
Documento de Especificaciones y Requisitos de Producto [DEP] para el desarrollo de productos mecatrónicos

Proyecto: Smacar
Revisión 1.0

Logo

Mayo

Instrucciones para el uso de este formato

Este formato es una plantilla tipo para documentos de requisitos de producto para su desarrollo.

Está basado y es conforme con el estándar IEEE Std 830-1998 y ha sido modificada para su uso en un ambiente de desarrollo mecatrónico simplificado.

El uso de este documento permite capturar la información relevante para desarrollar un producto o algunas de sus partes, sean electrónicas, mecánicas, de software y funcionales.

Las secciones que no se consideren aplicables al sistema descrito podrán de forma justificada indicarse como no aplicables (NA).

Notas:

Los textos en color azul son indicaciones que deben eliminarse y, en su caso, sustituirse por los contenidos descritos en cada apartado.

Los textos entre corchetes del tipo “[Inserte aquí el texto]” permiten la inclusión directa de texto con el color y estilo adecuado a la sección, al pulsar sobre ellos con el puntero del ratón.

Los títulos y subtítulos de cada apartado están definidos como estilos de MS Word, de forma que su numeración consecutiva se genera automáticamente según se trate de estilos “Titulo1, Titulo2 y Titulo3”.

La sangría de los textos dentro de cada apartado se genera automáticamente al pulsar Intro al final de la línea de título. (Estilos Normal indentado1, Normal indentado 2 y Normal indentado 3).

El índice del documento es una tabla de contenido que MS Word actualiza tomando como criterio los títulos del documento.

Una vez terminada su redacción debe indicarse a Word que actualice todo su contenido para reflejar el contenido definitivo.

Ficha del documento

Fecha	Revisión	Autor	Verificado dep. calidad.
[Fecha]	1[Rev]	[Descripcion]	[Firma o sello]

Documento validado por las partes en fecha: [Fecha]

Por el cliente	Por la empresa suministradora
Fdo. D./ Dña [Nombre]	Fdo. D./Dña [Nombre]

Contenido

FICHA DEL DOCUMENTO	4
CONTENIDO	5
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Propósito	7
1.2 Alcance	8
1.3 Personal involucrado	8
1.4 Definiciones, acrónimos y abreviaturas	8
1.5 Referencias	8
1.6 Resumen	8
2 DESCRIPCIÓN GENERAL	9
2.1 Perspectiva del producto	9
2.2 Funcionalidad del producto	9
2.3 Características de los usuarios	9
2.4 Restricciones	10
2.5 Suposiciones y dependencias	10
2.6 Evolución previsible del sistema	10
3 REQUISITOS ESPECÍFICOS	11
3.1 Requisitos comunes de los interfaces	11
3.1.1 Interfaces de usuario	11
3.1.2 Interfaces de hardware	12
3.1.3 Interfaces de software	12
3.1.4 Interfaces de comunicación	12
3.2 Requisitos funcionales	13
3.2.1 Requisito funcional 1	13
3.2.2 Requisito funcional 2	13
3.2.3 Requisito funcional 3	13
3.2.4 Requisito funcional n	13
3.3 Requisitos no funcionales	13
3.3.1 Requisitos de rendimiento	13
3.3.2 Seguridad	14
3.3.3 Fiabilidad	14
3.3.4 Disponibilidad	14
3.3.5 Mantenibilidad	14



3.3.6	Portabilidad	14
3.4	Otros requisitos	14
4	APÉNDICES	15

1 Introducción

El acceso a agua segura en comunidades rurales representa un desafío persistente en muchas regiones del mundo, debido a la ausencia de sistemas de monitoreo confiables, infraestructura limitada y falta de información en tiempo real sobre la calidad del recurso hídrico. En respuesta a esta problemática, se desarrolla **SMACAR**, un sistema inteligente diseñado para medir y reportar continuamente parámetros clave de calidad del agua como pH, conductividad y sólidos disueltos totales (TDS), mediante sensores integrados en una unidad autónoma, robusta y de bajo consumo energético.

SMACAR combina tecnologías de sensado, comunicación inalámbrica mediante LoRa, visualización en plataformas móviles/web y una arquitectura energética autosuficiente basada en paneles solares. Fue concebido para su implementación en entornos sin cobertura de Internet, como ríos, lagunas y fuentes de agua rurales, permitiendo emitir alertas tempranas y generar datos históricos útiles para la toma de decisiones por parte de autoridades locales, instituciones de salud pública y comunidades organizadas.

El sistema ha sido validado en campo en diversas regiones de la República Dominicana, demostrando una reducción significativa en los reportes de contaminación hídrica y consolidando su potencial como herramienta escalable en estrategias nacionales de gestión del agua.

1.1 Propósito

El propósito de este documento es establecer los requisitos funcionales y no funcionales del sistema SMACAR, con el fin de garantizar una solución precisa, confiable y autónoma para el monitoreo ambiental del recurso hídrico en zonas rurales.

Audiencia objetivo:

Este documento está dirigido principalmente a:

- Ingenieros de hardware y software involucrados en el desarrollo del sistema.
- Entidades gubernamentales y organizaciones no gubernamentales interesadas en el monitoreo ambiental.
- Personal técnico encargado del despliegue, mantenimiento y operación del sistema.
- Patrocinadores, evaluadores académicos y científicos involucrados en el análisis de impacto y escalabilidad del sistema.

1.2 Alcance

El producto identificado bajo el nombre **SMACAR (Sistema de Monitoreo y Alerta de Calidad del Agua Rural)** consiste en una unidad autónoma y portátil que mide parámetros como pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TDS) en cuerpos de agua superficial, enviando alertas y registros en tiempo real a través de una aplicación móvil y una interfaz web.

El sistema incluye:

- Sensores sumergibles calibrados.
- Microcontrolador ESP32 programado en C++ (ESP-IDF).
- Módulo LoRa para transmisión de datos a larga distancia.
- Carcasa impermeable con grado de protección IP68 impresa en PETG.
- Alimentación mediante panel solar con respaldo de 72 horas.
- Plataforma de visualización basada en Blynk y Node-RED.

Este documento mantiene consistencia con lineamientos de mayor nivel vinculados al desarrollo de tecnologías para la gestión ambiental, siguiendo principios de diseño sostenible, bajo costo de producción y facilidad de implementación en comunidades con infraestructura limitada.

1.3 Personal involucrado

Nombre	Camila Fernández Vargas
Rol	[Inserte aquí el texto]
Categoría profesional	[Inserte aquí el texto]
Responsabilidades	[Inserte aquí el texto]
Información de contacto	[Inserte aquí el texto]
Aprobación	[Inserte aquí el texto]

Relación de personas involucradas en el desarrollo del sistema, con información de contacto.

Esta información es útil para que el gestor del proyecto pueda localizar a todos los participantes y recabar la información necesaria para la obtención de requisitos, validaciones de seguimiento, etc.

1.4 Definiciones, acrónimos y abreviaturas

[Inserte aquí el texto]

Definición de todos los términos, abreviaturas y acrónimos necesarios para interpretar apropiadamente este documento. En ella se pueden indicar referencias a uno o más apéndices, o a otros documentos.

1.5 Referencias

Referencia	Título	Ruta	Fecha	Autor
[Ref.]	[Título]	[Ruta]	[Fecha]	[Autor]

Relación completa de todos los documentos y link a todas las herramientas de software utilizados para la gestión del proyecto y versiones de documentos, relacionados en la especificación de requisitos de producto, identificando de cada documento el título, referencia (si procede), fecha y organización que lo proporciona.

1.6 Resumen

[Inserte aquí el texto]

- Descripción del contenido del resto del documento
- Explicación de la organización del documento

2 Descripción general

2.1 Perspectiva del producto

SMACAR es un producto autónomo e independiente diseñado para operar sin requerimientos de infraestructura adicional o conexión permanente a redes convencionales. No obstante, puede integrarse como módulo sensor en plataformas más amplias de gestión ambiental o sistemas SCADA rurales.

Su diseño modular permite vinculación futura con plataformas institucionales de monitoreo hidrometeorológico o bases de datos de salud pública, mediante APIs REST o integración por MQTT a través de gateways compatibles con LoRaWAN.

2.2 Funcionalidad del producto

Las funcionalidades principales del sistema SMACAR se agrupan en cuatro bloques operativos:

- **1. Adquisición de datos:**
 - Medición periódica (cada 15 minutos) de parámetros de calidad del agua: pH, conductividad eléctrica y TDS.
 - Calibración inicial mediante soluciones buffer y validación contra equipos certificados.
- **2. Procesamiento y almacenamiento:**
 - Conversión analógica-digital y limpieza básica de señales en el ESP32.
 - Almacenamiento temporal de datos en memoria local para redundancia.
- **3. Comunicación y visualización:**
 - Transmisión de datos vía protocolo LoRaWAN hacia una pasarela central.
 - Visualización de alertas y registros históricos en una app móvil (Blynk) y dashboard web (Node-RED).
- **4. Energía y autonomía:**
 - Gestión energética mediante panel solar de 10W con respaldo de batería (hasta 72 horas en ausencia solar).
 - Consumo optimizado para modo standby (<100 mA) con estrategias de bajo consumo entre lecturas.

Estas funcionalidades están diseñadas para garantizar operación continua en ambientes rurales con condiciones variables, manteniendo la confiabilidad y robustez del sistema frente a humedad, temperatura y exposición prolongada.

2.3 Características de los usuarios

Tipo de usuario	[Inserte aquí el texto]
Formación	[Inserte aquí el texto]
Habilidades	[Inserte aquí el texto]
Actividades	[Inserte aquí el texto]

Descripción de los usuarios del producto, incluyendo nivel educacional, experiencia y experiencia técnica.

2.4 Restricciones

Hardware: El sistema debe operar utilizando un microcontrolador ESP32, seleccionado por su doble núcleo, bajo consumo y compatibilidad con múltiples interfaces de sensores. Los sensores utilizados (pH, conductividad, TDS) deben ser sumergibles y soportar condiciones ambientales adversas.

Carcasa: El diseño mecánico debe cumplir con la norma de protección IP68, lo que implica sellado total contra ingreso de polvo y resistencia a la inmersión prolongada en agua (≥ 2 metros de profundidad). Los materiales de la carcasa deben ser resistentes a la radiación UV y a la corrosión.

Energía: La fuente energética principal será un panel solar de 10W con respaldo de batería. El consumo del sistema no debe superar los 100 mA en estado de reposo, para garantizar una autonomía mínima de 72 horas sin recarga solar.

Software: El firmware debe ser desarrollado utilizando el framework ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework), en lenguaje C++, lo cual impone restricciones de compatibilidad con bibliotecas externas y un manejo cuidadoso de los recursos de memoria.

Comunicación: El protocolo de transmisión debe ser LoRaWAN, debido a la falta de conectividad celular o Wi-Fi en las zonas rurales objetivo. Esto limita el ancho de banda y la frecuencia de envío de datos.

Normativas: El sistema debe cumplir con las regulaciones nacionales sobre monitoreo ambiental, manejo de datos y uso del espectro de radiofrecuencia libre (banda ISM para LoRa).

2.5 Suposiciones y dependencias

Se asume que las zonas de despliegue tienen al menos 4 horas diarias de radiación solar útil, necesarias para la carga efectiva del sistema energético autónomo. Una disminución prolongada de insolación afectaría la continuidad operativa.

Se supone que la red LoRa (propia o comunitaria) estará disponible o podrá establecerse mediante gateways en zonas elevadas. La ausencia total de cobertura obligaría a modificar el esquema de transmisión (ej. almacenamiento local diferido o uso de GPRS).

Se asume que los usuarios clave (técnicos o comunitarios) serán capacitados adecuadamente, ya que el mal uso o instalación incorrecta puede comprometer la integridad de las mediciones.

Se da por sentado que las plataformas móviles utilizadas son compatibles con la app Blynk (Android 6.0 o superior). En caso de obsolescencia o retiro del soporte de dicha app, será necesario migrar a otro entorno de visualización.

2.6 Evolución previsible del sistema

Entre las posibles mejoras y ampliaciones del sistema SMACAR se proyectan las siguientes:

Ampliación de parámetros medidos: Integración de sensores adicionales (por ejemplo, turbidez, oxígeno disuelto o temperatura) para una caracterización más completa del agua.

Conectividad híbrida: Inclusión de módulos de respaldo GSM/GPRS para zonas con cobertura celular parcial, combinando LoRa y redes móviles según disponibilidad.

Análisis predictivo: Implementación de algoritmos de machine learning en el servidor para anticipar eventos de contaminación en función del historial de datos y condiciones ambientales.

Escalabilidad en red: Desarrollo de una red de nodos interconectados para cobertura regional, con protocolos de sincronización y actualización remota del firmware (OTA).

Integración con plataformas gubernamentales: Adaptación de la arquitectura de datos para interoperar con sistemas nacionales de información ambiental o de salud pública mediante APIs estandarizadas.

3 Requisitos específicos

Esta es la sección más extensa y más importante del documento.

Debe contener una lista detallada y completa de los requisitos que debe cumplir el sistema a desarrollar. El nivel de detalle de los requisitos debe ser el suficiente para que el equipo de desarrollo pueda diseñar un sistema que satisfaga los requisitos y los encargados de las pruebas puedan determinar si éstos se satisfacen.

Los requisitos se dispondrán en forma de listas numeradas para su identificación, seguimiento, trazabilidad y validación (ej. RF 10, RF 10.1, RF 10.2,...).

Para cada requisito debe completarse la siguiente tabla:

Número de requisito	[Inserte aquí el texto]		
Nombre de requisito	[Inserte aquí el texto]		
Tipo	<input type="checkbox"/> Requisito	<input type="checkbox"/> Restricción	
Fuente del requisito	[Inserte aquí el texto]		
Prioridad del requisito	<input type="checkbox"/> Alta/Esencial	<input type="checkbox"/> Media/Deseado	<input type="checkbox"/> Baja/ Opcional

y realizar la descripción del requisito

La distribución de los párrafos que forman este punto puede diferir del propuesto en esta plantilla, si las características del sistema aconsejan otra distribución para ofrecer mayor claridad en la exposición.

3.1 Requisitos comunes de las interfaces

El sistema SMACAR cuenta con un conjunto de interfaces que vinculan los distintos módulos funcionales, tanto a nivel de hardware como de software, permitiendo la adquisición, procesamiento, transmisión y visualización de datos relacionados con la calidad del agua. Estas interfaces incluyen entradas físicas de sensores, salidas de datos hacia plataformas remotas y elementos de interacción con el usuario a través de dispositivos móviles y navegadores web.

3.1.1 Interfaces de usuario

El sistema proporciona dos medios principales de interacción con el usuario:

a. Aplicación móvil (Blynk):

Plataforma: Android (versión 6.0 o superior).

Interfaz visual: Tablero personalizable con widgets que muestran los valores de pH, conductividad, TDS, estado de batería y calidad de la señal LoRa.

Interacción: Los usuarios pueden visualizar en tiempo real las mediciones, recibir alertas visuales/sonoras cuando los parámetros sobrepasan umbrales definidos, y consultar el historial de datos.

Estética: Uso de colores estándar para codificación de niveles (verde para normal, amarillo para advertencia, rojo para crítico), con una distribución vertical de widgets.

b. Plataforma web (Node-RED):

Acceso remoto: vía navegadora desde cualquier dispositivo con conexión a la red del servidor local o VPN.

Dashboard: Panel con gráficas temporales, lecturas en tiempo real, estado del sistema y log de eventos.

Seguridad: Acceso protegido mediante autenticación de usuario y cifrado HTTPS (cuando se despliegue en entornos externos).

3.1.2 Interfaces de hardware

Las interfaces de hardware están definidas por las conexiones físicas entre el microcontrolador ESP32 y los distintos módulos periféricos. A continuación se describen las principales:

Sensores analógicos:

pH y conductividad/TDS: conectados a entradas analógicas mediante módulos acondicionadores de señal compatibles (p.ej., SEN0161 y DFR0300).

Rango de entrada: 0–3.3 VDC (adaptado al ADC interno del ESP32).

Calibración: vía software, empleando soluciones buffer y coeficientes de corrección.

Módulo LoRa (RFM95 o equivalente):

Interfaz SPI (Serial Peripheral Interface).

Frecuencia de operación: 915 MHz (banda ISM).

Configuración por software (dirección del nodo, canal, SF y BW).

Panel solar y sistema energético:

Entrada de 5 VDC desde panel solar.

Carga de batería Li-Ion 3.7V mediante módulo de gestión (TP4056 o equivalente).

Monitoreo del voltaje de batería mediante divisor resistivo y ADC.

3.1.3 Interfaces de software

[Inserte aquí el texto]

Indicar si hay que integrar el producto con otros productos de software.

Para cada producto de software debe especificarse lo siguiente:

- *Descripción del producto software utilizado*
- *Propósito del interfaz*
- *Definición del interfaz: conteniendo y formato*

3.1.4 Interfaces de comunicación

El sistema utiliza los siguientes protocolos de comunicación:

LoRaWAN:

Protocolo de red de área extensa de baja potencia.

Frecuencia: 915 MHz.

Modulación: Chirp Spread Spectrum (CSS).

Configuración: SF7–SF12 según entorno, BW 125 kHz.

Función: transmisión de paquetes de datos desde el nodo hacia el gateway.

Serial UART (modo debug):

Conexión entre el ESP32 y la computadora para programación y pruebas.

Velocidad típica: 115200 baudios.

Propósito: carga de firmware, visualización de logs y calibración de sensores.

MQTT (en entorno ampliado):

Protocolo ligero para telemetría (no implementado en prototipo inicial, pero previsto en futuras versiones).

Utilizado para integrar múltiples nodos y gestionar información desde un servidor central.

3.2 Requisitos funcionales

[Inserte aquí el texto]

Definición de acciones fundamentales que debe realizar el producto al recibir información, procesarla y producir resultados.

En ellas se incluye:

- *Comprobación de validez de las entradas*
- *Secuencia exacta de operaciones*
- *Respuesta a situaciones anormales (desbordamientos, comunicaciones, recuperación de errores)*
- *Parámetros*
- *Generación de salidas*
- *Relaciones entre entradas y salidas (secuencias de entradas y salidas, formulas para la conversión de información)*
- *Especificación de los requisitos lógicos para la información que será almacenada en base de datos (tipo de información, requerido)*

Los requisitos funcionales pueden ser divididos en sub-secciones.

3.2.1 Requisito funcional 1

3.2.2 Requisito funcional 2

3.2.3 Requisito funcional 3

3.2.4 Requisito funcional n

3.3 Requisitos no funcionales

3.3.1 Requisitos de rendimiento

[Inserte aquí el texto]

Especificación de los requisitos relacionados con la carga que se espera tenga que soportar el sistema. Por ejemplo, el número de terminales, el número esperado de usuarios simultáneamente conectados, número de transacciones por segundo que deberá soportar el sistema, etc.

Todos estos requisitos deben ser medibles. Por ejemplo, indicando “el 95% de las transacciones deben realizarse en menos de 1 segundo”, en lugar de “los operadores no deben esperar a que se complete la transacción”.

3.3.2 Seguridad

[Inserte aquí el texto]

Especificación de elementos que protegerán al software de accesos, usos y sabotajes maliciosos, así como de modificaciones o destrucciones maliciosas o accidentales. Los requisitos pueden especificar:

- *Empleo de técnicas criptográficas.*
- *Registro de ficheros con “logs” de actividad.*
- *Asignación de determinadas funcionalidades a determinados módulos.*
- *Restricciones de comunicación entre determinados módulos.*
- *Comprobaciones de integridad de información crítica.*

3.3.3 Fiabilidad

[Inserte aquí el texto]

Especificación de los factores de fiabilidad necesaria del sistema. Esto se expresa generalmente como el tiempo entre los incidentes permisibles, o el total de incidentes permisible.

3.3.4 Disponibilidad

[Inserte aquí el texto]

Especificación de los factores de disponibilidad final exigidos al sistema. Normalmente expresados en % de tiempo en los que el software tiene que mostrar disponibilidad.

3.3.5 Mantenibilidad

[Inserte aquí el texto]

Identificación del tipo de mantenimiento necesario del sistema.

Especificación de quien debe realizar las tareas de mantenimiento, por ejemplo usuarios, o un desarrollador.

Especificación de cuando debe realizarse las tareas de mantenimiento. Por ejemplo, generación de estadísticas de acceso semanales y mensuales.

3.3.6 Portabilidad

[Inserte aquí el texto]

Especificación de atributos que debe presentar el software para facilitar su traslado a otras plataformas u entornos. Pueden incluirse:

- *Porcentaje de componentes dependientes del servidor.*
- *Porcentaje de código dependiente del servidor.*
- *Uso de un determinado lenguaje por su portabilidad.*
- *Uso de un determinado compilador o plataforma de desarrollo.*
- *Uso de un determinado sistema operativo.*

3.4 Otros requisitos

[Inserte aquí el texto]

Cualquier otro requisito que no encaje en ninguna de las secciones anteriores.

Por ejemplo:

Requisitos culturales y políticos

Requisitos Legales

3.4.1 Requisitos legales

3.4.2 Requisitos culturales

3.4.3 Otros requisitos

4 Apéndices

[Inserte aquí el texto]

Pueden contener todo tipo de información relevante para la DEP pero que, propiamente, no forme parte de la DEP.

Un ejemplo de esto serían las demás partes que forman parte de un sistema mas complejo.