
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.
[13/06/2025]	[1.0]	[Kennedy Rodríguez H.]	[Firma o sello]

Documento validado por las partes en fecha: [13/06/2025]

Por el cliente	Por la empresa suministradora
Carlos Antonio Pichardo Viuque	ITLA
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



1 Introducción

El acceso a agua potable en comunidades rurales continúa siendo un desafío crítico a nivel global, debido a la carencia de sistemas de monitoreo eficientes, la limitada infraestructura disponible y la inexistencia de información en tiempo real sobre la calidad del recurso hídrico. En respuesta a esta problemática, se ha desarrollado **SMACAR**, un sistema inteligente orientado a la medición y reporte continuo de parámetros clave de calidad del agua, tales como el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales (TDS), a través de sensores integrados en una unidad autónoma, robusta y de bajo consumo energético.

SMACAR integra tecnologías de censado, comunicación inalámbrica mediante protocolo LoRa, visualización de datos en plataformas móviles y web, así como una arquitectura energética autosuficiente basada en energía solar. Su diseño está especialmente enfocado para operar en entornos rurales sin acceso a Internet, como ríos, lagunas y otras fuentes de agua, permitiendo la emisión de alertas tempranas y la generación de registros históricos que facilitan la toma de decisiones por parte de autoridades locales, entidades de salud pública y comunidades organizadas.

1.1 Propósito

El presente documento tiene como objetivo definir de manera detallada los requisitos funcionales y no funcionales del sistema **SMACAR** (Sistema de Monitoreo y Alerta de Calidad del Agua Rural), con el propósito de asegurar una solución técnica precisa, confiable y autónoma para el monitoreo ambiental del recurso hídrico en comunidades rurales con acceso limitado a servicios básicos.

Audiencia objetivo:

Este documento está dirigido a los siguientes grupos de interés:

- Ingenieros de hardware y software involucrados en el diseño, desarrollo e integración del sistema.
- Instituciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales interesadas en la vigilancia ambiental y la gestión sostenible del agua.
- Personal técnico responsable del despliegue, mantenimiento y operación del sistema en campo.
- Patrocinadores, evaluadores académicos y científicos que analizan el impacto, la eficiencia y la escalabilidad de la solución tecnológica.

1.2 Alcance

El sistema **SMACAR** se presenta como una unidad portátil y autónoma destinada a la medición en tiempo real de parámetros fisicoquímicos fundamentales en cuerpos de agua superficial, tales como el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales (TDS). La información recopilada es transmitida mediante tecnología inalámbrica de largo alcance (LoRa) y visualizada a través de una aplicación móvil y una interfaz web, permitiendo alertas tempranas y la generación de reportes históricos para la toma de decisiones.

El sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- Sensores sumergibles calibrados para la medición precisa de los parámetros hídricos.
- Microcontrolador **ESP32** programado en **C++ (ESP-IDF)** para la gestión de datos y control de dispositivos.

- Módulo **LoRa** para la transmisión eficiente de datos a largas distancias.
- Carcasa impermeable fabricada en **PETG** con grado de protección **IP68**, diseñada para resistir condiciones adversas.
- Sistema de alimentación basado en **paneles solares**, con una autonomía de hasta 72 horas gracias a su sistema de respaldo energético.
- Plataforma de visualización y análisis construida sobre **Blynk** y **Node-RED**.

Este documento se alinea con estándares superiores en el desarrollo de tecnologías aplicadas a la gestión ambiental, priorizando un diseño sostenible, de bajo costo, fácil implementación y adaptabilidad a comunidades con infraestructura limitada.

1.3 Personal involucrado

Nombre	
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]

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

El sistema SMACAR ha sido concebido como un producto autónomo, independiente y funcional sin requerimientos de infraestructura adicional ni conexión permanente a redes convencionales. No obstante, su diseño contempla la posibilidad de integración como módulo sensorial dentro de plataformas más amplias de gestión ambiental o en sistemas SCADA implementados en zonas rurales.

Gracias a su arquitectura modular, SMACAR permite una integración futura con plataformas institucionales de monitoreo hidrometeorológico y bases de datos de salud pública mediante el uso de APIs REST o protocolos de mensajería como MQTT, a través de gateways compatibles con LoRaWAN, ampliando así su interoperabilidad y adaptabilidad a diversos entornos tecnológicos.

2.2 Funcionalidad del producto

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

- **Adquisición de datos:** Medición periódica de parámetros de calidad del agua (pH, conductividad eléctrica y TDS) cada 15 minutos, con una calibración inicial basada en soluciones buffer y validación frente a equipos certificados.
- **Procesamiento y almacenamiento:** Conversión analógica-digital y procesamiento preliminar de señales a través del microcontrolador **ESP32**, así como almacenamiento temporal de datos en memoria local para garantizar redundancia.
- **Comunicación y visualización:** transmisión de datos mediante protocolo **LoRaWAN** hacia una pasarela central, y presentación de alertas e históricos a través de una aplicación móvil basada en **Blynk** y un dashboard web desarrollado con **Node-RED**.
- **Energía y autonomía:** Gestión energética basada en un panel solar de 10W con sistema de respaldo que proporciona hasta 72 horas de autonomía sin radiación solar. El sistema está optimizado para consumo en modo reposo (<100 mA), empleando estrategias de ahorro energético entre ciclos de lectura.

Estas funcionalidades han sido diseñadas para asegurar una operación robusta y continua en entornos rurales con condiciones ambientales exigentes, garantizando la confiabilidad de los datos obtenidos.

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 con un microcontrolador ESP32, elegido por su arquitectura de doble núcleo, eficiencia energética y compatibilidad con múltiples interfaces. Los sensores de pH, conductividad y TDS deben ser sumergibles y resistentes a condiciones ambientales adversas.

Carcasa: El diseño estructural debe cumplir con la norma IP68, lo cual implica sellado completo contra polvo e inmersión continua en agua de hasta ≥ 2 metros de profundidad. Los materiales deben ofrecer resistencia a la radiación ultravioleta y la corrosión.

Energía: La fuente de alimentación será un panel solar de 10W complementado por una batería de respaldo. El sistema no debe superar los 100 mA de consumo en reposo, asegurando una autonomía mínima de 72 horas en condiciones de baja insolación.

Software: El firmware debe desarrollarse en C++ utilizando el framework ESP-IDF, lo cual limita la compatibilidad con bibliotecas externas e impone una gestión cuidadosa de los recursos de hardware.

Comunicación: Se establece LoRaWAN como protocolo de comunicación, dada la ausencia de cobertura Wi-Fi o celular en las zonas objetivo. Esta elección restringe el ancho de banda disponible y la frecuencia de envío de datos.

Normativas: El sistema debe cumplir con las normativas nacionales vigentes en materia de monitoreo ambiental, protección de datos y uso del espectro radioeléctrico libre (banda ISM).

2.5 Suposiciones y dependencias

- Se asume que las zonas de instalación cuentan con al menos 4 horas diarias de radiación solar efectiva, necesarias para la recarga adecuada del sistema energético. Prolongadas condiciones de nubosidad comprometerían la autonomía operativa.
- Se presupone la existencia o viabilidad de establecer una red LoRa mediante gateways estratégicamente ubicados en zonas elevadas. La ausencia total de cobertura requeriría la modificación del sistema de transmisión, incorporando almacenamiento local diferido o respaldo GPRS.
- Se considera que los usuarios clave (ya sean técnicos o representantes comunitarios) serán debidamente capacitados, pues una instalación deficiente o uso inapropiado puede afectar la calidad de las mediciones.
- Se da por entendido que los dispositivos móviles utilizados por los usuarios son compatibles con la aplicación Blynk (Android 6.0 o superior). De discontinuarse esta plataforma, se requerirá la migración a una solución alternativa.

2.6 Evolución previsible del sistema

Entre las futuras mejoras y ampliaciones previstas para el sistema SMACAR se consideran:

- **Ampliación de parámetros:** Integración de nuevos sensores (como turbidez, oxígeno disuelto o temperatura) que permitan una evaluación más completa del estado del recurso hídrico.

- **Conectividad híbrida:** Incorporación de módulos GSM/GPRS para permitir transmisión en zonas con cobertura celular parcial, complementando la red LoRa.
- **Análisis predictivo:** Desarrollo de algoritmos de **machine learning** en el servidor, capaces de anticipar eventos de contaminación a partir del análisis de datos históricos y condiciones ambientales.
- **Escalabilidad en red:** Implementación de una red distribuida de nodos interconectados con funciones de sincronización, redundancia y actualización remota de firmware (**OTA**).
- **Integración institucional:** Adecuación del modelo de datos para su interoperabilidad con plataformas gubernamentales de monitoreo ambiental y salud pública, a través de 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	Requisito		Restricción		
Fuente del requisito	[Inserte aquí el texto]				
Prioridad del requisito	Alta/Esencial		Media/Deseado		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 incorpora un conjunto de interfaces fundamentales que permiten la interacción fluida entre sus módulos funcionales, tanto en el ámbito del hardware como del software. Estas interfaces aseguran la adquisición eficiente de datos, su procesamiento local, la transmisión remota y la visualización por parte del usuario final. Incluyen conexiones físicas con sensores, canales de comunicación hacia plataformas externas y medios de visualización interactiva accesibles desde dispositivos móviles y navegadores web.

3.1.1 Interfaces de usuario

El sistema SMACAR dispone de dos medios principales para la interacción con los usuarios finales, orientados a la accesibilidad, monitoreo en tiempo real y consulta de datos históricos:

a. Aplicación móvil (Blynk)

- **Compatibilidad:** Sistema operativo Android versión 6.0 o superior.
- **Interfaz visual:** Tablero configurable con widgets que presentan los valores instantáneos de pH, conductividad eléctrica, TDS, voltaje de batería y calidad de la señal LoRa.
- **Interacción:** Visualización en tiempo real de los datos recolectados, recepción de alertas visuales y sonoras cuando los parámetros exceden umbrales predefinidos, y acceso al historial de lecturas.
- **Diseño visual:** Codificación cromática por niveles (verde: normal, amarillo: advertencia, rojo: crítico), con disposición vertical de los widgets para una lectura intuitiva.

b. Plataforma web (Node-RED)

- **Accesibilidad:** Mediante navegador web desde cualquier dispositivo conectado a la red local del servidor o a través de VPN.
- **Dashboard:** Panel dinámico con gráficas temporales, valores en tiempo real, estado general del sistema y registro de eventos operativos.
- **Seguridad:** Autenticación mediante credenciales de usuario y encriptación HTTPS en entornos de acceso remoto o externos, garantizando confidencialidad e integridad de la información.

3.1.2 Interfaces de hardware

Las interfaces de hardware establecen la conexión entre el microcontrolador principal (**ESP32**) y los módulos periféricos esenciales para el funcionamiento del sistema. Estas conexiones están optimizadas para garantizar compatibilidad eléctrica, precisión en la adquisición de datos y eficiencia energética.

Sensores analógicos (pH y Conductividad/TDS):

- **Conexión:** Entradas analógicas del ESP32 mediante módulos acondicionadores de señal (por ejemplo, SEN0161 y DFR0300).
- **Rango de señal:** 0–3.3 VDC, adaptado a las especificaciones del convertidor analógico-digital (ADC) interno del microcontrolador.
- **Calibración:** Realizada por software utilizando soluciones buffer estandarizadas y coeficientes de ajuste, permitiendo una medición precisa y reproducible.

Módulo de comunicación LoRa (RFM95 o equivalente):

- **Interfaz:** SPI (Serial Peripheral Interface) para intercambio de datos con el microcontrolador.
- **Frecuencia de operación:** 915 MHz, correspondiente a la banda ISM (uso libre) en la región.

- **Parámetros configurables:** Dirección de nodo, canal de transmisión, factor de expansión (**Spreading Factor**, SF) y ancho de banda (**Bandwidth**, BW), ajustables mediante software según el entorno de despliegue.

Subsistema energético (panel solar y batería):

- **Entrada de alimentación:** 5 VDC suministrados por panel solar.
- **Gestión de carga:** A través de módulo TP4056 (o equivalente), que regula la carga de una batería de polímero de litio (Li-Ion) de 3.7V.
- **Monitoreo energético:** Medición del voltaje de la batería mediante divisor resistivo conectado a un ADC del ESP32, permitiendo el seguimiento del estado energético y la emisión de alertas en caso de niveles críticos.

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, fórmulas 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.