



# Master Test Plan para el Desarrollo de un Medidor de Material Particulado Fino

(código: MADCASE-RS01-TEST)

Autor:

Mg. Luis Alberto Gómez Parada

Director:

Ing. Juan Manuel Cruz (FIUBA)

Docentes:

Alejandro Permingeat; Esteban Volentini; Mariano Finochietto y  
Santiago Salamandri.

*Este documento fue realizado en el curso Testing de software embebido  
el 13 de marzo de 2024, tercer bimestre.*

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>5</b>
1.1 Contenidos	5
<b>Asignaciones</b>	<b>5</b>
2.1 Responsable	5
2.2 Contratista	6
2.3 Alcance	6
2.4 Objetivos	6
2.5 Precondiciones (externas)	6
2.6 Precondiciones (internas)	6
<b>Bases del test</b>	<b>7</b>
<b>Estrategia general del test</b>	<b>7</b>
4.1 Características de calidad	7
4.2 Asignación de importancia relativa de las características de calidad en cada nivel de prueba	9
4.2.1 Pruebas unitarias (Unit Testing)	9
4.2.2 Pruebas de integración software (Integration Testing)	9
4.2.3 Pruebas de integración hardware software (System Testing)	10
4.2.4 Pruebas de sistema (System Testing)	10
4.2.5 Pruebas de aceptación (Acceptance Testing)	10
4.2.6 Pruebas de campo (Field Testing)	11
4.3 Asignación de niveles de prueba a las características de calidad	11
<b>Estrategias por nivel de prueba</b>	<b>13</b>
5.1 División del sistema en subsistemas	13
5.1.1 Observador (O):	13
5.1.2 Buffer (B):	14

5.1.3	Análisis (A): . . . . .	14
5.1.4	Despliegue (D): . . . . .	14
5.1.5	Reactor (R): . . . . .	15
5.1.6	Alarma (AL): . . . . .	15
5.1.7	Energía (E): . . . . .	15
5.2	Importancia relativa de los subsistemas . . . . .	15
5.3	Determinación de la importancia de test por combinaciones de subsistema y características de calidad . . . . .	16
5.4	Descripciones de técnicas de prueba . . . . .	17
5.4.1	STT: State transition testing . . . . .	17
5.4.2	CFT: Control flow testing . . . . .	17
5.4.3	ECT: Elementary comparison test . . . . .	17
5.4.4	CTM: Classification-tree method . . . . .	17
<b>Definición de Criterios de Aceptación de Pruebas . . . . .</b>		<b>18</b>
6.1	Criterios Generales . . . . .	18
6.2	Criterios Específicos por Subsistema . . . . .	18
6.3	Procedimientos de Validación . . . . .	19
<b>Infraestructura . . . . .</b>		<b>19</b>
7.1	Entorno de trabajo . . . . .	19
<b>Documentos entregables . . . . .</b>		<b>20</b>
<b>Control de configuración . . . . .</b>		<b>20</b>

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
MADCASE-RS01-REQ	Creación del documento	13 de marzo de 2024

## 1. Introducción

En el presente documento se detallan los aspectos relacionados con la especificación del Master Test Plan referente al desarrollo del software para el "Medidor de Material Particulado Fino". Este dispositivo está diseñado para monitorear las concentraciones atmosféricas de MP2.5, almacenar los datos recopilados y transmitirlos para su posterior análisis. A través de la implementación de mediciones redundantes con distintos sensores de bajo costo en un sistema gobernado por un microcontrolador, el proyecto tiene como objetivo mejorar la precisión de las mediciones en tiempo real. Dicha mejora es esencial para avanzar en la cobertura de monitoreo en áreas urbanas afectadas por la contaminación, ofreciendo datos relevantes sobre la calidad del aire que se respira.

La figura 1 ilustra la interacción entre los bloques de componentes del instrumento, resaltando las relaciones y el flujo de información sin adentrarse en detalles del diseño técnico.

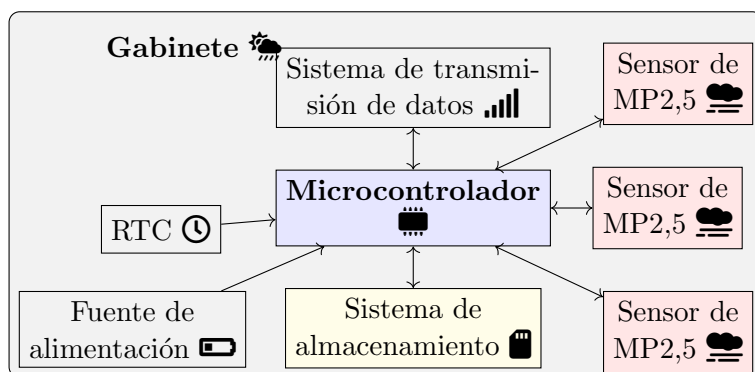


Figura 1. Esquema de bloques del instrumento.

### 1.1. Contenidos

Los contenidos del presente Master Test Plan incluyen:

- Asignaciones
- Bases del test
- Estrategia general del test
- Estrategia por nivel de prueba

## 2. Asignaciones

### 2.1. Responsable

El responsable de la elaboración de este documento es Luis Gómez, quien ostenta la posición de líder en el desarrollo del proyecto.

## 2.2. Contratista

La ejecución de la asignación está a cargo de Luis Gómez, quien desempeña el rol de jefe de testing en el desarrollo del proyecto.

## 2.3. Alcance

El test de aceptación se enfoca en el dispositivo denominado “Medidor de Material Particulado Fino”.

## 2.4. Objetivos

Los objetivos establecidos son:

- Verificar el cumplimiento de los requerimientos por parte del sistema.
- Documentar las discrepancias entre el comportamiento esperado del sistema y el observado.
- Desarrollar y documentar una herramienta de pruebas automáticas para su reutilización en futuras revisiones del dispositivo.
- Identificar la implementación de funcionalidades no especificadas en los requerimientos.

## 2.5. Precondiciones (externas)

Se definen las siguientes precondiciones externas:

- La documentación completa del sistema será provista antes del 13/05/24.
- La entrega del sistema para iniciar el test de aceptación está programada para el 15/05/24.
- La finalización de los tests está prevista para el 15/06/24.

## 2.6. Precondiciones (internas)

Para el equipo de testing, se requieren las siguientes precondiciones internas para completar las asignaciones:

- La ejecución del test se iniciará una vez que el objeto de testing haya superado satisfactoriamente el chequeo de entrada.
- Cualquier retraso en la ejecución de los tests debe ser reportado inmediatamente al jefe de testing.
- Se garantizará la disponibilidad de todas las herramientas y la infraestructura de test necesarias durante la realización de los tests.

- Se resolverán de manera inmediata cualquier contratiempo que pueda afectar el avance de los tests.

### 3. Bases del test

Los tests especificados se fundamentan en los siguientes documentos, que proporcionan las directrices y requisitos necesarios para la evaluación de calidad del software del proyecto MADCASE y el hardware del instrumento:

- **[MADCASE-RS02-REQ]** Requerimientos para el Software MADCASE: Este documento detalla las especificaciones y requisitos funcionales que el software MADCASE debe cumplir.
- **[MADCASE-RS01-ARQ]** Arquitectura básica y diseño preliminar del software MADCASE: Define la estructura y los componentes principales del software, incluyendo el diseño de alto nivel y la organización interna.
- **[Norma ISO/IEC 9126]** Norma ISO/IEC 9126: Estándar internacional que establece un modelo de calidad para el software. Define características y subcaracterísticas esenciales para medir la calidad del producto de software, enfocándose en aspectos como la funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad.

Estos documentos constituyen la base sobre la cual se diseñan, implementan y evalúan los tests, garantizando que el software MADCASE alcance los estándares de calidad requeridos y satisfaga las necesidades del proyecto.

### 4. Estrategia general del test

#### 4.1. Características de calidad

La tabla 1 muestra las características de calidad seleccionadas para la estrategia general del test, conforme a la norma ISO/IEC 9126. Se incluyen también las subcaracterísticas para proveer un nivel de detalle adicional necesario para una evaluación exhaustiva del software. Tanto las características como las subcaracterísticas cuentan con un índice de importancia relativa (IR), calculada como tantoporcentaje del total.

Cuadro 1. Importancia Relativa (IR) de las Características y Subcaracterísticas de Calidad del Medidor de Material Particulado Fino según ISO/IEC 9126.

Característica de Calidad	IR( %)	Subcaracterística	IR ( %)
Funcionalidad	45	Adecuación	10
		Exactitud	30
		Interoperabilidad	5
Fiabilidad	25	Madurez	5
		Tolerancia a fallos	20
Usabilidad	10	Comprensibilidad	10
Eficiencia	15	Comportamiento en el tiempo	15
		Utilización de recursos	0
Mantenibilidad	5	Modificabilidad	0
		Estabilidad	5
Portabilidad	0	Adaptabilidad	0
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>100</b>

**IR:** importancia relativa

A continuación se detallan las características de calidad seleccionadas:

**Funcionalidad 45 %:** Este software será diseñado para cumplir con requisitos específicos mediante la entrega de funciones críticas como la adecuación, la exactitud y la interoperabilidad. La exactitud (30 % de importancia relativa) es especialmente crucial para el rendimiento óptimo del instrumento.

**Fiabilidad 25 %:** Define la capacidad del sistema de operar de manera consistente bajo condiciones predefinidas a lo largo de un período determinado. La tolerancia a fallos, 20 % de importancia relativa, es destacada, implicando la habilidad del sistema para continuar operando eficazmente incluso ante fallos de uno de los sensores, asegurando la continuidad del servicio sin comprometer la integridad de los datos recopilados.

**Usabilidad 10 %:** Refiere a la facilidad de uso del software y la satisfacción generada en el usuario final. Se busca que el software sea intuitivo y accesible para el personal especializado, considerando su integración en redes de monitoreo complejas que requieren una interacción eficiente y efectiva.

**Eficiencia 15 %:** Mide cómo el software utiliza los recursos disponibles para alcanzar un rendimiento específico bajo condiciones dadas. Se considera mantener una consistencia en la calidad de mediciones durante el periodo que duren las pruebas.

**Mantenibilidad 5 %:** Indica la facilidad con la que el software y hardware puede ser actualizado o modificado para corregir fallos, mejorar su funcionamiento o adaptarse a nuevos requerimientos, asegurando la longevidad y operatividad continua del sistema. En particular se colocara especial atención

**Portabilidad 0 %:** Describe la facilidad con la que el software puede ser trasladado y adaptado a diferentes entornos de operación. Aunque no es prioritaria en esta fase, sigue siendo un aspecto relevante para futuras fases del desarrollo.



## 4.2. Asignación de importancia relativa de las características de calidad en cada nivel de prueba

Se especifica a continuación la asignación de importancia relativa de las características de calidad en cada nivel de prueba, basada en la norma ISO/IEC 9126.

### 4.2.1. Pruebas unitarias (Unit Testing)

**Objetivo** El propósito de las pruebas unitarias es verificar la correcta funcionalidad y fiabilidad de los componentes individuales del software del Medidor de Material Particulado Fino. Se busca asegurar que cada unidad opera de acuerdo con los requisitos especificados, alineándose con las características de calidad definidas en la norma ISO/IEC 9126. La importancia relativa asignada a estas pruebas es del 21 %, donde tanto la funcionalidad como la eficiencia reciben un 33 % de importancia relativa (ver tabla 2), subrayando su relevancia en un contexto de dispositivos de alta precisión.

Cuadro 2. Importancia relativa de las características de calidad en pruebas unitarias

Característica de Calidad	Importancia Relativa (%)
Funcionalidad	33 %
Fiabilidad	0 %
Usabilidad	17 %
Eficiencia	33 %
Mantenibilidad	17 %
<b>Total</b>	<b>100</b>

### 4.2.2. Pruebas de integración software (Integration Testing)

**Objetivo** Las pruebas de integración de software tienen como finalidad asegurar la compatibilidad y cohesión funcional entre los distintos componentes del software del Medidor de Material Particulado Fino. Se centran en la detección de errores en las interfaces y las interacciones entre unidades de software, validando así la fiabilidad y eficacia del funcionamiento conjunto. Estas pruebas representan un 11 % de la importancia relativa, destacando la fiabilidad con un 66 % (ver tabla 3), lo que refleja su importancia en asegurar la integridad del sistema.

Cuadro 3. Importancia relativa de las características de calidad de pruebas de integración software (Integration Testing)

Característica de Calidad	Importancia Relativa (%)
Funcionalidad	33 %
Fiabilidad	66 %
Usabilidad	0 %
Eficiencia	0 %
Mantenibilidad	0 %
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4.2.3. Pruebas de integración hardware software (System Testing)

**Objetivo** El propósito principal de las Pruebas de Integración Hardware/Software es asegurar la cohesión y operatividad eficaz entre los componentes hardware y software del Medidor de Material Particulado Fino. Esta etapa de prueba se enfoca en validar la interacción y comunicación adecuadas entre el hardware y el software, garantizando que el sistema integrado cumpla con los requisitos especificados y mantenga un alto nivel de rendimiento acorde a los estándares de calidad establecidos por la norma ISO/IEC 9126. Las pruebas de integración hardware/software tienen una importancia relativa del 14 %, dentro de la cual, la mantenibilidad es la característica de calidad más críticas, representando un 50 % de la importancia relativa total, mientras que la eficiencia y la fiabilidad ocupan un 25 % (ver tabla 4). Este nivel de prueba es esencial para asegurar que el sistema funciona de manera unificada, proporcionando una base para las pruebas de sistema y de aceptación subsiguientes.

Cuadro 4. Importancia relativa de los subsistemas en las pruebas de integración Hardware Software

Característica de Calidad	Importancia Relativa (%)
Funcionalidad	0 %
Fiabilidad	25 %
Usabilidad	0 %
Eficiencia	25 %
Mantenibilidad	50 %
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4.2.4. Pruebas de sistema (System Testing)

**Objetivo** Evaluar de manera exhaustiva la integración de todos los componentes de hardware y software del Medidor de Material Particulado Fino en condiciones que emulan el entorno real de uso. Este nivel de prueba, asignado con un 14 % de importancia relativa, se enfoca primordialmente en la fiabilidad, constituyendo el 50 % de su importancia relativa (ver tabla 5), para asegurar el cumplimiento total de los requisitos especificados.

Cuadro 5. Importancia relativa de las características de calidad en pruebas de sistema

Característica de calidad	Importancia relativa (%)
Funcionalidad	25 %
Fiabilidad	50 %
Usabilidad	0 %
Eficiencia	25 %
Mantenibilidad	0 %
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4.2.5. Pruebas de aceptación (Acceptance Testing)

**Objetivo** Confirmar que el Medidor de Material Particulado Fino cumple con los requisitos y expectativas del cliente o usuario final. Las pruebas de aceptación, que poseen un 21 % de importancia relativa, se concentran especialmente en la funcionalidad y usabilidad, ambas con

un 33 % de importancia relativa cada una (ver tabla 6), con el propósito de verificar que el sistema está completamente operativo y listo para su implementación en el entorno de uso previsto.

Cuadro 6. Importancia relativa de las características de calidad para las pruebas de aceptación (Acceptance Testing)

Característica de calidad	Importancia relativa (%)
Funcionalidad	33 %
Fiabilidad	17 %
Usabilidad	33 %
Eficiencia	15 %
Mantabilidad	0 %
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4.2.6. Pruebas de campo (Field Testing)

**Objetivo** Validar el funcionamiento del Medidor de Material Particulado Fino en condiciones ambientales y situaciones operativas reales. Estas pruebas, que representan un 18 % de la importancia relativa total, se enfocan en evaluar la robustez, fiabilidad y eficiencia del sistema frente a las variabilidades y desafíos del entorno natural y operacional específico para el cual fue diseñado, siendo la funcionalidad la característica de calidad más relevante con un 40 %.

Cuadro 7. Importancia relativa de las características de calidad para las Pruebas de Campo (Field Test)

Característica de calidad	Importancia relativa (%)
Funcionalidad	40 %
Fiabilidad	20 %
Usabilidad	20 %
Eficiencia	20 %
Mantabilidad	0 %
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4.3. Asignación de niveles de prueba a las características de calidad

En la siguiente tabla se observan los niveles de prueba asignados a las distintas características de calidad detalladas en el punto anterior.

Cuadro 8. Asignación de niveles de prueba a las características de calidad

Nivel de Prueba	Características de Calidad					
	Funcionalidad	Fiabilidad	Usabilidad	Eficiencia	Mantabilidad	Importancia
Unitaria	++		+	++	+	21 %
Software Integración	+	++				11 %
Hardware / Software Integración		+		+	++	14 %
Sistema	+	++		+		14 %
Aceptación	++	+	++	+		21 %
De campo	++	+	+	+		18 %
<b>Importancia Relativa (%)</b>	45 %	25 %	10 %	15 %	5 %	100 %

Referencias:

++ : La característica de calidad es predominante para el nivel de prueba.

+ : La característica de calidad es relevante para el nivel de prueba.

(vacío): La característica de calidad es insignificante para el nivel de prueba.

Se indica a continuación el motivo de la selección de cada tipo de test para cada tipo de subcaracterística de calidad.

- **Adecuación (10 %):** Seleccionada por su relevancia en garantizar que el medidor cumpla específicamente con las funciones requeridas para la medición de partículas finas, adaptándose a los estándares y necesidades de monitoreo ambiental.
- **Exactitud (30 %):** Crítica para asegurar que las mediciones de material particulado reflejen valores reales con un margen mínimo de error, esencial para la validez y confiabilidad de los estudios ambientales.
- **Interoperabilidad (5 %):** Importante para facilitar la integración del medidor con otros sistemas y plataformas de datos, mejorando la capacidad de compartir y analizar datos recolectados.
- **Madurez (5 %):** Considerada para evaluar la fiabilidad del medidor en condiciones de uso prolongado, minimizando fallos y maximizando el tiempo de operación efectiva.
- **Tolerancia a fallos (20 %):** Fundamental para mantener la operación del medidor ante posibles errores o fallos, asegurando la continuidad de la recolección de datos.
- **Comprensibilidad (10 %):** Necesaria para que los usuarios puedan entender fácilmente la operación del medidor y la interpretación de sus datos.
- **Comportamiento en el tiempo (15 %):** Priorizada para optimizar la respuesta del medidor en la recolección y procesamiento de datos, mejorando la eficiencia operativa.
- **Estabilidad (5 %):** Crucial para asegurar que las modificaciones, actualizaciones o correcciones al medidor no introduzcan nuevos fallos, manteniendo la integridad del sistema.

## 5. Estrategias por nivel de prueba

### 5.1. División del sistema en subsistemas

A continuación se determinan los subsistemas de software en los que se divide el sistema del dispositivo. Cabe destacar que en algunos casos varios de los subsistemas definidos en el documento de arquitectura de software (MADCASE-RS01-ARQ).

La organización del sistema permite la recolección y procesamiento de datos desde los sensores hasta su almacenamiento, ya sea en la memoria interna del instrumento o en un servidor remoto. Los subsistemas se describen en la figura 2. Estos incluyen: observador, buffer, análisis, despliegue, alarma reactor y energía.

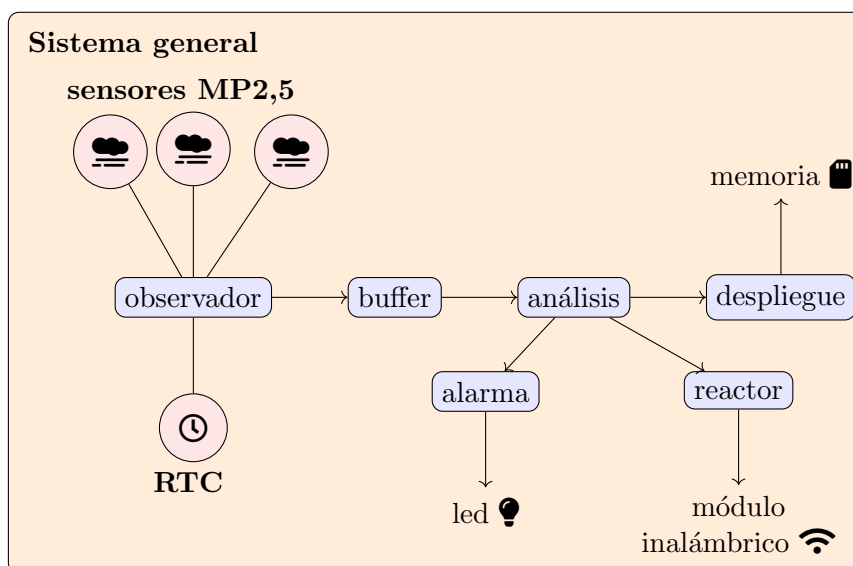


Figura 2. Arquitectura de bloques de los componentes del sistema con sus respectivos subsistemas: observador, buffer, análisis, alarma, reactor y despliegue.

#### 5.1.1. Observador (O):

Este subsistema se emplea durante la captura de datos en tiempo real, utilizando los sensores de MP2,5 y el Reloj de Tiempo Real (RTC). Su tarea esencial consiste en la recolección continua de información sobre la concentración de partículas en el aire, junto con marcas temporales para cada conjunto de datos. Posteriormente, estos datos son encaminados hacia la etapa de preprocesamiento (Proceso buffer - Segmentación de Procesos).

**Responsabilidad:** este proceso está encargado de solicitar y recabar datos de los sensores de MP2,5 en intervalos que pueden variar desde un minuto hasta horas, según la configuración establecida. Esta flexibilidad en la programación permite configurar la toma de muestras, adecuándose a diferentes necesidades de monitoreo y características específicas de cada sensor. Adicionalmente, el módulo se encargará de obtener del RTC y escribir en cada registro una marca temporal del dato. Una vez recolectados, estos datos son transmitidos al siguiente eslabón en el proceso, el “*proceso buffer*”, para su posterior tratamiento.

### 5.1.2. Buffer (B):

Este subsistema, parte del patrón de segmentación, alberga el Buffer, cuya función esencial es la transformación de datos para su análisis posterior.

**Responsabilidad:** Dentro de este segmento, los datos recibidos del “Subsistema Observador” son sometidos a un proceso de formateo y pre-validación, seguido de un almacenamiento temporal en el Proceso Buffer. Tras este paso, los datos son transferidos al Proceso Consumidor, o Proceso de Análisis, donde se realiza el procesamiento numérico de los mismos. El Proceso de Buffer mantiene los datos almacenados durante un periodo de 10 minutos para datos de alta frecuencia, 60 minutos para promedios horarios y hasta 24 horas para promedios diarios. Un ejemplo de la estructura de datos almacenados en el buffer se presenta en la siguiente tabla:

ID EQUIPO	ID SENSOR	DÍA HORA	[MP2,5]
INT	INT	AAAAMMDD HHMM	FLOAT

### 5.1.3. Análisis (A):

Se encarga de recibir de datos del buffer, procesarlos y enviarlos, a los procesos: despliegue, reactor y alarma, para su posterior almacenamiento local (memoria SD), servidor externo en Linux (mediante protocolo FTP o similar) y secuencia de parpadeo de un led, respectivamente.

**Responsabilidad:** proceso encargado del procesamiento de los datos. Incluye la realización de, corrección de la concentración de entrada con los parámetros de calibración, cálculos estadísticos para la estimación de los valores centrales y de dispersión de MP2,5, de los sensores y para un determinado espacio de tiempo (10 minutos, 1 hora y 24 horas). Estos datos nos permitirán estimar una medida de la precisión y exactitud de los datos y permitir aquellos valores que se alejen significativamente del valor central.

Con ello se generarán valores de confianza del dato o la generación de alarmas que permitan identificar posibles fallos en alguno de los sensores.

### 5.1.4. Despliegue (D):

Este subsistema tiene la responsabilidad clave de gestionar el almacenamiento de datos en una memoria local SD. Recibe datos del “proceso de análisis” y envía los datos al SD.

**Responsabilidad:** el subsistema está diseñado para garantizar que toda la información crítica se almacene de forma estructurada, facilitando su acceso y análisis posterior por parte de los usuarios. Se encarga de la creación y actualización de archivos que contienen datos temporales en intervalos de 10 minutos, 1 hora y 1 día. Además, es responsable de generar y actualizar las cabeceras de cada archivo, las cuales incluyen metadatos fundamentales que permiten identificar el origen y las características de los datos almacenados. Este enfoque asegura la integridad y la organización de los datos, lo cual es esencial para su interpretación y uso.

#### 5.1.5. Reactor (R):

Este subsistema gestiona la comunicación de datos hacia el exterior, entre los procesos de análisis y un módulo Wi-Fi, lo que permitirá conectarse con un servidor externo.

**Responsabilidad:** enviar los datos procesados y almacenados a hacia un módulo Wi-Fi. Este proceso debe ser capaz de gestionar un dispositivo de conexión a internet inalámbrica (no definido). Leer y gestionar un archivo de configuración de internet y manejar un protocolo de comunicación como FTP o similar para el envío de datos hacia el servidor. El dispositivo serán encargado de enviar hacia el servidor externo los paquetes de datos que contienen los archivos temporales en intervalos de 10 minutos, 1 hora y 1 día. Además, este proceso es responsable de generar y actualizar las cabeceras de cada archivo, las cuales incluyen metadatos fundamentales que permiten identificar el origen y las características de los datos generados.

#### 5.1.6. Alarma (AL):

Permite comunicación de códigos de alarma (fallos) entre el sistema y un led visible para el usuario. Este proceso permite identificar posibles fallas y estados de funcionamiento de los sensores y del sistema en general.

**Responsabilidad:** permite transformar los distintos códigos a frecuencias de parpadeo de led indicando el estado de funcionamiento básico del instrumento.

#### 5.1.7. Energía (E):

Este subproceso encargado de proveer y gestionar la fuente de energía para todos los componentes del sistema.

**Responsabilidad:** su función principal es garantizar la operación ininterrumpida del sistema, gestionando la conmutación de la fuente de energía. Ante un corte en el suministro eléctrico estándar de 220V, activa automáticamente una batería eléctrica como fuente de alimentación alternativa. Además, implementa un modo de bajo consumo que reduce significativamente el uso de energía hasta que se restablece la fuente principal de electricidad. Este enfoque mejora una operación continua y eficiente del sistema, adaptándose a variaciones o interrupciones en el suministro de energía durante tiempo limitado.

### 5.2. Importancia relativa de los subsistemas

En la tabla 9 se expone la importancia relativa de cada subsistema dentro del test asociados al proyecto. Específicamente, se pone énfasis en el subsistema de análisis por su rol crucial en la precisión y exactitud de las mediciones, asignándole un 24 %. No obstante, otros subsistemas, como el Observador, Buffer y Despliegue, también juegan roles significativos en el funcionamiento general del sistema, cada uno con una importancia relativa del 16 %.

Cuadro 9. Importancia relativa de los subsistemas en el medidor de material particulado

Subsistema	Importancia Relativa (%)
Observador (O)	16
Buffer (B)	16
Análisis (A)	24
Despliegue (D)	16
Reactor (R)	8
Alarma (AL)	12
Energía (E)	8
<b>Total</b>	<b>100</b>

El subsistema Observador facilita la recopilación inicial de datos ambientales, siendo fundamental para el inicio preciso del proceso de análisis. El subsistema Buffer asegura el almacenamiento temporal de datos para su procesamiento, mientras que el subsistema de Despliegue juega un papel vital en la presentación y accesibilidad de la información procesada. Estos subsistemas, al contar cada uno con un 16 % de importancia relativa, destacan por su contribución al flujo de trabajo del sistema, desde la captura de datos hasta la entrega de resultados finales de manera eficiente y confiable.

La estructura y la asignación de importancias ilustran la interdependencia de los subsistemas y la necesidad de una integración armónica para el óptimo rendimiento del medidor de material particulado. Este enfoque busca que cada componente del sistema reciba la atención necesaria, reflejando su valor y función dentro del proyecto global.

### 5.3. Determinación de la importancia de test por combinaciones de subsistema y características de calidad

La asignación de la importancia de los tests en el desarrollo y validación del medidor de material particulado fino requiere un análisis que considere tanto los subsistemas individuales como las características de calidad específicas. Este enfoque permite priorizar las áreas críticas del sistema y asegurar que los esfuerzos de testing estén alineados con los objetivos de calidad y funcionamiento global del proyecto. La tabla 10 presenta una visión de cómo se distribuye la importancia relativa entre los diversos subsistemas en función de las características de calidad definidas por la norma ISO/IEC 9126. Este análisis busca facilitar la identificación de los focos principales para la realización de pruebas, asegurando así una cobertura efectiva y eficiente de los aspectos más relevantes del sistema.

Cuadro 10. Asignación de importancia de características de calidad por subsistema

Subsistema	Características de calidad					
	Funcionalidad	Fiabilidad	Usabilidad	Eficiencia	Mantenibilidad	Importancia
Observador (O)	++	++				16 %
Buffer (B)	++	+		+		16 %
Análisis (A)	++	++		++		24 %
Despliegue (D)	++	+	+			16 %
Reactor (R)	++					8 %
Alarma (AL)	+		++			12 %
Energía (E)				+	+	8 %
Importancia	45 %	25 %	10 %	15 %	5 %	100 %



Cada subsistema es evaluado no solo por su contribución individual al funcionamiento del medidor, sino también por cómo sus características de calidad interactúan y complementan el rendimiento general del sistema. Esta metodología busca una comprensión acorde a las necesidades de prueba, permitiendo un enfoque de testing dirigido y eficaz.

## **5.4. Descripciones de técnicas de prueba**

En el proceso de aseguramiento de la calidad del software del Medidor de Material Particulado Fino, se emplean diversas técnicas de prueba especializadas. Estas técnicas están diseñadas para abordar distintos aspectos del comportamiento del software, desde su lógica interna y manejo de estados hasta la interacción con el usuario y el procesamiento de datos. Cada técnica de prueba se selecciona con el objetivo de maximizar la cobertura de pruebas y asegurar la fiabilidad, funcionalidad, y eficiencia del sistema. A continuación, se detallan las técnicas de prueba que se aplicarán a los diferentes subsistemas del medidor, cada una con su objetivo y aplicación específicos, reflejando cómo estos métodos contribuyen a una evaluación del software.

### **5.4.1. STT: State transition testing**

Esta técnica se basa en modelar el software como una máquina de estados. Las pruebas se diseñan para cubrir todos los estados posibles y las transiciones entre ellos. Se utiliza para asegurar que el software se comporte correctamente en cada estado y que las transiciones sean válidas. Se emplea en el subsistema observador para verificar el correcta lectura de los sensores.

### **5.4.2. CFT: Control flow testing**

Enfocado en el flujo de control dentro del programa, esta técnica prueba los caminos lógicos a través del software. Se utiliza para identificar caminos a través del código que no se hayan ejecutado durante las pruebas normales, ayudando a encontrar condiciones y bucles no cubiertos. Este tes se aplicara principalmente al proceso de análisis, proceso crítico para la obtención de una estimación de la concentración de material particulado fino.

### **5.4.3. ECT: Elementary comparison test**

Se centra en las comparaciones realizadas en el software, evaluando las condiciones de decisión para asegurar que todos los posibles resultados de una comparación se prueben. Es útil para verificar que las condiciones límite y los casos de error se manejen correctamente. Se empleará principalmente en el subsistema de despliegue (almacenamiento de datos) y el sistema de alarma, ambos componentes críticos para el correcto funcionamiento y almacenamiento de los datos.

### **5.4.4. CTM: Classification-tree method**

Esta técnica se utiliza para generar casos de prueba basados en la clasificación de las entradas del software. Crea un árbol de clasificación que ayuda a identificar combinaciones de entradas que deben ser probadas, asegurando una cobertura exhaustiva de diferentes escenarios de entrada. Con esta se probará las transmisión de datos desde y hacia el sistema inalámbrico.

La tabla 11 resume cómo se aplican estas técnicas de prueba a los diferentes subsistemas del medidor, evidenciando la relación estratégica entre los métodos de prueba seleccionados y los componentes específicos del sistema que requieren validación.

Cuadro 11. Relación entre subsistemas y técnicas de prueba

Subsistemas	Técnicas de Prueba			
	STT	CFT	ECT	CTM
Observador (O)	++			
Buffer (B)	+	+		
Análisis (A)		++	+	
Despliegue (D)			++	+
Reactor (R)	+			++
Alarma (AL)		+	+	
Energía (E)	+		+	

## 6. Definición de Criterios de Aceptación de Pruebas

La definición de criterios de aceptación de pruebas es fundamental para determinar si el sistema del “Medidor de Material Particulado Fino” cumple con los requisitos y expectativas establecidas. Estos criterios son acuerdos claros y medibles que guían tanto el diseño de las pruebas como la evaluación de sus resultados, asegurando que cada componente y el sistema en su conjunto funcionen adecuadamente bajo las condiciones especificadas.

### 6.1. Criterios Generales

Los criterios de aceptación de pruebas se dividirán en aspectos claves del sistema, incluyendo funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y, en menor medida, portabilidad. Para ser considerado aceptable, el sistema debe:

- Cumplir con todos los requerimientos funcionales especificados, asegurando que todas las funciones del sistema operen de acuerdo con lo descrito en los documentos de requerimientos ([MADCASE-RS02-REQ]).
- Demostrar una fiabilidad adecuada bajo condiciones normales de operación, no presentando fallas críticas durante el periodo de pruebas definido.
- Ser usable por los usuarios finales sin necesidad de asistencia técnica externa, proporcionando documentación adecuada.
- Mostrar eficiencia en el uso de recursos, incluyendo tiempo de procesamiento y almacenamiento, manteniendo un rendimiento óptimo.
- Permitir su mantenimiento.

### 6.2. Criterios Específicos por Subsistema

Además de los criterios generales, se establecen criterios específicos para cada subsistema, basados en su importancia relativa y función dentro del proyecto:

**Observador (O):** Debe capturar y transmitir datos de forma precisa y confiable desde los sensores de MP2.5, sin errores de lectura superiores al 5 % comparado con los estándares de calibración.

**Buffer (B) y Análisis (A):** Deben procesar y analizar los datos recibidos sin pérdidas, y almacenarlos adecuadamente para su recuperación, asegurando una precisión en el cálculo de promedios y medidas de concentración de partículas.

**Despliegue (D):** Debe presentar los datos procesados de manera clara y accesible, permitiendo su visualización sin errores en el formato o en los datos presentados.

**Reactor (R) y Alarma (AL):** Deben responder adecuadamente ante condiciones anómalas, por ejemplo cortes de energía o mal funcionamiento de un sensor, activando las alarmas o reacciones predefinidas sin falsos positivos o negativos.

**Energía (E):** Debe proveer una alimentación constante y fiable al sistema, con capacidad de conmutar sin interrupción a una fuente de energía de reserva en caso de fallo en la principal.

### 6.3. Procedimientos de Validación

Para cada uno de los criterios definidos, se especificarán procedimientos de validación detallados que incluyen metodologías de prueba, herramientas a utilizar, y los umbrales específicos para la aceptación de resultados. Estos procedimientos serán documentados, permitiendo su revisión y aprobación por parte de los stakeholders del proyecto.

## 7. Infraestructura

Para llevar a cabo los tests de manera efectiva, es necesario contar con una infraestructura tecnológica específica y recursos adecuados, que incluyen:

- Al menos un Single Board Computer (SBC) con un mínimo de 10 GB de espacio libre en la memoria. Este dispositivo será utilizado tanto para la generación de scripts de prueba como para el almacenamiento de los resultados obtenidos.
- Dos conexiones de red disponibles para facilitar la comunicación vía TCP/IP con el SBC.
- Un analizador lógico con al menos 5 canales, indispensable para evaluar de manera precisa la comunicación y el rendimiento del sistema bajo prueba.

### 7.1. Entorno de trabajo

El entorno destinado para la ejecución de los tests incluye tanto instalaciones internas como externas, especificadas de la siguiente manera:

- Principalmente, los tests se realizarán en el laboratorio de electrónica, donde se aprovecharán los recursos técnicos y las condiciones ambientales controladas disponibles.

- Las pruebas de campo se efectuarán en el techo de la sala de control o directamente en la antena terminada, dependiendo de los requisitos específicos de la prueba, el estado de avance del proyecto y las condiciones meteorológicas.
- software especializado para testing.

## 8. Documentos entregables

Al finalizar las etapas de prueba, se generarán y entregarán los siguientes documentos:

- Un compendio de los resultados de las pruebas, detallando cada caso de prueba y los resultados obtenidos.
- El diseño de los scripts utilizados en la SBC.
- Un informe que incluya recomendaciones y sugerencias, destinadas a la revisión previa a la presentación del trabajo final.
- Un reporte de las fallas identificadas durante las pruebas, señalando su gravedad y el impacto en el diseño final del sistema.

## 9. Control de configuración

Para asegurar la integridad y trazabilidad de los recursos utilizados durante las pruebas, se implementarán las siguientes medidas de control de configuración:

- Los scripts y la documentación generada estarán sujetos a un sistema de control de versiones, lo que permitirá un seguimiento efectivo de las modificaciones a lo largo del tiempo.
- Toda la documentación creada seguirá un esquema de numeración y formato establecido.
- Los archivos y carpetas empleados durante el proceso de pruebas serán organizados y almacenados sistemáticamente en el sistema de archivos.