del sistema topográfico.
Disparadores	Inicio manual por parte del operador para iniciar la captura de datos.
Flujo de Eventos	Flujo Básico: <ol style="list-style-type: none"> 1. El operador inicia el caso de uso para iniciar la captura de datos. 2. El sistema activa los sensores (IMU, GNSS, Lidar, etc.) para comenzar la captura. 3. Los datos topográficos se capturan y almacenan en tiempo real. 4. El operador decide detener la captura de datos.
	Flujo Alternativo: <ol style="list-style-type: none"> 3a. Si hay problemas con la captura de datos, el sistema notifica al operador y proporciona detalles del error.
Requerimientos Especiales	<ul style="list-style-type: none"> ■ El sistema debe ser capaz de gestionar múltiples tipos de sensores de manera simultánea. ■ La captura de datos debe realizarse con una precisión específica.
Pre-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ El operador debe haber iniciado sesión en el sistema. ■ Los sensores deben estar correctamente configurados.
Post-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Los datos capturados se almacenan para su posterior procesamiento y análisis. ■ El sistema vuelve a un estado inactivo.

Cuadro 2: Descripción del caso de uso 1, captura de datos topográficos

4.2. Caso de uso 2: visualización de datos topográficos en tiempo real

Elemento	Descripción
Nombre	Visualización en tiempo real
Breve Descripción	Este caso de uso detalla cómo el operador puede visualizar los datos topográficos en tiempo real durante la captura.
Actor Principal	Operador del sistema topográfico.
Disparadores	Inicio manual por parte del operador para visualizar los datos durante la captura.
Flujo de Eventos	Flujo Básico: <ol style="list-style-type: none"> 1. El operador inicia el caso de uso para la visualización en tiempo real. 2. El sistema activa los sensores y comienza la transmisión de datos. 3. La interfaz de usuario muestra la nube de puntos topográficos en tiempo real. 4. La visualización en tiempo real continúa hasta que el operador decide detenerla.
	Flujo Alternativo: <ol style="list-style-type: none"> 3a. Si hay problemas con la transmisión de datos o la visualización, el sistema notifica al operador y proporciona detalles del error.
Requerimientos Especiales	<ul style="list-style-type: none"> ■ El sistema debe ser capaz de procesar y visualizar datos a una velocidad de al menos 100 megabytes por segundo. ■ La interfaz de usuario debe ser intuitiva y permitir la interacción durante la visualización, por lo anterior el sistema deberá alcanzar una puntuación de al menos 85 en la escala de UTS (<i>Usability Testing System</i>) en pruebas de usabilidad.
Pre-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ El operador debe haber iniciado sesión en el sistema. ■ Los sensores deben estar correctamente configurados.
Post-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ La visualización en tiempo real se detiene cuando el operador decide o cuando se alcanza un límite predefinido. ■ Los datos de la captura se almacenan para su posterior análisis si es necesario.

Cuadro 3: Descripción del caso de uso 2, visualización de datos topográficos en tiempo Real

4.3. Caso de uso 3: integración con sistemas de terceros

Elemento	Descripción
Nombre	Integración con sistemas de terceros
Breve Descripción	Este caso de uso describe cómo el sistema de captura de datos topográficos puede integrarse con otros sistemas externos.
Actor Principal	Operador del sistema topográfico.
Disparadores	Inicio manual por parte del operador para establecer la integración con sistemas externos.
Flujo de Eventos	Flujo Básico: <ol style="list-style-type: none"> 1. El operador inicia el caso de uso para la integración con sistemas de terceros. 2. El sistema establece la conexión con los sistemas externos (por ejemplo, sistemas de planificación urbana). 3. Se define el formato de intercambio de datos entre el sistema topográfico y los sistemas externos. 4. Se inicia la transmisión de datos entre los sistemas. 5. El operador verifica la correcta integración y funcionamiento.
	Flujo Alternativo: <ol style="list-style-type: none"> 3a. Si hay problemas con la conexión o la transmisión de datos, el sistema notifica al operador y proporciona detalles del error.
Requerimientos Especiales	<ul style="list-style-type: none"> ■ El sistema debe ser compatible con los protocolos de comunicación utilizados por los sistemas externos. ■ Se deben establecer medidas de seguridad para proteger la integridad de los datos durante la transmisión.
Pre-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ El operador debe haber iniciado sesión en el sistema. ■ Los sistemas externos deben estar disponibles y accesibles.
Post-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ La conexión con los sistemas externos se mantiene hasta que el operador decide finalizarla. ■ Se establece un registro de las transmisiones de datos con sistemas externos.

Cuadro 4: Descripción del caso de uso 3, integración con sistemas de terceros

4.4. Caso de uso 4: gestión de datos capturados

Elemento	Descripción
Nombre	Gestión de datos capturados
Breve Descripción	Este caso de uso detalla cómo el operador puede gestionar los datos topográficos capturados por el sistema.
Actor Principal	Operador del sistema topográfico.
Disparadores	Inicio manual por parte del operador para gestionar los datos capturados.
Flujo de Eventos	Flujo Básico: <ol style="list-style-type: none"> 1. El operador inicia el caso de uso para gestionar los datos capturados. 2. El sistema muestra una lista de sesiones de captura y datos almacenados. 3. El operador selecciona una sesión o conjunto de datos para gestionar. 4. Se proporcionan opciones para el análisis, exportación o eliminación de datos seleccionados. 5. El operador confirma las acciones realizadas.
	Flujo Alternativo: <ol style="list-style-type: none"> 3a. Si no hay sesiones de captura disponibles, el sistema notifica al operador y ofrece la posibilidad de iniciar una nueva captura.
Requerimientos Especiales	<ul style="list-style-type: none"> ■ El sistema debe proporcionar herramientas de análisis de datos topográficos. ■ Se debe implementar un mecanismo de seguridad para la gestión de datos, evitando la pérdida accidental.
Pre-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ El operador debe haber iniciado sesión en el sistema. ■ Deben existir datos capturados almacenados en el sistema.
Post-Condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Las acciones de gestión de datos realizadas por el operador se registran en el sistema. ■ Los datos pueden ser exportados para su uso externo si es necesario.

Cuadro 5: Caso de uso 4: gestión de datos capturados - Parte 2

5. Bibliografía

1. ISO/IEC 9126:2001, *Software engineering — Product quality*, 2001.
2. IEEE Std 830-1998, *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*, 1998.
3. Prototipo de sistema autónomo para captura de información topográfica, disponible en:
<https://drive.google.com/file/d/1AiKsXuXA1EvmKM21hI0gnByCa85r--Rm/view?usp=sharing>.