



# Realità : prototipo de sistema autónomo para captura de información topográfica

Testing de software en sistemas embebidos

**Escrito por:**

Karen Tatiana Zamudio

**Revisión A**

Esteban Volentini

Mariano Finochietto

Universidad de Buenos Aires

11 abril 2024

## Historial de cambios

Cuadro 1: Registro de Revisiones

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	11 de abril 2024
1	Entrega A	17 de abril 2024

# Testing de software en sistemas embebidos

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
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
<b>2. State transition testing</b>	<b>8</b>
2.1. Definición de State Transition Testing . . . . .	8
2.2. Importancia del State Transition Testing en Realità . . . . .	8
<b>3. Aplicación del State Transition Testing en Realità</b>	<b>9</b>
3.1. Identificación de los estados del sistema . . . . .	9
3.2. Definición de los eventos . . . . .	10
3.3. Árbol de transiciones . . . . .	13
3.4. Creación de casos de prueba legales . . . . .	13
3.5. Creación de casos de prueba ilegales . . . . .	13
3.6. Creación de casos de prueba para los guardias . . . . .	14
<b>4. Bibliografía</b>	<b>15</b>

## 1. Introducción

El desarrollo del trabajo Realità representa un esfuerzo colaborativo destinado a crear un sistema autónomo para la captura de información topográfica, abordando la creciente demanda de eficiencia en la obtención de datos topográficos. Como parte integral de este proceso, se presenta el Master Test Plan (MTP), una herramienta fundamental para asegurar la calidad y confiabilidad del software que respalda este innovador sistema.

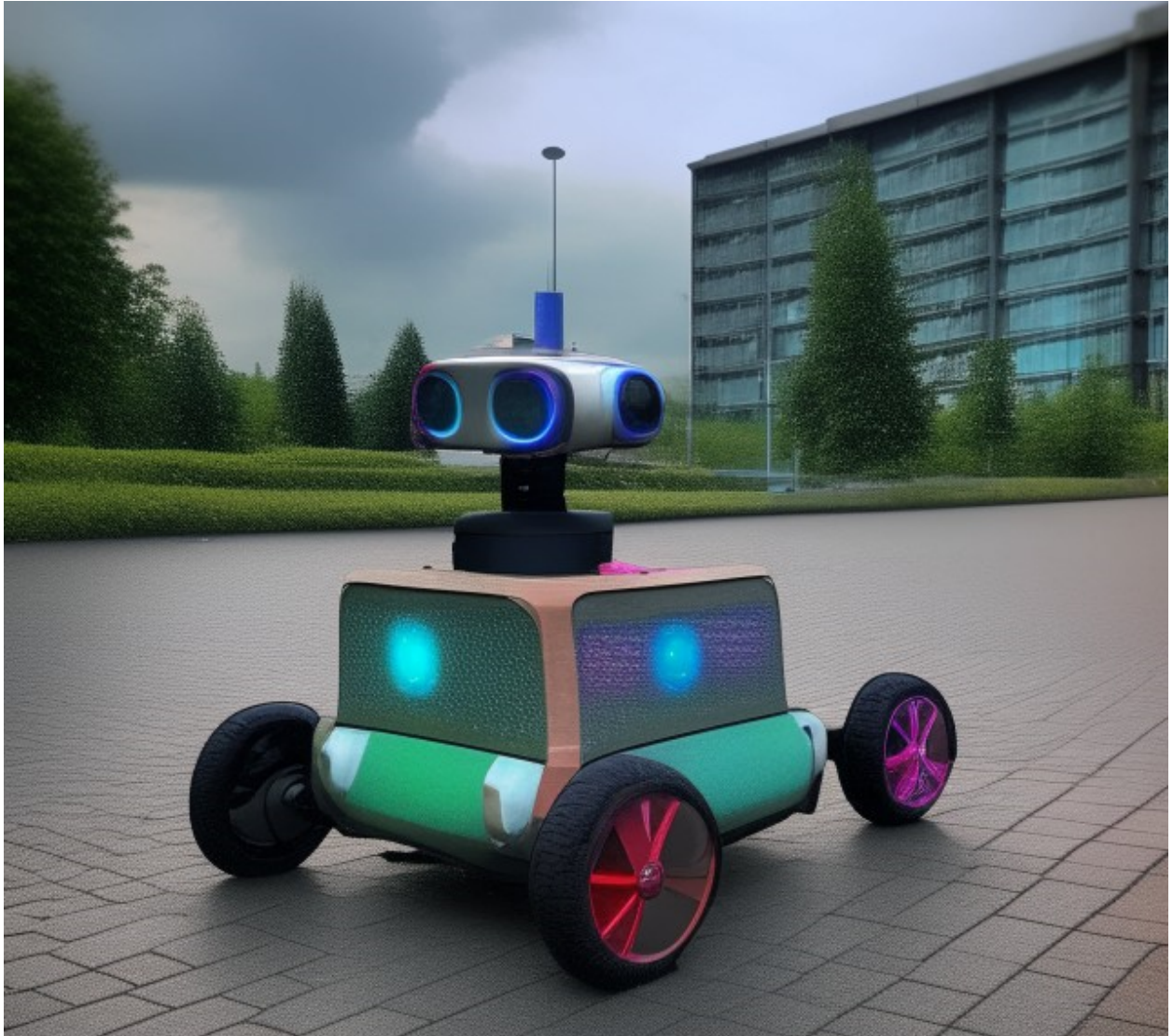


Figura 1: Prototipo para captura de información de nube de puntos.

## 1.1. Propósito

El objetivo principal del trabajo 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 GPS (Sistemas de Navegación 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 trabajo. 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 GPS, 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.

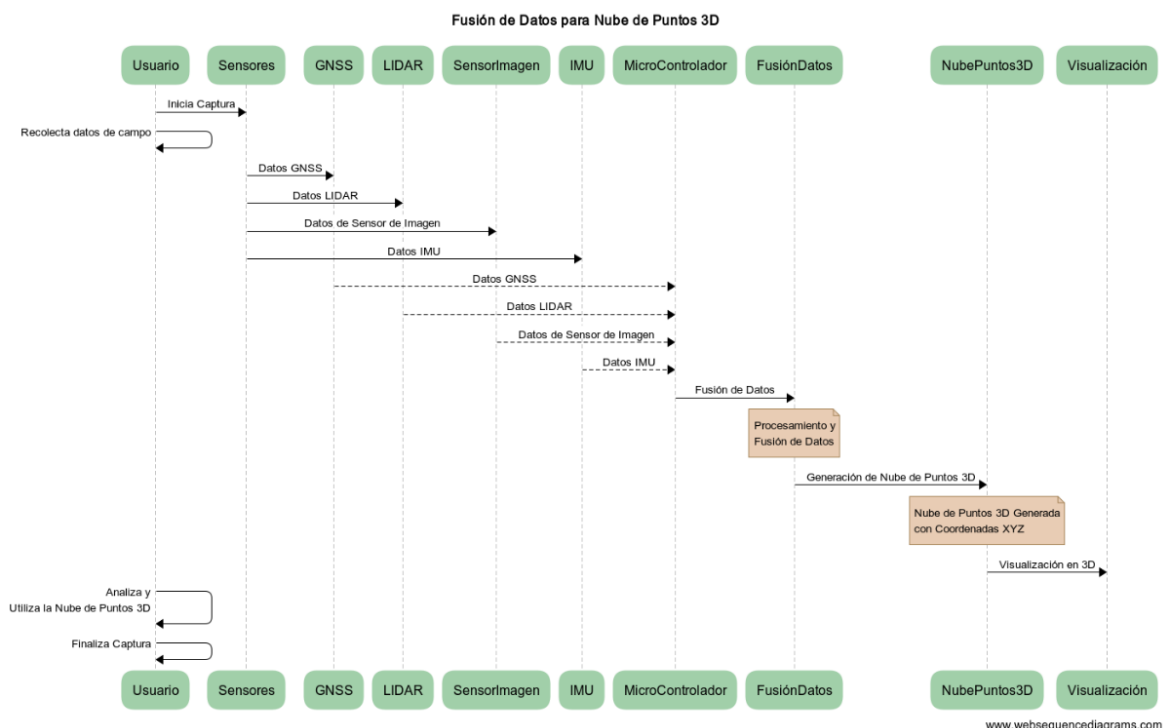


Figura 2: Diagrama de secuencia

## 1.2. Ámbito del sistema

### 1.2.1. Nombre del sistema

Se introduce con entusiasmo al innovador trabajo 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 GPS, 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 trabajo.

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 GPS, 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 trabajo 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 radicará en la integración de sensores multimodales, como GPS, 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 trabajo 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 trabajo y dirigir futuras investigaciones hacia objetivos específicos.

## 2. State transition testing

### 2.1. Definición de State Transition Testing

El State Transition Testing (Pruebas de Transición de Estados) es una técnica de diseño de pruebas utilizada para evaluar el comportamiento de un sistema basado en estados. Este enfoque se centra en verificar si las transiciones entre diferentes estados del sistema se realizan correctamente de acuerdo con las especificaciones establecidas. En términos simples, un sistema basado en estados puede estar en uno de varios estados en un momento dado, y las transiciones ocurren cuando el sistema cambia de un estado a otro en respuesta a eventos específicos. Por ejemplo, en un sistema de reserva de vuelos, los estados podrían incluir disponible, reservado y cancelado, y las transiciones podrían ser reservar vuelo o cancelar reserva.

La técnica de State Transition Testing se utiliza para identificar y probar todas las posibles transiciones entre estados, así como para verificar la lógica asociada con esas transiciones. Esto garantiza que el sistema se comporte correctamente en diferentes situaciones y que los usuarios obtengan resultados esperados en todas las interacciones.

### 2.2. Importancia del State Transition Testing en Realità

El State Transition Testing (STT) es una técnica de prueba de software que se puede aplicar para verificar el correcto funcionamiento del sistema Realità. El STT se basa en la definición de un modelo de estado del sistema, que describe los diferentes estados en los que puede encontrarse el sistema y las transiciones entre esos estados. Cada transición se desencadena por un evento específico y tiene como resultado un nuevo estado del sistema, para aplicar el STT al sistema Realità, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definir el modelo de estado del sistema implica identificar los diferentes estados en los que puede encontrarse el sistema, así como los eventos que desencadenan las transiciones entre esos estados.
2. Diseñar casos de prueba para cada transición, cada caso de prueba debe verificar que la transición se comporta correctamente, es decir, que el sistema pasa al estado correcto después de que se produce el evento.
3. Ejecutar los casos de prueba y analizar los resultados. Si un caso de prueba falla, indica que hay un error en el sistema que debe corregirse.

El STT puede ser una herramienta valiosa para garantizar el correcto funcionamiento del sistema Realità. Al verificar que el sistema se comporta como se espera en todos los estados posibles, se puede reducir el riesgo de errores y garantizar que el sistema pueda capturar información topográfica de manera precisa y eficiente.



### 3. Aplicación del State Transition Testing en Realità

El State Transition Testing (Pruebas de Transición de Estados) es una técnica de diseño de pruebas utilizada para evaluar el comportamiento de un sistema basado en estados. En este caso, aplicaremos esta técnica a Realità para garantizar su correcto funcionamiento y conformidad con las especificaciones establecidas.

#### 3.1. Identificación de los estados del sistema

El sistema Realità, al ser un sistema autónomo para la captura de información topográfica, presenta diversos estados durante su funcionamiento. Para una mejor comprensión del sistema, se detallan a continuación los estados principales:

1. Estado de Inicio:

- a) El sistema se encuentra inactivo, a la espera de instrucciones.
- b) Los sensores están desactivados y no se está capturando información.
- c) El sistema espera la interacción del usuario para iniciar el proceso de captura.

2. Estado de configuración:

- a) Se configuran los parámetros de operación de cada sensor, como la frecuencia de muestreo, la resolución y el rango de medición, de acuerdo con las características del área de captura y los requerimientos del usuario.
- b) El sistema valida los parámetros ingresados y se prepara para la captura.

3. Estado de captura:

- a) Se realiza la calibración interna de los sensores para garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones.
- b) Los sensores comienzan a capturar datos de forma simultánea, registrando mediciones de su respectiva naturaleza.

4. Estado de procesamiento:

- a) El sistema fusiona los datos de los diferentes sensores en tiempo real.
- b) Los datos capturados se procesan y analizan para generar un mapa topográfico preciso.
- c) Se identifican y clasifican los elementos del entorno, como edificios, calles y vegetación.
- d) Se generan metadatos que describen el mapa y las condiciones de captura.

5. Estado de finalización:

- a) La captura de datos y el procesamiento finalizan.
- b) El sistema presenta al usuario el mapa topográfico generado, junto con los metadatos correspondientes.
- c) El usuario puede guardar el mapa y los metadatos para su posterior uso.

6. Estado de error:

- a) El sistema entra en este estado si se produce un error durante la captura, el procesamiento o la finalización del proceso.
- b) Se registra el tipo de error y la causa probable.
- c) El usuario es notificado sobre el error y se le proporcionan instrucciones para resolverlo.

### 3.2. Definición de los eventos

En el sistema Realità, los eventos que desencadenan las transiciones entre los diferentes estados son acciones o situaciones específicas que determinan el cambio de estado del sistema. Estos eventos pueden ser generados por el usuario, por los sensores o por el propio sistema como resultado de su funcionamiento.

A continuación, se detalla la lista de eventos que desencadenan cada estado:

1. Estado de inicio:

- a) Evento de inicio: el usuario enciende el sistema o inicia una nueva sesión de captura.

2. Estado de configuración:

- a) Evento de inicio de configuración: el usuario accede al menú de configuración del sistema.
- b) Evento de modificación de parámetros: el usuario modifica los parámetros de captura, como el área de interés, la resolución deseada o el tipo de sensores a utilizar.
- c) Evento de validación de parámetros: el sistema valida los parámetros ingresados por el usuario.
- d) Evento de preparación para la captura: el sistema se prepara para iniciar la captura de datos de acuerdo con los parámetros configurados.

3. Estado de captura:

- a) Evento de inicio de captura: el usuario da la orden de iniciar la captura de datos.
- b) Evento de activación de sensores: los sensores se activan y comienzan a capturar datos.
- c) Evento de calibración interna: se realiza la calibración interna de los sensores para garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones.
- d) Evento de captura de datos: los sensores capturan datos de forma simultánea, registrando mediciones de su respectiva naturaleza.
- e) Evento de fusión de datos en tiempo real: el sistema fusiona los datos de los diferentes sensores en tiempo real.

4. Estado de procesamiento:

- a) Evento de finalización de captura: se alcanza el área de captura definida o se agota el tiempo de captura.

- b) Evento de inicio de procesamiento: los datos capturados están listos para ser procesados.
- c) Evento de procesamiento de datos: el sistema procesa y analiza los datos capturados para generar un mapa topográfico preciso.
- d) Evento de identificación y clasificación de elementos: se identifican y clasifican los elementos del entorno, como edificios, calles y vegetación.
- e) Evento de generación de metadatos: se generan metadatos que describen el mapa y las condiciones de captura.

5. Estado de finalización:

- a) Evento de finalización de procesamiento: el procesamiento de datos finaliza y el mapa topográfico está generado.
- b) Evento de presentación del mapa: el sistema presenta al usuario el mapa topográfico generado, junto con los metadatos correspondientes.
- c) Evento de guardado del mapa: el usuario guarda el mapa y los metadatos para su posterior uso.

6. Estado de error:

- a) Evento de detección de error: se produce un error durante la captura, el procesamiento o la finalización del proceso.
- b) Evento de registro de error: se registra el tipo de error y la causa probable.
- c) Evento de notificación de error: el usuario es notificado sobre el error y se le proporcionan instrucciones para resolverlo.

7. Consideraciones adicionales:

- a) En algunos casos, un evento puede desencadenar la transición a más de un estado. Por ejemplo, el evento de detección de error puede desencadenar la transición al estado de error y al estado de finalización, dependiendo de la gravedad del error.
- b) El sistema puede incluir mecanismos de recuperación de errores para intentar resolver los errores y volver al estado anterior.
- c) La secuencia de eventos puede variar dependiendo de la configuración del sistema y las condiciones de funcionamiento.

Cuadro 2: Tabla de estados y eventos del sistema

Estado	Evento	Siguiente Estado	Descripción
Inicio	Inicio del sistema	Configuración	El usuario enciende el sistema o inicia una nueva sesión de captura.
	Modificación de parámetros	Configuración	El usuario modifica los parámetros de captura.
	Validación de parámetros	Configuración	El sistema valida los parámetros ingresados por el usuario.
Configuración	Preparación para la captura	Captura	El sistema se prepara para iniciar la captura de datos.
Captura	Inicio de captura	Captura	El usuario da la orden de iniciar la captura de datos.
	Activación de sensores	Captura	Los sensores se activan y comienzan a capturar datos.
	Calibración interna	Captura	Se realiza la calibración interna de los sensores.
	Captura de datos	Captura	Los sensores capturan datos simultáneamente.
	Fusión de datos en tiempo real	Captura	El sistema fusiona los datos de los sensores.
	Finalización de captura	Procesamiento	Se alcanza el área de captura definida o se agota el tiempo de captura.
Procesamiento	Inicio de procesamiento	Procesamiento	Los datos capturados están listos para ser procesados.
	Procesamiento de datos	Procesamiento	El sistema procesa y analiza los datos capturados.
	Identificación y clasificación de elementos	Procesamiento	Se identifican y clasifican los elementos del entorno.
	Generación de metadatos	Procesamiento	Se generan metadatos que describen el mapa y las condiciones de captura.
	Finalización de procesamiento	Finalización	El procesamiento de datos finaliza y el mapa topográfico está generado.
Finalización	Presentación del mapa	Finalización	El sistema presenta al usuario el mapa topográfico generado.
	Guardado del mapa	Finalización	El usuario guarda el mapa y los metadatos para su posterior uso.
Cualquiera	Detección de error	Error	Se produce un error durante el proceso.
	Registro de error	Error	Se registra el tipo de error y la causa probable.
	Notificación de error	Error	El usuario es notificado sobre el error y se le proporcionan instrucciones.

### 3.3. Árbol de transiciones

El árbol de transiciones es una representación visual que muestra todas las posibles transiciones entre los estados del sistema y los eventos que las desencadenan. Esta representación visual es útil para comprender mejor la estructura del sistema y diseñar casos de prueba efectivos.

Para componer el árbol de transiciones del sistema Realità, primero se identifican todos los estados y eventos. Luego, se trazan las transiciones entre ellos de acuerdo con las reglas definidas. Una vez completado el árbol de transiciones, se puede visualizar de manera clara cómo interactúan los diferentes elementos del sistema en respuesta a diversos eventos.

### 3.4. Creación de casos de prueba legales

Los casos de prueba legales son aquellos que verifican el comportamiento correcto del sistema cuando se presentan eventos válidos. Estos casos de prueba están diseñados para probar todas las transiciones permitidas entre estados y asegurarse de que el sistema responda correctamente a cada evento.

Para crear los casos de prueba legales para el sistema Realità, se identifican todos los eventos válidos y se diseñan casos de prueba específicos para cada uno de ellos. Estos casos de prueba deben cubrir todas las transiciones entre estados permitidas por el sistema, verificando que el sistema se comporte según lo esperado en cada situación.

Cuadro 3: Casos de prueba para Realità

ID	Evento	Guardia	Acción	Estado Inicial	Resultado Esperado
1	Inicio del sistema	-	-	Inicio	Configuración
2	Modificación de parámetros	-	-	Configuración	Configuración
3	Validación de parámetros	-	-	Configuración	Preparación para la captura
4	Inicio de captura	-	-	Captura	Captura
5	Activación de sensores	Sensores activos	-	Captura	Captura
6	Calibración interna	Sensores calibrados	-	Captura	Captura
7	Captura de datos	Datos capturados	-	Captura	Captura
8	Fusión de datos en tiempo real	Datos fusionados	-	Captura	Procesamiento
9	Inicio de procesamiento	Procesamiento iniciado	-	Procesamiento	Procesamiento
10	Procesamiento de datos	Datos procesados	-	Procesamiento	Procesamiento
11	Identificación y clasificación de elementos	Elementos identificados	-	Procesamiento	Procesamiento
12	Generación de metadatos	Metadatos generados	-	Procesamiento	Procesamiento
13	Finalización de procesamiento	Procesamiento finalizado	-	Procesamiento	Finalización
14	Presentación del mapa	Mapa presentado	-	Finalización	Finalización
15	Guardado del mapa	Mapa guardado	-	Finalización	Finalización
16	Detección de error	Error detectado	-	Finalización	Error

### 3.5. Creación de casos de prueba ilegales

Los casos de prueba ilegales son aquellos que prueban el comportamiento del sistema cuando se presentan eventos inválidos o inesperados. Estos casos de prueba están diseñados para evaluar cómo el sistema maneja situaciones incorrectas y asegurarse de que responda de manera adecuada, como mostrar mensajes de error o tomar medidas correctivas.

Para crear los casos de prueba ilegales para el sistema Realità, se identifican eventos que podrían causar transiciones no permitidas entre estados o situaciones incoherentes en el sistema. Luego se diseñan casos de prueba específicos para estos eventos, verificando que el sistema maneje adecuadamente estas condiciones inesperadas.

Cuadro 4: Casos de prueba ilegales para Realità

No.	Configuración	Estado	Evento	Resultado
1	-	Inicio	Modificación de parámetros	Error
2	Configuración	Captura	Inicio de captura	Error
3	Captura	Procesamiento	Inicio de procesamiento	Error
4	Procesamiento	Finalización	Presentación del mapa	Error

### 3.6. Creación de casos de prueba para los guardias

Los casos de prueba para los guardias son aquellos diseñados para evaluar las condiciones de seguridad y protección del sistema. Estos casos de prueba se centran en verificar que el sistema Realità pueda detectar y responder adecuadamente a situaciones de seguridad, como intentos de acceso no autorizado o manipulación maliciosa de datos.

Para crear los casos de prueba para los guardias en el sistema Realità, se identifican posibles vulnerabilidades o amenazas de seguridad y se diseñan casos de prueba específicos para evaluar la capacidad del sistema para detectar y mitigar estas amenazas. Esto puede incluir pruebas de autenticación de usuarios, cifrado de datos, detección de intrusiones y otras medidas de seguridad.

Cuadro 5: Casos de prueba para la detección de errores

No.	Estado Inicial	Evento	Estado Siguiente	Descripción del Caso de Prueba
1	Inicio	Detección de error	Error	Verificar que el sistema maneje correctamente la detección de un error al iniciar.
2	Configuración	Registro de error	Error	Verificar que el sistema registre adecuadamente un error durante la configuración.
3	Captura	Detección de error	Error	Verificar que el sistema maneje correctamente la detección de un error durante la captura.
4	Procesamiento	Detección de error	Error	Verificar que el sistema maneje adecuadamente la detección de un error durante el procesamiento.
5	Finalización	Detección de error	Error	Verificar que el sistema maneje correctamente la detección de un error durante la finalización.

## 4. Bibliografía

Broekman, B., & Notenboom, E. (2003). *Testing Embedded Software*. Addison-Wesley.